

Jonne Nurmela

Koneohjauksen hyödyntäminen lyöntipaalutuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

6.10.2014

Tekijä(t) Otsikko	Jonne Nurmela Koneohjauksen hyödyntäminen lyöntipaalutuksessa
Sivumäärä Aika	32 sivua 6.10.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaaja(t)	Työpäällikkö Markku Lappalainen Lehtori Mervi Toivonen
<p>Tämä insinöörityö tehtiin YIT Rakennus Oy:lle kevään ja kesän 2014 aikana. Työn tarkoituksena oli selvittää, minkälaisia koneohjausjärjestelmiä markkinoilta löytyy lyöntipaluutuskalustolle. Tavoitteena oli arvioida, minkälaisia vaikutuksia koneohjauksella tässä työalajissa on.</p> <p>Työssä esitellään lyöntipaalutusta ja sen toteuttamiseen vaadittavaa kalustoa ja mittaamista. Työssä perehdyttiin koneohjaustekniikkaan ja miten se toimisi paalutuskoneessa. Työssä perehdyttiin lisäksi satelliittipaikannukseen ja sen eri tapoihin. Työssä haastateltiin eri laitevalmistajien edustajia ja tutustuttiin markkinoilla oleviin ratkaisuihin.</p> <p>Työn tuloksena saatiin arvio kuinka koneohjaustekniikka soveltuu lyöntipaalutukseen. Arviolaskelmien ja kokemusten perusteella YIT Rakennus Oy:llä voidaan nyt miettiä, halutaanko ottaa askel tulevaisuuteen ja lähteä kehittämään koneohjausjärjestelmää myös lyöntipaalutuskalustoon. Taloudellisesti se ei ole vielä kannattavaa, mutta rakennusalan yleiseen kehitykseen, innovaatioihin ja etenkin lyöntipaalutukseen se toisi uusia mahdollisuuksia.</p>	
Avainsanat	Koneohjaus, Lyöntipaalutus, Satelliittipaikannus

Author(s) Title	Jonne Nurmela Utilization of Machine Control System in Pile Driving
Number of Pages Date	32 pages 15 September 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Infrastructural Engineering
Instructor(s)	Markku Lappalainen, Project Manager Mervi Toivonen, Senior Lecturer
<p>This thesis was made for YIT Rakennus Oy during the spring and summer 2014. The purpose of the thesis was to examine what kind of machine control systems for pile driving machines exist on the market. The objective was to evaluate what kind of effects the machine control system has in this type of work.</p> <p>The thesis introduces pile driving and the equipment and measurement needed for its implementation. The thesis clarifies the machine control system and defines how the machine control system can be utilized in pile driving. In addition, the thesis discusses satellite positioning in different forms. Part of the information was gathered by interviewing experts about machine control systems. There is also an overview of the existing solutions on the market.</p> <p>As a result of the thesis, an estimate was made of the suitability of a machine control system for pile driving. Based on the calculations and gained experience YIT Rakennus Oy can now consider whether they want to develop and engage the machine control system also for pile driving. It is not yet financially profitable, but it may bring new opportunities for the development of construction, innovations and especially pile driving.</p>	
Keywords	Machine control system, pile driving, satellite positioning

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Yrityksen esittely	1
2	Lyöntipaalutus	1
2.1	Paalut	2
2.2	Paalutuskone	5
2.3	Paalujen pituuksien määrittäminen	7
2.4	Mittaustyö lyöntipaalutuksessa	8
3	Koneohjaus	10
3.1	Koneohjaus yleisesti	10
3.2	Tietomallinnus	11
4	Satelliittipaikannus	13
4.1	Yleisesti	13
4.2	Mittaustavat	14
4.2.1	Absoluuttinen paikanmäärittäminen	14
4.2.2	Differentiaalinen paikanmäärittäminen	14
4.2.3	Suhteellinen paikanmäärittäminen	15
5	Koneohjaustekniikka paalutuskoneessa	16
5.1	Scanlaser – Leica Geosystems	17
5.2	Novatron Oy	20
5.3	Topgeo	21
6	Käytännön toimivuus	23
6.1	Järjestelmän toimivuus	23
6.2	Mittausrvirheet	24
6.3	Käyttökokemukset	24
6.3.1	Niskasen Maansiirto Oy	24
6.3.2	YIT:n stabilointikoneet	25
7	Taloudelliset vaikutukset	27
7.1	Mittamiehen kustannukset	27

7.2	Koneohjausjärjestelmän kustannukset	28
8	Päätelmät	29
8.1	Kehitysideat	30
8.1.1	Paalupituuksien tarkempi arviointi	30
8.1.2	Pilottihanke	31
8.1.3	Paalujen tarkemmittaus ja katkaisukorkeuksien merkkäminen	31
	Lähteet	33

1 Johdanto

Insinööriyön aihe on peräisin YIT Rakennus Oy:n Infrarakentamisen lyöntipaalutusyksikön tarpeesta selvittää onko Suomessa koneohjausjärjestelmiä, jotka soveltuisivat lyöntipaalutukseen. Työssä perehdytään yleisesti koneohjaukseen, laitevalmistajien markkinoilla oleviin järjestelmiin sekä erilaisiin mittaustapoihin. Lisäksi työn tarkoituksena on selvittää, mitä taloudellisia vaikutuksia koneohjausjärjestelmästä on lyöntipaalutukseen. Koneohjaustekniikka on ollut yrityksellä käytössä jo muissa työlajeissa, mutta lyöntipaalutukseen sitä ei ole vielä hankittu. Yksi syy, miksi koneohjaus ei ole vielä paalutuskoneisiin tullut on se, että Suomessa markkinoilla ei ole ollut täysin toimivaa koneohjausjärjestelmää paalutuskoneisiin. Koneohjauksen yleistyminen maanrakennuskoneissa ja maanrakennuksen suunnittelu entistä enemmän tietomalleja apuna käyttäen ovat luoneet paineita kehittää perinteisiä työvaiheita entistä koneellisemmiksi.

1.1 Yrityksen esittely

YIT Rakennus Oy on osa YIT-konsernia ja toimii edelläkävijänä niin asunto-, toimitilakuin infrarakentamisessakin. YIT:llä on toimintaa seitsemässä maassa, työllistäen yli 6000 henkilöä. [4.]

Suomessa YIT on toteuttanut jokaisella toimialueellaan monia suuria hankkeita, joissa se on usein käyttänyt hyödykseen moniosaamistaan. Infrarakentamisen saralla YIT:n etuina ovat monipuolinen osaaminen ja oma erikoiskalusto vaativissa rakennuskohteissa, kuten pohjanvahvistusta vaativissa olosuhteissa. [4.]

YIT:llä ollaan kiinnostuneita uusista tekniikoista, joita rakennusalalla voidaan hyödyntää. YIT:llä halutaan olla kehityksen kärkijoukossa ja toimia edelläkävijänä. Koneohjaus on kiinnostanut YIT:llä, ja monissa maanrakennuskoneissa koneohjauksen järjestelmiä on ollut käytössä jo pitkään.

2 Lyöntipaalutus

Paalutus on pohjarakentamista, jossa rakenteet perustetaan paalujen varaan. Paalutuksen tarve perustuu heikosti kantavaan maaperään. Paalutuksen perustana ovat

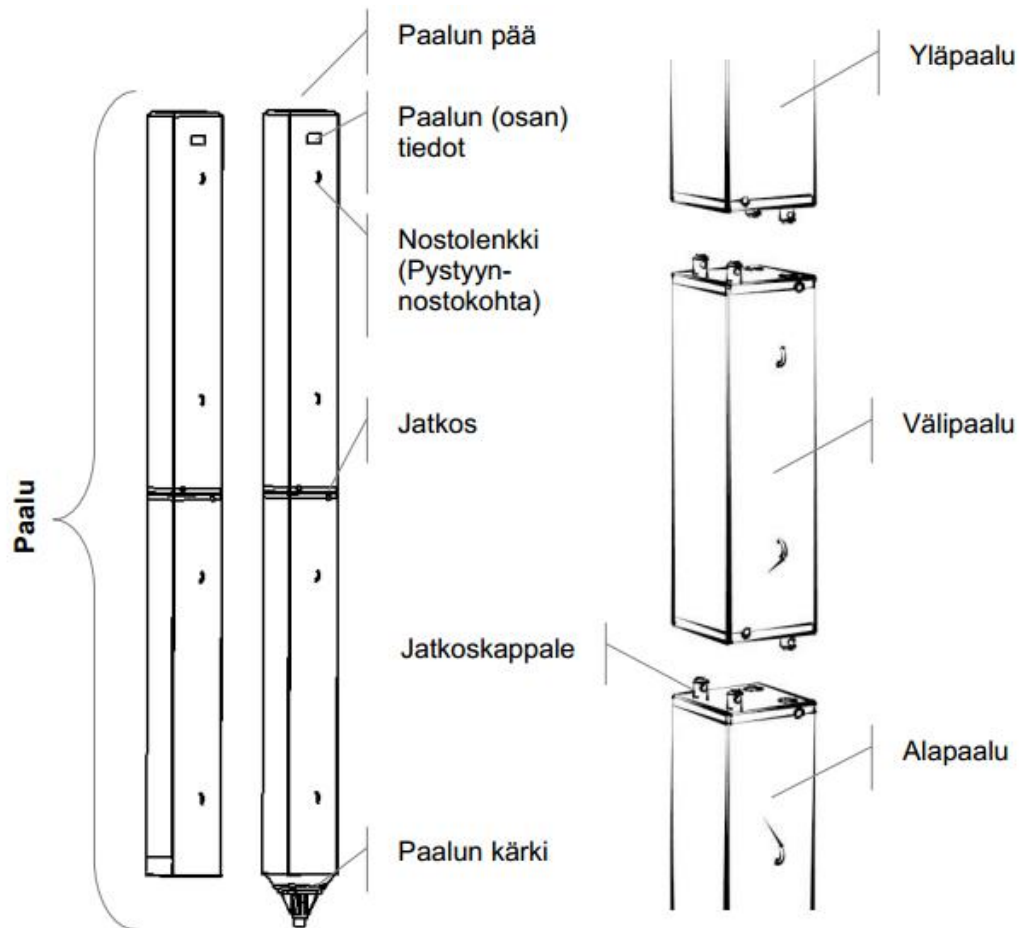
usein pohjatutkimukset, joissa alustavasti määritetään paalutuksen tarve ja paalujen tyyppi.

Paaluja voidaan asentaa joko lyömällä, poraamalla tai kaivamalla. Tässä työssä käsitellään lyömällä asennettavia paaluja, mitä kutsutaan toimintana lyöntipaalutukseksi.

Lyöntipaalutuksella tarkoitetaan paalutusta, jossa paalua lyödään maakerrosten läpi kantavaan maaperään tai kallioon. Tällöin paaluista käytetään termiä tukipaalut. Paalut voidaan myös mitoittaa niin, että ne lyödään määräsyyvyteen ja paalujen kantavuus syntyy paalun vaipan ja maakerroksen välisestä kitkasta. Tällöin paaluista käytetään termiä kitkapaalut. Nykyaikana käytössä ovat lähinnä teräsbetoni- ja teräsputkipaalut. [1.]

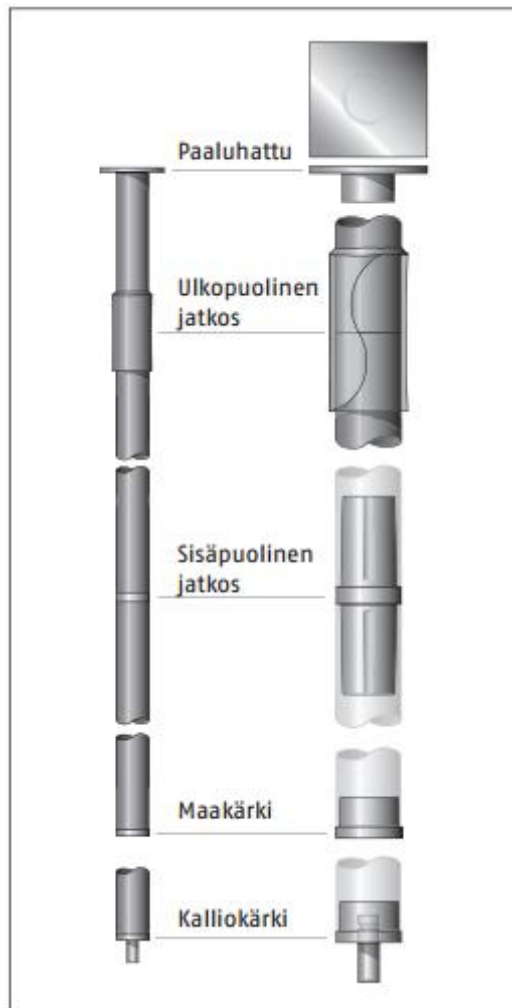
2.1 Paalut

Tässä työssä paalutuksesta puhuttaessa tarkoitetaan lähinnä teräsbetoni- ja teräsputki-lyöntipaalutusta, ja viitataan niihin soveltuvaan kalustoon. Yleisimmät teräsbetonipaalut ovat Suomessa kooltaan 250x250mm, 300x300mm ja 350x350mm. Tällaisten paalujen lyömiseen käytetään kalustona paalutuskonetta, jossa on yleensä 5 tai 7 tonnin vaapaasti putoava järkäle. Vastaavalla kalustolla pystyy paaluttamaan halkaisijaltaan noin 170 mm - 600 mm teräsputkipaaluja. Urakoitsijoilla ja eri konemerkeillä voidaan todeta pieniä eroja työtavoissa ja kalustoissa. [1.]



Kuva 1. Teräsbetonipaalun rakenne [1]

Teräsbetonipaalut koostuvat kärjestä ja itse paalusta. Paalun kärki voi olla joko maakärki tai kalliokärki. Yleisimmissä paalutustyypeissä 3-15 -metriset paalut ovat yksimitaisia ja niitä pidemmät joudutaan tekemään kahdesta tai useammasta osasta. Kun paalua jatketaan, tehdään väliin jatkos lyömällä kiilat jatkoskappaleeseen.



Kuva 2. Teräsputkipaalun rakenne [2]

Teräsputkipaalu koostuu niin ikään kärjestä ja itse paalusta. Myös teräsputkipaalujen kärjet voidaan suunnitella joko kallio- tai maakärkinä. Lisäksi teräsputkipaaluihin voidaan käyttää paaluhattua, johon yläpuoliset kuormat jakaantuvat. Paalut, koosta riippuen, tehdään yleensä joko kuuden tai kahdentoista metrin osissa. Paalujen jatkaminen tapahtuu joko ulko- tai sisäpuolisella holkkijatkoksella tai hitsaamalla putkisaumat yhteen. Teräsputkipaaluja on markkinoilla huomattavasti laajempi valikoima kuin teräsbetonipaaluja. Teräsbetonipaaluja on halkaisijaltaan erikokoisia ja seinämäpaksuudeltaan hyvin suuri valikoima, jotta pystytään mahdollisimman hyvin valitsemaan eri putkityyppi rakennustarpeen mukaan.

2.2 Paalutuskone

Paalutuskone koostuu 360 astetta pyörivästä ylävaunusta, tela-alustaisesta alavaunusta sekä keilistä. Keiliä voidaan kallistaa koneesta katsottuna eteen ja taakse sekä molemmille sivuille. Tasapainon takia keiliä yleensä pyritään kallistamaan suoraan taaksepäin, jolloin kone pysyy mahdollisimman vakaana. Alla olevassa kuvassa 3 on Suomessa yksi suosituimmista paalutuskoneista oleva konemalli, Junttan PM 20 Lc. [3.]



Kuva 3. Paalutuskoneen rakenne [3]

Paalutuskoneessa tärkeimpiä teknisiä osia ovat jo mainittu keili, järkäleen ja paalun vaijerit sekä tietysti itse järkäle. Vaijerit on turvallisuussyistä syytä vaihtaa tietyin väliajoin, koska ne joutuvat suurille rasituksille. [3.]



Kuva 4. Kuvassa paalutuskoneen takaosassa oleva säädettävä vastapaino, jonka avulla paalutuskone pysyy vakaana, kun paaluja joudutaan kallistamaan tai kurottamaan.

Paalutuskoneen järkäleen alaosassa sijaitsee lyöntiosa, johon paalun yläpää pystyyn nostaessa asetetaan. Tätä pesää, johon paalu asettuu, kutsutaan renuksi. Renun sisällä käytetään iskutyynyä, joka on usein koivusta tai koivuvanerista valmistettu noin kymmenen senttiä korkea levy. Tämän tehtävä on vaimentaa järkäleen aiheuttamaa kuormaa ja estää paalun päätä hajoamasta.



Kuva 5. Kuvassa renun sisällä oleva iskutyyny, joka vaimentaa paalun päähän tulevaa iskuä.

Paalutuskonetta kuvaillessa on tärkeää muistaa myös ohjaamo, jossa suurin työ tapahtuu. Paalutuskoneen kuljettajan työ on haastavaa ja tarkkaa. Kyseessä on erittäin raskas kalusto ja pidemmät paalutkin painavat useita tonneja, joten kuljettajan on käsiteltävä konetta hallitusti. Ohjaamon hallintalaitteita on paljon; erilaiset mittarit ja näytöt ovat oleellisia kuljettajan tukia.

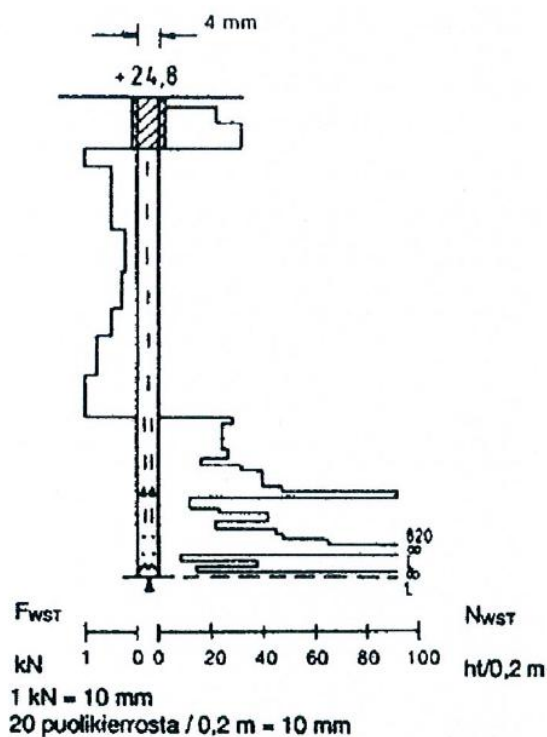


Kuva 6. Kuvassa havainnollistetaan kuinka paalu asettuu rennuun.

2.3 Paalujen pituuksien määrittäminen

Paalujen pituudet määräytyvät pohjatutkimusten mukaan. Paalujen pituuteen vaikuttaa suuresti se, suunnitellaanko paalut tuki- vai kitkapaaluiksi. Tukipaalut lyödään aina tiukkaan maakerrokseen eli yleensä moreeniin tai kallioon asti. Kitkapaaluja suunnitellaan yleensä kohteisiin, joissa tiivis maakerros on hyvin paksu, mutta kallioon olisi suhteettoman suuri matka. Näin paaluille saadaan kantavuus jo kitkan avulla.

Pohjatutkimuksia tehdään erilaisilla kairaus- ja porausmenetelmillä. Painokairaus on yleisin pohjatutkimusmenetelmä, jolla pyritään selvittämään pohjaolosuhteet. Pohjaolosuhteilla tarkoitetaan maaperän ominaisuuksia, esimerkiksi eri maalajien kerrospaksuuksia ja sijainteja, sekä tietoa kallion pinnasta ja mahdollisesti myös laadusta. Ongelma kairausmenetelmissä usein on, että kairaukset päättyvät herkästi kiviin, jolloin täsmällistä tietoa kallion pinnasta tai kairauspisteestä ei saada. Tällaisissa kohteissa, joissa on paljon kiviä, kallion pinta kannattaakin tarkistaa poraamalla. Näin saadaan paremmalla varmuudella selville, kuinka syväälle paalut tunkeutuvat. Poraukseen haitta-
puolena voidaan pitää sen kustannuksia, jotka ovat huomattavasti korkeammat kuin kairausmenetelmät.



Kuva 7. Kuvassa esimerkki painokairauskuvaajasta. Kuvaajan perusteella arvioidaan kuinka syväälle paalut tunkeutuvat ja minkälaisia maakerroksia on kyseessä. [7]

Paalujen oikean pituuden arvioinnista tekee vaikeaa se, että pohjatutkimuksia tehdään yleensä noin 20 metrin välimatkoin tai jopa harvemmin. Maaperässä voi olla tällä välin suuriakin muutoksia.

2.4 Mittaustyö lyöntipaalutuksessa

Mittaustyö on suuressa roolissa paalutustyössä. Paalutustyössä paalujen paikat mitataan ja merkataan ennen paalujen lyömistä. Paalutuksen jälkeen mitataan paalujen

toteutunut sijainti ja merkitään katkaisutaso. Mittamiehen rooli on tärkeä, jotta sijaintipoikkeamat pysyvät toleransseissaan. Paalun sijaintitoleranssi on yleensä kymmenen senttimetriä riippuen hieman suunnitelmista ja tulevista rakenteista. Paalujen katkaisukorko pitää olla 1-2 senttimetrin sisällä oikeasta katkaisukorosta.

Mittaustyön sujuvuus heijastuu suoraan myös paalutustyön sujuvuuteen. Mikäli mittaus takkuilee tai mittamies ei ole jostain syystä merkinnyt tarpeeksi paalujen paikkoja, saattaa paalutustyö keskeytyä.

Paalumittauksessa tällä hetkellä käytetään pääosin takymetriä, joka asemoidaan tunnettujen pisteiden avulla. Tämän jälkeen mittamies sitoo takymetrin sijainnin omaan koordinaatistonsa omien tartuntapisteidensä avulla. Näin mittamies varmistaa, että työkoneiden hävittäessä maastoon merkityt kulmapisteet, löytyvät häneltä omat tartuntapisteet, jotta työskentely tapahtuu jatkuvasti samassa koordinaatistossa.

Ennen töiden aloitusta mittamies muuntaa rakennesuunnittelijan antamat suunnitelmat omiin koordinaatistoihinsa sopivaan muotoon.



Kuva 8. Kuvassa mittamies mittaa ja merkitsee paalun paikan perinteisellä takymetrimittauksella.

3 Koneohjaus

3.1 Koneohjaus yleisesti

Koneohjaus tarkoittaa koneohjausjärjestelmää, jossa sähköisten suunnitelmien ja satelliittipaikannuksen avulla järjestelmä ohjaa tai opastaa konetta työskentelemään. Koneohjausjärjestelmä sisältää koneeseen liitettävät anturit, näyttöpäätteen ja satelliittiantennit. [8, 9, 10.]

Koneohjauksen päätarkoituksena on se, ettei mittauksessa tarvitsisi suorittaa perinteistä maastoon merkintää. Tällöin mittaus nopeutuisi, mittaajan työtehtävät muuttuisivat ja itse työn tekeminen nopeutuisi, helpottuisi ja tulisi sitä kautta kustannustehokkaam-

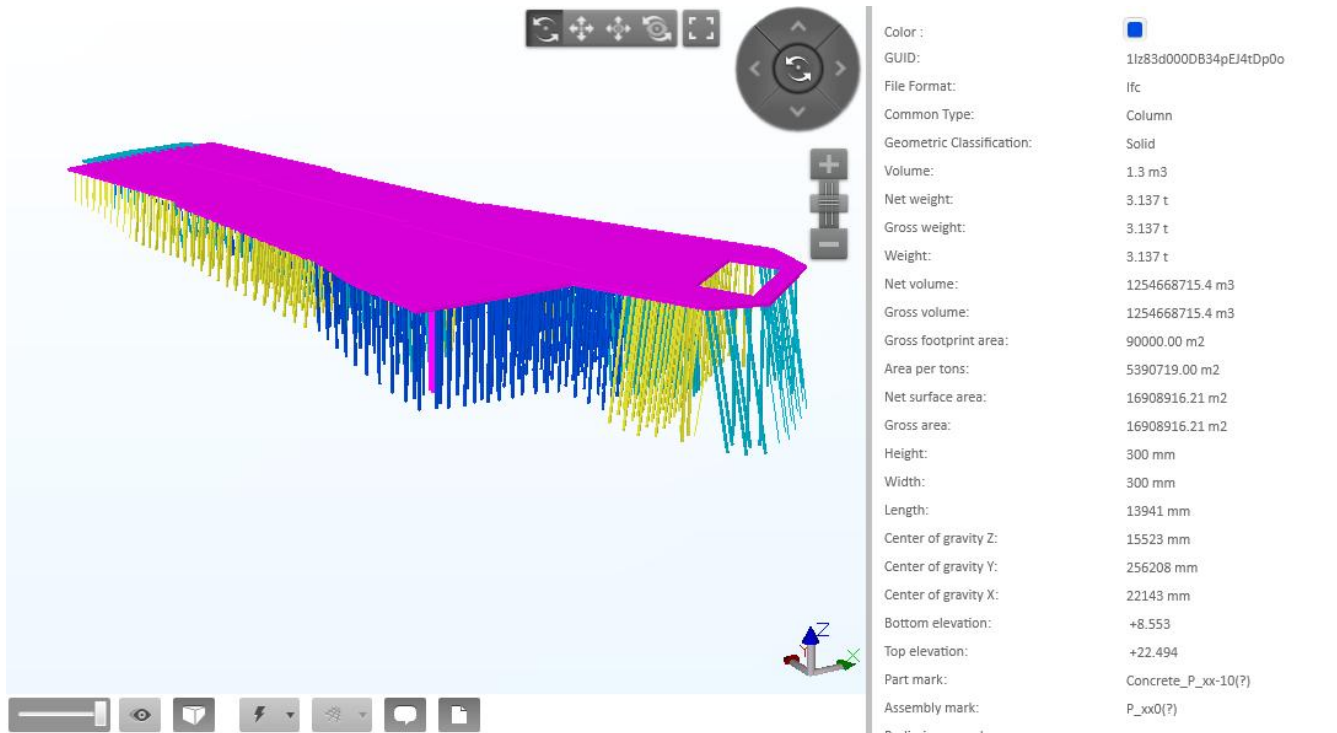
maksi. Jotta tähän tavoitteeseen päästään, on järjestelmän toimittava moitteitta, satelliittipaikannuksen oltava luotettavaa ja koneen käyttäjien osaavia koneohjausjärjestelmän käyttäjiä.

Nykyaikana useilla isoilla projekteilla on ollut kannusteita koneohjaukseen ja joissakin projekteissa se on ollut jopa edellytyksenä urakan suorittamiseen [8, 9, 10.]

3.2 Tietomallinnus

Koneohjauksen perustana ovat sähköiset suunnitelmat eli tietomallit. Tietomalli ei ole pelkkä sähköinen piirustus, vaan siinä on tietoa rakenteista, materiaaleista ja jopa hinnoista. Tietomallien avulla pyritään hallitsemaan koko rakennusprojektin elinkaari digitaalisessa muodossa. Tietomallinnus eroaa tavallisesta 3D-mallinuksesta niin, että malliin voidaan sisällyttää rakenneosien tietoja. Maanrakennuksen koneohjaustietomalleissa voi olla tietoja esimerkiksi rakennekerroksien materiaaleista. Koneohjauksessa tietomalleina käytetään usein erilaisia pintamalleja, joiden tukena ovat perinteiset piste- ja paikkatiedot. [6, sivu 3.]

Tietomallinnuksessa on tärkeää, että etukäteen on yleisesti sovittu käytettävät tiedostomuodot, jotta eri alojen suunnitelmat saadaan ongelmitta yhdistettyä. Näin tiedonsiirtotapahtumia on vähemmän, toiminta on selkeämpää ja sitä kautta tehokkaampaa. Käytännön hankkeissa usein käytetty tiedostomuoto on pitkään ollut DWG-muoto, jota yleisimmät piirustus- ja mittaohjelmat tukevat. Yksi tietomallintamisen yleistyvää tiedonsiirtoformaatti on IFC-muoto, johon saadaan sisällytettyä esimerkiksi eri rakenneosien tietoja. [6, sivu 37.]



Kuva 9. Kuvassa esimerkki paalulaatasta, joka on IFC-muodossa.

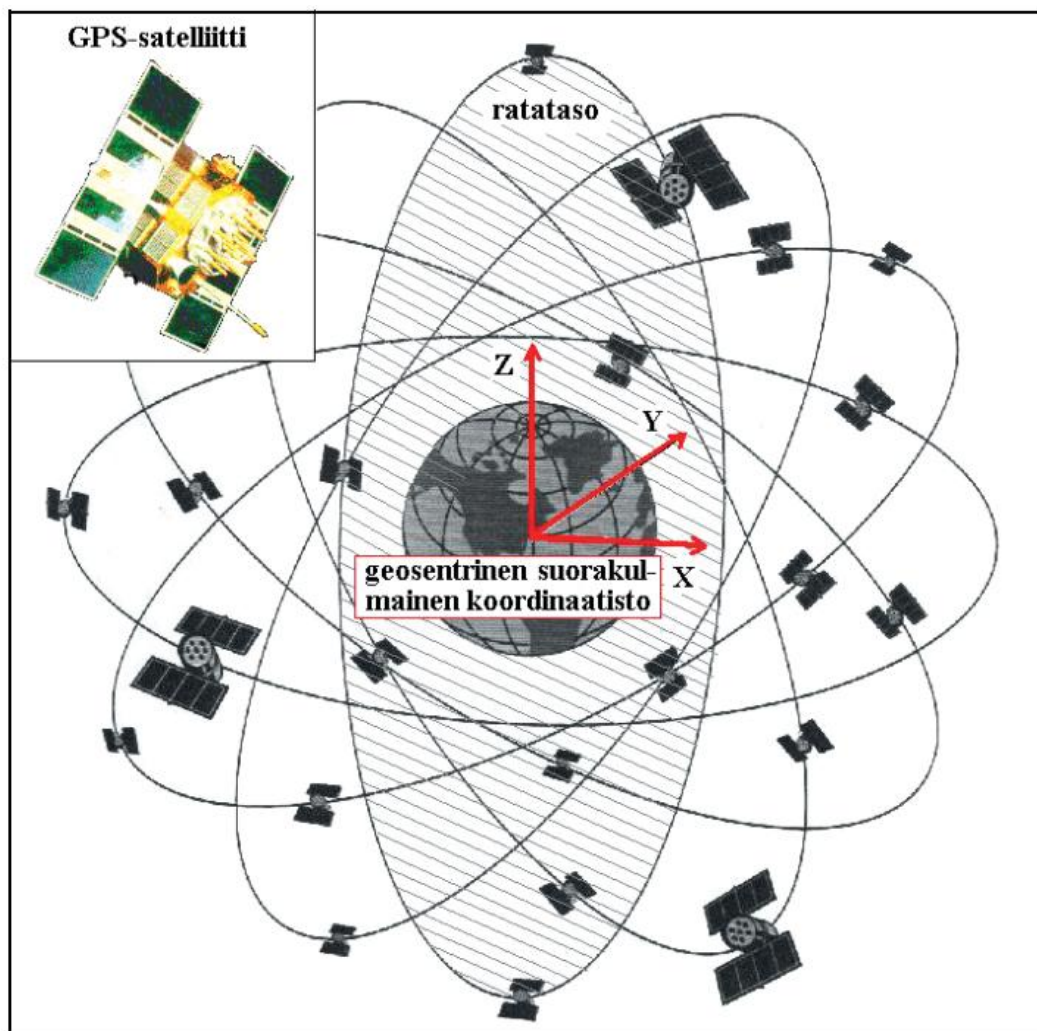
Kuvassa 9. havainnollistetaan minkälaisia näkymiä tietomallista voi olla. Kyseinen tietomallinäkö on Teckla BIMsight -ohjelmasta. Kuvassa näkyy paalulaatta, jota voi tarkastella eri kuvakulmista. Oikeassa laidassa on valikkonäkymä, jossa on yhden valittuna olevan paalun tiedot. Tiedoista löytyvät esimerkiksi paalun koordinaatit, paalun koko sekä materiaalitietoja.

Lyöntipaalutuksessa tietomallinnuksesta on erityisesti hyötyä silloin, kun tietomallista löytyvät paalukarttojen lisäksi tiedot putkilinjojen, kaapeleiden ja mahdollisten kaasuputkien sijainneista. Tällöin, mikäli suunnitteluvaiheessa ei kiinnitetä huomiota esimerkiksi kaapeleiden sijaintiin tai paalu lyödäänkin suunnitelmista poiketen, paalutuskooneen kuljettaja pystyy tarkistamaan työvaiheessa, onko paalun tiellä esteitä. Tällaisissa tapauksissa olisi myös hyvä, että koneohjausjärjestelmä hälyttäisi, mikäli tietomallissa olisi jokin ristiriita.

4 Satelliittipaikannus

4.1 Yleisesti

Satelliittipaikannuksesta puhuttaessa käytetään yleensä termiä GPS, joka tulee sanoista *Global Positioning System*. Se on amerikkalaisten sotilaskäyttöön kehittämä paikannusjärjestelmä, joka vapautui siviilikäyttöön 1960-luvun lopulla. Muita satelliittipaikannusjärjestelmiä ovat venäläisten kehittämä Glonass ja eurooppalaisten kehittämä Galileo. Yleisesti eri maiden paikannusjärjestelmistä koostuvasta satelliittijärjestelmästä voidaan käyttää termiä GNSS (*Global Navigation Satellite System*). [5, sivu 280.]



Kuva 10. Havainnekuva GPS-järjestelmästä ja sen koordinaatistosta. [5, sivu 283]

Satelliittipaikannuksen toiminta perustuu vastaanottimen ja satelliitin välisen etäisyyden mittaamiseen. Jotta paikannuksesta saadaan riittävän tarkka ja luotettava tieto, on vastaanottimen saatava signaaleja useasta satelliitista samanaikaisesti.

Seuraavassa luvussa on esitetty erilaisia satelliittipaikannuksen mittaustapoja. Näistä maarakennuskoneiden koneohjausjärjestelmiin parhaiten soveltuva on suhteellinen paikanmääritys, joka on mittaustavoista tarkin.

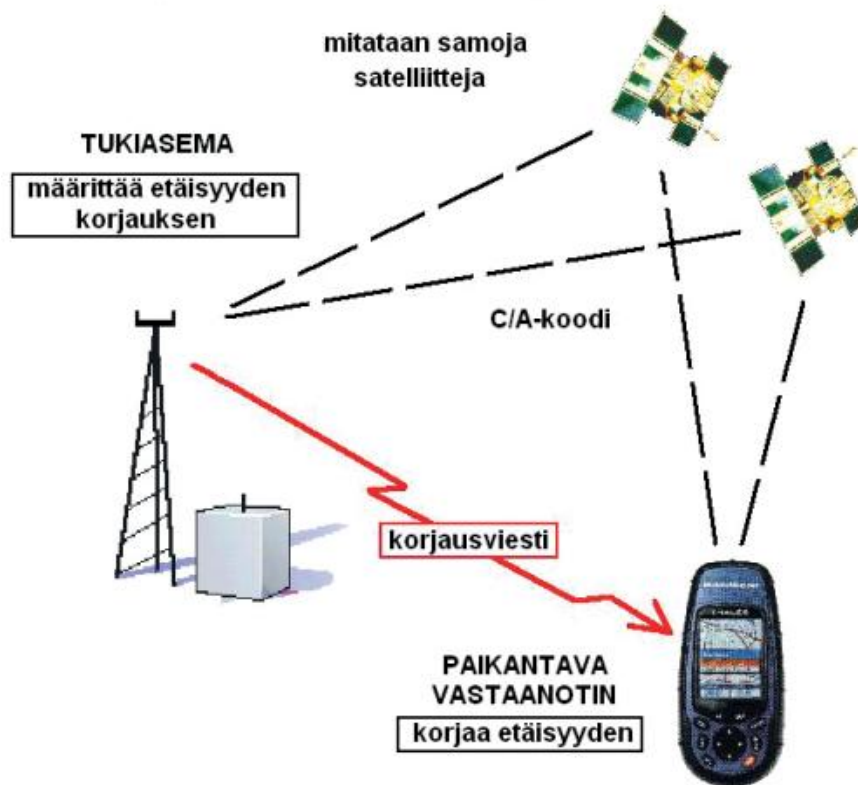
4.2 Mittaustavat

4.2.1 Absoluuttinen paikanmääritys

Absoluuttinen paikanmääritys on yksinkertaisin satelliittipaikannuksen menetelmä. Siinä sijainti lasketaan suoraan satelliittien avulla. Paikannus perustuu viivytystekniikkaan, jossa mitataan C/A-koodia käyttämällä signaalin kulkema matka ja siihen kulunut aika. Jotta päästään mahdollisimman tarkkaan sijaintiin, tarvitaan signaali vähintään neljästä satelliitista. Absoluuttinen paikanmääritys on halvin ja epätarkin paikannusmuoto, koska sillä päästään yleensä noin 5-10 metrin tarkkuuteen. Tämä kuitenkin soveltuu hyvin harrastuskäyttöön ja erilaisiin navigointipalveluihin mittaustavan nopeuden takia. [5, sivu 295-297.]

4.2.2 Differentiaalinen paikanmääritys

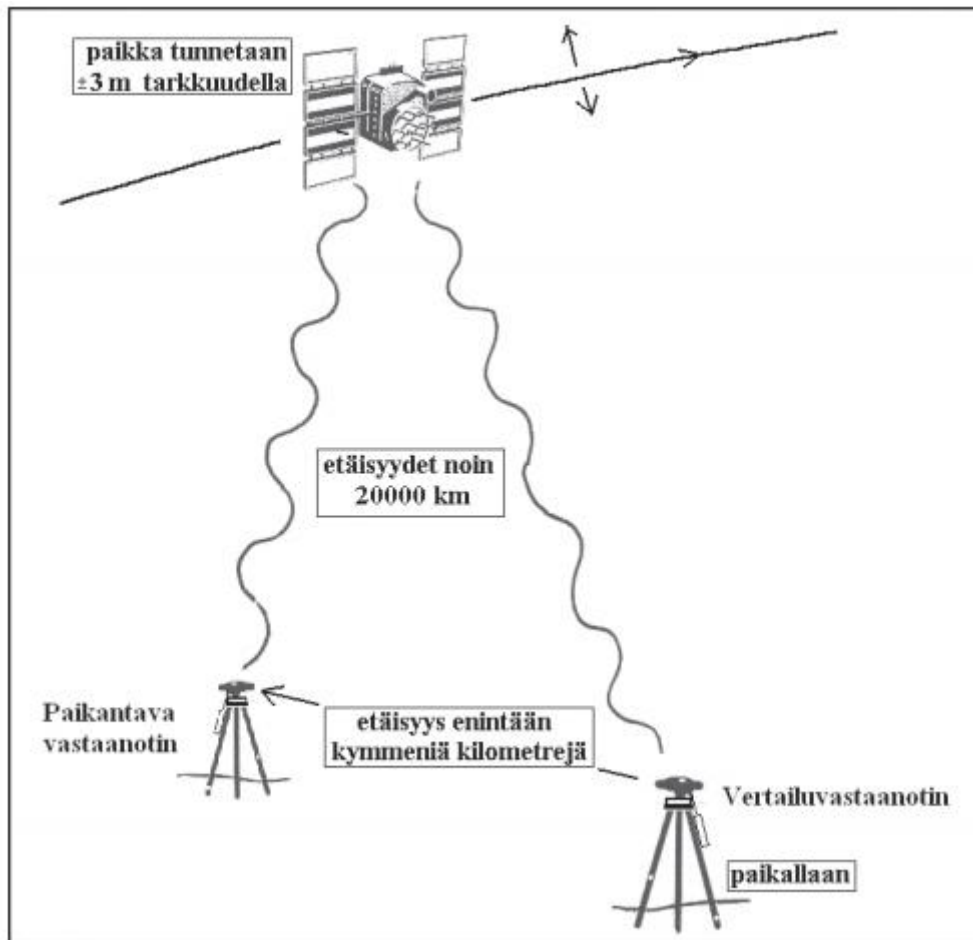
Differentiaalinen paikanmääritys toimii peruseriaatteeltaan samalla tavalla absoluuttisen paikanmäärityksen kanssa, mutta lisäksi siinä parannetaan sijainnin tarkkuutta tukiaseman avulla. Tukiasema sijaitsee tunnetulla pisteellä, jonka avulla pystytään laskemaan C/A-koodin virhe eli etäisyyksiin tehtävä korjaus. Tukiasema lähettää tiedon vastaanottimelle, joka tiedon perusteella pystyy määrittelemään huomattavasti tarkemman sijainnin kuin absoluuttisessa paikanmäärityksessä. Differentiaalisella paikanmäärityksellä päästään noin metrin tarkkuuteen, mikä soveltuu esimerkiksi yleisiin paikkatietojen keruuseen ja ammattimaisen auto- ja meriliikenteen navigointiin. [5.]



Kuva 11. Differentiaalisen paikanmäärityksen periaate [5, sivu 300]

4.2.3 Suhteellinen paikanmääritys

Suhteellinen paikanmääritys perustuu vaihehavaintoihin. Se eroaa absoluuttisesta ja differentiaalisesta paikanmäärityksestä kahdella tapaa. Ensinnäkin etäisyyden mittaukseen suhteellisessa paikanmäärityksessä käytetään kantaaltoa, eikä C/A-koodia. Toiseksi paikannukseen tarvitaan kaksi vastaanotinta. Toinen vastaanottimista toimii paikantavana vastaanottimena ja toinen vertailevana vastaanottimena. [5.]



Kuva 12. Suhteellisen paikannuksen periaate [5, sivu 314]

Suhteellisessa paikannuksessa yleisimmin käytössä oleva sovellus on RTK (*Real Time Kinetic*) -mittaus. Siinä vastaanottimien useilta satelliiteilta saatua etäisyystietoja voidaan laskea reaaliajassa, jolloin saadaan määritettyä erittäin tarkka sijainti.

RTK-mittauksessa tulee olla tiedonsiirtoyhteys vastaanottimien välillä. Yhteys toteutetaan joko radiomodeemin tai matkapuhelinverkon avulla. Näistä kuitenkin yleensä käytetään matkapuhelinverkkoa, koska sillä on parempi kantomatka, jopa 20 kilometriä. [5, sivu 319.]

5 Koneohjaustekniikka paalutuskoneessa

Koneohjaustekniikka on vasta vähän kokeiltu tekniikka paalutuskoneissa. Suomessa on tällä hetkellä yhdessä koneessa käytössä Scanlaserin kehittämä koneohjausjärjestelmä. Järjestelmän perusidea on, että satelliittivastaanottimet on asennettuna paalu-

tuskoneen vaunun peräosaan, josta anturoinnilla saadaan määritettyä paalutuskoneen järkäleen sijainti. Toinen vaihtoehto satelliittivastaanottimien sijainnille voisi olla keilin yläosa. Tällaisia ratkaisuja on käytössä erilaisissa porauskalustoissa. Paalutuskoneissa ei keiliin asennettavaa ratkaisua ole kokeiltu ja sen toimivuudessa on suuria haasteita, sillä vastaanottimet eivät välttämättä kestä suuria värinöitä, joita paalutuksesta aiheutuu. Myös keilin heiluminen vaikeuttaa paalun paikan tarkkaa paikantamista. Tämän takia laitevalmistajien mielestä paras ratkaisu paalutuskoneisiin asennettavalle koneohjausjärjestelmälle olisi nimenomaan kahdella vaunuun asennettavalla satelliittivastaanottimilla ja siitä lähtevällä anturoinnilla varustettua järjestelmää. [8, 9, 10.]

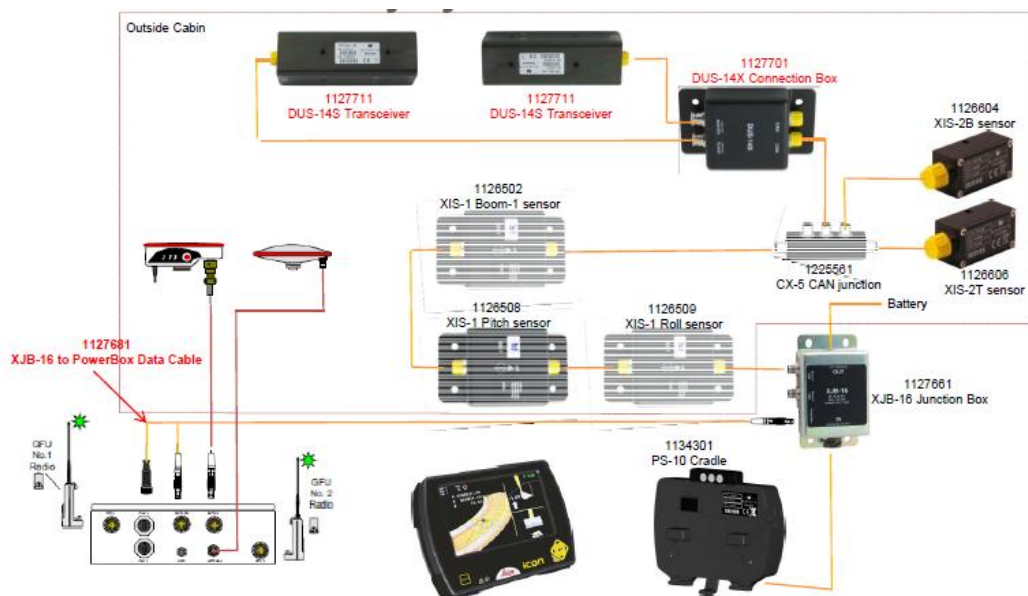
5.1 Scanlaser – Leica Geosystems

Scanlaser (nykyisin Leica Geosystems) on koneohjaukseen ja erilaisiin paikannustekniikoihin erikoistunut toimittaja. Leica Geosystems kuuluu Hexagon konserniin, joka on maailmanlaajuinen 3D-ratkaisujen toimittaja kohteiden suunnitteluun, mittaukseen ja paikannukseen sekä tietojen käsittelyyn ja mallintamiseen. Leica Geosystemsillä on kolmisenkymmentä työntekijää, joista 12 toimii koneohjauksen parissa. [8.]

Scanlaser ja Leica Geosystems yhdistyivät 1.7.2014 Suomessa, jolloin yrityksen viralliseksi nimeksi tuli Leica Geosystems. Scanlaser nimi säilytettiin ja käytetään edelleen koneohjaustoimintoihin liittyvissä asioissa. [8.]

Scanlaserilla on tällä hetkellä Suomen ainoa paalutuskoneisiin suunniteltu koneohjausjärjestelmä markkinoilla. Järjestelmässä on valmis anturointi ja ohjelmisto, joka on räätälöity juuri paalutukseen soveltuvaksi. [8.]

Järjestelmässä satelliittivastaanotin on sijoitettu paalutuskoneen runkoon, josta erilaisilla anturoinneilla saadaan määritettyä järkäleen sijainti. Antureina käytetään kallistusantureita, ultraäänisensoreita ja muita sensoreita, jotka mittaavat koneen asentoja. [8.]



Kuva 13. Järjestelmäkaavio [8]

Paalutuskonekuljettajalle järjestelmässä on suunniteltu kosketusnäyttöinen näyttöpääte, jonka avulla paalutuskoneen kuljettaja pystyy ohjaamaan konetta. Näytössä on erilaisia ominaisuuksia kuten automaattinen pistehaku, eli näyttöpääte, joka kertoo, mistä lähin paalutettava piste löytyy. [8.]

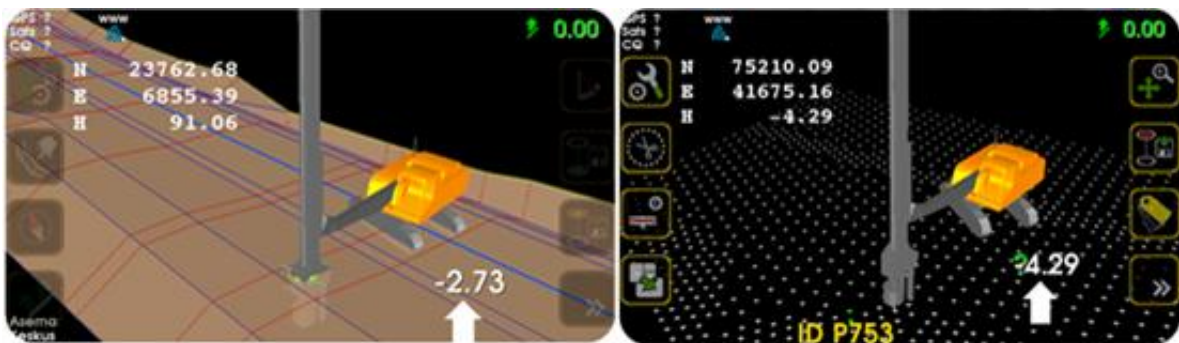


Kuva 14. Paalutusnäkö Scanlaserin koneohjausjärjestelmän näyttölaitteesta. [8]

Kuvassa 14 havainnollistetaan, millainen näkymä paalutuskoneenkuljettajalla on paalutettavasta pisteestä. Paalun teoreettinen sijainti on kuvassa keltainen ympyrä ja sinisellä oleva kertoo paalun sijainnin. Kuvan alalaidassa oleva keltainen nuoli kertoo, mihin suuntaan paalua on siirrettävä. [8.]



Kuva 15. Tässä paalutusnäkyssä on edellisen kuvan näkymä kuvassa oikealla ja vasemmalla yleisnäkyä paalutettavasta alueesta. [8]



Kuva 16. Erilaisia paalutusnäkyviä. [8]

Scanlaserin koneohjausjärjestelmän etuna on valmis ohjelmisto, joka on toiminut hyvin. Ohjelmisto on kehitetty palvelemaan sekä paalutuskoneenkuljettajaa sekä paalutus-työnjohtajaa, jolle ohjelmistossa on tarjolla etäpalvelu paalutuksen seurantaan. Järjestelmä tukee myös useita tiedostomuotoja kuten LandXML, DFX, KOF, XYZ ja txt. Järjestelmästä löytyvät lisäksi yleisimmät koordinaattimuunnokset ja -järjestelmät KKJ, Euref-FIN sekä N60- ja N2000-korkeusjärjestelmät. Työmaalla mitattavan paikallisen muunnoksen käyttäminen on mahdollista tässä järjestelmässä. [8.]

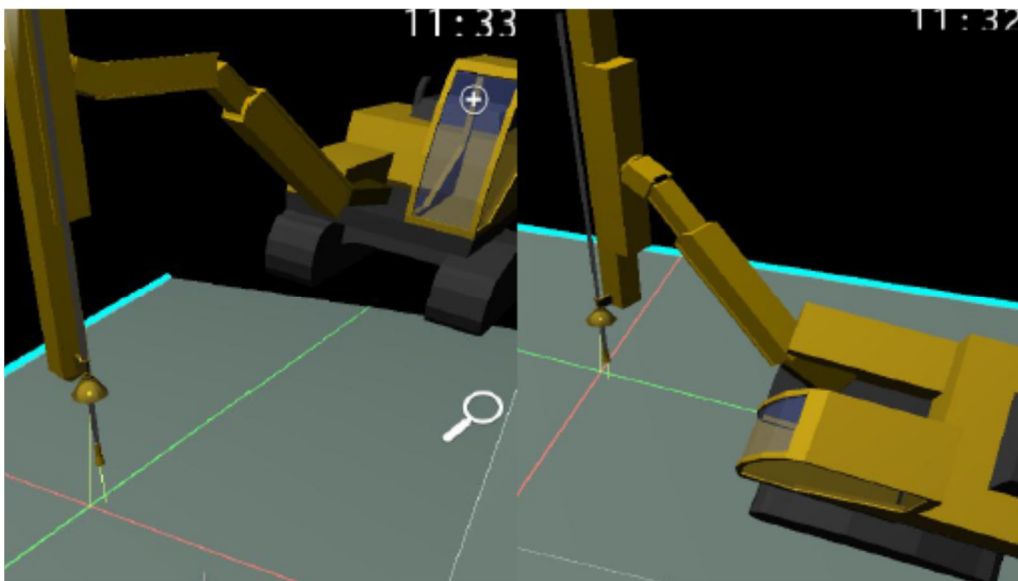
Ongelmana järjestelmässä on vinopaalujen paikannus, jota ei ole vielä saatu kehitettyä. Tekniikka on kuitenkin kehitteillä ja keilän alaosan korkotieto tiedetään. Näin ollen anturointi pitäisi vielä kehittää niin, että paalun korkeusasema tiedettäisiin. Tällainen versio, jossa vinopaalujen lyöminen olisi mahdollista, on kehitteillä, mutta sitä ei ole vielä päästy testaamaan Suomessa. [8.]

5.2 Novatron Oy

Novatron Oy on suomalainen ohjausjärjestelmiä tarjoava yritys. Novatron on keskittynyt erilaisiin paikannus- ja mittausjärjestelmiin sekä ohjelmistoihin, jotka soveltuvat maanrakennuskoneisiin. [9.]

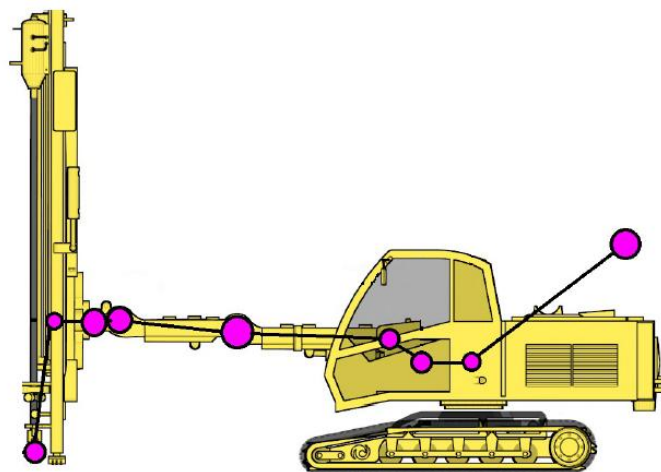
Paalutuskoneisiin soveltuvaa järjestelmää Novatronilla ei ole tällä hetkellä valmiina markkinoilla. Novatronilla on kuitenkin järjestelmä, joka on suunniteltu erilaisiin porauskalustoihin ja sen tekniikkaa hyödyntäen järjestelmä voisi soveltua myös paalutuskoneisiin. [9.]

Järjestelmässä erilaisilla anturoinneilla saataisiin myös paalun korkeustieto paikannettua, joten myös vinopaalujen lyönti olisi mahdollista. Lisäksi paalun sijainti mallinnettaiisiin avaruussuorana, jolloin paalu pystyttäisiin paikantamaan oikeaan vinouteen. [9.]



Kuva 17. 3D-näkymä järjestelmän paalun paikan määrittämisestä ja siitä lähtevästä avaruussuorasta. [9]

Järjestelmän toimivuutta on kuitenkin vaikea arvioida ennen kuin sitä on kokeiltu paalutuskoneessa. Novatronilla ei ole myöskään valmiina ohjelmistoa, joka olisi kehitetty paalutukseen soveltuvaksi, mutta jos paikannus teknisesti onnistuisi kyseisellä anturoinnilla, ohjelmisto tehtäisiin myös paalutukselle soveltuvaksi. Novatronilta löytyy useita ohjelmistoja esimerkiksi kaivinkoneisiin suunnitelluista koneohjausjärjestelmistä, joten ohjelmiston räätälöinti paalutuskoneeseen sopivaksi ei laitevalmistajan mukaan ole ongelma. [9.]



Kuva 18. Pelkistetty mallikuva anturoinnin päämittapisteistä, jotka on suunniteltu porauskalustolle Novatronin kehittämästä koneohjausjärjestelmässä. [9]

Novatronin kehittämä järjestelmä on anturoinniltaan melko samankaltainen kuin Scanlaserin järjestelmä. Järjestelmässä anturointi on toteutettu satelliittivastaanottimilla, kaltevuusantureilla, etäisyysmittareilla ja muilla antureilla. Novatronin järjestelmässä olisi valmius vinopaalujen lyöntiin, mikä tapahtuu laserilla toimivien antureiden avulla, mutta myöskään tätä Novatron ei ole testannut Suomessa. [9.]

5.3 Topgeo

Topgeo Oy on mittaukseen, paikantamiseen ja koneohjaukseen erikoistunut yritys. Topgeo Oy kuuluu Topcon Corporation konserniin, joka on mittausalan suurimpia laitevalmistajia. Topgeo on pitkän linjan maanmittaus- ja rakennusmittauslaitteiden maahantuoja sekä ohjelmistojen kehittäjä.

Paalutuskoneisiin soveltuvaa koneohjausjärjestelmää ei Topgeolla tällä hetkellä ole, eikä sellaista tällä hetkellä ole kehitteilläkään. Topgeolla on yhteistyötä porauslaitteisiin suunniteltuihin koneohjausjärjestelmävalmistajiin, joten heidän laitteitaan hyödyntäen voisi paalutukseenkin soveltuva järjestelmä olevan mahdollinen. Haasteelliseksi tässäkin tulee se, ettei laitteistoja olla kokeiltu paalutuskoneissa eikä ohjelmistoa ole valmiina. [10.]

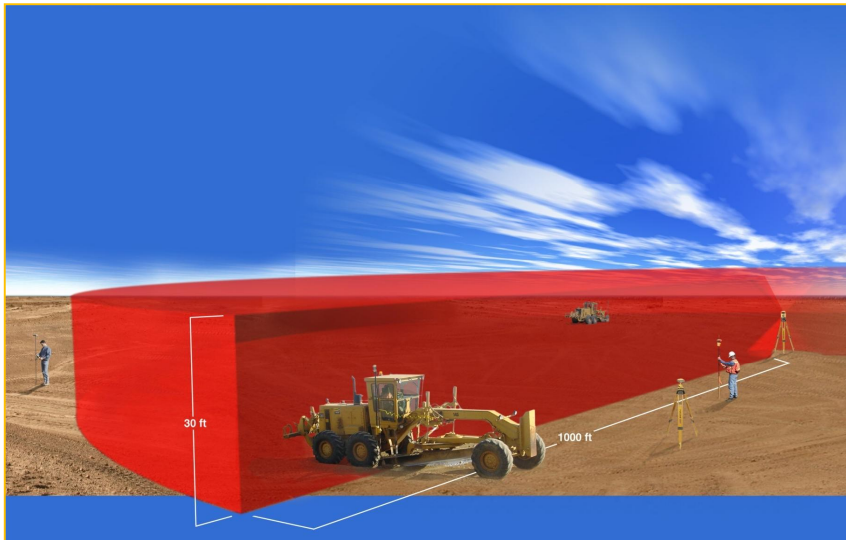
Topgeolla olisi markkinoilla mittaustekniikka, joka mahdollistaisi korkeustiedon jopa yhden senttimetrin tarkkuuteen. Järjestelmässä satelliittivastaanottimeen yhteydessä

on myös laservastaanotin, jolloin tunnetussa pisteessä oleva laserlähetin lähettää laseria vastaanottimelle ja satelliittivastaanotin vastaanottaa sekä satelliittisignaalia että korjausviestin tukiasemalta. Tekniikka edellyttäisi luonnollisesti näköyhteyttä laserlähettimen ja -vastaanottimen välillä ja etäisyys lähettimen ja vastaanottimen välillä saisi olla maksimissaan 250 metriä. Tämä tekee tekniikan hyödyntämisestä paalutustyömailla haasteellisen. [10.]



Kuva 19. Kuvassa tiehöylässä käytössä oleva satelliittivastaanotin laservastaanottimella. Kuvan etualalla on laserlähetin. [10]

Tekniikka on ollut ulkomailla käytössä esimerkiksi tiehöylissä ja muissa maarakennuskoneissa. Mittaustekniikalla on päästy hyvinkin tarkkoihin tuloksiin nimenomaan korkeustiedon suhteen, joka on etuna esimerkiksi teiden rakennekerroksia tehdessä. [10.]



Kuva 20. Havainnollistava kuva laserlähettimen toiminta-alueesta ja käytännön toteutuksesta. [10]

Paalutuksessa tekniikalla avulla voitaisiin merkata suoraan paalun katkaisukorke, jolloin mittamieheltä jäisi yksi työvaihe pois. Katkaisukoron merkkäminen siirtyisi paalutuskoneen apumiehelle, mutta se olisi työn etenemisen kannalta kuitenkin tehokkaampaa eikä vaatisi erillistä mittaamista. Tekniikalla saataisiin myös vinopaalujen paikannukseen tarkempi sijaintitieto, sillä korkeustieto olisi tarkempi. [10.]

6 Käytännön toimivuus

6.1 Järjestelmän toimivuus

Yleisesti ottaen on vaikea arvioida, kuinka hyvin koneohjausjärjestelmä toimii paalutuskoneessa. Laitevalmistajilla on erilaisia anturointeja ja ohjelmistoja, joiden toimivuutta ei ennen järjestelmän asentamista paalutuskoneeseen tiedetä. Paalutuskone on raskas työkone, joka paaluttaessaan aiheuttaa suuria värinöitä, jolloin myös tekniikka on kovalta koetuksella. Anturoiden on oltava toisaalta herkkiä, koska puhutaan senttimetrien tarkasta työstä, ja toisaalta kestävä tuansien kiloijen aiheuttamat värinät.

6.2 Mittausvirheet

Mittausvirheitä paalutuskoneessa olevassa koneohjausjärjestelmässä tulee luonnollisesti satelliittipaikannuksesta, jonka laitevalmistajat kertovat eri korjausmenetelmillä olevan parhaimmillaan noin 1-2 cm tasossa eli xy-koordinaateissa. Satelliittipaikannuksen aiheuttaman virheen suuruus on melko sama riippumatta siitä, käytetäänkö verkkokorjauspalveluita vai paikallista tukiasemaa. Paikallista tukiasemaa käytettäessä virhe on teoriassa pienempi kuin verkkokorjausta käytettäessä. Paikallista tukiasemaa käytettäessä on kuitenkin muistettava, että mittamies tekee itse paikallisen muunnoksen ja asemoi tukiaseman. Näin ollen asemointi on tehtävä tarkasti, jotta virhe ei kertaannu lopullisen pisteen sijaintiin. [8, 9, 10, 11.]

Sääolosuhteilla ei ole juurikaan vaikutusta satelliittipaikannuksen virheeseen. Erilaiset maaston esteet kuten tiheät metsät tai korkeat rakennukset, jotka estävät esteettömän yhteyden satelliittien ja vastaanottimen välille, saattavat hetkellisesti aiheuttaa virhettä. Myös erilaisten pintojen heijastukset saattavat hetkellisesti vaikuttaa paikannustarkkuuteen. [5, sivu 311-312.]

Mittausvirhettä aiheutuu myös koneen anturoinnista. Tämä virhe pystytään kuitenkin tarkalla koneen mittaamisella ja antureiden hyvällä asennuksella minimoimaan alle yhteen senttimetriin. Mitä vähemmän antureita on, sitä vähemmän virhettä syntyy. Paalutuskoneessa, jossa on runsaasti liikkuvia osia ja akseleita, joudutaan antureita käyttämään paljon, jotta paalu saadaan paikannettua mahdollisimman hyvin. Yksi virhettä synnyttävä anturi esimerkiksi Scanlaserin järjestelmässä on keililin etäisyyttä koneesta mittaava infrapuna-anturi, joka lisää virhettä noin yhden millimetrin metrin matkalla. [8.]

6.3 Käyttökokemukset

6.3.1 Niskasen Maansiirto Oy

Niskasen Maansiirto Oy:llä on ollut käytössään noin vuoden verran Scanlaserin koneohjausjärjestelmä paalutuskoneessaan. Järjestelmää ei ole kuitenkaan kovinkaan monella työmaalla käytetty. Paalutustyönjohtajan mukaan järjestelmä on toiminut hyvin silloin kuin sitä on käytetty ja tarvittava tarkkuus on paaluilla saavutettu. Ongelmana on kuitenkin edelleen ollut korkotiedon puutteellisuus, joka hankaloittaa työskentelyä ja edellyttää perinteisen täkymetrimittauksen tarvetta. Vähäisen käytön syy on myös ollut

omat resurssit kehittää järjestelmää, joten on tyydytty mittamaan toistaiseksi vielä perinteiseen tapaan. [11.]

Työmailla joilla koneohjausta on käytetty, on paikannuksessa käytetty pääsääntöisesti verkkokorjauspalvelua, joka on toiminut moitteitta. Yhdellä työmaalla on käytetty myös paikallista tukiasemaa, jolloin paikannustarkkuus oli samaa luokkaa kuin verkkokorjaukseen käytettäessä. Mitään virallista vertailua ei kuitenkaan ole tehty verkkokorjauksen ja paikallisen tukiaseman välillä. [11.]

Mittausvirhettä järjestelmässä, satelliittipaikannuksen lisäksi, tulee säännöllisesti siitä, että järjestelmässä paalunsijainti on anturoinnilla saatu sidottua paalutuskoneen lyöntiosan keskelle. Lyöntiosa, esimerkiksi 300x300 paalua lyötäessä, on mitoiltaan 320x320, joten paalulla on muutaman senttimetrin liikkumavara, mikä vaikuttaa mittaustarkkuuteen. [11.]

6.3.2 YIT:n stabilointikoneet

YIT:n stabilointikoneissa koneohjausjärjestelmät ovat olleet käytössä jo neljä vuotta. Yhteensä järjestelmiä on kaikissa kahdeksassa koneessa. Järjestelmän toimivuus ja kannattavuus jakaa paljon mielipiteitä stabilointiyksikössä. Stabilointi verrattuna paalutukseen ei ole sijaintitoleransseiltaan aivan niin tarkkaa. Stabilointikoneiden koneohjausjärjestelmän mittaustarkkuus on kaksi senttimetriä, mutta InfraRYL sallii kymmenen senttimetrin toleranssin. Käytännössä kuljettajan mittaustarkkuus sekä ison koneen käsittelytoleranssi vievät tarkkuuden 3-10 senttimetriin. [12, 13.]

Isoimpana ongelmana stabilointiyksikön työnjohtajat, mittamiehet ja koneen kuljettajat kertovat olevan koneohjausjärjestelmän tarkkuuden ja luotettavuuden. Järjestelmä saattaa näyttää näyttöpäätteellä, että yhteys satelliitteihin ja tukiasemiin on hyvä ja paikannus kohdallaan. Kuitenkin, kun tarkistuksia tai tarkemittauksia on tehty, on sijainnissa huomattu jopa metrin heittoja. Useimmiten heitto on johtunut siitä, että stabilointivaiheessa järjestelmä on kadottanut yhteyden satelliitteihin tai tukiasemaan. Järjestelmä vaatisi tällaisissa tilanteissa 10-15 minuutin odottelun, jotta varmistettaisiin, että yhteys on palautunut ja järjestelmä laskenut sijainnin varmuudella uudelleen. Välillä isoja sijaintipoikkeamia on ollut odottelusta huolimatta. Tällaisissa tapauksissa ei ole aina pystytty selvittämään, mistä poikkeamat ovat johtuneet, mikä on vaikuttanut suuresti järjestelmän luotettavuuteen. Myös paikannuksen korkeustiedossa on ollut välillä

suuriakin heittoja. Tämä ei kuitenkaan stabiloinnin kannalta ole niin merkittävää kuin se paalutuksessa olisi, esimerkiksi vinopaaluja lyödessä. [12.]

Yksi syy, miksi yhteys satelliitteihin tai tukiasemaan usein katoaa, ovat ympärillä olevat esteet. Kohteissa, joissa stabiloitavan alueen vierellä on ollut korkeita rakennuksia tai puustoa, on ollut hankaluuksia koneohjausjärjestelmän käytölle. Tällaisissa kohteissa mittauksessa on jouduttu turvautumaan perinteiseen maastoon merkitsemiseen koneohjauksen sijasta.[12.]

Maastoon merkintä on kuitenkin ollut vähäistä ja lähes kaikki työmaat on saatu läpivie-tyä koneohjauksen avulla. Muita syitä tukiasemayhteyden katoamiseen ovat olleet se, että paikallisen tukiaseman radiomodeemi on ollut liian pienellä lähetysteholla; se, että antenni on sijoitettu väärin ja se, että tukiasema ylipäätään on sijoitettu liian kauas. Verkkokorjaavan tukiaseman käyttämisen yhteydessä yhteyskatkokset ovat johtuneet lähinnä matkapuhelinverkon katvealueesta tai ruuhkautumisesta, jolloin dataliikenne on pudotettu puheliikenteen tieltä. Myös tukiaseman päässä pitkään yhteydessä ollut 3G-modeemi on jouduttu mahdollisesti käynnistämään uudelleen noin kuukauden välein. [13.]

Stabiloinnissa satelliittipaikannuksen tarkkuuteen on vaikuttanut lisäksi niin sanottu pistepaikannus. Tällä tarkoitetaan sitä, että asetettaessa kone stabiloitavan pisteen kohdalle, on kone kutakuinkin paikallaan kun viimeisiä senttejä hiotaan kohdalleen. Järjestelmä ei välttämättä tällöin havaitse pientä liikettä, jolloin todellinen sijainti muuttuu. Stabiloinnissa toleranssit ovat sen verran suurempia, ettei asialla ole juurikaan vaikutusta, mutta paalutuksessa vaikutukset voivat muodostua suuriksikin. [12.]

Teoriassa stabilointikoneisiin asennettujen koneohjausjärjestelmien olisi pitänyt vähentää mittamiesten työtä ja tehdä koneen työskentelystä tehokkaampaa. Mittamiesten mukaan varsinkin ensimmäiset järjestelmät olivat epävarmoja ja lisäsivät mittamiesten työmääriä hyvinkin paljon. Kehitys on kuitenkin ollut eteenpäin ja työmäärät ovat vähentyneet. Tällä hetkellä mittamies tarkistaa ennen työmaan alkua, että kone on anturoinniltaan kunnossa. Tämä tehdään paikantamalla koneen tietyt pisteet, joiden todellinen sijainti voidaan varmistaa. Tarkistus voidaan tehdä myös jos paikannustarkkuudessa havaitaan virhettä tai halutaan varmistua antureiden toimivuudesta. Jos käytetään paikallista tukiasemaa, mittamies asemoi sen ennen työn aloitusta. Lisäksi mitta-

mies tarkistaa, että tietomaali on oikeassa formaatissa ja että koneessa on valittuna oikea koordinaattijärjestelmä. [12.]

Jonkin verran ongelmia koneohjausjärjestelmässä on havaittu myös perustekniikassa. Järjestelmän antureita on hajonnut noin yksi vuodessa konetta kohti. Johtojen kiinnitykset ovat olleet välillä heikkoja ja ongelmana ovat olleet myös pitkän maston haavoittuvat antennikaapeloinnit. Ajateltaessa etenkin paalutuskoneisiin asennettavaa järjestelmää, on näiden oltava erityisen hyvin asennettuja ja vahvoja, jotta ne kestävät aiheuttavat tärinät. [12, 13.]

Koneohjauksen saapuminen stabilointikoneisiin on ollut haastavaa niin mittamiehille, työnjohdolle kuin koneenkuljettajillekin. Se on neljän vuoden aikana aiheuttanut paljon työtä, vaikka tarkoituksena on ollut nimenomaan työn vähentäminen. Tekniikka on kuitenkin kehittynyt ja järjestelmän toimivuus parantunut. Jos ajatellaan tämän hetken toimivuutta, järjestelmä vähentää jopa kahden henkilön työt, jotka muutoin kuluisivat stabiloitavien pisteiden maastoon merkitsemiseen. Stabilointiyksikössä kuitenkin kyseenalaistetaan, riittävätkö tämänhetkiset paikannustarkkuus ja luotettavuus paalutukseen, jossa toleranssit ovat tiukemmat ja suurista poikkeamista voi tulla kalliitakin lisätyötä. [12.]

7 Taloudelliset vaikutukset

7.1 Mittamiehen kustannukset

Koneohjauksen hyödyntämistä paalutuksessa tulee arvioida paitsi toiminnallisten, myös taloudellisten vaikutuksien mukaan. Koneohjausjärjestelmä laitevalmistajasta riippumatta on iso sijoitus urakoitsijalle, joten järjestelmän hankinnan kannattavuus on syytä laskea tarkasti.

Mittamiehellä kuluu aikaa täkymetrin asemointiin noin 15-20 minuuttia jokaisella asemointikerralla. Jos arvioidaan, että yhden päivän paalumerkkien tarve yhdelle paalutuskoneelle on noin 50 kappaletta, mittamieheltä kuluu maastosta ja paalujen sijainnista riippuen työhön arviolta kaksi tuntia. Usein mittamies ei pysty edes mittamaan kaikkia kerralla vaan joutuu useampaan otteeseen merkitsemään paalut, koska paalutuskone työskennellessään ajaa merkkien yli, jolloin paalujen merkit siirtyvät. Yleisesti

ottaen voidaan siis arvioida, että mittamieheltä kuluu paalujen merkitsemiseen päivässä aikaa noin kolme tuntia.

Mittamies kustantaa urakoitsijalle nykyisellä hintatasolla noin 55 euroa tunti, jos mitaamiseen käytetään konsulttia. Mittauskustannukset paalujen merkitsemisen suhteen ovat siis päivässä noin 165 euroa. Mikäli ajatellaan yksinkertaisesti, että työpäivien määrä vuodessa on noin 250, muodostaisi tämä vuodessa kuluiksi noin 41 500 euroa. Summa ei todellisuudessa kuitenkaan ole niin suuri, koska yksi paalutuskone ei työskentele koko vuotta näin tehokkaasti. Karkeasti voidaankin arvioida, että paalutuskone työskentelee noin 70 prosentin teholla tästä, jolloin kustannukset paalujen merkitsemisestä olisivat noin 29 000 euron luokkaa vuodessa.

7.2 Koneohjausjärjestelmän kustannukset

Koneohjausjärjestelmän lopullista hintaa on vaikea arvioida, koska täysin toimivaa järjestelmää ei vielä ole käytössä. Se, käytetäänkö paikannuksessa verkkokorjausta vai paikallista tukiasemaa, vaikuttaa merkittävästi kertasijoitukseen. Itse koneohjausjärjestelmän hinta pyörii laitevalmistajien mukaan noin 30 000 eurossa. Paikallinen tukiasema maksaa noin 10 000 euroa. Jos käytetään verkkokorjauspalvelua, niiden vuosimaksut ovat noin tuhat euroa vuodessa riippuen palvelun laadusta. Esimerkiksi Leican Smartnet-palvelun paras ja kallein palvelu Smartnet RTK rajoittamattomalla tuntimäärällä maksaisi noin 2000 euroa vuodessa. Monilla isoilla maanrakennustyömailla on paikallinen tukiasema valmiina, jolloin yksittäisen koneen takia tukiasemaa ei tarvitse hankkia vaan kaikki koneet voivat käyttää samaa tukiasemaa. [8, 9.]

Koneohjausta käytettäessä on kuitenkin tarvetta myös mittamiehelle paikannuksen tarkkuuden varmistamiseksi ja mahdollisen paikallisen tukiaseman pystyttämiseen. Paikallinen tukiasema on työmaakohtainen, joten sen asemointi on lähinnä kertaluontoinen työ, vaikka tukiaseman sijainti on syytä varmistaa säännöllisin väliajoin. Itse koneohjausjärjestelmän paikannustarkkuus on syytä varmistaa päivittäin, jotta suurilta sijaintipikkeamilta vältyttäisiin. Tähän mittamieheltä ei kulu paljoakaan aikaa, mutta jos se on ainoa tarve mittaukselle, muodostuu yhdestä tarkistuskäynnistä suhteellisen suuria kustannuksia. Mikäli järjestelmän luotettavuus ja toimintavarmuus saavutettaisiin ja erilaisilla kiinteillä mittapisteillä, joilla paalutuskoneenkuljettaja voisi itse tarkistaa

koneen tarkkuuden, saatettaisiin päästä harventamaan mittamiehen käyntikertoja, esimerkiksi kerta / viikkoon. Tämä säästäisi mittauskuluja huomattavasti.

On myös vaikea arvioida, kuinka paljon (uutta) työtä suunnitelmat toisivat koneohjauksen myötä. Nykymittauksessa mittamies joutuu muuntamaan suunnittelijoiden koordinaattiluetteloista tai laskemaan erilaisista paalukartoista paalujen sijainnit. Koneohjauksessa suunnitelmat vietäisiin käytäntöön todennäköisesti aluksi samalla tavalla ja mittamies tekisi mittaustiedoston koneohjausjärjestelmälle. Mittamiehen tai paalutustyönjohtajan tulisi myös tarkistaa ennen paalutusta, ettei suunnitelmissa ole virheitä - mikä työvaihe ajallisesti arvioiden olisi samansuuruinen niin takymetrimittauksessa kuin koneohjauksella.

Yhteenvedona voidaan arvioida, että vaikka koneohjausjärjestelmä paalutuskoneisiin asennettaisiin, mittamieheltä kuluisi tunti työaika päivässä järjestelmän paikannustarkkuuden varmistamiseksi. Mikäli kustannusarvio tästä suoritettaisiin samalla kaavalla kuin mittamiehen kustannukset paalujen merkitsemisestä (250 työpäivää vuodessa koneen työskentelytehon ollessa 70 prosenttia), muodostuisi mittauskustannuksiksi yhteensä noin 9700 euroa vuodessa.

8 Päätelmät

Tässä työssä selvitettiin kuinka tämänhetkinen paikannus- ja koneohjaustekniikka soveltuu lyöntipaalutuskalustolle. Koneohjausjärjestelmät ovat maanrakennuskoneissa suhteellisen uusi asia: Suomessa koneohjaus on ollut vasta yhdessä paalutuskoneessa kokeilukäytössä, mikä tekee järjestelmän hankinnasta yritykselle riskialttiin investoinnin. Teoriassa, mikäli järjestelmä toimisi moitteitta ja paikannustarkkuus olisi riittävä, järjestelmä maksaisi itsensä yritykselle takaisin noin kahdessa vuodessa. Näin suoraviivaisen arvion perusteella päätöstä järjestelmän hankinnasta on kuitenkin turha tehdä.

Markkinoilla ei tällä hetkellä ole täysin toimivaa koneohjausjärjestelmää paalutuskoneeseen, joten jos jonkin laitevalmistajan järjestelmä asennettaisiin paalutuskoneeseen, olisi selvää, että kehitystyötä jouduttaisiin tekemään vielä useita vuosia, jotta järjestelmästä saataisiin täysin toimiva. Kehitystyö on yleensä kallista ja vie usein kailta kehitystyön osapuolilta hyvinkin paljon työpanosta. Monikaan yritys alalla, varsinkin

kaan pienet paalutusyrittäjät, eivät ole halukkaita lähtemään poikkeamaan perinteistä ja tyytyvät näin ollen myös perinteisiin mittaustekniikoihin. Isommissa yrityksissä sen sijaan voisi olla potentiaalia ja halua kehittää järjestelmää. Järjestelmä tuskin ainakaan vähentää kustannuksia alkuvuosina, mutta jos koneohjausjärjestelmiä ei asenneta koneisiin, kehitystäkään ei alalla ja kyseisessä työajissa tapahdu.

Koneohjauksen etuina toimivassa järjestelmässä olisi ehdottomasti nopeampi ja jopa tarkempi paalutus. Nopeampaa koneohjauspaalutuksesta saataisiin siten, ettei paalutuskone olisi riippuvainen mittamiehestä vaan pystyisi työskentelemään itsenäisesti. Tarkempaa paalutus olisi vaikeissa olosuhteissa, jossa täytyisi vielä paalun lyönnin aikana tarkkailla, että paalu on sijaintitoleransseissa. Koneohjaus olisi erityisen hyödyllinen hankalissa olosuhteissa kuten vedessä tai muissa vastaavissa paikoissa, joissa paalujen merkitseminen on haastavaa.

Koneohjausjärjestelmien soveltuvuus paalutuskoneisiin vaatii siis vielä ahkeraa ja aktiivista kehitystyötä ja varsinkin yhteistyötä paalutusurakoitsijoiden ja laitevalmistajien kesken, jotta täysin toimiva järjestelmä saataisiin käyttöön.

8.1 Kehitysideat

8.1.1 Paalupituuksien tarkempi arviointi

Koneohjausjärjestelmän yksi kehitysidea olisi paalujen tunkeutumissyvyyden perusteella laskettava paalujen tarkempi tilaaminen työvaiheessa. Kun työmaa aloitetaan, tehtäisiin perinteiseen tapaan koepaalutus eli laskentavaiheessa laskettujen paalupituuksien perusteella lyödään tietyn välimatkan välein paaluja. Nämä paalut lyödään yleensä suunnitellusta yhden metrin pidempinä, jotta vältytään upoksiin meneviltä paaluilta. Koepaalutuksella varmistetaan, että suunnitelmat pitävät paikkansa. Jos koepaalutuksen perusteella huomataan, että paalut tunkeutuvat suunnitelmista poiketen, lasketaan uudet määrät.

Tämän uudelleen laskemisen pystyisi koneohjausjärjestelmällä toteuttamaan automaattisesti siten, että koneohjausjärjestelmä tekisi paalujen tunkeutumistasosta mallin, jonka perusteella ohjelma mitoittaisi loput paalut. Näin ollen paalutuskoneen kuljettaja näkisi näyttöpäätteeltään suoraan, mitä paalun pituuksia menee minnekin. Tämä tietysti edellyttäisi järjestelmältä korkotietoa. Tällä ominaisuudella päästäisiin tehokkaam-

paan paalutukseen, sillä konekuljettaja pystyisi tarkemmin tilaamaan paalut ja paalutustyönjohtajan tai mittamiehen ei tarvitsisi laskea itse uutta mallia.

Tämä ominaisuus olisi mahdollista jo nykyisellä satelliittipaikannustarkkuudella, sillä vaikka korkotiedossa olisi jopa kymmenen sentin heitto, sillä pystyisi hyvin arvioimaan metrin välein valmistettavan paalun pituuden.

8.1.2 Pilottihanke

Koneohjauksen hyödyntämistä paalutuskoneessa tulisi kokeilla jonkin laitevalmistajan tekniikalla pilottihanketyylisesti, jotta saataisiin parempi kuva järjestelmien toimivuudesta. Pilottihankkeella tarkoitetaan tässä tapauksessa järjestelyä, jossa laitevalmistajat asentaisivat järjestelmän maksutta paalutuskoneeseen. Paalutusurakoitsija antaisi tällöin kalustonsa kokeilukäyttöön laitevalmistajalle, ja hanke voitaisiin toteuttaa jollakin käynnissä olevalla työmaalla. Näin saataisiin tuotettua myös jatkuvaa vertailutietoa satelliittipaikannuksen tarkkuudesta verrattuna täkymetrimittaukseen. Tällainen pilottihanke palvelisi molempia osapuolia; niin paalutusurakoitsijaa kuin laitevalmistajaakin.

Urakoitsija saisi paitsi suoraa toiminnallista ja taloudellista hyötyä, olisi myös etunenässä kehittämässä järjestelmää ja pystyisi havaintojensa perusteella esittämään toiveita järjestelmän toteutuksesta. Laitevalmistaja pääsisi kehittämään järjestelmästä juuri toiveidensa mukaisen ja saisi palautteen perusteella markkinoille valmiin, yksityiskohdiltaan viimeistellyn, toimivan tuotteen.

Pilottihankkeen tarkoituksena olisi etenkin kokeilla, minkälaisilla anturoinneilla vinopaalutus saataisiin onnistumaan. Paalutuskoneen keiliin ja mahdollisesti järkäleeseen asennettavien antureiden pitäisi olla erittäin kestäviä, jotta ne kestäisivät paalutuksen aiheuttamat värähtelyt.

8.1.3 Paalujen tarkemittaus ja katkaisukorkeuksien merkkäminen

Koneohjausjärjestelmän merkittävin hyöty saataisiin, kun järjestelmän tarkkuus ja luotettavuus pystyttäisiin nostamaan tasolle, jolla paalujen tarkemittaus voitaisiin suorittaa koneohjausjärjestelmällä. Tämä kehitysaskel voisi onnistua käytännössä paalun lyönnin yhteydessä. Paalutuskoneen kuljettaja, lopetettuaan paalun lyönnin, rekisteröisi paalun toteutuneen sijainnin, mikä tallentuisi ohjelmistoon. Näin saataisiin välitettyä

tieto toteutuneista sijainneista heti esimerkiksi suunnittelijalle, minkä myötä suunnittelija voisi esim. arvioida, aiheutuuko paalunsijaintipoikkeamista muutoksia tuleviin rakenteluihin. [14.]

Toinen merkittävä kehitysaskel olisi, jos satelliittipaikannuksen korkeusmittauksen tarkkuus saataisiin niin tarkaksi, että paalun katkaisukorko voitaisiin merkitä koneohjauksen avulla. Tämä voisi onnistua niin, että paalun lyönnin jälkeen järjestelmä näyttäisi paalun toteutuneen yläpään korkeuden ja vertaisi sitä suunniteltuun katkaisukorkoon. Näin paalutuskoneen apumies voisi merkitä heti lukeman paaluun, eikä erillistä mittausta tarvittaisi.

Lähteet

- 1 Rakennusteollisuus. RT-2011. Tuotelehti PO-2011 mukaiseen paalutustyöhön. 2011.
- 2 Ruukin teräsmaalut. Ruukki Construction Oy. Ohjelehti. 2014.
- 3 Junttan Pm 20Lc käyttöohjekirja. 2013.
- 4 YIT verkkosivu. Luettu 1.9.2014. <http://www.yit.fi/yit_fi/Tietoa_YITsta>
- 5 Laurila, Pasi. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. 2012. ISBN 978-952-5923-42-1.
- 6 Penttilä, Nissinen, Niemenoja. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa. 2006. ISBN 951-682-796-9.
- 7 Oppimateriaali. Geotekniikka. Kai Kouvo. 2014.
- 8 Tanhuanpää, Veli-Matti. Maajohtaja. Leica Geosystems. Haastattelu 29.5.2014
- 9 Hokkanen, Visa. Kehityspäällikkö. Novatron Oy. Haastattelu 12.5.2014
- 10 Mäki-Tulokas, Jouni. Toimitusjohtaja. Topgeo Oy. Haastattelu 16.6.2014
- 11 Isopahkala, Raimo. Paalutustyönjohtaja. Niskasen Maansiirto Oy. Haastattelu 15.8.2014
- 12 Välimäki, Markus. Stabilointityönjohtaja. YIT Rakennus Oy. Haastattelu 1.9.2014
- 13 Tulkki, Ville. Projekti-insinööri. YIT Rakennus Oy. Haastattelu 1.9.2014.
- 14 Kiiski, Henri. Vastaava mestari. YIT Rakennus Oy. Haastattelu 1.9.2014.