

# **3D-KONEOHJAUKSEN KÄYTTÖ PIENISSÄ JA KESKISUURISSA MAANRAKENNUSHANKKEISSA**

Mattijaakko Määttänen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2014  
Rakennustekniikka  
Infrarakentaminen

**TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu

Rakennustekniikka

Infrarakentaminen

MATTIJAAKKO MÄÄTTÄNEN:

3D-koneohjauksen käyttö pienissä ja keskisuurissa maanrakennushankkeissa

Opinnäytetyö 82 sivua, joista liitteitä 10 sivua

Huhtikuu 2014

---

Mallipohjainen rakentaminen on muuttamassa rakentamisen työtekniikoita tulevaisuudessa entistä laajemmin. 3D-koneohjauslaitteet alkavat yleistyä työmailla valtion ohjauksella. Suuret infran tilaajat vaativat jo nyt koneohjausta käytettäväksi suurissa infraurakoissa ja pilottikohteissa. Tavoitteena on saada koko infra-ala käyttämään tietomalleihin perustuvaa suunnittelua ja rakentamistapaa lähitulevaisuudessa.

Tavoitteen saavuttaminen edellyttää työmaahenkilöstön perehdyttämistä mallipohjaisen rakentamisen maailmaan. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on jakaa projektin- ja työnjohdolle sekä mittaushenkilöstölle kokemuksia koneohjauslaitteiden käyttöönotosta työmaalla. Teoriaosuus sisältää tietoa yleisimpien maanrakennustyömailla käytettävien koneiden koneohjauslaitteistoista sekä yleistä tietoa paikannuksesta ja mittaamisesta. Työssä esitellään työmaalla käytettävien mallien ominaisuuksia ja niiden tekemisessä huomionarvoisia asioita.

Opinnäytetyö sisältää referenssikohteita, joissa koneohjattuja työkoneita on käytetty. Referenssikohteet olivat koneohjatun rakennustavan pilottikohteita, joiden urakkasopimukseen kuului koneohjauksen käyttö rakentamisessa. Näiden kokemusten pohjalta on arvioitu koneohjatun rakennustavan eri puolia tämän opinnäytetyön johtopäätösoiosissa.

Referensseinä olevien pilottien optimaalisen tehokasta läpiviemistä on toistaiseksi hidastanut suunnitelma-aineiston laatu, paikalliset yhteysongelmat sekä asian uutuus ja opetteluun kuluva aika.

Tulevaisuudessa 3D-koneohjattu rakentaminen tulee yleistymään pienimmillään infratyömailla laitteistojen yleistyessä esimerkiksi kaivinkoneissa. Koneohjaus mahdollistaa kohteen rakentamisen ja tarkemmittaamisen kaivinkoneella ilman maastoonmerkintöjä. 3D-koneohjauksen käyttöönotto työkoneissa lisää myös työmaan joustavuutta ja nopeuttaa työvaiheiden välillä siirtymistä.

Mallipohjainen rakentaminen vaikuttaa pilottien perusteella olevan tehokkaampaa ja tarkempaa kuin perinteisillä menetelmillä rakennettaessa. Toisaalta erityisesti satelliitti-paikannuksella toimivilla järjestelmillä on omat puutteensa, joten laaduntarkkailuun on kiinnitettävä huomiota.

---

Asiasanat: 3D-koneohjaus, 3D-tietomalli, työkoneautomaatio, infrarakentaminen

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Option of Civil Engineering

Mattijaakko Määttänen  
Appliance of 3D-Machine Control in Small and Mid-sized Infrastructural Construction

Bachelor's thesis 82 pages, appendices 10 pages  
April 2014

---

Civil Engineering is heading towards the BIM (Building Information Models) era. This means that both designing and contracting of infrastructural property will be executed using 3D models of the designated structures in the near future. This brings new ways of visual presentations and allows designers of different structures, and the public also, to see the site as a whole.

There are different levels of machine control and GNSS-tracking can be used for various functions. In excavators machine control unit guides the pilot, based on the data model that has been stored in the machine control unit. It can be used in excavations and for grading. For grading and fine grading tachymeter controlled graders benefit greatly from 3D machine control. Their work is much more efficient as well as more accurate.

The main objective of this thesis was to study the new ways of building infrastructure using 3D machine control. Thesis includes two pilots where the machine control units have been used on sites and a theoretical section where the different components of which 3D machine control is based on are introduced. This includes satellite navigation and different coordinate systems and the description of how different machines can use 3D machine control. The main vendors for machine control equipment in Finland are also presented.

Last part of this thesis is a summary and features some predictions of future developments regarding 3D data model use in Finland. It seems clear that machine control will reduce costs and shorten construction times and is definitely worth the effort it requires from job sites in these early stages.

This thesis was made for Lemminkäinen Infra Ltd and one of its purposes was to provide information for supervisors and surveying staff for the transition from conventional way of construction to the model based future way.

---

Key words: 3D machine control, 3D data model, automation, earth work

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	11
2	TIETOMALLIPOHJAINEN INFRARAKENTAMINEN.....	13
2.1	Tietomallit infrarakentamisessa.....	13
2.2	Tietomallit infrarakenteen elinkaaren eri vaiheissa.....	14
2.3	Tietomallien ja koneohjauksen käyttöön siirtyminen.....	16
2.3.1	Koneohjaus Suomessa ja maailmalla.....	16
2.3.2	PRE-ohjelma.....	18
2.3.3	Infra FINBIM.....	18
3	PAIKANTAMINEN.....	20
3.1	Globaalit koordinaattijärjestelmät.....	20
3.2	Suomessa käytettävät koordinaattijärjestelmät.....	21
3.3	Korkeusjärjestelmät.....	22
3.3.1	Korkeuden määrittäminen.....	22
3.3.2	Suomessa käytettävät korkeusjärjestelmät.....	23
4	SATELLIITTIPAIKANNUS.....	25
4.1	Eri satelliittijärjestelmät.....	25
4.1.1	GPS.....	25
4.1.2	GLONASS.....	25
4.1.3	Galileo.....	25
4.1.4	Compass.....	26
4.1.5	GNSS.....	26
4.2	Satelliittisignaalin vastaanottaminen ja sijainnin korjaus.....	26
4.3	Satelliittipaikannukseen liittyvät ongelmat työmailla.....	30
5	KONEOHJAUSLAITTEIDEN TOIMINTA.....	32
5.1	Koneohjauslaitteiden toimintaperiaate.....	32
5.2	Satelliittipaikannukseen perustuva koneohjaus.....	33
5.3	Takymetripaikannukseen perustuva koneohjaus.....	33
5.4	Koneohjaus eri työkoneilla.....	34
5.4.1	Kaivinkoneet.....	36
5.4.2	Tiehöylät.....	39
5.4.3	Stabilointikoneet.....	41
5.4.4	Asfaltinlevittimet.....	42
5.5	Koneohjauslaitteiden suurimmat toimittajat Suomessa.....	43
5.5.1	Geotrim Oy.....	44
5.5.2	Novatron.....	45
5.5.3	Scanlaser Oy.....	45

5.5.4 Topgeo Oy.....	45
6 KONEOHJAUSMALLIT .....	46
6.1 Koneohjauksessa käytettävät mallit.....	46
6.2 Koneohjausmallien vaatimukset.....	47
6.3 Koneohjausmallien tekeminen.....	48
6.4 Koneohjausmallien tarkastaminen.....	50
7 CASET .....	52
7.1 Lohja, Immulan kaava-alueen rakentaminen.....	52
7.2 Espoo, Kauklahti, Bassenkylän kaava-alueen rakentaminen.....	56
8 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	62
8.1 Koneohjauksen ja perinteisen rakentamisen vertailu.....	62
8.2 Koneohjauksen hyödyntämisen kustannusetujen muodostuminen.....	64
8.3 Koneohjaukseen liittyvät kustannukset .....	66
8.4 Koneohjauksen käyttämiseen liittyvät ongelmat .....	67
9 POHDINTA.....	68
LÄHTEET.....	71
LIITTEET .....	73
Liite 1. Jakavan kerroksen sallitut mittapoikkeamat .....	73
Liite 2. Kantavan kerroksen sallitut mittapoikkeamat.....	73
Liite 3. Rakennetun jätevesiviemäriin mittavaatimuksia .....	74
Liite 4. Immulan kaava-alueen kiertoliittymän alueen jakavan kerroksen tarkemittauksia.....	75
Liite 5. Immulan kaava-alueen kiertoliittymän alueen kantavan kerroksen tarkemittauksia.....	77
Liite 6. Bassenkyläntien jakavan kerroksen tarkemittauksia. ....	79
Liite 7. Bassenkyläntien kantavan kerroksen tarkemittauksia. ....	81

**LYHENTEET JA TERMIT**

3D-koneohjaus	3D-koneohjauksella tarkoitetaan työkoneisiin asennettavia järjestelmiä, jotka erilaista paikannusta hyödyntäen ohjaavat tai suorittavat työkoneen työtehtäviä kolmiulotteisessa koordinaatistossa.
BIM	Englanniksi Building Information Model tarkoittaa rakennuksen digitaalista tietomallia.
CAD	Englanniksi Computer Aided Desing tarkoittaa nykyaikaista tietokoneavusteista suunnittelutyötä.
CAN-väylä	Englanniksi Controller Area Network on automaatiöväylä mittaus- ja ohjaustiedon välittämiseen. Käytetään koneohjausjärjestelmissä.
COMPASS	COMPASS on Kiinan kehitysvaiheessa oleva satelliittipaikannusjärjestelmä.
CTRF	Englanniksi Conventional Terrestrial Reference Frame on CTRS:n realisaatio.
CTRS	Englanniksi Conventional Terrestrial Reference System on globaali ideaalinen koordinaattijärjestelmä, johon globaalit koordinaatistot pohjautuvat.
Datumi	Datumi on niiden matemaattisten suureiden joukko, joilla koordinaatisto ”kiinnitetään” maapallon pintaan.
DGPS	Englanniksi Differential GPS on satelliittimittauksen tarkennukseen käytetty menetelmä, jota käytetään erityisesti merenkulussa.
DOP	Englanniksi Dilution of Precision on satelliittigeometrian eli satelliittien sijaintiin taivaalla liittyvä lukuarvo, joka kuvaa osaltaan paikannuksen tarkkuutta.
DWG	Englanniksi DraWinG on Autodeskin kehittämä CAD-tiedostoformaatti johon voidaan tallentaa kolmiulotteista geometria- ja ominaisuustietoa.
DXF	Englanniksi Drawing Interchange Format, Drawing Exchange Format on Autodeskin kehittämä CAD-tiedostoformaatti.
EGM96	Englanniksi Earth Gravitational Model 1996 on GPS:n käytämä geoidimalli.

Ellipsoidi	Ellipsoidi on Maan pinnan muotoihin sovitettu matemaattinen malli.
ETRF89	Englanniksi European Terrestrial Reference Frame on ETRS89:n realisaatio.
ETRS89	Englanniksi European Terrestrial Reference System on Euroopan laajuinen yhteinen koordinaattijärjestelmä. Se on yhtenäinen ITRS:n kanssa epookkina 1989.0.
EUREF-FIN	Suomalainen ETRS89-koordinaattijärjestelmän realisaatio.
Galileo	Galileo on Euroopan Komission ja ESA:n (Euroopan Avaruusjärjestö) kehitteillä oleva paikannusjärjestelmä.
Geoidi	Geoidi kuvaa painovoimakentän samanarvopintaa. Fysikaalinen muoto. Geoidikorkeuden ollessa 0 kuvaa sitä muotoa, johon vapaana oleva merenpinta asettuisi. Määritelmä perustuu mittauksiin ja on realisoitu tietyinä ajanhetkenä.
GLONASS	GLONASS eli ГЛОНАСС on Neuvostoliiton / Venäjän puolustusministeriön kehittämä satelliittijärjestelmä.
GNSS	Englanniksi Global Navigation Satellite System on nimitys kaikkien satelliittijärjestelmien muodostamalle kokonaisuudelle.
GPS	Englanniksi Global Positioning System on Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä satelliittijärjestelmä.
GRS80	Englanniksi Geodetic Reference System 1980 on vertailuellipsoidi jota käytetään globaaleissa koordinaattijärjestelmissä.
GT	Ns. ”Tielaitos-formaatti” on viivoista muodostuva geometriaa kuvaava tiedostoformaatti.
InfraBIM	InfraBIM on infrarakenteen tietomallin englanninkielinen lyhenne.
Inframalli	Inframalli on infrarakennetta kuvaava tietomalli.
Inframodel 3	Kansallinen inframallin, Inframodel 2:n InfraFINBIM -hankkeessa jatkokehitelty, XML -pohjainen tietomäärittely, joka perustuu kansainväliseen LandXML-määrittelyn versioon 1.2.
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Julkaisija rakennustieto.
ITRS	Englanniksi International Terrestrial Reference System on kansainvälinen koordinaattijärjestelmä.

KKJ	Kartastokoordinaattijärjestelmä on vuodesta 1970 Suomessa käytössä ollut virallinen koordinaattijärjestelmä.
Kolmioverkko	Kolmioverkko on säännönmukainen, vierekkäisistä kolmioista muodostuva pinta. Luodaan esimerkiksi kolmioimalla viivamalli tietokoneohjelmistolla.
Koneohjaus	Koneohjauksella tarkoitetaan koneohjausmalliin ja paikannukseen perustuvaa eri tasoista koneautomaatiota, jota käytetään infra-rakentamisessa.
Koneohjausmalli	Koneohjausmalli on työkoneiden ohjausjärjestelmissä tarvittava jatkuva (3D) pinta- ja/tai linjamalli. Voi sisältää myös yksittäisiä pisteitä.
Koordinaatisto	Koordinaatisto on koordinaattijärjestelmän realisaatio. Koordinaatistossa yksikäsitteistä paikkaa eli pistettä kuvataan koordinaateilla.
Koordinaattijärjestelmä	Koordinaattijärjestelmä on geodesian käsite, jonka avulla kyetään määräämään yksikäsitteisesti pisteen sijainti maapallolla. Koordinaattijärjestelmän kaksi keskeistä komponenttia ovat datumi ja koordinaatisto.
Korkeusjärjestelmä	Eri korkeusjärjestelmissä korkeuden lähtötaso on määritelty jonkin ajanhetken mukaan. Järjestelmä määrittää joko ellipsoidin tai geoidin korkeutta.
Käsitemalli	Tietojen formaali määrittely, joka määrittelee tiedot ja niiden väliset yhteydet.
LandXML	Erikoistettu XML-pohjainen formaatti, joka sisältää määritellyt infra- ja maanmittaustiedolle, jota käytetään yleisesti maanrakennuksessa ja väylien rakentamisessa ja ylläpidossa.
Lähtötietomalli	Lähtötietomalli sisältää eri tietolähteistä saadut tai mitatut tuotteiden, toiminnan ja palveluiden suunnittelua varten hankitut lähtötiedot mallinnettuna digitaalisessa muodossa. Tällaisia ovat esimerkiksi maastomalli, kaavamalli, maaperämalli sekä nykyisten rakenteiden malli.
Maaperämalli	Digitaalinen maaperän (maanpinnan alapuolinen) malli. Sisältää maalajikerrosten tulkitut rajapinnat sekä mm. materiaalien ominaisuus- ja vesipitoisuustietoja.
Maastomalli	Maastomalli on digitaalinen maaston pintamalli.
Malli	Kohteen abstraktio, joka kuvaa mallin käyttötarkoituksen kannalta relevantit kohteen ominaisuudet
Mallipohjainen	Tiedonkäsittelyn paradigma tai soveltamistapa, jossa esimerkiksi tuotetta kuvataan tietokonesovelluksilla mallina ja sen



	muodostavina osina, ja sovellukset pystyvät automaattisesti tulkitsemaan mallin sisältämiä tuotetietoja.
N2000	N2000 on uusimpien mittausten pohjalta tasoitettu Suomen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä.
N60	N60 on edellinen Suomessa käytetty valtakunnallinen korkeusjärjestelmä.
Orientointi	Orientointi tarkoittaa takymetrin sijainnin paikannusta tunnetuista pisteistä.
Paikalleenmittausmalli	Paikalleenmittausmalli on rakentamistöiden ohjaukseen tarvittava malli.
Pintamalli	Pintamalli on rakenteen pintaa kuvaava kolmio- tai neliöverkko.
Prisma	Prisma on optinen laite, jota käytetään takymetripaikannuksessa.
RTK	Englanniksi Real-Time Kinematic, Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus. Tarvitsee vähintään kaksi vastaanotinta, yksi toimii liikkuvana, toinen toimii tukiasemana ja lähettää differentiaalikorjausdataa kun se sijaitsee ennestään tunnetussa sijainnissa.
Takymetri	Takymetri on maanmittauksessa yleisesti käytettävä elektrooptinen mittalaite.
Tarkemittaus	Tarkemittaus on takymetrillä tai satelliittipaikannuksella suoritettu mittaus. Tarkemittaus toteutetaan mittaamalla rakenteet sovitusta kohdista. Mitattuja pisteitä kutsutaan tarkepisteiksi.
Tietomalli	Käytetään synonyyminä käsitemallille. Inframallin tuotemallia tulee nimittää inframalliksi tai infran tietomalliksi.
Toteutumamalli	As-built -malli infrarakenteen tai -järjestelmän tuotemallin tietosisällön osajoukko, joka kattaa suunnitelmien ja toteutuksen lopullisen toteuman.
Toteutusmalli	Infrarakenteen tai -järjestelmän tuotemallin tietosisällön osajoukko, joka kattaa toteutuksen näkökulman. Rakentamisen tehtävät, resurssit, ajoituksen, jne. Voidaan käyttää tarkoittamaan myös suunnittelumallista jalostettuja työkoneiden koneohjausmalleja tai mittauksia varten laadittuja paikalleenmittausmalleja.
Tuotemalli	Tiettyä tuotetta kuvaavat tiedot tuotetietomallin mukaisesti jäsennettynä ja tallennettuna tuotetietona, tietokonesovelluksilla tulkittavissa olevassa muodossa. Esimerkiksi tietyn inf-

rarakenteen tiedot tallennettuna LandXML 1.2 / Inframodel 1.2 -spesifikaation mukaiseen siirtotiedostoon.

WGS84	Englanniksi World Geodetic System on Yhdysvaltain puolustusministeriön määrittelemä ja ylläpitämä koordinaattijärjestelmä.
Viivamalli	Viivamalli on taiteviivoista koostuva rakennetta kuvaava tietomalli.
VRS	Englanniksi Virtual Reference Station on satelliittipaikannuksessa käytettävä mittausmenetelmä, jossa kiinteiden tukiasemien muodostaman verkon sisälle luodaan virtuaalinen tukiasema, joka lähettää korjausdataa liikkuvalla GPS- tai GNSS-vastaanottimelle.
XML	Englanniksi eXtensive Markup Language on yleinen menetelmä, jota voidaan soveltaa eri sovellusalueille tietojen määrittämiseksi ja määrittelyjen mukaisten tietojen kuvaamiseksi tietokonesovelluksilla tulkittavassa muodossa.
Yhdistelmämalli	Yhdistelmä malli on eri tietomalleista yhdistetty tietomalli. Esimerkiksi maastomallista, maaperämallista, vanhojen rakenteiden mallista sekä väylän tuotemallista muodostettu malli.
Ylläpitomalli	Ylläpitomalli on infrarakenteen tai -järjestelmän tuotemallin tietosisällön osajoukko, joka kattaa ylläpidon tehtävät.

## 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli tutustua 3D-koneohjauksen tarjoamiin mahdollisuuksiin ja toisaalta niiden käyttöönottoon liittyviin haasteisiin työmailla. Työssä on esitelty tietomallipohjaisen rakentamistavan kehittymistä Suomessa ja tämän hetkistä tilaa. Työ sisältää referenssikohteita, joissa koneohjauksen käyttöönoton vaikutuksia päästiin tarkastelemaan. Työtä on tehty vuosien 2012 - 2014 aikana. Työssä käsiteltävät referenssikohteet sijaitsevat Lohjalla (Immulan kaava-alue) ja Espoon Kauklahdessa (Bassenkylän kaava-alue).

Työssä käsiteltävät laitteet ovat yleisimpiä maanrakennuskohteissa käytettäviä työkoneita: kaivinkone, tiehöylä, stabilointikone ja asfaltinlevitin. Muihinkin työkoneisiin, kuten jyrsimiin, on saatavilla eritasoista koneohjausta ja muuta satelliittipaikannusta hyödyntävää laitteistoa. Tässä työssä keskitytään kuitenkin 3D-koneohjaukseen ja tietomallipohjaiseen rakentamiseen. Kaivinkoneiden 3D-koneohjausjärjestelmät sisältävät tosin usein vastaanottimen perinteisemmän tasolasermittarin kanssa työskentelyä varten.

Työssä esitellään suurimpia 3D-koneohjausjärjestelmien suomalaisia jälleenmyyjiä ja valmistajia sekä niiden erilaisia tietomallipohjaiseen rakentamiseen tarkoitettuja laitteistoja. Eri valmistajien laitteistojen kokoonpanot samoille työkoneille eivät poikkea paljoa toisistaan kuin käyttöliittymän osalta. Tietomallipohjaisessa rakentamisessa käytettäviä koneohjausmalleja voidaan kuitenkin laitteiden valmistajasta riippuen joutua tekemään eri tiedostoformaateissa. Myös työkoneesta riippuen malleja voidaan joutua muokkaamaan.

Työssä esitellään eri koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiä sekä satelliittipaikannuksen periaatteita. Työ on toteutettu työmaahenkilöstön näkökulmasta ja se tarjoaa työmaan toimihenkilöille ja mittaushenkilöstölle tarvittavaa tietoa siitä, mitä toimenpiteitä koneohjauksen käyttöönotto työmaalla aiheuttaa ja toisaalta mitä etuja se tarjoaa.

Työ sisältää myös tietomallipohjaisen rakentamisen edellyttämien työvaiheiden esittelyä ja viitteitä eri suunnittelu- ja mittausohjeisiin. Näiden kehitystyö on kuitenkin tätä opinnäytetyötä tehdessä kesken ja ovat vielä luonnosvaiheessa. Kuitenkin yleisimmät nimitykset mitä työmaalla tarvitaan, ovat Infran nimikkeistön mukaista. Työstä on rajattu

tietomallipohjaisen väyläsuunnittelun ja siihen käytettävien ohjelmistojen tarkempi esittely. Työssä keskitytään työmaalla käytettäviin koneohjausmalleihin ja niiden vaatimuksiin.

Työ sisältää johtopäätös- ja pohdiskeluosiot, joissa mietitään mallipohjaisen rakennustavan soveltamista käytännössä infratyömailla. Tulevaisuudessa pyritään hyödyntämään työkoneiden koneohjausjärjestelmiä uusilla tavoilla esimerkiksi laaduntarkkailussa ja työn seurannassa ja tiedon nopeaan välittämiseen tilaajan, suunnittelijan ja urakoitsijan välillä.

Suunnittelussa käytettävien tietomallien yhtenäistäminen ja ohjeiden laatiminen on tärkeää turhien työvaiheiden välttämiseksi tiedostomuunnosten takia. Esimerkiksi eri rakenteiden törmäämistä päästään tietomallipohjaisessa rakentamisessa tarkastelemaan yhdistämällä eri suunnittelijoiden laatimia 3D-malleja yhdeksi, koko rakennettavaa aluetta kuvaavaksi malliksi. Suomessa infrasuunnittelussa käytettäväksi tiedostoformaattiksi on päätetty alkaa käyttää avoimeen XML -koodiin perustuvaa LandXML -formaattia. Sen käyttö suoraan koneohjausjärjestelmissä poistaisi työmaalla tehtävien mallien tarpeen tulevaisuudessa.

Työ tehtiin Lemminkäinen Infra Oy:n tilauksesta. Opinnäytetyön ohjaajina toimivat Juha Pohjola Lemminkäinen Infra Oy:stä ja DI Jouni Sivenius Tampereen ammattikorkeakoulusta.

## 2 TIETOMALLIPOHJAINEN INFRARAKENTAMINEN

### 2.1 Tietomallit infrarakentamisessa

Infran tietomallilla tarkoitetaan infrarakenteen koko elinkaaren aikaisten tietojen digitaalisessa muodossa olevaa kokonaisuutta (kuva 1). Siihen liittyy rakenteen geometrian määrittäminen ja esittäminen kolmiulotteisesti. Suunnitteluvaiheessa tehdyt 3D-mallit ovat käytössä rakentamisessa ja tarkemittauksin korjatut mallit säilytetään ylläpidollisia toimenpiteitä varten.



Kuva 1 Tietomallipohjaisen infrarakenteen elinkaari (Kuva: RTS-InfraBIM)

Perinteiseen 2D-suunnitteluun verrattuna tietomalleilla toteutettu suunnittelu on huomattavasti kokonaisvaltaisempaa. Malleista saadaan havainnollistavia 3D-esityksiä ja

niiden sisältämät mahdolliset virheet ja ristiriidat tulevat esille jo aikaisessa vaiheessa. Näitä voivat olla esimerkiksi leikkaavat putkilinjat tai muut päällekkäin suunnitellut rakenteet.

Urakkalaskennassa tarvittavat massamäärät saadaan tietomalleista tarkasti eri rakenneosille. Suunnittelumallin taso urakan tässä vaiheessa voi olla vielä epätarkka. Varsinainen materiaalimenekki on kuitenkin viime kädessä kiinni työskentelyn tarkkuudesta ja urakan edetessä mahdollisista muuttuvista tekijöistä. Työskentely tietomalleja käyttäen on tarkempaa ja tehokkaampaa kuin perinteisillä menetelmillä rakennettaessa. Työn tehostuminen tuo aikataulu- ja polttoainesäästöjä, tarkkuuden paraneminen rakentamisessa käytettävien materiaalien säästöä.

Rakennettavista kohteista laaditaan erilaisia malleja urakan eri vaiheissa. Käytettäville malleille ja formaateille pyritään määrittämään yhtenäisiä standardeja Suomessa. Esimerkiksi Norjassa on jo käytössä viralliset ohjeistukset, jotka ovat osaltaan vaikuttaneet suomalaisiin esityksiin.

Infrarakenteiden tietomallit kuvaavat eri pintoja, rakenteita, objekteja ja pohjaolosuhteita, joita yhdistelemällä voidaan luoda rakentamisessa tarvittavia malleja tai esimerkiksi julkisiin tilaisuuksiin havainnollista esitysmateriaalia. Kun rakennettavat kohteet suunnitellaan visuaalisia ohjelmistoja käyttäen, luodaan edellytykset tietomalleihin pohjautuvalle rakentamiselle ja koneohjauksen käytölle eri työkoneissa urakan kaikissa vaiheissa.

## **2.2 Tietomallit infrarakenteen elinkaaren eri vaiheissa**

Infra FINBIM -projektin ”Mallinnusohjeet osa 3, mallinnus urakan eri vaiheissa” luonnoksessa on esitelty urakan eri vaiheita kuvaavien tietomallien sisällöllisiä vaatimuksia. Infra FINBIM -projektia esitellään myöhemmin. Sen tehtäviin kuuluu muun muassa tietomallipohjaisen rakentamisen vaatiman ohjeistuksen luominen.

Rakennusprojektin alkuvaiheessa merkittävää on lähinnä toimia sovitussa koordinaatistossa. Esiselvitysvaiheessa väylästä voi olla vielä useita linjausvaihtoehtoja, joten tarkempaa mallinnusta tärkeämpää voi olla esimerkiksi kustannusarviot, ympäristövaiku-

tusten arviointi ja pohjaveden sijaintitietojen hankkiminen. Esisuunnittelumallissa huomioidaan erikoisrakenteet, kuten sillat. (Parantala & Snellman 2013, 7)

Yleissuunnittelu sisältää kaavatasoisen maankäytön suunnittelemisen. Hankkeesta tehdään kustannusarvio ja ympäristövaikutusten arviointi. Väylän tilankäyttö, linjaus ja suhde ympäröivään maankäyttöön määritellään. (Parantala & Snellman 2013, 7)

Yleissuunnitteluvaiheessa tehdään maastotutkimuksia ja mittauksia, jotka tallennetaan tietomalliin. Pohjatutkimukset tallennetaan InfraModel 1 mukaisessa niin sanotussa Infrapohjatutkimusformaattissa. Tietomallin lähtötiedoiksi hankitaan kaupunkien, kuntien ja laiteomistajien taholta tiedot merkittävistä kunnallistekniikan laitteista sekä muista rakenteista. (Parantala & Snellman 2013, 5)

Tässä vaiheessa rakennemalli laaditaan yleispätevänä tie- tai ratalinjan maaleikkaus-, penger- ja kalliorakenne tapauksia varten. Kaikkia poikkileikkauksia ei ole tarpeellista vielä mallintaa, vaan käytetään kohdetta edustavaa pohjamaanluokkaa vastaavaa rakennepaksuutta. (Parantala & Snellman 2013, 6)

Tie-, katu- ja ratasuunnitteluvaiheessa kohteen maastomallin tulee olla tarkka ja edellisessä suunnitteluvaiheessa aikaansaatuun lähtötietomalliin lisätään paikka-, rekisteritietoja ja maastomittaustietoja. (Parantala & Snellman 2013, 9)

Tiesuunnitelman täydennyssuunnitelma (TTS-rakennussuunnitelma) on vähän tästä tarkennettu malli, joka toimii pohjana urakoitsijoiden tarjouslaskennalle. Sen muokkaaminen urakoitsijalle on rajatusti mahdollista. Rakenteiden toimivuus on tässä vaiheessa urakoitsijan tarkastettava. (Parantala & Snellman 2013, 12)

Kun rakennussuunnitelma luovutetaan tilaajalle, tulisi sen InfraBIM -projektin vision mukaan olla täysin rakennettavan alueen kattava. Sen tulisi koostua eri rakenteiden toteutusmalleista, eli sen tulisi olla suoraan käytettävissä myös koneohjauslaitteistoilla LandXML -muodossa.

Toteutusmallien tulisi olla tehtynä InfraBIM mallinnusohjeiden mukaisesti. Ne sisältävät ohjeet eri rakenteiden mallinnuksen tasosta ja käytettävästä nimikkeistöstä. Eri pintojen ja taiteviivojen nimeäminen ja koodaaminen on esitetty ohjeissa. Väylän pysty- ja

vaakageometrian muodostavien taiteviivojen mittatarkkuuden vaatimukset ja esimerkiksi taiteviivojen suositellut vähimmäismitat löytyvät PRE / InfraBIM tietomallivaatimukset ja -ohjeet osasta 4. (Parantala & Snellman 2013, 24)

Toteutusmalleissa on sekä rakenteita kuvaavat viivamallit että kolmioverkkojen muodostamat pintamallit. Malleissa tulee olla olemassa olevat ja rakennettavat laitteet, kaapelit, taitorakenteet yms. Ne sisältävät siis niin sanotut tekniikkalajimallit. (von Schantz, Siipo, Sireeni 2011, 49)

Malleihin voisi lisäksi liittää esimerkiksi arvioita työajoista ja tarvittavista resursseista. Urakoitsijalle tämän datan hallinnasta olisi hyötyä urakan suunnittelussa, toteuman ja tehokkuuden seurannassa ja laaduntarkkailussa. Tällöin voitaisiin puhua 4D- tai 5D-tietomallintamisesta.

## **2.3 Tietomallien ja koneohjauksen käyttöön siirtyminen**

### **2.3.1 Koneohjaus Suomessa ja maailmalla**

Suomessa talonrakennusala on tuotemallien käyttöönotossa huomattavasti infra-alaa edellä. Koneohjauksen hyödyntäminen infra-alalla on kuitenkin potentiaalisesti tehokkaampaa kuin talonrakennustyömailla. Infrarakentaminen on pitkälle koneellistettua ja rakenteet toistuvantyyppisiä. Tarkkuusvaatimukset eri rakenteille ovat kuitenkin suhteellisen tiukat, ja koneohjauslaitteilla on mahdollista työskennellä tarkemmin kuin perinteisillä menetelmillä. Infra-alalla tietomallipohjaisen rakentamisen edelläkävijämaita ovat olleet Australia, USA ja Kanada. (Heikkilä & Jaakkola 2005, 8, 11)

Caterpillar toteutti pilottikohteena Espanjan Malagassa kaksi identtistä 80 metristä tietä vierekkäin vuonna 2006. Työkoneet olivat kummallakin tiellä samoja, toisiin oli asennettu Trimble Oy:n (myöhemmin Trimble) 3D-koneohjauslaitteistot. (Caterpillar 2006)

Tavoitteena oli tutkia koneohjauksen vaikutuksia urakka-aikaan, kuormien ja ajokertojen määrään, rakennekerrosten mittatarkkuuteen sekä polttoaineen kulutukseen. Tuloksista havaittiin rakentamisen tehostuvan koneohjauslaitteita käytettäessä työvaiheesta riippuen jopa puolella. Myös rakenteiden laatu parani. Rakennekerrosten dimensioiden



mittavirheet olivat pienempiä ja toleranssit ylittäviä virheitä oli vähemmän. (Pelkonen 2012, 11)

Tuloksista voidaan päätellä kaivinkoneen tehokkuuden kasvavan koneohjauksen myötä työajan säästönä pintamaata leikatessa noin 27 %. Jakavan kerroksen levittäneen koneohjatun puskukoneen työaika lyheni osittain tarkemman kaivinkoneen työskentelyn takia 159 %. Kantavan kerroksen levitykseen puskukoneella mennyt aika oli yli puolitoista kertaa lyhyempi, työajan säästö 172 %. Kantavan kerroksen viimeistelyyn käytetty Tiehöylä oli koneohjattuna yli kolme kertaa tehokkaampi. Tämä johtui siitä, että koneohjatun puskukoneella tehdyn kerroksen pinta on jo lähellä suunniteltua. (Pelkonen 2012, 11 - 12)

Kaiken kaikkiaan tietomalleja käyttäen rakennetun kohteen rakennusaika typistyi alle puoleen perinteiseen rakennustapaan verrattuna ja polttoaineen kulutuksessa säästettiin keskimäärin noin 50 %. (Pelkonen 2012, 11 - 12)

Euroopassa Norja, Ruotsi ja Hollanti ovat pisimmällä tietomallipohjaisen rakentamisen kehittämisessä. Suomessa tietomallipohjaisen rakentamisen käyttöönottoa ryhtyi edistämään vuodesta 2009 alkaen InfraTM -hanke. Sen päämääränä oli luoda Suomeen avoin ja yhtenäinen infra-alan tietomallikäytäntö, joka on kansainvälisten standardien sekä kotimaisen nimikkeistön mukainen. InfraTM -hankkeessa käytettäviä mallinnusohjeita ja niiden vaatimusten kehittämistä toteuttaa InfraFINBIM -työpaketti. (InfraTM 2010, 8)

Infra TM -hankkeen rahoittajia olivat Liikennevirasto, Helsingin, Espoon, Vantaan, Tampereen, Turun, Oulun ja Lahden kaupungit sekä alan urakoitsijoita edustava Infra ry. Hankkeen johtoryhmässä olivat edustettuina myös Tekes ja Suomen Kuntaliitto. (InfraBIM: Infra TM)

Infra FINBIM -työpaketti kuuluu RYM Oy:n PRE-ohjelmaan. RYM Oy on rakennusalan toimijoiden yhdessä omistama SHOK-yhtiö (strategisen huippuosaamisen keskitelmä), jonka tehtävänä on sijoittaa pääomia erilaisiin tutkimushankkeisiin. (RYM: Infra FINBIM)

### 2.3.2 PRE-ohjelma

PRE-ohjelma (Built Environment Process Re-engineering) on vuonna 2010 alkanut projekti, joka koostuu 37:sta yrityksestä ja kuudesta tutkimuslaitoksesta. Se tutkii tietomallintamisen ja siihen pohjautuvan rakennustavan hyödyntämistä rakenteen koko elinkaaren kattavasti. Ohjelmassa on kuusi työpakettia, jotka ovat

- Model Nova: Tietomallin käyttö kiinteistön elinkaaren aikana kiinteistöomistajan näkökulmasta.
- NewWOW: Tietotyön muuttuva luonne ja vaatimukset sekä seuraukset organisaatioon ja tilojen johtamiseen.
- BIMCON: Tietomallipohjainen tuotetiedonhallinta teollisen rakentamisen toimitusketjussa.
- DRUM: Tietomallit ja standardit.
- Infra FINBIM: Infra-alan tulevaisuuden innovaatiopohjainen toimitusketju.
- BIMCity: Yhdyskuntasuhteiden rakennetun ympäristön digitaalisten mallien jakamisen, arvioinnin ja kehittämisen alusta.

(RYM: PRE-ohjelma)

### 2.3.3 Infra FINBIM

Infra FIMBIM kehittää tietomallipohjaista rakentamista Suomessa. Infra FINBIM on RYM Oy:n PRE-ohjelmaan kuuluva työpaketti. Infra FINBIM-työpaketti tähtää siihen, että infrarakentaminen tulee olemaan tietomallipohjaista lähitulevaisuudessa. Tätä kehittämässä on 16 rakennusalan yritystä, joista veturiyrityksenä toimii VR Track Oy. Muut mukana olijat ovat

- Destia Oy
- Finnmap Infra Oy
- Lemminkäinen Infra Oy
- Liikennevirasto
- NCC Road Oy
- Pöyry Finland Oy
- Rakennustieto Oy
- Ramboll Finland Oy
- Sito Oy
- Tekla Oyj
- Terramare Oy
- Vianova Systems Finland Oy
- WSP Finland Oy
- YIT Rakennus Oy Infrapalvelut.

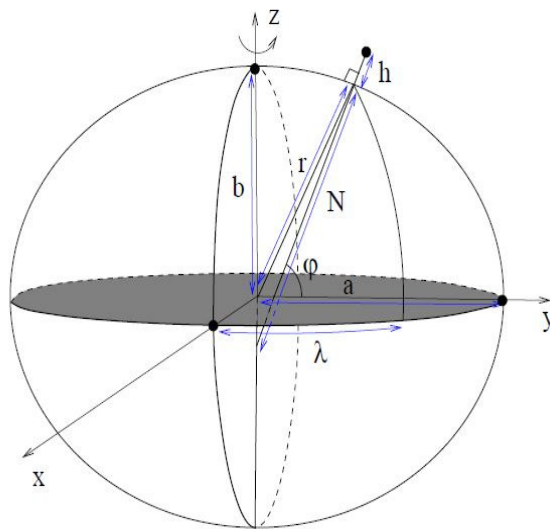
(RTS: InfraBIM)

Infra FINBIM kehittää mm. mallinnusohjeita, joiden mukaan pyritään tulevaisuudessa harmonisoimaan infra-alan suunnittelua ja rakentamista. Tiedonsiirtoformaatiksi on valittu LandXML -formaattiin perustuva InfraModel 3. (RTS: Infra FINBIM)

### 3 PAIKANTAMINEN

#### 3.1 Globaalit koordinaattijärjestelmät

Globaalien koordinaattijärjestelmien pohjana käytetään niin sanottua konventionaalista terrestristä järjestelmää CTRS. Sen origo sijaitsee maan massakeskipisteessä, z-akseli on maapallon pyörimisakselin suuntainen ja x-akseli osoittaa kohti Greenwichin meridiania (kuva 2). (Poutanen 1998, 73)



Kuva 2 Globaalien koordinaattijärjestelmän CTRS:n akselit (Poutanen 2007, 73)

Satelliittipaikannuksessa näkee usein lyhenteen WGS84. Se on CTRS:n mukaisesti perustettu geosentrinen koordinaattijärjestelmä World Geodetic System. WGS84 on Yhdysvaltain puolustusministeriön luoma. WGS84:n realisaatiota on tarkennettu useaan otteeseen. Viimeisin, vuonna 2000 tehty määrittely toteaa, että WGS84 on senttimetritasolla yhtenevä toisen globaalien koordinaattijärjestelmän, ITRF:n kanssa epookkina 2000. GPS-järjestelmä käyttää paikannuksessa WGS84:ää. (Poutanen 2007, 80 - 81)

Koordinaattijärjestelmän korkeustiedot saadaan vertailuellipsoidia käyttäen. WGS84:ssä ellipsoidi on nykyisin globaali EGM2008 (Earth Gravitational Model 2008), mikä poikkeaa hieman ITRF:n, ja ennen myös GPS:n, käyttämästä GRS80 ellipsoidista. Korkeusero tasojen välillä on globaalisti alle millimetrin luokkaa. (Poutanen 2007, 80 - 81)

IAG:n (International Association of Geodesy) palveluna toimiva International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) ylläpitää globaalia koordinaattijärjes-

telmää, ITRS (International Terrestrial Reference System) ja sen realisaatiota ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Nykyisin käytössä olevat epookit ovat ITRS2000 ja vastaavasti ITRF2000. (Poutanen 2007, 79 - 80)

Globaalit koordinaatit ovat moniin käytännön sovelluksiin huonoja, sillä koordinaatiston määrittelevien kiintopisteiden paikat toistensa suhteen muuttuvat. Nykyisillä mittastarkkuuksilla kiintopisteiden määrittelemää ajasta riippumatonta globaalia koordinaatistoa ei voi luoda, koska sekä mannerlaattojen liikkeitä että muut laaja-alaiset maankuoren liikunnot tulevat niissä näkyviin. Ratkaisuna ovat maanosan laajuiset alueelliset koordinaatistot, jotka sijaitsevat pääosin yhden mannerlaatan alueella. (Poutanen 2007, 83)

Euroopassa sovittiin otettavaksi käyttöön yhteinen koordinaattijärjestelmä 1980-luvun lopulla. Se tulisi kiinnittämään Euraasian mannerlaatan deformatumattomaan osaan. Luotu järjestelmä on nimeltään ETRS89. Se on yhtenevä ITRS:n kanssa epookkina 1989. (Poutanen 2007, 83)

Koordinaattijärjestelmien välillä joudutaan tekemään muunnoksia. Siirtyminen kahden eri koordinaatiston välillä suoritetaan usein yleisen yhdenmuotoisuusmuunnoksen, Helmert-muunnoksen, avulla. Siinä käytetään kiertoja, origon siirtoa ja mittakaavan muutosta. (Poutanen 2007, 98)

### **3.2 Suomessa käytettävät koordinaattijärjestelmät**

Erilaisia koordinaattijärjestelmiä on maailmalla ja Suomessakin käytössä useita. Ne ovat mitattu eri aikoina, eri metodeilla ja eri paikkoihin. Suomessa on yleisesti käytössä nyt vanhentunut KKJ (kartastokoordinaattijärjestelmä) ja vanhempi VVJ (valtion virallinen järjestelmä). Kunnilla saattaa olla myös omat järjestelmänsä.

Suomelle kehitetyn ETRS:n mukaisen realisaation nimi on EUREF89-FIN. Se on korvannut KKJ:n Suomen virallisena koordinaattijärjestelmänä. (Poutanen 2007, 86)

Maanmittauslaitos on ottanut vuonna 2010 käyttöön ETRS89 - kartastokoordinaattijärjestelmän ja sen kanssa käytettävät tasokoordinaatistot ETRS-TM35FIN ja ETRS-GKn. (maanmittauslaitos: koordinaattijärjestelmät)

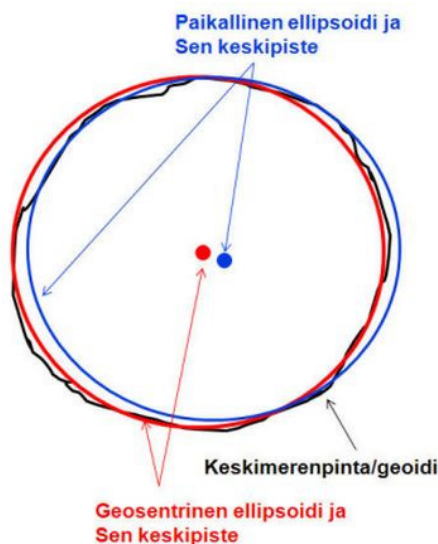
### 3.3 Korkeusjärjestelmät

#### 3.3.1 Korkeuden määrittäminen

Korkeuden määrittämisessä voidaan puhua kahdenlaisen korkeuden mittaamisesta. Ortometrisen korkeuden  $H$  tai ellipsoidisen korkeuden  $h$ . (Poutanen 2007, 109 - 110)

Työmaalla takymetrillä tehtävät mittaukset saavat korkeustietonsa työmaalle mitatuista pisteistä. Rakentamisessa käytetään yleensä korkeusasemien määrittelyssä korkeutta merenpinnasta, eli niin sanottua ortometristä korkeutta. Korkeus ellipsoidista kyseisessä pisteessä poikkeaa ortometrisestä korosta geoidin korkeuden verran. Korkeuden nollatasot ovat käytössä olevien korkeusjärjestelmien määrittämisessä määrättyjä. (Poutanen 2007, 86)

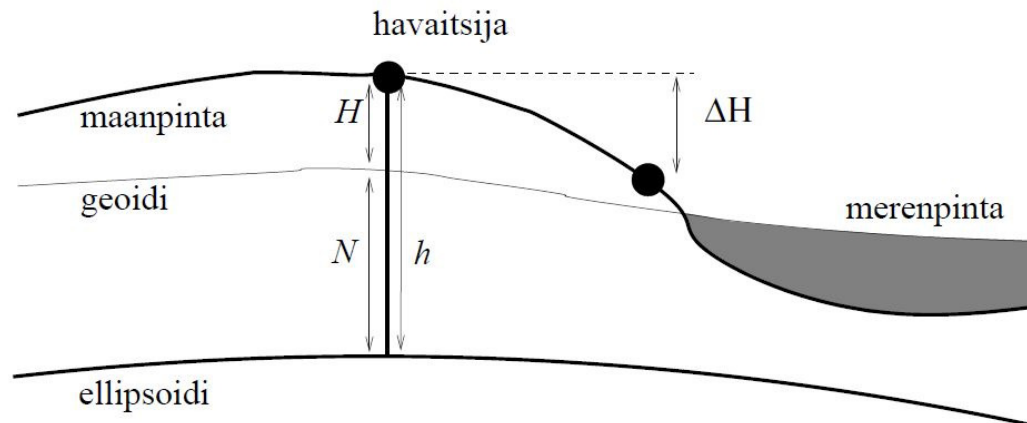
Toisin kuin geoidi, ellipsoidi on geometrinen, matemaattinen malli, joka on sovitettu maan painovoimakentän mukaan mahdollisimman hyvin. Geoidia taas ei voida esittää yksinkertaisella matemaattisella mallilla (kuva 3). (Poutanen 2007, 86)



Kuva 3 Sininen ja punainen viiva kuvaavat matemaattisia ellipsoideja ja musta geoidin muotojen eroja (Kuva: Maanmittauslaitos: Ellipsoidi ja geoidi)

Perinteisellä vaaituksella saadaan korkeuseroja  $H$ , jossa vertauspintana on geopotentiaalinen tasa-arvopinta, geoidi. Geoidi kuvaa merenpinnan kuviteltua jatketta mantereiden kohdalla. (Poutanen 2007, 86)

Satelliittimittauksessa saadaan sen sijaan korkeuksia  $h$ , missä pisteen korkeus esitetään mitattuna vertausellipsoidista. Jotta ellipsoidista mitatut korkeudet voidaan muuttaa korkeuksiksi geoidista, on geoidinkorkeus  $N$  tunnettava mittauspisteessä (kuva 4). (Poutanen 2007, 110)



Kuva 4 Ellipsoidin ja geoidin tasosijainnit ja keskinäinen riippuvuus (Poutanen 2007, 110)

N2000-korkeusjärjestelmän mukainen Suomessa käytettävä geoidimalli on nimeltään FIN2005. Käytettäessä geoidimallia mittalaitteissa ja koneohjausyksiköissä, muuttavat ne satelliitilta saadun korkotiedon haluttuun korkeusjärjestelmään. Työmailla voidaan käyttää myös mittausten perusteella tehtyä paikallista muunnosta. Työmaalla tunnetuista korkopisteistä mitataan GNSS-koordinaatit, jonka perusteella voidaan sovittaa geoidinkorkeudet. (Poutanen 2007, 115 - 116)

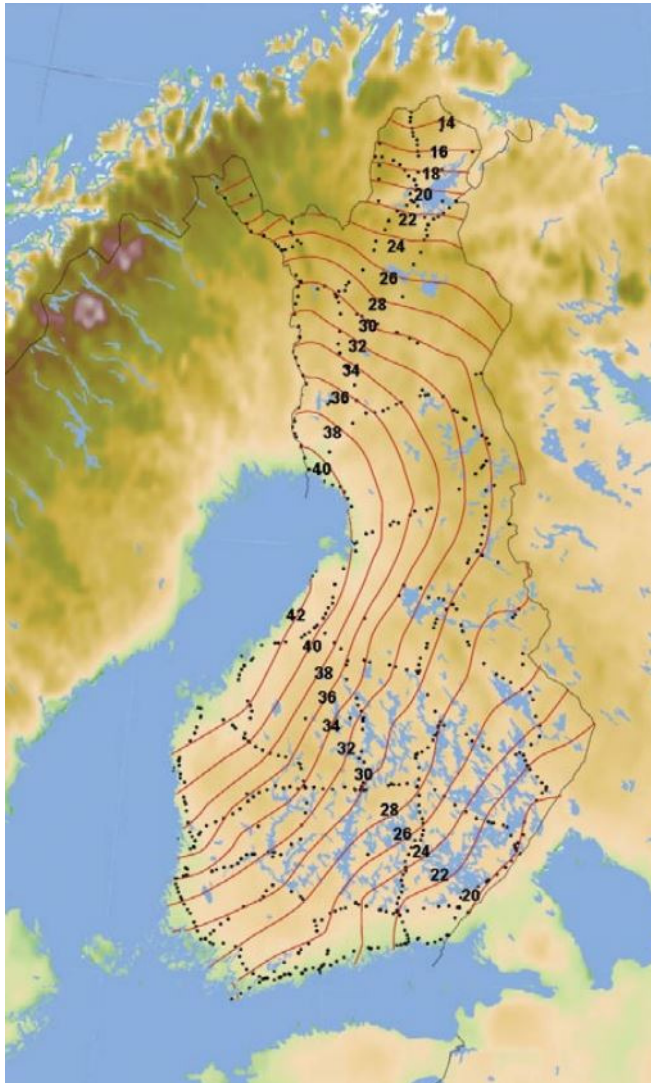
### 3.3.2 Suomessa käytettävät korkeusjärjestelmät

Suomen ensimmäinen tarkkavaaitukseen perustuva korkeusjärjestelmä, NN (”normaalinnolla”), mitattiin vuosina 1892 - 1910 etelästä Kajaani - Oulu -linjalle saakka. Seuraava tarkkavaaitus suoritettiin vuosina 1935 - 1955. Luotu verkko ulottui nyt Aavasaksa - Rovaniemi - Kemijärvi -linjalle. Syntynyt korkeusjärjestelmä nimettiin N43:ksi. (Poutanen 2007, 117)

Suomessa edellinen virallinen käytössä ollut korkeusjärjestelmä oli nimeltään N60. Se syntyi vuosien 1953 - 1962 ja 1971 - 1975 tehtyjen Lapin tarkkavaaitusten jälkeen. N60-korkeusjärjestelmä luotiin tasoittamalla vanha vaaitusverkko geopotentialilukuja käyttäen. Tuloksista saatiin edellisten mittausten kanssa yhteisistä pisteistä laskettua

maannousu. Näitä lukuja käyttäen kiintopisteiden korkeuserot redukoitiin vuoteen 1960. (Poutanen 2007, 117 - 118)

Nykyinen N2000-järjestelmä luotiin pohjoismaisena yhteistyönä itämeren alueella ja se on Euroopan maiden yhteisesti luodun EVRS-korkeusjärjestelmän realisaatio. N2000-korkeusjärjestelmän mukainen Suomessa käytettävä geoidimalli on FIN2005. (Maanmittauslaitos: N2000-julkaisu)



Kuva 5 Korkeusero (cm) N60 ja N2000 korkeuksien välillä (Kuva: Maanmittauslaitos: N2000-julkaisu)

Fennoskandian alueella maan korkeuden muutokset mittausten välillä johtuvat suurilta osin maan nousemisesta. Suomessa maannousu on voimakkainta perämeren alueella, missä maa nousee noin yhden senttimetrin vuosivauhtia. Maan muotojen vaihtelevuus ajan mittaan on syynä sille, miksi on tärkeää päivittää paikallisiakin malleja vastaamaan todellisuutta (kuva 5).



## 4 SATELLIITTIPAIKANNUS

### 4.1 Eri satelliittijärjestelmät

#### 4.1.1 GPS

GPS (Global Positioning system) on Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä satelliitteihin perustuva paikannusjärjestelmä. Se koostuu noin kolmestakymmenestä satelliitista, jotka lähettävät kantoaaltoa kahdella taajuudella. Kantoaaltoihin on moduloitu kahta erilaista paikannuksessa käytettävää koodia. Siviilipaikannuksessa käytetään avointa C/A -koodia. Vain toinen kantoaalloista sisältää C/A -koodia. Toinen, tarkempi satelliittien lähettämä koodi on USA:n armeijan käyttämä, salattu, P -koodi.

Satelliitit kiertävät maapalloa siten, että ne ovat aina samaan vuorokauden aikaan samassa kohtaa. Tämä voi aiheuttaa pientenkin häiriöiden voimistumista, jota joudutaan korjaamaan usein. Muiden järjestelmien kiertorata on säädetty siten, että vaikka satelliittikonstellaatio on sama tiettyinä vuorokauden aikana, satelliitit siinä ovat vaihtuneet. (Poutanen 2007, 86)

#### 4.1.2 GLONASS

GLONASS on neuvostoliiton aikana aloitettu venäläinen vastine GPS:lle. Ne ovat samankaltaisia järjestelmiä ja niitä voidaan käyttää jo samanaikaisesti GNSS-paikannuksessa. GLONASSilla on hieman parempi ratageometria erityisesti napa-alueilla. GLONASS-satelliitti lähettää signaalia myös kahdella taajuudella, mutta jokaisella satelliitilla on oma taajuutensa. Niitä ei myöskään ole salattu eikä niihin ole lisätty virheitä, joten GLONASSin tarkkuus yhdellä vastaanottimella on alle 10 m. (Poutanen 2007, 86)

#### 4.1.3 Galileo

Galileo on Euroopan Komission ja ESA:n (Euroopan Avaruusjärjestö) kehitteillä oleva paikannusjärjestelmä. Sillä on merkitystä paikannustarkkuuden parantamisessa, sekä poliittista merkitystä Euroopan saadessa oman satelliittijärjestelmän hallintaansa. Sekin

muodostuu valmiina kolmestakymmenestä satelliitista, joiden tarkkuudeksi on luvattu 6 metriä. Galileo tulee operoimaan osittain samoilla taajuuksilla kuin GPS. (Poutanen 2007, 86)

#### **4.1.4 Compass**

Compass tai Beidou-2 tulee olemaan laajennus Kiinan Beidou -satelliittijärjestelmään. Valmiina 35 satelliitin laajuinen järjestelmä tulee tarjoamaan siviilikäyttäjille noin 10 metrin paikannustarkkuuden yhdellä vastaanottimella. Compass lähettää myös tarkempaa paikannustietoa sotilaskäyttöön. (Astronautix: Beidou)

#### **4.1.5 GNSS**

GNSS (Global Navigation Satellite System) on GPS:n, GLONASSin, Galileon ja Compassin muodostaman kokonaisuuden satelliittijärjestelmän nimitys. (Poutanen 2007, 5 - 6) Satelliittijärjestelmien yhteiskäyttö sekä signaalille suoritettava jälkilaskenta tai reaaliaikainen laskenta nostaa paikannustarkkuuden jopa millimetriluokkaan (Poutanen 2007, 9) Nykyiset koneohjausjärjestelmät ovat rakennettu toimimaan näiden satelliittien yhdistelmillä. Kun Galileo toimii täydellisenä, on tällöin paikannussatelliitteja järjestelmässä yli 80. Kiinalainen COMPASS valmistuessaan lisää satelliitteja vielä kolmekymmenelläviidellä.

## **4.2 Satelliittisignaalin vastaanottaminen ja sijainnin korjaus**

Satelliittipaikannuksessa sijainnin määrittämisessä on kolme vaihtoehtoa: absoluuttinen, differentiaalinen tai suhteellinen paikanmääritys.

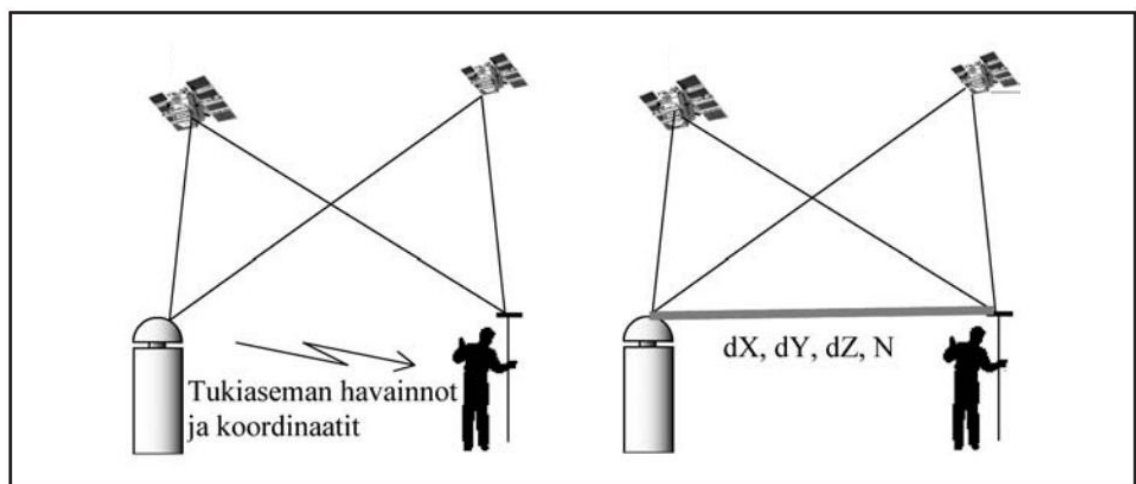
Absoluuttinen paikanmääritys tapahtuu yhdellä vastaanottimella. Siinä vastaanotin selvittää signaalin kulkuun käyttämän ajan, jota verrataan satelliittien sijaintitietoihin. Paikanmääritys vaatii vähintään 4 näkyvää satelliittia. (Maanmittauslaitos: GPS-mittaus)

Differentiaalinen paikanmääritys (DGPS) on absoluuttista tarkempi, sillä voidaan päästä noin metrin tarkkuuteen. DGPS on yleisimmin käytössä merenkulussa. Differentiaali-korjausta Suomessa lähettää muun muassa Merenkulkuhallitus ja YLE. (Poutanen 1998, 204)

DGPS-mittaukseen tarvitaan liikkuva vastaanotin, vähintään 4 satelliittia sekä tukiasema tunnetussa paikassa. Kiinteä vastaanotin lähettää yleensä radiotaajuuksilla DGPS-korjauksessa käytettävää RTCM -koodia. Korjauksessa voidaan käyttää kahta tekniikkaa. Helpompi tapa on laskea kiinteän tukiaseman havaintojen ja tunnetun sijainnin ero ja tehdä samat korjaukset liikkuvalla vastaanottimelle. Tämä vaatii samojen satelliittien näkymistä kumpaankin vastaanottimeen. Korjaus voidaan laskea parin sadan kilometrin päähän. Toisessa, yleisemmässä, tavassa käytetään jokaiselle satelliitille erikseen laskettavia todellisen ja havaitun etäisyyden eroja. yhteyttä käyttäen korjausdataa liikkuvalla vastaanottimelle kunkin satelliitin sijaintitiedon korjausta. (Poutanen 1998, 202 - 204)

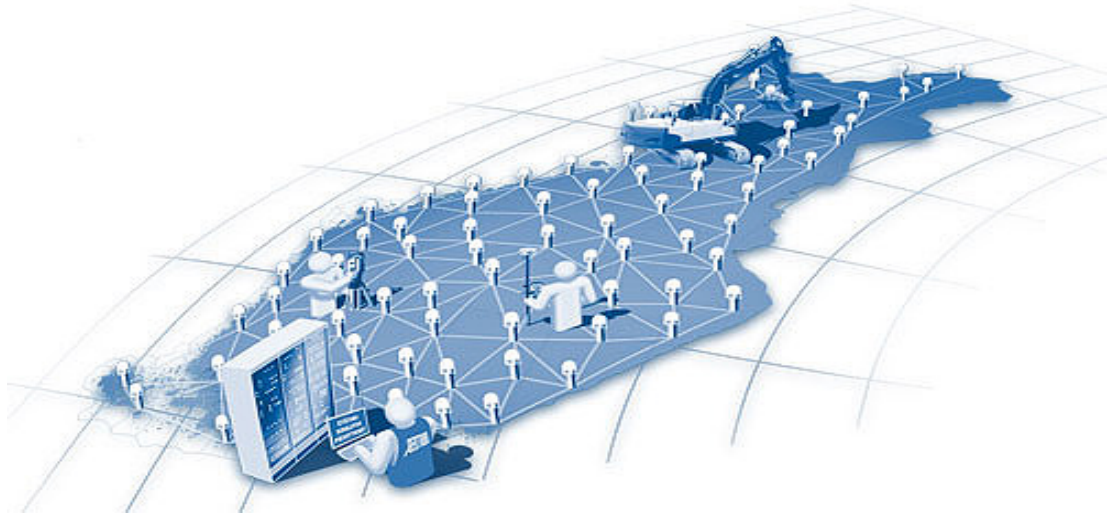
Suhteellisessa paikanmäärityksessä ei käytetä satelliittien lähettämää koodia, vaan sen kantoaaltoa. Korjauslaskenta voidaan suorittaa jälkilaskentana (staattinen) tai reaaliajassa. (Poutanen 2007, 8 - 9)

Työmaalla käytetään lähinnä RTK-sovelluksia. Reaaliaikaiseen kinemaattiseen RTK-mittaukseen (Real Time Kinetic) tarvitaan kaksi vastaanotinta ja datayhteys (kuva 6). Toinen vastaanottimista sijaitsee tunnetulla pisteellä. Liikkuva vastaanotin suorittaa alustuksen, jonka jälkeen se on valmis paikantamaan itsensä senttimetritasolla kiinteän aseman lähettämän korjausdatan perusteella. Menetelmän toimintasäde on ilmakehän olosuhteista riippuen noin 10 – 30 km. (Häkli & Koivula 2005, 6 - 7)



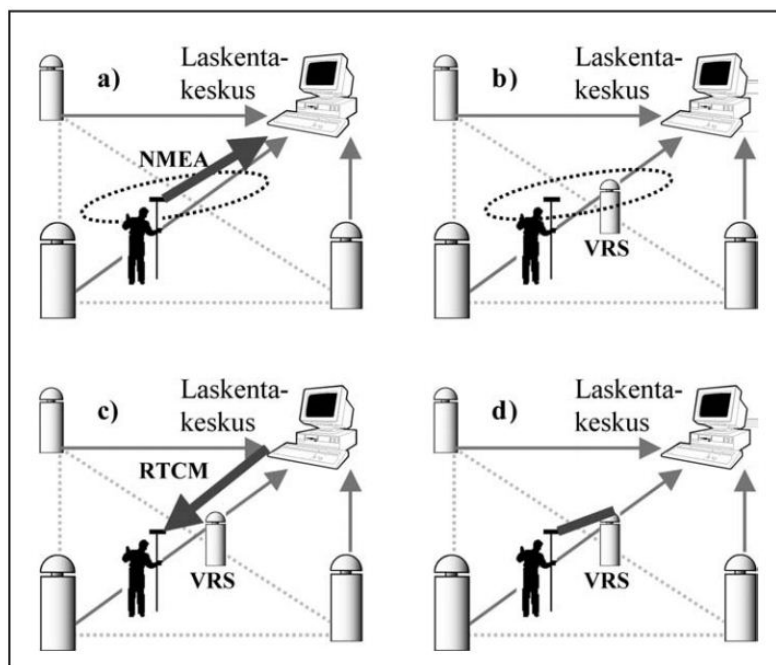
**Kuva 6 RTK-mittaus. Tunnetulla pisteellä sijaitseva vastaanotin lähettää sijaintietonsa liikkuvalle vastaanottimelle. Vastaanottimien välinen vektoriksi saadaan laskettua tarkasti. (Häkli & Koivula 2005, 7)**

Verkko-RTK-mittaus eli VRS-mittaus perustuu kiinteään tukiasemaverkkoon (kuva 7). Ajatuksena on käyttää mittauksissa virtuaalista tukiasemaa, jonka sijainti lasketaan kiinteän tukiasemaverkon avulla mittaajan lähelle.



Kuva 7 VRS-tukiasemaverkon periaatekuva (Geotrim Oy:n esite)

Mittaaja lähettää likimääräisen sijaintinsa laskentakeskukseen (a). Tämä virtuaaliasema ”luodaan” mittajaan lähellä sijaitsevaan pisteeseen (b). Virtuaalisen tukiaseman sijainti generoidaan pysyvien GPS-asemien datasta (c). Periaatteessa järjestelmä siirtää kiinteän tukiaseman virtuaalisijaintiin ja laskee tarvittavat muutokset paikannukseen käytettävään signaaliin. Suhteellinen mittaus perustuu tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen välille laskettuun vektoriin (d) (kuva 8). (Häkli & Koivula 2005, 8 - 9)

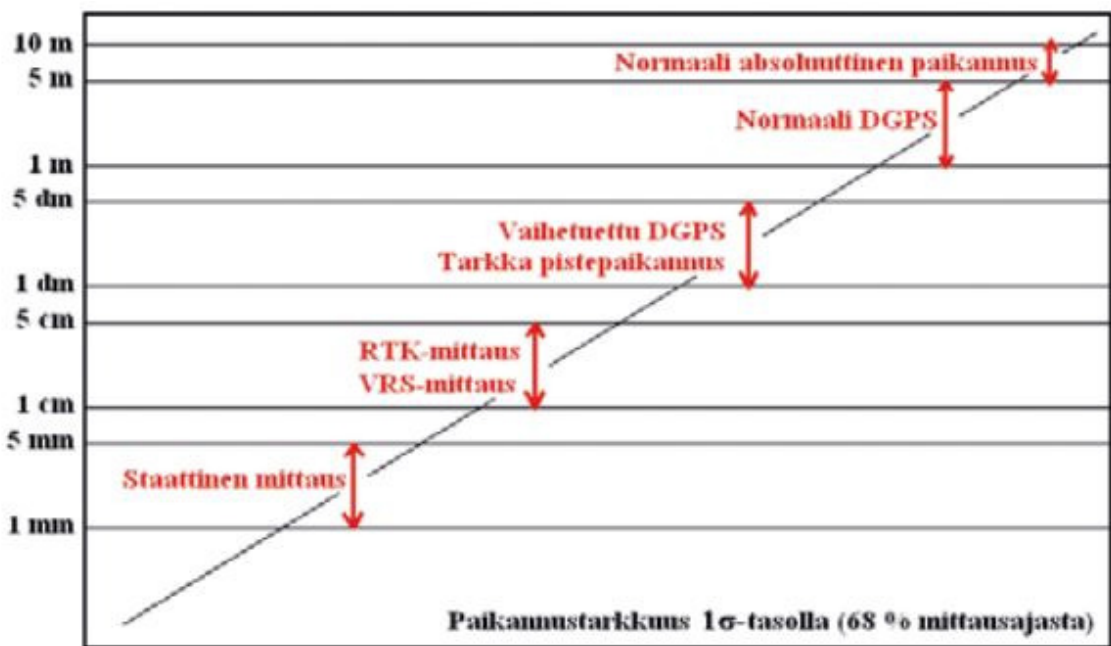


Kuva 8 Kiinteä tukiasemaverkko sekä sen perusteella laskettu virtuaalinen VRS-tukiasema (Häkli & Koivula 2005, 9)

Geotrimin Trimnet on ainoa VRS-verkko, joka on tällä hetkellä koko Suomen kattava. Muitakin VRS-verkkoja on olemassa, etenkin suurimpien kaupunkien ympärillä. Trim-

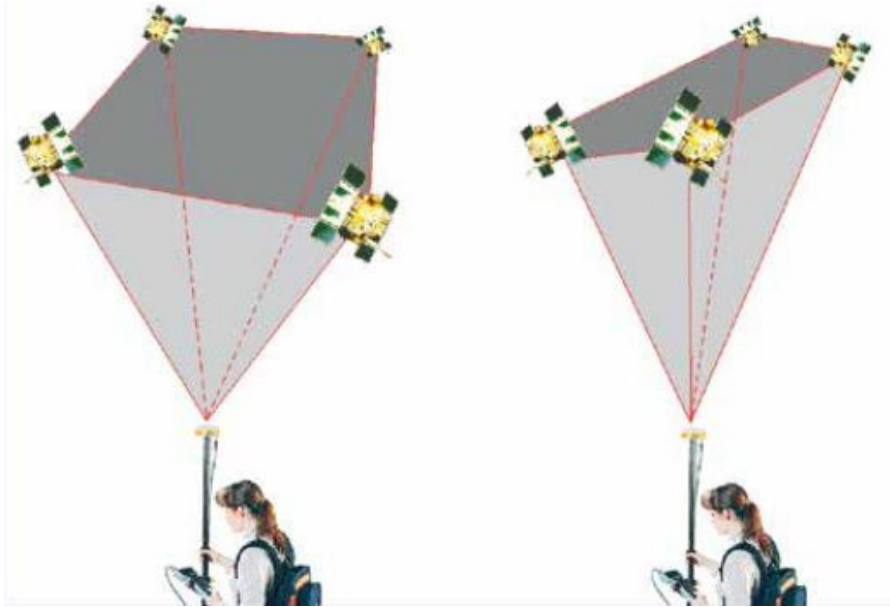
net koostuu yli sadasta tukiasemasta ympäri Suomea ja sen laskentakeskus sijaitsee Vantaalla. Verkkoa pääsee käyttämään lunastamalla Trimblen lisenssin.

Paikannustarkkuus on siis paras staattisessa mittauksessa, missä korjaus tapahtuu jälkilaskentana ja mittausten havaintoajat pitkiä. Reaaliaikaisten suhteellisten mittaustapojen tarkkuutta voidaan työmaolosuhteissa pitää siis tarkimpina. Paikannustarkkuus VRS- tai RTK-mittauksissa voidaan olettaa olevan viiden senttimetrin luokkaa normaalisti toimivilla verkko- ja satelliittiyhteyksillä (kuva 9). Paikannustarkkuus voi olla vielä tätäkin parempi.



Kuva 9 Eri paikannustapojen paikannustarkkuuden vertailu. Tarkkuudet ovat suuntaa-antavia. (Kuva: Laurila 2012, 315)

Näkyvien satelliittien taivasgeometrian laatua ja täten havaintotarkkuuttakin kuvataan suurella DOP (Dilution Of Precision). Yleisimmin GNSS-vastaanottimissa tavataan lyhenne PDOP (Position Dilution Of Precision). Se tarkoittaa käytännössä paikannuksen tarkkuuden määrittelyn laatua (kuva 10). Mitä pienempi DOP-luku, sitä parempi paikannustarkkuus. 8 - 10 ja sen ylittävillä PDOP arvoilla, mittausta ei kannata suorittaa. (Poutanen 1998, 177 - 178)



Kuva 10 Vasemmalla hyvä satelliittigeometria ja pieni DOP-luku, oikealla heikompi geometria ja suurempi DOP-luku. (Kuva: Laurila 2012, 310)

### 4.3 Satelliittipaikannukseen liittyvät ongelmat työmailla

Työmailla yleisimmin ilmenneet ongelmat ovat liittyneet toisaalta koneohjauksen uutuuden tuomiin haasteisiin ja toisaalta ympäristön luomiin ongelmiin. Kokemus ja tietämyksen tason nousu koneohjauksen tuomiseen työmaalle ja siellä käyttämiseen poistaa ensimmäisen ongelman. Toinen jää vielä tulevaisuudessakin olemaan työmaiden haasteena.

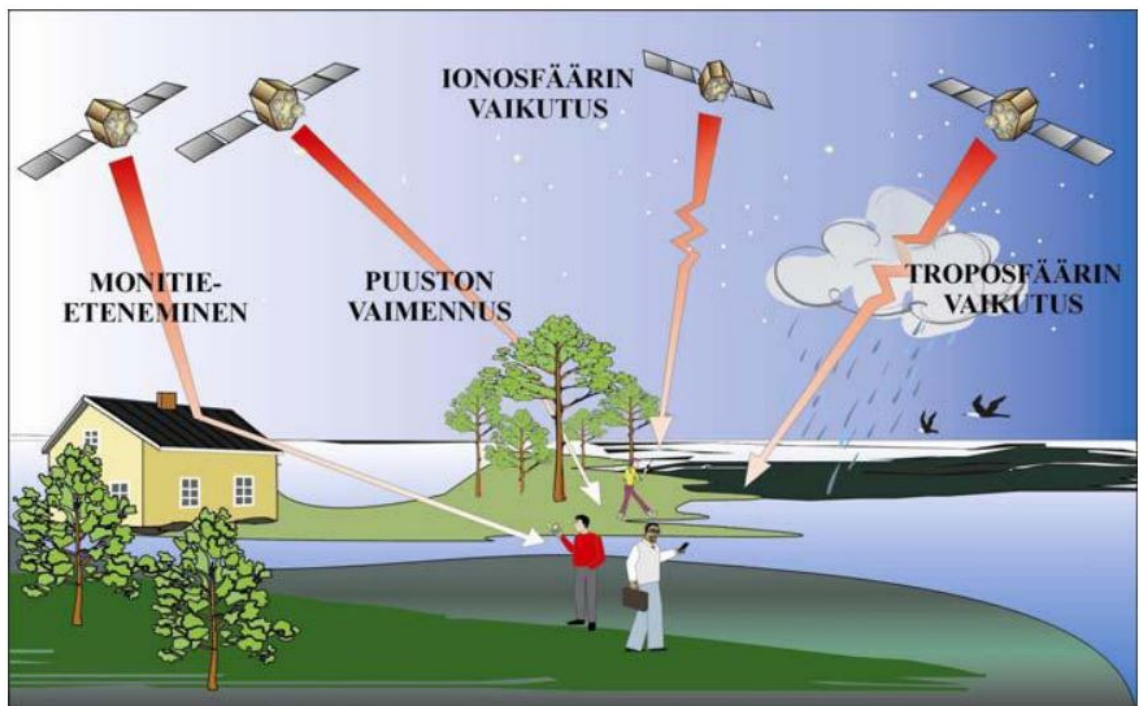
Ympäristön luomat ongelmat tarkoittavat puista, rakennuksista ja muista esteistä muodostuvia katvealueita, joihin ei saada satelliittiyhteyttä. Ympäristön luomaksi ongelmaksi voi laskea myös matkapuhelinverkon katveita, jos paikannustapa edellyttää toimivaa verkkoyhteyttä. 3G- tai 4G -yhteyttä käytettäessä korjausdatan siirtämiseen, matkapuhelinverkon ongelmat aiheuttavat epätarkkuutta koneohjausjärjestelmien paikannustarkkuudessa. Verkko-RTK-paikannusta käytettäessä yhteys VRS-palveluun voi olla paikallisesti huono, mikä aiheuttaa taas paikannuksen epätarkkuutta.

Näitä alueita voidaan käydä kartoittamassa etukäteen esimerkiksi kannettavalla GNSS-vastaanottimella (kuva 11). Ratkaisuna voidaan käyttää erillistä kiinteää tukiasemaa, joka lähettää sijainninkorjausta satelliittipaikannusta hyödyntäville laitteille radiolla. Ilman samojen satelliittien näkyvyyttä sekä tukiasemassa että työkoneessa, tämä ei ratkaise paikannusongelmia.



Kuva 11 Trimble R10 GNSS-vastaanotin (Kuva Trimble-esitys)

Ongelmia voi syntyä myös satelliittien lähettämän signaalin heijastuksista. Monitieheijastukset ovat ympäristöstä heijastuvia signaaleja, mitkä saapuvat antenniin useaa eri reittiä. Heijastuksia syntyy esimerkiksi vedestä tai muusta suuresta heijastavasta pinnasta (kuva 12). Heijastusten vaikutukseen mittaustarkkuuteen voidaan vaikuttaa muun muassa antennin korkeudella. Antennit ja ohjelmistot myös suunnitellaan ottamaan heijastuksista mahdollisimman vähän häiriötä. (Poutanen 1998, 137). Kun työmaalle perustetaan kiinteä tukiasema, tulee heijastumat ja esteet pitää mielessä sen sijoittamisessa.



Kuva 12 Satelliittien signaalin kulkuun vaikuttavia häiriötekijöitä (Kuva: Airos, Korhonen, Pulkkinen 2007, 16)

## 5 KONEOHJAUSLAITTEIDEN TOIMINTA

### 5.1 Koneohjauslaitteiden toimintaperiaate

Koneohjausta on karkeasti kahdenlaista, kuljettajaa opastavaa tai koneautomaation avulla työkonetta ohjaavaa. Jälkimmäinen ei ole kuitenkaan täysin ilman kuljettajaa toimivaa, ja käytännössä koneohjaus seuraa kuljettajan liikkeitä. Tähän kuuluu mm. tiehöylän teräautomatiikka ja asfaltin levittimen perän säädöt (kuva 13).



Kuva 13 Stabilointikoneen koneohjausyksikön pc, joka ohjaa puomia ja sideaineen syöttöä. (Kuva: Mattijaako Määttänen)

Kaivinkoneissa taas koneohjaus on puhtaasti kuljettajaa opastavaa. Koneohjausyksiköstä valitaan rakennettavaa kohdetta kuvaava malli ja työskentelynäkymässä nähdään koneen ja terän sijainti suhteessa malliin. Lisäksi nähdään muita tietoja, kuten kauhan kaltevuus, merenpintakorko tai putken ominaisuuksia.



## 5.2 Satelliittipaikannukseen perustuva koneohjaus

Satelliiteilla itsensä paikantava työkone voi käyttää joko kahta tai yhtä GPS tai GNSS-antennia (kuva 14). Tämä riippuu siitä, minkä tasoista sijainnin määrittystä tehtävä työ vaatii. Tarkempaa työtä tehtäessä on 3D-koneohjatuissa työkoneissa yleisesti käytössä kahden antennin järjestelmä. Tämä mahdollistaa työkoneen suunnan määrittämisen kahden antennin välisen vektorin avulla. Yhden antennin koneohjausjärjestelmiä käytävissä kaivinkoneissa ylävaunua on pyöritettävä koneen suunnan määrittelemiseksi.



Kuva 14 GNSS-antennit kaivinkoneen peräpuntin päällä (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

Laitteiston asennusvaiheessa työkoneesta mitataan tarvittavia mittoja, Niiden perusteella työkoneen sijainti on koneohjausyksikön tiedossa, kun satelliittiyhteys on muodostettu ja mittaus alustettu käyttäen jotain paikannuksen tarkennuskeinoa. Kuljettaja näkee näyttöltään haluamaansa tietoa perustuen paikannukseen sekä koneohjausyksiköstä valittuun malliin.

## 5.3 Takymetripaikannukseen perustuva koneohjaus

Takymetrillä saadaan mitattua alle senttimetrin tarkkuudella. Takymetri orientoidaan työmaalla tunnetuista pisteistä. Koneohjattuihin työkoneisiin on kiinnitetty aktiiviprisma (kuva 15), joka paikantaa työkoneen takymetristä. Sen jälkeen koneohjausyksikkö

sijoittaa koneen käytettävään koordinaatistoon ja työkoneesta valitun koneohjausmallin päälle.



Kuva 15 Aktiiviprisman kiinnitys 3D-koneohjattuun asfaltinlevittimeen. (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

Takymetrioajaus on yleisesti käytössä tiehöylissä ja asfaltinlevittimissä korkean tarkkuutensa vuoksi. Tiehöylät olivat ensimmäisiä työkoneita, mille koneohjausta on alettu kehittämään. Samaa takymetriä käyttäen voidaan myös tarkemmitata tiehöylän tai asfaltinlevittimen tekemä rakenne. Automaattista tarkepisteiden ottoa tiehöylissä tai vaihtoehtoisesti jyrissä ollaan pohdittu eri yhteyksissä.

Rakentamisessa käytettävät mallit toimitetaan yleensä muistitikulla takymetrioajatuille koneohjausyksiköille.

#### 5.4 Koneohjaus eri työkoneilla

Koneohjauslaitteiston kokoonpano riippuu työkoneesta, mihin se asennetaan ja paikannustavasta. Yleisesti laitteistoon kuuluu tietokone, (kosketus)näyttö, modeemi, kallistus- ja muita antureita sekä paikannuksessa käytettävä (GNSS) laitteisto. Lisäksi laitteistoihin voi kuulua esimerkiksi kaikuluotaukseen perustuvaa etäisyyden mittauslaitteistoa.



Kuva 16 Stabilointikoneen kuljettajan näkymä (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

Stabilointikoneessa kannettava tietokone vasemmalla ohjaa esimerkiksi sideaineen syöt-  
töä. Oikealla sijaitsevasta näytöstä nähdään ja valitaan kulloinkin rakennettava pilari  
(kuva 16).

Eri valmistajien laitteistot poikkeavat ulkonäöltään ja käyttöliittymältään toisistaan.  
Formaatit, joissa malleja siirretään koneohjausyksiköille, voivat vaihdella riippuen val-  
mistajasta ja työkoneesta. Tämä saattaa vaatia eri ohjelmien hankintaa. Mallien siirtämi-  
seen työkoneisiin käytetään joko internetin kautta tapahtuva jakelua jonkin palvelimen  
välityksellä tai USB-tikkua.

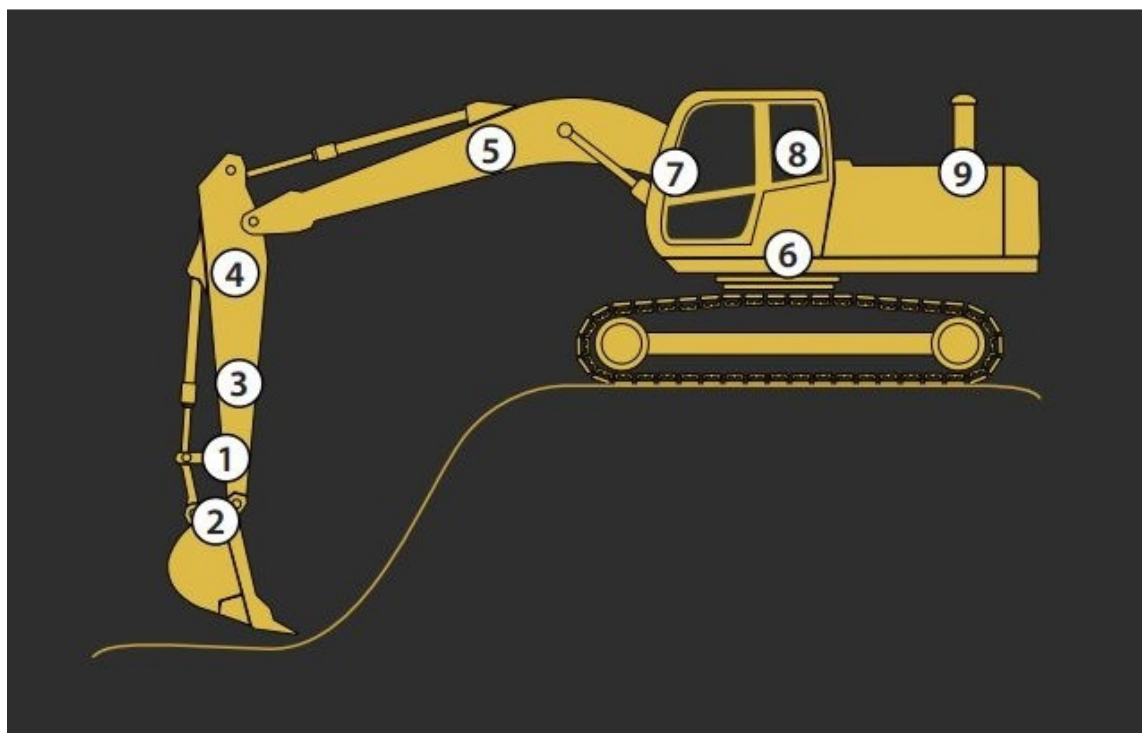
Kaivinkoneen hyttiin tulevasta näytöstä nähdään koneen sijainti suhteessa suunniteltuun  
malliin. Tässä tilassa näytössä näkyy myös, alhaalta lukien: kauhan kaltevuus prosent-  
teina, kauhan mittapisteen merenpintakorko, suunnitelman merenpintakorko sekä kau-  
han mittapisteen etäisyys mallista. (kuva 17).



Kuva 17 Kaivinkoneen kuljettajan näkymä. Vasemmassa reunassa olevat valot osoittavat suuntaa kauhasta malliin. Kun kauha on tasan mallin korkeustasossa, palaa vain vihreä LED. Sama etäisyys näkyy numeraalisti näytön oikeassa yläkulmassa. (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

Takymetripaikannusta käyttävissä työkonneissa on aktiiviprisma. Se on yleensä kiinnitetty pystypalkkiin työkonneen sivulle. Satelliittipaikannuksen perusteella toimivissa koneissa on tarpeen mukaan yksi tai kaksi GNSS-antennia.

#### 5.4.1 Kaivinkoneet



Kuva 18 Kaivinkoneeseen asennettava laitteisto (Novatron esite 2013)

3D-koneohjattuun kaivinkoneeseen asennettavat laitteet ovat:

1. Kauha-anturi
2. Kauhan sivuttaiskallistuksen anturi
3. Laservastaanotin
4. Kaivuvarren anturi
5. Pääpuomin anturi
6. Runkoanturi
7. Näyttö-/tietokoneyksikkö
8. GNSS-vastaanottimet
9. GNSS-antennit.

(Novatron 2013)

Koneohjauslaitteita asennettaessa mitataan kaivinkoneen puomit, kauhat sekä pyörähäkselin paikka. Tiedot ovat olennaisia paikannuksen tarkkuudelle. Jo esimerkiksi kauhojen huulilevyjen kuluma aiheuttaa pientä virhettä paikannukseen, jos kulumaa ei ole pitkään aikaan mitattu ja syötetty koneohjausyksikölle. Koneohjauslaitteiden asennus kestää yleensä puolesta työpäivästä kokonaiseen.



Kuva 19 Kaivinkoneen kauhan asema suhteessa pintamalliin Novatron Vision 3D-koneohjausyksikössä. (Kuva: Lauri Sirviö)

Kaivinkoneet ovat yleisimpiä työkoneita maanrakennustyömailla. Niitä käytetään laajasti eri työvaiheissa, joten kaivinkoneiden työn tehostaminen on merkittävässä asemassa, kun pyritään hyödyntämään koneohjausta maksimaalisesti. Koneohjausta voidaan hyödyntää kaikissa kaivinkoneen työtehtävissä. Leikkaamiseen tai rakennekerrosten levittämiseen käytetään pintamalleja (kuva 19). Putkilinjoja voidaan kuvata viivamalleilla, eri objekteja pisteillä.

Kaivinkoneiden hyötyaste on yleensä suhteellisen huono. Tämä johtuu monista tekijöistä, kuten käytettävissä olevan ajokaluston määrästä. Mittatietojen odottelu hidastaa työmaita omalta osaltaan. Kuljettajaa opastavan 3D-koneohjauslaitteiston käyttö parantaa koneiden itsenäistä työskentelyä.

Koneohjausta hyödyntävillä kaivinkoneilla ei päästä kaikista hidasteista yli, mutta koneiden itsenäinen työskentely parantaa kaivinkoneiden tehokkuutta perinteisiin menetelmiin nähden. Siirtyminen työvaiheesta ja rakenteesta toiseen onnistuu käytettävää mallia vaihtamalla, eikä mittamiestä tarvita merkitsemään maastoon uutta työkohdetta.

Rakennettavista uudiskohteista tehdyt pohjatutkimukset ovat yleensä lähinnä suuntaa-antavia. Työmaalla paljastuu usein pohjaolosuhteita, joita ei suunnitteluvaiheessa ole ollut tiedossa. Tällaisten tilanteiden eteen tullessa voidaan koneohjausta hyödyntää eri tavoin. Paikannusta voidaan käyttää esimerkiksi kartoittamaan esiin tulleen kallion pintaa, jolloin tarvittavat toimenpiteet ja niiden laajuus saadaan nopeasti työnjohdon tietoon. Kyseisen työvaiheen seisahtuessa on niin sanottuun ”vara-mestaan” siirtyminen nopeampaa, kun maastoon merkitsemistä ei tarvita.

Perinteisessä rakennustavassa tie- tai muun linjan korkomerkkien välissä tapahtuva epätarkkuus poistuu koneohjauslaitteita käytettäessä. Paikannustarkkuuden ollessa hyvä ja pysyvä rakenteiden yhtenäisyys paranee perinteisestä. Kaivinkoneella jakavan kerroksen tekeminen lähelle suunnitelman mukaista nopeuttaa pinnan viimeistelyä. Jakavassa kerroksessa sallitaan InfraRYL:n mukaan  $\pm 30$  mm (Liite 1). Teoriassa tähän on GNSS-paikannuksella mahdollista jo päästä. Kuten myös suodatinkerroksen  $\pm 40$  mm, mikä on mahdollista siis toteuttaa ilman tiehöylää tarkasti.

Jatkossa pyritään myös laadunvarmistuksessa siirtymään työkoneiden ottamien tarkepisteiden käyttöön. Tämä vaatii koneiden kuljettajilta opettelua sekä huolellisuutta luotet-

tavien tarketietojen ottamisessa. GNSS-paikannusta käyttävillä kaivinkoneilla voidaan tarkemitata rakennettavia kohteita laatuaineistoon.

Kuljettajien taitojen lisäksi laaduntarkkailu koneohjauslaitteistoa käyttäen vaatii paikannukselta muutaman senttimetrin tarkkuutta. Esimerkiksi viettoviemäriinjoja rakennettaessa muutaman senttimetrin erisuuntainen mittavirhe kahden kaivon välillä voi aiheuttaa kaadon kääntymisen väärään suuntaan ja täten painanteen viemäriinjoon. Virheiden merkitys korostuu, jos kaadot ovat lähtökohtaisesti pieniä tai myöhemmin painumat epätasaisia. Jätevesiviemäriin mittavaatimuksia on esitelty liitteessä 3.

Tarkkuuden todentamiseksi on koneohjausyksikön paikannustarkkuutta seurattava muilla maanmittauslaitteistoilla, kuten takymetrillä tai GNSS-paikantimella. Työkoneista saa myös ainakin joillain valmistajilla etäyhteyden huoltoon, josta niiden laitteistot voidaan kalibroida kuljettajan kanssa.

#### 5.4.2 Tiehöylät

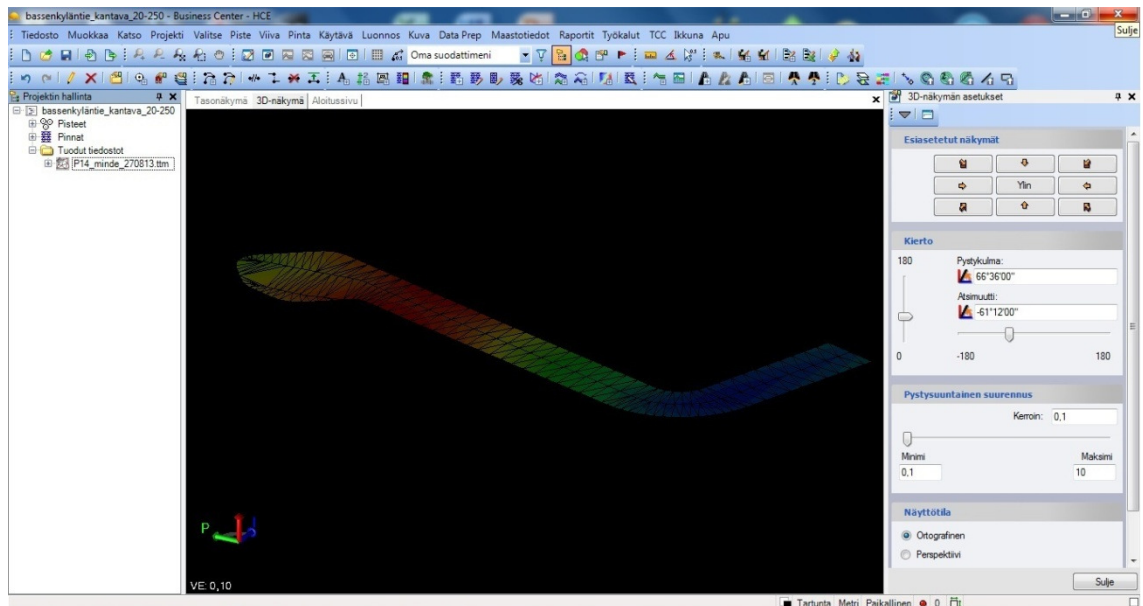
Kuten kummassakin tässä työssä esiteltävässä referenssikohteessa, tie- ja katurakentamisessa jakavan sekä kantavan kerroksen rakentaminen toteutetaan yleisesti tiehöylällä. Koneohjatut tiehöylät käyttävät paikannukseen yleensä takymetriä (kuva 20). Tällä päästään työmaalla jopa  $\pm 0 - 5$  mm tarkkuuteen rakennettavassa kerroksessa. Tarkkuusvaatimukset kantavan kerroksen kohdalla on InfraRYL:n mukaan perinteisin menetelmin vaativa  $\pm 2$  cm (Liite 2).



Kuva 20 Takymetriohjattu tiehöylä (Nieminen 2011, 14)

Tiehöylän alusterää voidaan ohjata manuaalisesti tai käyttää täysin järjestelmän ohjaamana. Terä seuraa koneelle vietyä koneohjausmallia. Terän kaltevuus ja korkeus seuraa mallia ja tiivistyksen aiheuttama painuminen voidaan ottaa etukäteen huomioon käyttämällä niin sanottua offset-toimintoa, missä pintaa voidaan nostaa tai laskea koko mallin osalta työkoneessa (Heikkilä & Jaakkola 2005, 32 - 37). Käytettävän kivimateriaalin ominaisuudet ja kerrospaksuus määrittävät painumavaran suuruuden. Arvion onnistuminen osaltaan vähentää tarvittavien yliajokertojen määrää ja vaikuttaa täten työn valmistumisnopeuteen.

Tiehöylien koneohjaus käyttää mallinaan kolmioverkkoon perustuvaa pintamallia (kuva 21). Mallit rakennekerroksista tehdään yleensä vähintään puoli metriä ylileveänä tiehöylän liikkeitä varten. Työvaran lisääminen on erityisen tärkeää ahtaissa katukohteissa.



Kuva 21 Kadun pintamalli Trimblen Business Center HCE -ohjelmassa (Kuva: Mattijaakko Määttänen)



### 5.4.3 Stabilointikoneet

Pehmeiköillä yleisesti käytettävissä stabiloinneissa koneohjauksen käyttöönotto tuo monia hyötyjä. Koneohjausta voidaan käyttää erilaisissa stabiloinneissa. Sillä voidaan toteuttaa massa- ja pilaristabilointeja (kuva 22) sekä sekoitusjyrsintää.

Pilaristabiloinnin tekeminen koneohjatulla stabilointikoneella on yksinkertaista ja nopeaa. Työmaan toteutusmalliin on mallinnettu jokainen pilari ominaisuuksineen. Näihin kuuluu pilariin käytettävän sideaineen määrä, XYZ -sijainti ja vinous sekä yksittäisen pilarin dimensiot. Laitteisto myös dokumentoi jokaisen pilarin toteumatiedot jotka liitetään stabiloinnista tehtäviin laatudokumentteihin. Samankaltaisilla malleilla toteutetaan myös koneohjattu paalutus tai kallion poraus.



Kuva 22 Stabilointikone (Kuva: Mattijaakko Määttänen)



Kuva 23 Pilarien näkyminen kuljettajalle (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

Kun kuljettaja vie puomin lähelle suunniteltua pilaria, kone ohjaa automaattisesti puomin oikeaan asemaan sekä kaltevuuteen. Pilarin varsinainen rakentaminen on myös hyvin pitkälle automatisoitu (kuva 23).

#### 5.4.4 Asfaltinlevittimet

Koneohjatuilla höylillä toteutettu asfalttipohja on todella tarkasti suunnitelman mukainen. Materiaalin korkeasta hinnasta johtuen tasausmassojen käyttö on epätoivottavaa. Myös kerrospaksuus pyritään tekemään mahdollisimman lähelle suunniteltua. (Heikkilä & Jaakkola 2005, 44). Asfalttia voidaan pitää kalvona joka levitetään kantavan kerroksen päälle tasaisena laattana. Tällöin voidaan hahmottaa tilanne, jossa kantavan kerroksen muoto heijastuu suoraan valmiiseen asfalttipintaan. Koneohjatun levittimen hyöty on pieni koneohjatuilla tiehöylällä rakennetulla pinnalla.

Koneohjattua asfaltinlevitintä on Lemminkäisellä testattu muun muassa Niinisalon tykistöprikaatin ja Oulussa Raatin juoksuradan pohja-asfalttoinnin tekoon. Juoksuradoilla sivukaltevuus on pieni, 1 ‰, ja geometriset vaatimukset tiukkoja. Koneohjattuja levittäimiä on käytetty myös VT4 -urakassa Jyväskylässä ja VT13 -urakassa Vaalimaalla. Levittimen zoomeja ja koneohjausyksiköiden malleja hallitaan koneen perään sijoitetuista ohjaimista (kuva 24).

Levitin saa mittatietonsa robottitakymetriltä, joka on yhteydessä levittimeen kiinnitettyyn aktiiviprismaan. Työkone seuraa maanpintaa siihen kiinnitetyn ”suksen” avulla, jossa on yleensä kolme kaikuluotaukseen perustuvaa sensoria. Levittimen perä voi seurata mallia itsenäisesti, jolloin perämiehen tehtävä on tarkkailla syntyvää laattaa. Suurta tarkkuutta vaativissa kohteissa olisi hyvä olla käytössä 2 takymetriä. Toinen on yhteydessä levittimeen, toista käyttää perä- tai mittamies, joka seuraa syntyvän kerroksen geometrisiä ominaisuuksia. (Heikkilä & Jaakkola 2005, 44)



Kuva 24 Koneohjattu asfaltinlevitin (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

## 5.5 Koneohjauslaitteiden suurimmat toimittajat Suomessa

Suomen koneohjauslaitemarkkinat ovat keskittyneet neljälle suurimmalle toimittajalle. Kaikkien koneohjauslaitteita käytetään yleisesti. Urakoitsijat joutuvat toimimaan kaikkien valmistajien laitteiden kanssa. Lemminkäisellä on käytetty kaikkien laitevalmistajien kaivinkoneisiin soveltuvia laitteistoja. Asfaltinlevittimissä on käytetty ainakin Trimblen ja stabilointikoneissa Scanlaser Oy:n (myöhemmin Scanlaser) laitteistoja.

Koneohjauslaitteita on tulevaisuudessa suurien maanrakentajien lisäksi myös aliurakoitsijoiden koneissa. Tästä syystä pääurakoitsijoilla on oltava valmiudet toimia kaikkien laitevalmistajien kanssa.

Yleisesti ei tuota ongelmia, jos työmaalla käytetään eri valmistajien mittaus- ja paikannuslaitteita samaan aikaan. Lisätyötä tuo kuitenkin toteutusmallien ja mittausaineistojen formaattien muunnokset eri valmistajien laitteisiin sopiviksi.

KUURAn kaltaiset projektinjohtopalvelut ovat muodostumassa tärkeäksi osaksi urakoiden hallintaa. Palvelua voi käyttää päiväkirjojen ja tarkemittaustietojen välittämiseksi tilaajalle sekä suunnitelmamuutosten ja muun informaation välittämiseen urakkaan eri rooleissa osallistuville henkilöille.

Työkoneiden seurantaan ja mallien lisäämiseen työkoneille käytetään nykyisin jonkun ulkopuolisen yrityksen, kuten Hohto Labs Oy:n (myöhemmin Hohto Labs) Bassenkylässä, tarjoamaa internetpalvelua. Suuremmilla työmailla, missä on käytössä eri valmistajien laitteistoja, tämä voi aiheuttaa ongelmia. Esimerkiksi Hohto Labsin KUURA -palveluun ei tällä hetkellä ole mahdollista yhdistää kuin Novatron Oy:n (myöhemmin Novatron) laitteita. Laitevalmistajilla, kuten esimerkiksi Trimblellä, on usein omat palvelunsa työmaan seurantaan varten. Tästä syystä ne eivät ehkä ole niin halukkaita lähtemään mukaan eri toimijoiden palveluihin, vaan myyvät mielellään omaa palveluaan omien tuotteidensa mukana.

### **5.5.1 Geotrim Oy**

Geotrim Oy (myöhemmin Geotrim) on vuonna 2001 perustettu maanmittauslaitteita maahantuova ja jälleenmyyvä yritys. Sen valikoimissa on erilaisia rakentamisessa käytettäviä mittalaitteita, sekä GNSS-paikannuslaitteita ja koneautomaatiolaitteistoja. Geotrimin laitteet valmistaa yhdysvaltalainen Trimble. Trimble on yksi maailman suurimpia mittalaittevalmistajia. Se on perustettu Yhdysvalloissa vuonna 1978. (Geotrim)

Vuodesta 2002, Trimble ja Caterpillar perustivat yhteisyrityksen, Caterpillar Trimble Controls Technologies LLC, jonka tarkoituksena oli kehittää koneohjausjärjestelmiä. Laite- ja konevalmistajien yhteistyö on tärkeää koneohjauksen kehittämisen kannalta. Caterpillar pystyy nykyään tarjoamaan työkoneisiin valmiiksi asennetut koneautomaation vaatimat laitteistot. Kaivinkoneiden ohjaussauvoissa on yleensä käyttämättä olevia kytkimiä, joiden käytön esimerkiksi tarkepisteiden ottoon tehtaalla asennettu laitteisto mahdollistaa. Tämän toiminnon tarpeellisuudesta ollaan omien kokemusten mukaan työmailla kylläkin erimielisiä.

Trimblen koneohjausyksiköt käyttävät omaa tiedostomuotoaan, mitä varten tarvitsee Trimblen Business Center HCE -ohjelman. Jokaisen suunnitelman kanssa samaan kansioon on GNSS-paikannusta käytettäessä liitettävä koordinaattijärjestelmien välinen muunnostiedosto. Oma tiedostomuotoa perustellaan sen pienellä koolla.

### **5.5.2 Novatron**

Novatron myy ja valmistaa koneohjausjärjestelmiä eri työkoneisiin. Sen oma laitteisto on keskittynyt lähinnä kaivinkoneisiin. Sen pääkonttori sijaitsee Pirkkalassa. Novatron Oy on perustettu vuonna 1991.

Novatronin ensimmäinen oma tuote oli tiehöylän terän kaltevuusmittari, joka saatiin myyntiin perustamisvuonna. Yksinkertainen analogisella näytöllä varustettu mittari korvasi silloin vesivaakasilmän koneen rungossa. Novatron oli ensimmäinen Pohjois-mainen valmistaja kaivinkoneen mittalaitteille. (Novatron)

Työkoneiden GPS-paikannusta yritys alkoi soveltaa vuonna 1999. Ensimmäiset kenttätestit Novatronin laitteistolla suoritettiin Ruotsissa vuonna 2000. Novatronin tuotteiden tuotekehitys sekä valmistus tapahtuu Pirkkalassa. Novatron tekee yhteistyötä saksalaisen MOBA Mobile Automation AG:n kanssa. MOBA valmistaa koneautomaatiojärjestelmiä mm. tiehöyliin, levittimiin, poravaunuihin ja muihin infra-alalla käytettäviin työkoneisiin. (Novatron)

### **5.5.3 Scanlaser Oy**

Scanlaser on vuodesta 2006 kuulunut Hexagon ryhmään. Se toimii Hexagon Machine Control -liiketoimintayksikön myynti- ja jakelukanavana. Scanlaserin myymät mittalaitteet ovat Leican valmistamia. Leica on muodostunut useiden yrityskauppojen tuloksena 1900-luvun aikana. Leica on keskittynyt optiikkaan, aina kameroista erilaisiin mittalaitteisiin ja mikroskooppeihin. (Scanlaser)

### **5.5.4 Topgeo Oy**

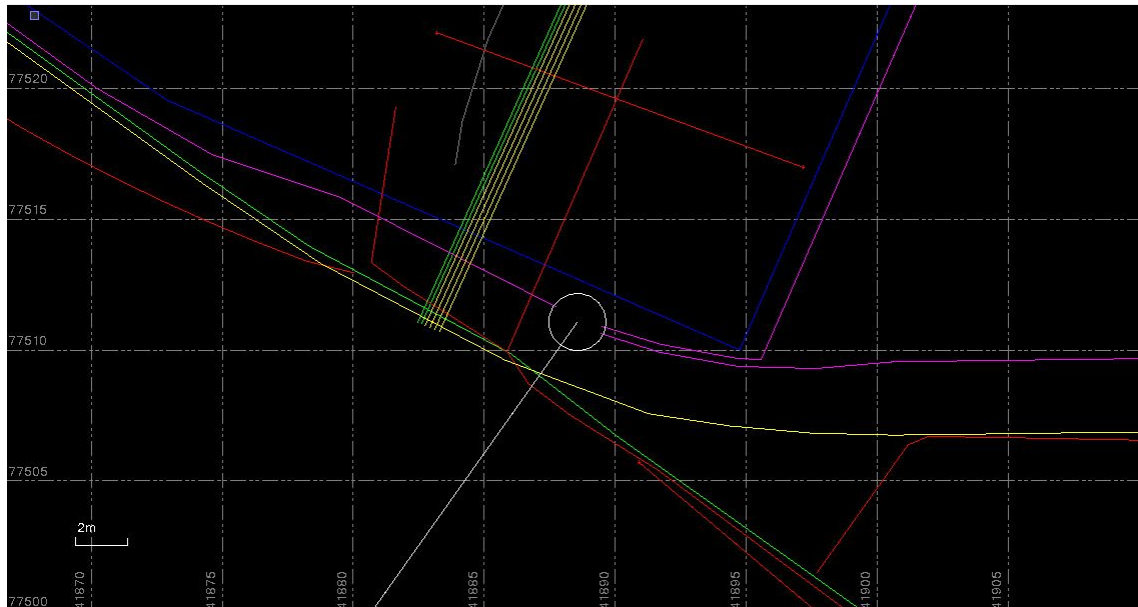
Topgeo oy (myöhemmin Topgeo) on perustettu 1987. Se toimittaa mittauslaitteita ja paikannuksessa käytettäviä laitteita. Topgeon laitetoimittaja on japanilainen optiikka-alan konserni Topcon. Topcon valmistaa paikannus- ja maanmittauslaitteiston lisäksi silmälääkäreiden ja silmäleikkauksissa käytettävää optiikkaa sekä hienomekaanisia laitteita, kuten litteitä näyttöjä. (Topgeo)

## 6 KONEOHJAUSMALLIT

### 6.1 Koneohjauksessa käytettävät mallit

Maanrakennustyömaan kalustoon asennettavissa koneohjausyksiköissä käytettävät mallit kuvaavat yhtä rakenneosaa kerrallaan. Kohteet voivat olla viivamaisia, pisteitä tai pintoja. Eri työvaiheet ja rakenteet vaativat mallit eri tarkoituksia varten eikä yhteen malliin ole toisaalta mielekäästä yrittää mahduttaa liian paljon.

Yksittäinen koneohjausmalli voi olla esimerkiksi putkilinjan viivamalli (kuva 25), pilaristabiloinnin pilarien paikkoja ja ominaisuuksia kuvaava malli tai rakennekerroksen pintamalli. Eri rakenteita kuvaavat mallit viedään työkoneeseen USB-tikulla tai pilvisovellukseen, mistä ne ladataan työkoneeseen internetyhteyttä käyttäen. Kuljettajat voivat vaihtaa koneohjausyksikköön vietyjen mallien välillä vapaasti.



**Kuva 25** Viivamallissa on kuvattu tele- ja sähkökaapeleiden ja -kaappien XYZ -sijainnit. Viivojen värit voidaan muokata vastaamaan työmaalla käytettäviä putkia. (Kuva: Mattijaako Määttänen)

Koneohjausmallit voidaan työkoneesta tai laitteistosta riippuen joutua tekemään eri formaateissa. Esimerkiksi DXF -formaatti on yleisesti toimiva kaivinkoneissa ja sitä voidaan tuottaa eri suunnittelu- ja mittausohjelmistoilla. Joidenkin valmistajien laitteet vaativat mallien kääntämisen erityisellä ohjelmalla tiettyyn formaattiin. LandXML pi-

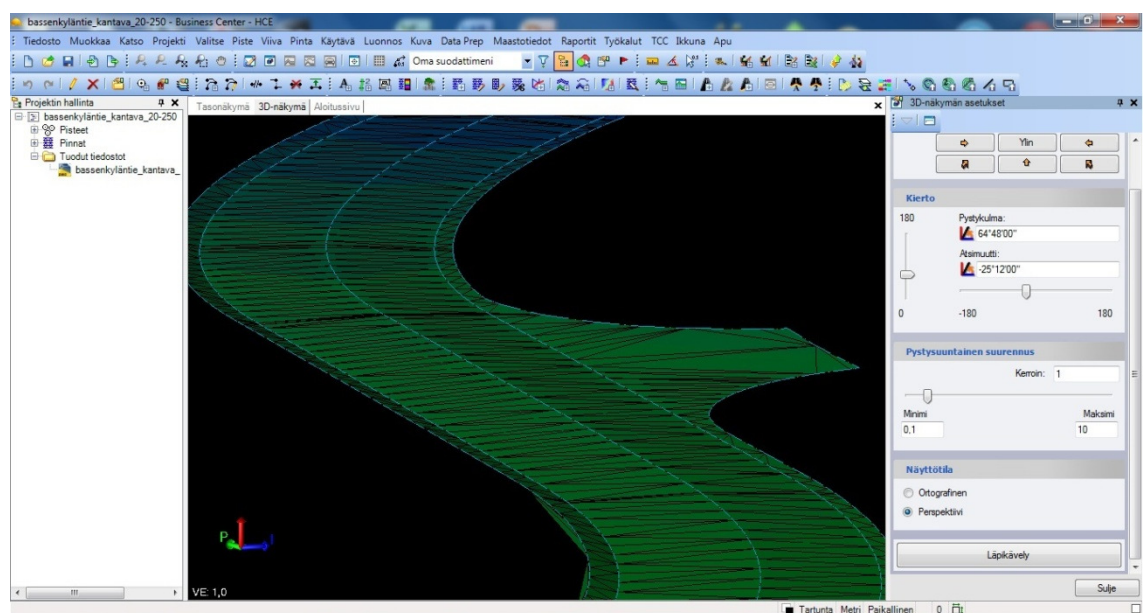
täisi tulevaisuudessa tulla toimimaan myös työkoneissa, jolloin formaattien muuttelu loppuisi.

## 6.2 Koneohjausmallien vaatimukset

Maanrakentamisessa rakenteiden mittatarkkuus eri rakenneosille määrätään julkaisussa InfraRYL - infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset osa 1. Siinä määritellään rakenteen sallitut mittapoikkeamat suunnitellusta sekä valmiiden rakenteiden kelpoisuuden osoittamiseen vaadittavat mittausmenetelmät. (Parantala & Snellman 2013, 20)

Toteutusmalleissa tärkeää on rakenteiden jatkuvuus. Tämä koskee myös liittymäalueita. Viivamallien kolmiointi pintamalliksi ei onnistu, mikäli viivamallissa on epäjatkuvuuskohtia. Tämä myös nousee esille viimeistään työmaalla, kun koneohjatun höylän terä seuraa mallin pintaa. Mallien täytyy olla yhtenäisiä, eikä niissä sallita pystysuoria muutoksia. Taiteviivat eivät myöskään saa sijaita päällekkäin (kuva 26). (Parantala & Snellman 2013, 20).

Taiteviivojen ja pintojen on hyvä olla nimetty yhtenäisen standardin mukaisesti. Tämä helpottaa mallien käsittelyä työmailla eri ihmisten toimesta urakan eri vaiheissa. Myös rakennuttaja ja rakennusvalvojan on helpompi seurata työmaita, jotka noudattavat yhtenäisiä standardeja urakan raportoinnissa.



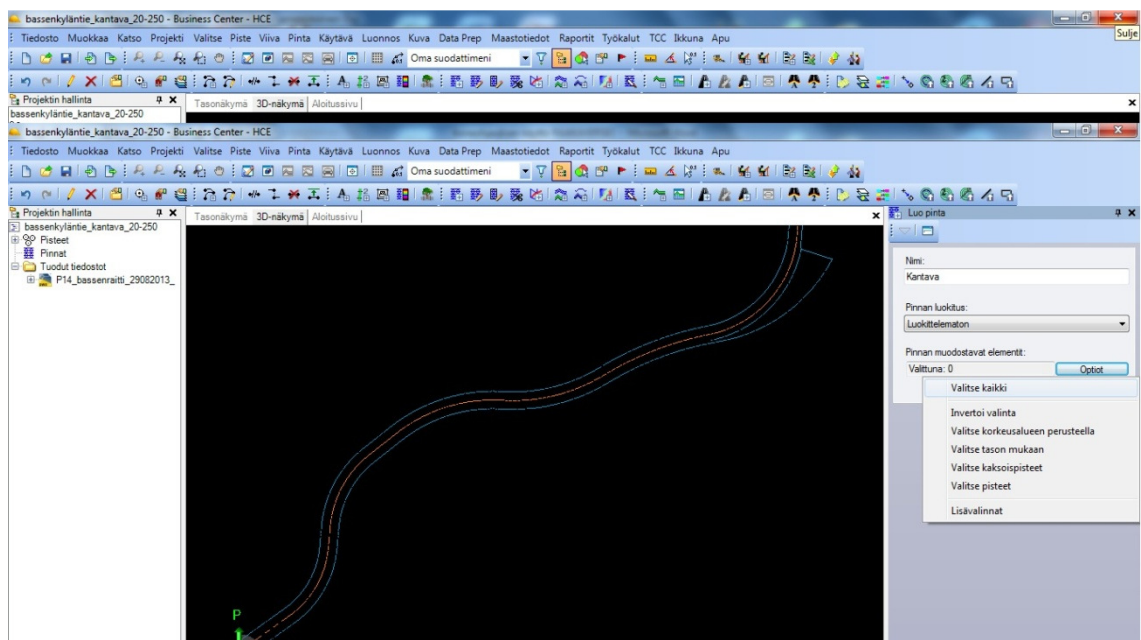
**Kuva 26** Liittymäalueilla mallin tulee yhtyä liittyvään katuun. Liittyvä katu jatkuu toisessa tiedostossa (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

### 6.3 Koneohjausmallien tekeminen

Jos kohde on suunniteltu mallipohjaisesti, tämän saman aineiston pitäisi olla luettavissa koneohjauslaitteella suoraan ja kohde olisi rakennettavissa periaatteessa heti. Nykytilassa kuitenkin, koskien erityisesti pienempiä hankkeita, kehitys ei ole vielä ihan näin pitkällä.

Suunnitelma-aineisto on oltava sähköisessä formaatissa. Rakennettavasta kadusta tai tiestä on tiedettävä tasausviivan korot. Tämän niin sanotun mittalinjan ja pinnan kallistuksien ja leveyden perusteella luodaan viivamalli tien tai kadun taiteviivoista. Viivamalli voidaan sitten kolmioida pintamalliksi (kuva 27). Tämä pintamalli viedään koneohjausjärjestelmän hyväksymässä formaatissa työkoneelle. Kaikki rakenteet, mitkä ollaan rakentamassa koneohjauksella, tulee mallintaa.

Ohjelmistoja koneohjausmallien luomiseen on useita. Suunnittelijoiden toimittama materiaali on kuitenkin yleensä DWG tai muussa CAD -formaatissa. Näistä voidaan muokata esimerkiksi AutoCAD ja 3D-Win -ohjelmilla mallit, jotka sisältävät kullekin mallille olennaiset tiedot.

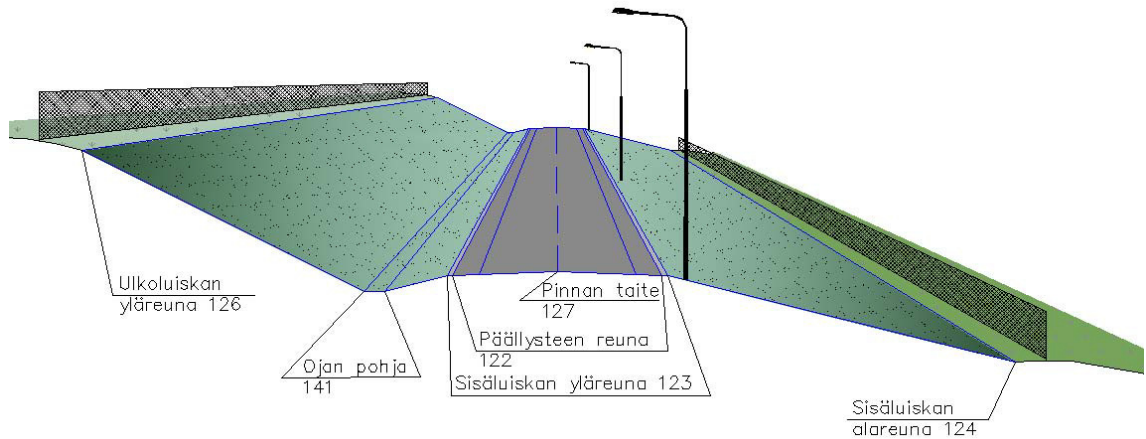


**Kuva 27 Viivamallin kolmioiden pintamalliksi Trimblen HCE business centerissä (Kuva: Mattijaakko Määttänen)**

Toteutusmalleissa käytettäviä pintatunnuksia ja viivanumerointeja on esitetty julkaisussa ”PRE/infraBIM tietomallivaatimukset ja –ohjeet osa 4, rakennemallit; maa, pohja-

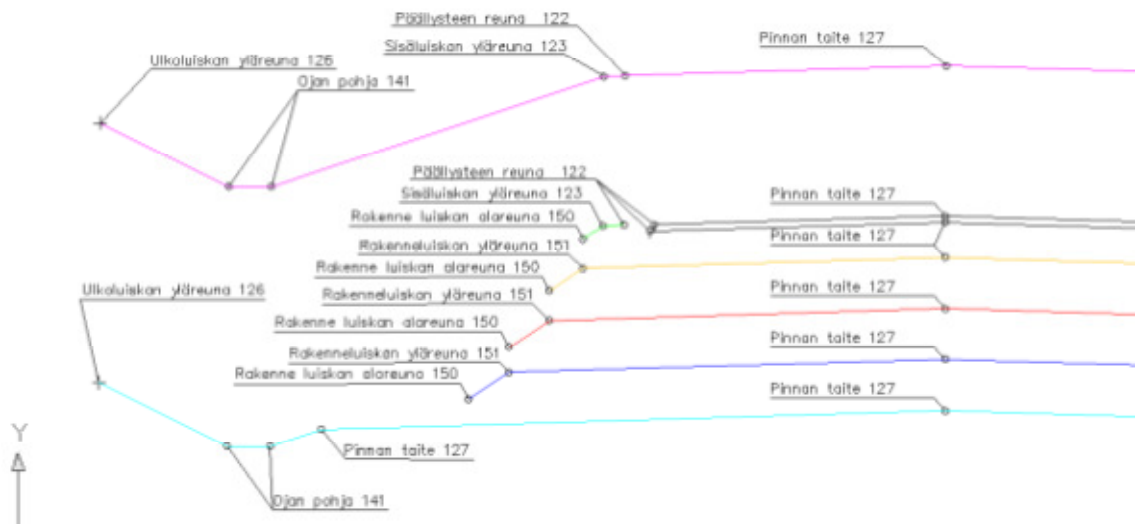


kalliorakenteet, päällystys- ja pintarakenteet” (Parantala & Snellman 2013). Ne noudattavat INFRA 2006 rakennusosa ja hankenimikkeistön mukaista nimeämistä. Ohje sisältää myös ratojen rakenneosat.



Kuva 28 Tien taiteviivojen numerointi (Parantala & Snellman 2013, 17)

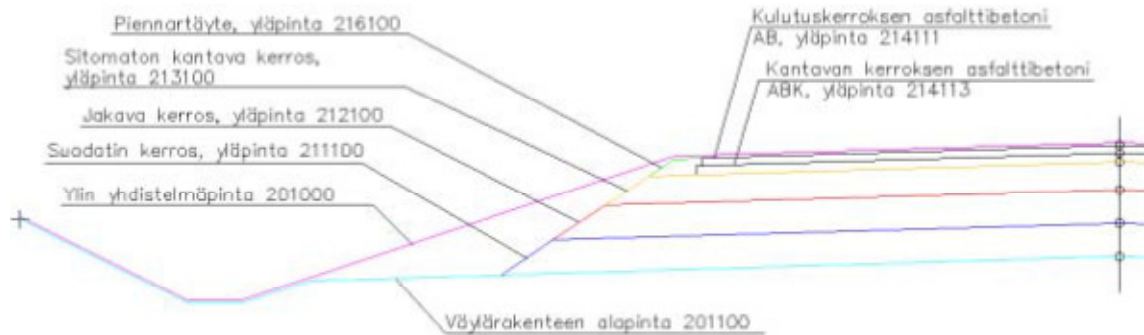
Toteutusmallin ylimmän yhdistelmäpinnan taiteviivojen nimet ja koodit tulee tehdä InfraBIM-nimikkeistön ohjeiden mukaisesti (kuva 28 ja 29). Muiden tien tai kadun rakennekerrosten taiteviivojen nimeäminen tapahtuu samoilla koodeilla.



Kuva 29 Taiteviivojen numerointi eri rakennekerroksissa (Kuva: Parantala & Snellman 2013, 18)

Eri pintojen nimeäminen tapahtuu Infra 2006 rakennusosa- ja hankenimikkeistön mukaisesti (kuva 30). Pintatunnuksina mittalaitteissa käytetään yleensä 2-numeroista lyhennettä. Työmailla on yleensä mittamiehillä omat tapansa nimetä rakenteita mittalaitteisiinsa. Viimeistään tilaajalle luovutettaessa rakenteet on kuitenkin nimettävä ohjeiden

mukaisesti. Urakoitsijan näkökulmasta olisikin hyvä jos kaikille tilaajille kävisi samanlainen ja -muotoinen tarkemittausaineisto.



Kuva 30 Rakennekerrosten pintatunnukset (Kuva: Parantala & Snellman 2013, 18)

Taiteviivojen pituussuuntaiset taitteet olisi hyvä pyrkiä saamaan tasapaaluille. Tämä parantaa pintamalliksi luodun kolmioverkon säännöllisyyttä ja helpottaa myös paperikuviin verrattessa. (Parantala & Snellman 2013, 24)

Työkoneesta ja rakennettavasta kohteesta riippuen koneohjausmallin sisältämä informaatio vaihtelee. Myös yhden rakenteen tekeminen saattaa vaatia useamman erilaisen mallin tekemisen samasta kohteesta. Usein esimerkiksi jakavan ja kantavan kerroksen mallit tehdään erikseen kaivinkoneelle ja kerrosten viimeisen pinnan tekeväälle työkooneelle. Viimeistelyssä käytetään yleisesti tiehöylää, mikä etenkin ahtaissa kohteissa vaatii mallilta ylimääräistä leveyttä rakenteiden osalta.

Kaivinkoneilla malleja voidaan yksinkertaisimmillaan luoda työkooneessa. Kuljettajan on mahdollista määrittää esimerkiksi putkikaivantoa varten leikkaustasolle pinta, mikä saadaan näkyviin työkooneen näytölle.

#### 6.4 Koneohjausmallien tarkastaminen

Kun työmaan suunnitelmia alkaa tulla työmaan mittauskoordinaattorille, ne on käytävä huolellisesti läpi ennen töiden aloittamista. PRE / infraBIM tietomallivaatimukset ja -ohjeet osa 4 esittää suunnittelijoille seuraavaa tarkastuslistaa:

- Kaikki pyydetyt rakennusosat on mallinnettu.
- Kaikki taiteviivat ovat yhtenäisiä ja jatkuvia.

- Päälekkäisiä taiteviivoja ei ole samassa pinnassa.
- Aineistossa ei ole ylimääräisiä viivoja tai pisteitä
- Pinnoissa ei ole epäjatkuvuuskohtia.
- Pintojen kaltevuudet ovat suunnitelmamallin mukaiset (esim. korkeuskäyrien avulla tarkastelemalla).
- Kolmioverkko on riittävän säännönmukainen.
- Toteutusmalli vastaa suunnitelmamallia ohjeen tarkkuusvaatimuksen mukaisesti.
- Aineisto on oikeassa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä.
- Aineisto on oikeassa formaatissa.

Tällä samaisella listalla voidaan tarkistaa mallit myös työmaalla. Työmaalla voidaan lisäksi tehdä normaaleja huomioita liittyen esimerkiksi rakenteen kuivatukseen, rakennustapoihin, -materiaaleihin tai pohjaolosuhteiden muutoksiin liittyviin asioihin.

## 7 CASET

### 7.1 Lohja, Immulan kaava-alueen rakentaminen



Kuva 31 Immulan kaava-alueen yleiskuva

Urakka oli 3D-koneohjauksen pilottihanke, jossa laitteistot otettiin käyttöön kahteen kaivinkoneeseen. Koneohjausyksiköt kaivinkoneille tilattiin Geotrimiltä. Kaivinkoneisiin asennettiin Trimblen GCS900 3D-koneohjauslaitteistot. Tilaajana urakassa oli Lohjan kaupunki. Suunnittelijana toimi Finnish Consulting Group (kuva 31). Vastaavana mestarina työmaalla oli Lemminkäinen Infran Heikki Räsänen. Mittauksista vastasi mittauspäällikkö Timo Kuosa Lemminkäinen Infrasta.

Paikannuksen korjausdata saatiin Trimblen ylläpitämästä VRS-verkosta. Työmaalle ei tuotu kiinteää tukiasemaa eikä sille koettu tarvetta työmaan edetessä. Mittauslaitteistona työmaalla oli Trimblen takymetri sekä Trimble R8 GNSS-paikannin.

Koneohjausmallit teki Lemminkäisen mittauspäällikkö Timo Kuosa käyttäen 3D-win -ohjelmaa, AutoCAD -ohjelmaa sekä Trimblen Business Center HCE -ohjelmistoa. Koneohjauslaitteistot olivat vuokralla Lemminkäisellä ja ne asennettiin alirakoitsijoiden kaivinkoneisiin. Alirakoitsijoina olivat KARITO ja J-tekniikka, tela-alustaisilla kaivin-

koneilla. Kariton kaivinkone oli Doosan DX235, J-tekniikan kaivinkone Volvo EC240. GNSS-antennit, modeemit ja näytöt ovat irroitettavia ja toinen laitteisto siirrettiinkin kesän aikana Maatalousyhtymä Ylikoski Jussi & Petri -aliurakoitsijan kaivinkoneeseen. Asennus kestää yleensä alle työpäivän, jos ei ilmene suuria ongelmia. Voi olla mahdollista asentaa 3D-koneohjauslaitteistot kahteen kaivinkoneeseen yhden työpäivän aikana.



**Kuva 32** Kaksi konetta voi vaihdella eri mallien välillä tehdessään yhdessä putkikaivantoa. Toisen kaivaessa putkimallin mukaan, pääsee toinen täyttämään kaivantoa rakennekerrosten pintamallilla. (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

Geotrim Oy:n palveluun kuului perehdytys, jossa kävimme läpi Trimblen Business Center HCE -ohjelmaa ja tutustuimme Trimblen koneohjausyksikön käyttämiin tiedostomuotoihin ja koneohjausyksikön ominaisuuksiin. Pidimme myös kaivinkoneenkuljettajille koulutustilaisuuden, koska laitteistot olivat heillekin täysin uusia. Kummatkin olivat käyttäneet laseriin perustuvia syvyyden mittauslaitteistoja aikaisemmin ja olivat kokeneita kaivinkoneenkuljettajia. Geotrimin edustajana toimi Janne Paitsola.

Koneohjaus tuli työmaalle käyttöön kesken urakan. 3D-koneohjausta käyttäen toteutettiin muun muassa suojaputkien, viemärien ja vesijohtojen kaivannot, muuntamoiden, valaisinten ja operaattoreiden kaappien asennusalustat sekä jakava- ja kantava kerros ja ojaluiskat (kuvat 32 ja kuva 33).



**Kuva 33** Putkikanaali Immulassa. 3D-koneohjausjärjestelmät mahdollistavat putkien näkymisen koneohjausyksikössä todenmukaisin värein. (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

Koneohjausmallien siirto tehtiin joko USB-tikulla tai Trimblen pilvipalvelun kautta. Palvelu toimii työkonoiden 3G-yhteyttä käyttäen. Suunnitelmien ja esimerkiksi työkonoiden ottamien tarkepisteiden lähettäminen kumpaankin suuntaan onnistuu. Kesän aikana palvelussa oli kerran lyhyt, tilapäinen häiriö, millä ei ollut vaikutuksia. Suunnitelmien toimitus koneeseen näin pienellä työmaalla on kuitenkin pääsääntöisesti mielestäni hyvä käydä hoitamassa USB-tikulla työkonella jos mahdollista (kuva 28).

Toteutusmallien tekeminen työmaalla on aikaa vievää. Suunnitelma-aineisto ei tullut käyttökelpoisena, vaan koneohjausmalleja oli tehtävä työmaalla perinteisistä suunnitelmista. Tilanteen pitäisi jatkossa helpottua, kun suunnittelu siirtyy kohti yhtenäisiä standardeja ja mallipohjaisuutta.

Kesällä toinen laitteistoista siirrettiin toiseen kaivinkoneeseen. Uuteen koneeseen asennettiin anturit ja johdot. Edellisen koneen hytistä irrotettiin modeemi sekä tietokone ja ne siirrettiin uuteen kaivinkoneeseen. Kalibroinnin jälkeen uusi kone oli valmis työskentelemään koneohjauksella.

Kantavan kerroksen teko ja jakavan muotoilu suoritettiin koneohjatulla, Mitta-Ässä Oy:n Caterpillar 140M tiehöylällä. Höylässä oli käytössä Trimblen takymetrillä toimiva koneohjauslaitteisto.

Höylässä oli automaattinen teränohjaus, joka säätää alusterän oikeaan asentoon ja korkeuteen suunnitelmaan nähden. Kuljettajan on mahdollista säätää koneeseen myös painumavaraa tai muuta varten terän etäisyys mallin pintaan nähden. Järjestelmä käyttää paikannukseen takymetriä, joka orientoidaan työmaalle mitatuista pisteistä.

Tarkemittauksia suoritettiin säännöllisesti takymetrillä sekä R8 GNSS-paikantimella. Tuloksia käsiteltiin pääasiassa 3D-Win -ohjelmalla. Tiehöylän jälkeen otetuissa tarkemittauksissa nähdään korkoero suhteessa suunniteltuun malliin. Tarkemittauksia Immulasta on liitteessä 4 ja 5.

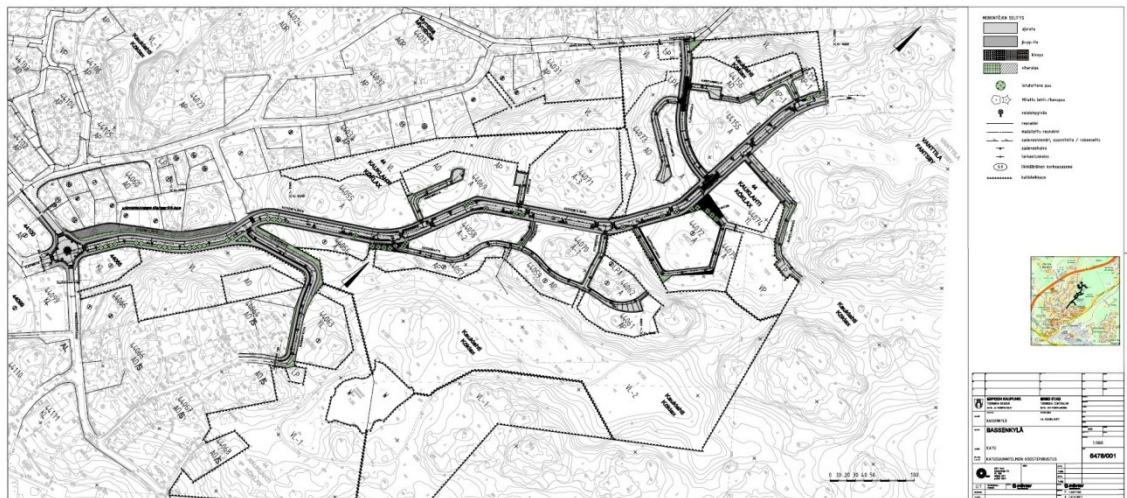
VRS-verkossa ei kesän aikana ollut ongelmia. VRS käytti datanlähetykseen 3G matkapuhelinverkkoa. Eri alueilla operaattoreiden verkoissa voi olla eroja. Jossain laitteistossa on niin sanottu dual-sim ominaisuus, jolloin työkoneeseen saadaan kahden eri operaattorin SIM-kortit samaan aikaan.

Aluksi kuljettajat totuttelivat uuteen työtapaan. He oppivat käyttämään järjestelmiä nopeasti kesän mittaan hyvin hyödykseen ja käyttöliittymä vaikutti olevan nopea oppia. Tehokkaampien työtapojen ja koneohjausjärjestelmien luovaa käyttöä sekä tarkemittauksen ottoa kehitetään tulevaisuudessa.

Laaduntarkkailua koneohjauskohteissa on pohdittu eri projekteissa. On olemassa ohjeita, joissa määritellään, minkälaista tarkemittaustietoa rakenteista otettaisiin. Destia ja Lemminkäinen ovat muun muassa kehittäneet koneohjauskohteille omat mittaussuunnitelmat, joissa ohjataan tarkemittauksen suoritusta, kuten tarkepisteiden mittausvälejä.

Koneohjausyksiköillä tehtävään tarkemittaukseen pyritään siirtymään tulevaisuudessa. Tämä on Immulan kaltaisissa paikoissa mahdollista, järjestelmän ja yhteyksien toimiesä hyvin. Paikannustarkkuus on laitteistolla muutaman senttimetrin luokkaa, mikä voisi riittää eri rakenteiden mittaamiseen. Tarkemittauksen ottamisessa kuljettajat kehittyvät ajan kuluessa kokemuksen ja koulutuksen myötä. Laaduntarkkailuun kuuluu myös rakentamisen aikana erilaisia tarkkailutoimenpiteitä, joilla varmistutaan koneohjattujen työkoneiden paikannustiedon oikeellisuudesta.

## 7.2 Espoo, Kauklahti, Bassenkylän kaava-alueen rakentaminen



Kuva 34 Bassenkylän kaava-alueen yleiskuva

Bassenkylän kaava-alueen (kuva 34) rakentaminen alkoi keväällä 2013. Maaperä Bassenkylässä on vaihtelevaa. Alueella on paljon kalliota sekä pehmeiköä (kuva 35). Urakkasummasta suuri osa menikin stabilointitöihin ja louhintoihin. Bassenkylän urakka oli pilottikohde, jossa haluttiin testata tietomallipohjaista rakennustapaa. Tilajana toimi Espoon kaupunki. Suunnittelun urakkaan oli tehnyt Pöyry Oy. Vastaavana mestarina toimi Lauri Sirviö.

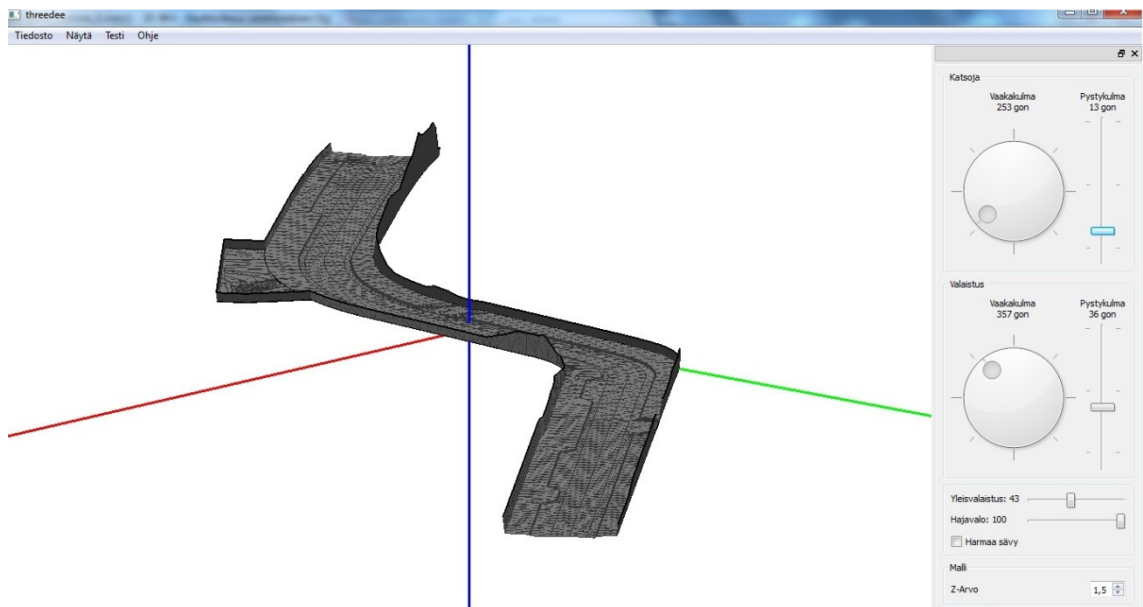
Bassenkylän urakassa koneohjausta käytettiin kaivinkoneissa sekä tiehöylässä. Urakkaan tilattiin vuokralle Novatronin Vision 3D -koneohjauslaitteisto, joka asennettiin kahteen aliurakoitsijan kaivinkoneeseen. Kaikki vesihuollon rakenteet, katujen rakenteet sekä muu maanalainen infra ja luiskat on rakennettu koneohjausta käyttäen.





Kuva 35 Bassenkyläntien kallion päältä (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

Suunnitteluaineisto ei ollut suoraan käyttökelpoista koneohjaukselle, vaan sitä jouduttiin muokkaamaan melko paljon ja osa tekemään kokonaan uudestaan. Pintamalleja louhinnoista ja rakennekerroksista kertyy pienelle alueelle paljon (kuva 36).



Kuva 36 Louhintamalli Bassenkyläntieltä 3D-Win -ohjelmassa (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

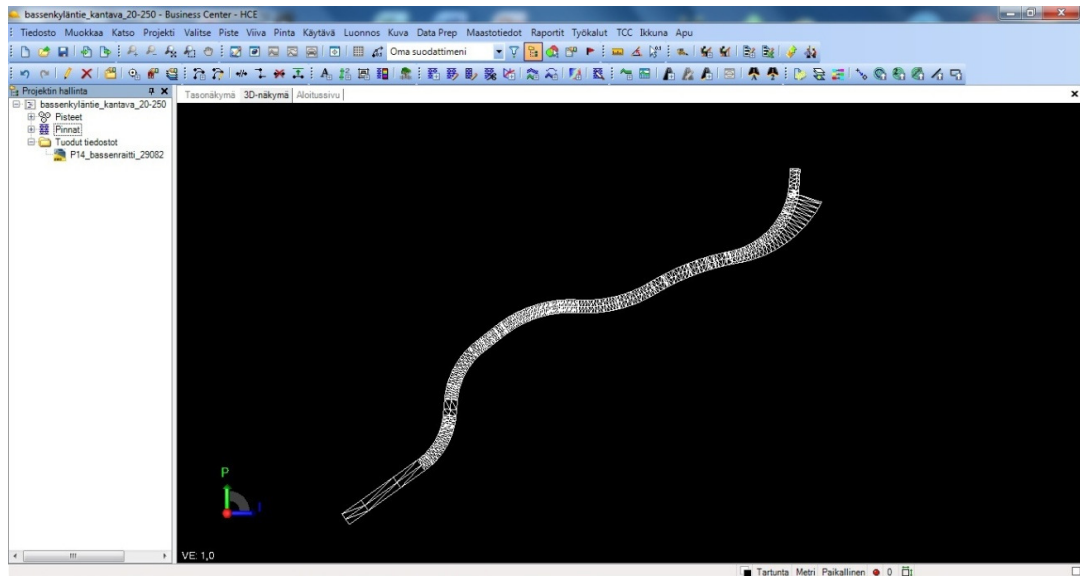
Aliurakoitsijoiden tela-alustaiset kaivinkoneet olivat Vihdin konetyön Volvo EC290B, Tuusulan Kaivu & kuormauksen Komatsu PC 210 ja maatalousyhtymä Ylikosken Volvo. Kone oli sama Maatalousyhtymä Ylikoski Jussi & Petrin kaivinkone kuin Lohjalla. Syksyllä toinen Novatronin laitteistoista siirrettiin Vihdin konetyön koneesta Tmi Topi

Vilenuksen kaivinkoneeseen. Jakavan- ja tukikerroksen levittäminen suoritettiin kaivinkoneella mahdollisimman lähelle suunniteltua tasoa (kuva 37).



**Kuva 37 Bassenkyläntien rakennekerrosten tekoa koneohjauksella. Koneen paikannustiedoista voi seurata työn etenemistä. (Kuva: Mattijaakko Määttänen)**

Jakavan- ja tukikerroksen viimeistelyn ja kantavan kerroksen rakentamisen toteutti Katurahu Oy koneohjatulla tiehöylällä. Tiehöylä oli takymetriohjattu ja siinä oli Trimblen laitteisto. Kantavan kerroksen tarkkeita Bassenkylästä liitteessä 7. Tiehöylän koneohjausmalleina käytettiin kolmioituja pintamalleja, jotka muutettiin Trimblen Business Center HCE -ohjelmalla Trimblen koneohjausyksikön hyväksymään tiedostomuotoon (kuva 38).

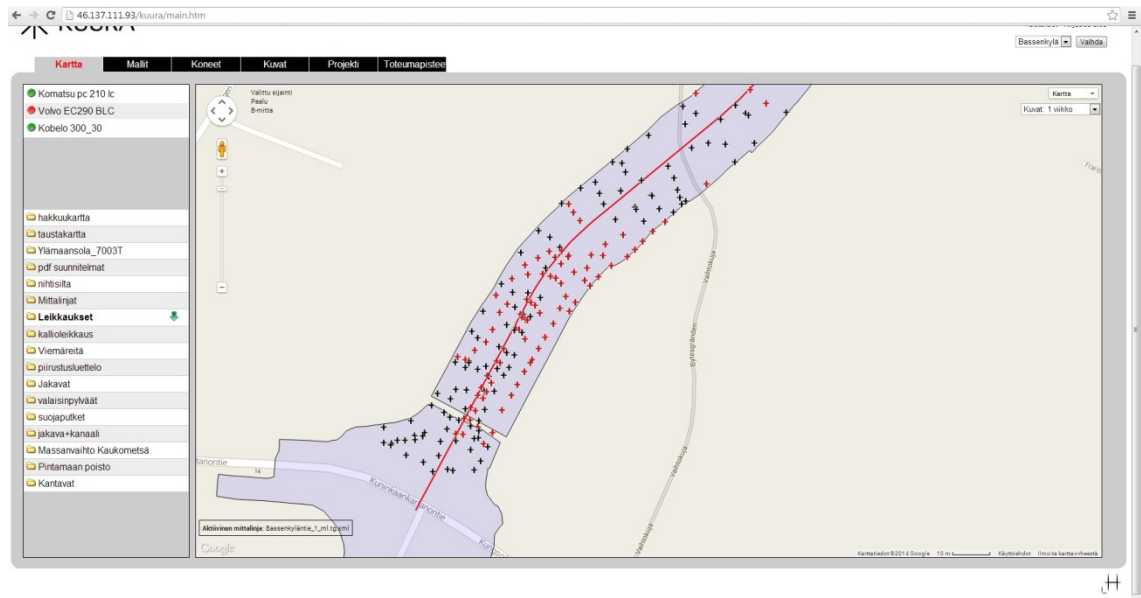


**Kuva 38** Jakavan kerroksen pintamalli Trimble Business Center HCE -ohjelmassa (Kuva: Mattijaakko Määtänen)

Työmaalla oli käytössä Hohto Labsin KUURA -projektinohjauspalvelu. Sitä käytettiin välittämään toteutusmalleja kaivinkoneille ja niiden seurantaan. Työkoneet ovat 3G -yhteyden välityksellä yhteydessä KUURAAan, mistä mallitieto tulee. KUURA hyväksyy mallit joko LandXML- tai DXF -muodossa.

KUURA myös tallentaa koneiden kuljettajien ottamat tarkepisteet. Se tallentaa lisäksi muuta paikannusdataa automaattisesti, mistä voidaan katsella eri koneiden liikkeitä ja niiden käyttämiä malleja ja verkkoyhteyden tilaa kalenteripohjalla. KUURAAan voi lisätä muilla mittalaitteilla mitattuja tarkepisteitä, jolloin valvontaorganisaation on mahdollista saada helposti ja graafisesti laatudokumenteiksi käyvä aineisto suoraan verkkopalvelusta selaimella.

Työkoneiden ottamat tarkepisteet tallentuvat samaan kansioon, mihin kyseinen malli on tallennettuna KUURAn palvelimille. KUURAssa voidaan säätää tietyt toleranssit, jotka vaikuttavat tarkepisteen näkymiseen graafisessa karttasovelluksessa. Toleranssien sisällä olevat pisteet on merkitty mustalla, punaisella taas toleranssiarvot ylittävät tarkepisteet (kuva 39).



Kuva 39 Kaivinkoneen mittaamia tarkepisteitä KUURA-järjestelmässä (Kuva: Mattijaakko Määttä)

Tarkepisteiden otto rakenteesta on suoritettava järkevästi ja oikeista paikoista. Virheelisten mittausten poistaminen on tarpeellista luottavuuden parantamiseksi ja epäselvyyksien välttämiseksi. Kuljettajien on tiedettävä periaate, millä palvelu tallentaa pisteet ja osaa verrata mitattuja pisteitä oikeaan pintaan.

Koneohjauksen tuottamasta datasta voidaan myös seurata töiden etenemistä päivittäin, joko ottamalla tarkepiste tietyllä koodilla päivittäin tai projektinhallintapalvelun automaattisen kirjanpidon kautta. KUURASTA nähdään jokainen järjestelmään yhdistetty työkone erikseen. Tämä mahdollistaa suurten konelaivueiden seurannan siinä missä yhden tai kahden kaivinkoneen työmaankin.

Mitattujen tarkepisteiden nimeäminen yhtenäisen standardin mukaan helpottaisi tulosten käsittelyä jatkossa. Tämä saavutetaan kuljettajien ja mittaushenkilöstön koulutuksella. Työkoneissa tulee säilyttää eri pintojen ja rakenteiden nimeämisen ohjeistavat koodilistat. Tarkepisteiden ottaminen lisää kuljettajien vastuuta, mikä voi olla joidenkin kuljettajien mielestä epätoivottavaa.

Kuuran käytössä ei ilmennyt suuria ongelmia kesän aikana. Kuuran kykenemättömyys toimia muiden kuin Novatronin kanssa on tällä hetkellä sen suurin heikkous. Tämä puute lisää työtä mallien jakamisessa, työstämisessä ja hallinnassa, erityisesti suuremmilla työmailla, missä on eri valmistajien laitteistoja aliurakoitsijoiden työkoneissa.

KUURAn kaltaista palvelua voidaan käyttää urakan edistymistä kuvaavana materiaalina työmaakokouksissa. Palvelusta voidaan esittää rakennetut ja keskeneräiset rakenneosat sekä niiden toteumatietoja. Projektinjohtopalvelut sisältävät usein myös työmaapäiväkirjan, mihin kirjataan työmaan päivittäiset asiat. Työmaan valvoja käy lukemassa ja merkitsemässä päiväkirjat luetuiksi tasaisin väliajoin. Palvelut toimivat hyvänä tiedonvälityskanavana urakan sisällä eri organisaatioiden kesken.

Bassenkylässä havaittiin ongelmia paikannuksessa, niin Trimblen R8 GNSS-paikantimella kuin työkoneiden koneohjausyksiköillä. GNSS-vastaanottimet hukkasivat alustuksen usein, mikä saattoi johtua joko VRS-verkon katveista tai internet-yhteyden heikkoudesta metsäisessä, kumpuisessa maastossa. Trimblen uudemmalla R10-paikantimella saavutettiin lyhyen kokeilun perusteella parempia tuloksia. Ongelmat koskivat vain työmaan tiettyjä osia. Ongelmia esiintyi myös syvissä kallioleikkauksissa, joita alueella jouduttiin tekemään vesihuoltoa varten. (kuva 40).



**Kuva 40 Bassenkyläntie louhittu, putkikanaalin aukikaivuu käynnissä (Kuva: Mattijaakko Määttänen)**

Paikallisten paikannusongelmien ratkaisuna tässä tapauksessa, kun satelliittien näkyvyydestä ei ole kyse, voisi toimia erillinen kiinteä tukiasema. Se lähettäisi korjausdataa käyttäen esimerkiksi radioyhteyttä, jolloin VRS- ja internetyhteyden ongelmat poistuvat. Bassenkyläntien alkupään tarkemittauksia löytyy liitteestä 6 ja 7

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 8.1 Koneohjauksen ja perinteisen rakentamisen vertailu

Rakentaminen koneohjausta käyttäen on kokemusten valossa kannattava kehityssuunta. Koneohjaus mahdollistaa tarkemman lopputuloksen ja on odotusarvoltaan resursseja säästävää. Pohjaolosuhteiden muuttuessa, esimerkiksi kallion ilmaantuessa leikkauksessa, voidaan suoraan työkoneesta nähdä kallion pinnan korko. Tämä mahdollistaa nopean reagoinnin, vaikka työmaalla ei olisi mittamiestä paikalla (kuva 41).



**Kuva 41** Kallion reuna voidaan kartoittaa alustavasti kaivinkoneella ja selvittää louhinnan tarpeellisuutta. (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

Kuljettajien kokonaiskuva urakasta on parempi, kun he voivat vaihdella eri suunnitelmien välillä. Mielestäni kuvien lukeminen koneelta on helpompaa kuin paperisten, koska niitä voidaan etukäteen yksinkertaistaa sisältämään vain olennaisia tietoja. Tähän vaikuttaa tietysti koneohjausyksikön käyttöliittymän tuntemuksen taso. Kuvia voi valaistulla näytöllä suurentaa ja pienentää. Lisäksi putkia kuvaavat viivamallit voivat olla toteutettu todellisuutta vastaavilla väreillä, jolloin suunnitelmakuviin saadaan lisää havainnollisuutta.

Perinteisillä menetelmillä rakennettaessa kaivinkoneiden työajasta on pahimmillaan alle puolet varsinaista tehokasta työaikaa. Seisokit johtuvat joskus ajokalustosta, joskus mit-

tatietojen odottamisesta. 3D-koneohjauksen käyttäminen lisää joustavuutta työmaalla. Enää ei tarvita mittamiehen odottelua, työvaiheissa eteneminen on nopeampaa ja eri työvaiheiden välillä vaihtaminen rakenteen valmistuessa tai tarpeen vaatiessa nopeutuu. Ainakin osa kaivinkoneiden kuljettajista tuntuu arvostavan tehokasta työskentelyä ja riippuen henkilöstä tietysti, ovat usein tyytyväisempiä, kun työt etenevät sujuvasti. Perinteisin menetelmin vallien ja ojaluiskien maastoon merkitseminen ja tarkemittaaminen ovat huomattavasti työläämpiä kuin koneohjausta käyttäen (kuvat 42 ja 43).



**Kuva 42** Koneohjauksella voidaan rakentaa erikoisen muotoisia luiskia ilman maastoon merkitsemistä (Kuva: Mattijaakko Määttänen)



**Kuva 43** Ojaluiskien sekä maisemointi- tai meluvallien rakentaminen on pintamallien käytön takia huomattavasti suoraviivaisempaa kuin perinteisillä menetelmillä rakennettaessa. (Kuva: Mattijaakko Määttänen)

## 8.2 Koneohjauksen hyödyntämisen kustannusetujen muodostuminen

Koneohjauksen käyttöönottamisen tuomat, urakan kustannuksiin vaikuttavat hyödyt muodostuvat materiaalisäästöistä, työkoneiden työn tehostumisesta sekä urakoiden kokonaisaikataulujen lyhenemisestä. Mittaushenkilöstön osalta tietomallipohjaisen suunnittelun tuomat hyödyt riippuvat suuresti suunnitelma-aineiston muokkaamiseen menevästä ajasta.

Rakennusmateriaaleista ja rakentamisessa käytettävistä materiaaleista voidaan koneohjatulla infratyömaalla ajatella säästettävän ainakin seuraavista

- Mittarimat
- Korkolaput
- Kiviaines
- Asfalttimassa
- Polttoaine.

Henkilö- ja konetyön muodostamat kustannussäästöt koneohjatulla infratyömaalla ovat:

- Työkoneiden tehokkuus koneohjausta käyttäen voi nousta jopa kolminkertaiseksi perinteiseen nähden.
- Työmaalle riittää yksi mittamies / ”mittausoperaattori”.
- Kuljettajien ei tarvitse pyöritellä paperikuvia ja yrittää tulkita epäselviä asioita.
- Työtehtävästä tai rakenteesta toiseen siirtyminen on nopeampaa kuin perinteisellä tavoilla rakennettaessa.
- Paikalleen mittausten odottamisen tarve poistuu.
- Työmaalle toimitettavien toteutusmallien hyödyntäminen suoraan koneohjausyksiköissä ja muissa mittalaitteissa vähentää aineistojen muokkaukseen kuluva aikaa.

Työn tehostumisen johdosta urakat on mahdollista viedä läpi nopeammin. Rakennustöitä nopeuttavia tekijöitä koneohjatulla infratyömaalla ovat:

- Kaikkien työkoneiden työ tehostuminen
- Yliajokertojen määrän väheneminen
- Kuorma-autojen ajojen väheneminen liikuteltavien maamassojen vähenemisen myötä
- Maastoon mittaamista ei tarvitse odottaa
- Toteutusmalleja ei tarvitse muokata työmaalla
- Tarkemmittauksia voidaan tehdä työkoneilla
- Urakoita päästään tekemään useampia samassa ajassa

Maaleikkauksessa suunniteltuun tasoon nähden ylimääräistä leikattua maata kutsutaan ryöstöksi. Valmis leikkauspohja ei saa, Infraryl tekniset vaatimukset 2012 kohdan ”16110.4 valmis maaleikkaus” mukaan, olla suunnitellun leikkauspohjan yläpuolella.



Ryöstön määrä voidaan 3D-koneohjauksella kuitenkin minimoida. Seuraavissa taulukoissa on esitetty esimerkki, miten erisuuruiset ryöstöt vaikuttavat väylän rakentamiseen kiviainekseen. Taulukko 1 esittää kuvitellun väylän ominaisuudet. 0 - 90 mm:n murskeesta rakennetaan tukikerros, 0 - 32 mm on kantavan murskeen raekoko.

**Taulukko 1 Hypoteettisen väylän dimensiot (Mattijaakko Määttänen)**

	Murskelaji	Leveys (m)	Kerrospaksuus (m)
Suunnitelman mukainen rakenne	0-90	8	0,6
	0-32	7,5	0,2
10 cm ylileveä, 5 cm ylisyvä rakenne	0-90	8,1	0,625
	0-32	7,6	0,225
20 cm ylileveä, 10 cm ylisyvä rakenne	0-90	8,2	0,65
	0-32	7,7	0,25

Taulukossa 2 kuvataan kahdella suuruudella tapahtuneen ylileikkauksen vaikutusta murskemeneekkiin eri mittaisilla väylillä, verrattuna teoreettiseen, suunnitelman mukaiseen määrään.

**Taulukko 2 Ryöstössä menetetyn maa-aineksen tilavuus eri mittaisilla väylillä (Mattijaakko Määttänen)**

Väylän pituus	Murskelaji	100 m	500 m	1000 m
		ryöstö	ryöstö	ryöstö
10 cm ylileveä, 5 cm ylisyvä rakenne	0-90	26,25 m <sup>3</sup> tr	131,25 m <sup>3</sup> tr	262,5 m <sup>3</sup> tr
	0-32	21 m <sup>3</sup> tr	105 m <sup>3</sup> tr	210 m <sup>3</sup> tr
20 cm ylileveä, 10 cm ylisyvä rakenne	0-90	53 m <sup>3</sup> tr	265 m <sup>3</sup> tr	530 m <sup>3</sup> tr
	0-32	42,5 m <sup>3</sup> tr	212,5 m <sup>3</sup> tr	425 m <sup>3</sup> tr

Taulukossa 3 taulukon 2 teoreettiset tilavuudet on muutettu tonneiksi, käyttämällä Infra 2006 rakennusosa- ja hankenimikkeistön liitteestä 1 murskeelle löytyvää muunnoskerrointa 3,56.

**Taulukko 3 Ryöstön tilavuudet muunnettuina tonneiksi (Mattijaakko Määttänen)**

10 cm ylileveä, 5 cm ylisyvä rakenne	0-90	93,45 t	467,25 t	934,5 t
	0-32	74,76 t	373,8 t	747,6 t
20 cm ylileveä, 10 cm ylisyvä rakenne	0-90	188,68 t	943,4 t	1886,8 t
	0-32	151,3 t	756,5 t	1513 t

Normaalille 4-akseliselle kuorma-autolle sallittu kuorma peräkärriineen on noin 42 tonnia. 100 metrin mittaisella väylällä voitaisiin teoriassa tämän laskelman pienemmällä

ryöstöllä saavuttaa yhteensä noin 4 kasettikuorman säästö murskeista. Suuremmalla ryöstövaihtoehdolla 100 metrin väylällä säästettäisiin reilu 8 kuormaa murskeita, jos pinta onnistuttaisiin leikkaamaan tasan suunniteltuun tasoon ja muotoon.

Bassenkylän urakan kokoluokan hankkeessa rakennettavia väyliä on reilun kilometrin verran. Aiemmissa taulukoissa esitetty laskelma on suuntaa-antava, mutta tämän kokoluokan hankkeessa, voitaisiin taulukoiden pienemmän ryöstön eliminoinnilla 3D-koneohjausta käyttäen säästää laskelman levyisten tuki- ja kantavan kerrosten murskeista yli 1600 tonnia. Uuden kiviaineksen määrän tarpeen vähenemisen lisäksi säästöä muodostuisi myös poisajettavan maa-aineksen määrän vähenemisestä.

Kiviainesten hinta kasvaa yleensä raekoon pienentyessä, katkaistujen sepeleiden ollessa kuitenkin kaikkein kalleimpia. Rakennusmateriaalien ja polttoaineen säästö yhdessä rakentamisen tehostumisen ja laadun paranemisen kanssa muodostavat koneohjauksen etujen kokonaisuuden urakoitsijan kannalta houkuttelevaksi.

### **8.3 Koneohjaukseen liittyvät kustannukset**

Koneohjauksen käyttöönottoaminen ja käyttäminen työmailla vaatii hankintoja ja panostamista henkilöstön koulutukseen. Nykyisessä vaiheessa, kun tietomallien käyttöön suunnittelussa ja 3D-koneohjauksen käyttöön työmailla ollaan siirtymässä, koulutukseen, tiedon jakamiseen ja toimintatapojen kehittämiseen kuluu enemmän resursseja. Resursseja joudutaan suuntaamaan myös tietomallien tekemiseen itse, muissakin kuin ST-urakoissa.

Koneohjaukseen liittyvät kustannukset urakoitsijoille voidaan jakaa laitteiden sekä henkilötyön kustannusten mukaan. Laitteiston ja yhteyksien osuuden muodostaa:

- Koneohjauslaitteiden hankkiminen
  - koneohjauslaitteiden vuokraus tai osto, asennus sekä koneohjauslaitteiston toimittajan työmaapalvelut
- Mahdollisesti tukiasemien hankkiminen
  - Tukiasemien vuokraus tai osto sekä asennus
- Pilvipalvelun ja verkonkäytön kustannukset
- Mahdollisten suunnittelu- tai mittausohjelmistojen hankkiminen

Osa laitteistoon liittyvistä hankinnoista sisältää henkilötyötunteja asennusten ja esimerkiksi tukiasemien siirron yhteydessä. Mittaustyöt muodostavat n. 3 % työmaan kokonaiskustannuksista. Näiden kustannusten lisäksi mittatietojen odottamisesta työmaalla voidaan laskea syntyväksi kustannuksia rakennustöiden seistessä. Tietomallipohjaisen rakennustavan henkilötyön kustannuksia lisäävät vaikutukset ovat

- Mallien tekemiseen menevä aika
  - Osuus pienenee suunnitelma-aineiston ja koneohjausyksiköiden yhtenäistymisen myötä
- 3D-koneohjausyksiköiden asennus ja kalibrointi sekä seuranta
- Koulutus.

#### **8.4 Koneohjauksen käyttämiseen liittyvät ongelmat**

Etenkin koneohjauksen käytön ollessa uutta, muodostuu sen käyttöönottamisesta myös ongelmia. Kokemusten perusteella, voidaan ongelmakohtina pitää muun muassa:

- Kokemuksen puute kuljettajilla, työnjohdolla, mittaushenkilöstöllä sekä suunnittelijoilla.
- Paikalliset satelliittien katvealueet.
- Mobiiliverkon tai VRS-verkon ongelmat.
- Lohjan urakan aikana toisen koneohjausyksikön modeemi meni rikki. Takuu korvasi modeemin, mutta aiheutti pientä hidastusta aikatauluun.
- GNSS-antennin kesto pakoputken edessä mietityttää pidemmällä aikavälillä.
- GNSS-antennin suojakuori meni pudotessa rikki.

Koneohjattu työmaa on työnjohdon kannalta ongelmallinen siinä mielessä, että merkinnot maastossa puuttuvat ja työmaan hahmottaminen voi olla hankalaa. Tähän voi olla avuksi työmaan hallinnassa käytettävän projektinohjausjärjestelmän älypuhelin- ja tablettisovellukset. Työmaalla laitteen näytöltä nähdään karttapohjan päällä halutun rakenteen malli. Laitteen paikannuksen tarkkuus määrittää sijainnin tarkkuuden kartalla. Se soveltuu kuitenkin esimerkiksi suurpiirteisen paaluluvun tarkistamisen. Tulevaisuus tuonee tullessaan halpoja ja tarkkoja GNSS-paikantimia, mitä voidaan hankkia työnjohdonkin käyttöön.

## 9 POHDINTA

Käyttökohteita, joissa eri koneiden koneohjauksesta saadaan eniten irti, pitää jatkossa kehittää. Vallien ja erikoisen muotoisten ojien ja kanaalien tekoon 3D-koneohjaus on todella selkeä. Myös ruoppaukset ja koneohjauslaitteiston kestävyydestä riippuen myös louheen lastaaminen ovat kaivinkoneiden 3D-koneohjauksen käytön osalta hyviä kohteita. Rakennekerrosten osalta kaivinkoneen tekemä pinta on parempaa kuin perinteisillä menetelmillä tehty, mikä vaikuttaa myös rakennekerrosten viimeistelyyn kuluvaan aikaan tiehöylällä.

Jakavan ja kantavan kerroksen muotoilu 3D-koneohjatulla tiehöylällä on osoittautunut tehokkaammaksi ja tarkemmaksi, kuin perinteisillä menetelmillä rakennettu. Rakenteet ovat myös tasalaatuisempia 3D-koneohjausta käyttäen kuin perinteisillä menetelmillä. Asfaltinlevittimien käyttö uudiskohteissa, missä kantava kerros on mallipohjaisesti rakennettu, ei tuone merkittäviä lisäetuja ainakaan rakenteen tasalaatuisuuden suhteen. Koneohjatuista asfaltinlevittimistä saadaan kuitenkin hyötyä irti vaativien rakenteiden kuten juoksuratojen asfaltoinnin teossa. Myös tarkan pintamallin kanssa uudelleenpäällystyksset ja niin sanottujen tasausmassojen levittäminen on myös potentiaalinen käyttökohte koneohjatulle asfaltinlevittimelle.

Jotta koneohjauksesta saataisiin maksimaalinen hyöty irti, on materiaali työstettävä hyvissä ajoin etukäteen, ennen töiden aloittamista. Jatkossa mallit tulevat valmiina tilaajalta, mikä nopeuttaa töihin ryhtymistä. Ennen mallien käyttöönottoa ne on tarkistettava ja mahdolliset virheet korjattava. Kun tiedetään minkä valmistajan laitteistot tulevat työmaalla olemaan käytössä, voidaan aineistot valmistella niiden vaatimuksien mukaisesti. Mallien muokkaamista aiheuttaa myös suunnitelmien muutokset tai pohjaolosuhteiden poikkeaminen suunnitelluista.

Ennen maanrakennustöiden aloittamista, on hyvä kartoittaa paikannusolosuhteet työmaalla. Tähän kuuluu satelliittien näkyvyyteen liittyvät katveet sekä paikannussignaalin korjausdatan vastaanottamiseen vaadittavat yhteydet. Erityisesti etelän suunnassa sijaitsevat esteet aiheuttavat satelliittien näkyvyysongelmia. Tällaiset metsänreunat tai rakennusten seinustat on rakennettava perinteisillä menetelmillä eli merkitsemällä rakennettavat kohteet maastoon. Kapean hakkuun keskellä on havaittu ongelmia, johtuen

GPS/3G-yhteydestä, tai muusta VRS-korjaukseen liittyvästä ongelmasta. Tämä aiheuttaa GNSS-paikannuksen heikentynyttä tarkkuutta. Ongelmia on ollut myös kalliokanaaleissa.

Kiinteät tukiasemat voivat tulla kyseeseen alueilla, joilla ei saada riittävää verkkoyhteyttä ylläpitää korjausta. Jos ongelmana on satelliittien näkyvyys, ei tukiasema auta paikannuksessa. Paikannusongelmat eivät koske takymetrillä itsensä paikantavia koneohjauslaitteita, kuten esimerkiksi tiehöyliä tai asfaltinlevittäjiä.

Työmaalle tulee tehdä riittävä määrä tarkistuspisteitä, joista kuljettajat voivat omatoimisesti tarkkailla koneohjausyksikkönsä paikannustarkkuutta. Kuljettajien on myös säännöllisesti tarkkailtava huulilevyn kulumista ja syötettävä tiedot koneohjausyksikölle.

Työkoneiden ja käsin otettujen tarkepisteiden käsittely ja vertailu suunnitelmiin urakan aikana on tärkeää laaduntarkkailua. As built -malleja voi tehdä urakan edetessä. Niitä voi hyödyntää esimerkiksi eri urakkavaiheissa mahdollisesti ilmenevien laatuongelmien korjaamisessa. Vuotavaa vesijohtoa aukikaivettaessa voisi helpottaa, jos työkoneelle saisi näkymään rakennetun linjan mallista. Vesijohdon puhkaiseminen uudella, suljetullakin linjalla aiheuttaa tuhansien eurojen materiaali- ja työkulut, sekä pahimmillaan useiden päivien aikatauluviiheen. Myös purkautuva vesi voi tuottaa ongelmia.

Rakennetussa ympäristössä malliin voi lisätä varoitusalueet olemassa olevien rakenteiden ympärille, olettaen että niiden sijainti tiedetään riittävällä tarkkuudella. Koneelle määritetään suojaetäisyys, jota lähemmäksi mentäessä laitteisto varoittaa kuljettajaa.

Ylläpidon ja korjausrakentamisen näkökulmasta olemassa olevien rakenteiden mallinnus on jossain määrin hyödyllistä. On kuitenkin muistettava, että rakenteet painuvat odotetusti ja sallitusti. Täten niiden ei voida olettaa olevan juuri mallinnetussa paikassa, joten aukikaivuissa on edelleen noudatettava suurta huolellisuutta.

Tulevaisuudessa tulisi miettiä koneohjauksen vaikutusta myös aliurakoita suunniteltaessa. Koneohjaus voi vaikuttaa tilaajan näkökulmasta siihen, millaisella urakkamuodolla työ on järkevintä toteuttaa.

Tietomallipohjaisen rakentamisen tuominen jokaiselle työmaalle edellyttää ohjeiden ja käytäntöjen uudistamista ja yhtenäistämistä. Uusi rakennustapa tuo myös työmaille uusia tapoja tarkemittausten ja rakennetun todentamisen raportointiin. Uudet mittaussuunnitelmat 3D-koneohjatusti toteutetuilla rakenteilla ovat työn alla. Tarkepisteiden ottoväli tulee todennäköisesti olemaan pitkä. Kun paikannustarkkuus on hyvää luokkaa kaivinkoneissa, voidaan tarkkojen rakenteiden, kuten viettoviemäreiden, rakentaminen jättää täysin työkoneen koneohjauksen paikannuksella rakennettavaksi ja todennettavaksi.

Kun tietomallipohjaisen rakentamisen ketju infra-alalla on valmis, voidaan rakentamisen odottaa olevan kustannustehokkaampaa ja joustavampaa kuin ennen. Siirtymävaiheen hankaluuksien jälkeen saavutettavat hyödyt tulevat mitä todennäköisimmin olemaan suuret. Näiden kokemusten pohjalta en näe syitä, miksi tietomalleihin perustuvaa rakentamista ja 3D-koneohjauksen käyttöä työkoneissa ei tulisi lisätä.

Koneohjatun työmaan tiedonkulkuun on järkevää käyttää KUURAn kaltaisia projektinjohtopalveluita. Palvelut mahdollistavat suurten tietomäärien tallentamisen yhteen paikkaan ja käyttöoikeuksien jakamisen tarvittavalle henkilöstölle urakan eri osapuolten kesken. Palveluita voidaan hyödyntää rakentamisessa, tiedonvälittämisessä sekä urakan dokumentoinnissa ja laatuaineiston toimittamisessa tilaajalle.

Tulevaisuudessa kehitämme infra-alan työtapoja ja -tekniikoita 3D-koneohjausta käyttäen. Optimaalisten käyttökohteiden etsiminen eri työkoneiden 3D-koneohjaukselle on seuraavassa vaiheessa tapahtuvaa toimintaa, samalla kun ohjeistukset ja standardit Suomalaiselle tietomallipohjaiselle rakentamiselle ovat valmistumassa.

## LÄHTEET

- Airos, E., Korhonen, R. & Pulkkinen, T. 2007. Satelliittipaikannusjärjestelmät. Riihimäki: Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos.  
<http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/658d1080428c8d79900bd2e60feb2862/PVTTJulkaistu12.pdf?MOD=AJPERES> Tarkistettu 22.2.2014
- Caterpillar. 2006. Road Construction Production Study. <http://www.trimble-productivity.com/media/pdf/ProductivityReportCATRoadConstruction2006.pdf> Tarkistettu 22.2.2014
- Geotrim Trimnet-esite. [http://www.geotrim.fi/wp-content/uploads/2011/02/Geotrim\\_Trimnet\\_1212\\_LR.pdf](http://www.geotrim.fi/wp-content/uploads/2011/02/Geotrim_Trimnet_1212_LR.pdf) Tarkistettu 22.2.2014
- Heikkilä, R. Jaakkola, M. 2004. Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Helsinki: Tielaitos.  
<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200915-vjohdatustienrakautom.pdf> Tarkistettu 22.2.2014
- Häkli, P. & Koivula H. 2005. Reaaliaikaisen GPS-mittauksen laatu. Maanmittauslaitos.  
[http://mts.fgi.fi/maanmittaus/numerot/2005/2005\\_12\\_hakli\\_koivula.pdf](http://mts.fgi.fi/maanmittaus/numerot/2005/2005_12_hakli_koivula.pdf) Tarkistettu 22.2.2014
- InfraFINBIM. AP2 Standardit ja rajapinnat. InfraBIM -nimikkeistö (suunnittelu-, mittaus- ja tietomallinimikkeistö). Luonnos 5.3.2012
- Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2010. Rakennustietosäätiö.
- InfraTM. 2010. Tietomallit ja koneohjaus katuhankkeissa. Tampere-Oulu loppuraportti.  
[http://www.infrabim.fi/InfraTM\\_pilotti\\_Tampere\\_Oulu\\_loppuraportti.pdf](http://www.infrabim.fi/InfraTM_pilotti_Tampere_Oulu_loppuraportti.pdf) Tarkistettu 22.2.2014
- Infra TM-hanke lyhyesti. Rakennustietosäätiö.  
[http://www.rts.fi/infrabim/infra\\_tm\\_hanke\\_lyhyesti.htm](http://www.rts.fi/infrabim/infra_tm_hanke_lyhyesti.htm) Tarkistettu 22.2.2014
- InfraFINBIM. Rakennustietosäätiö. <http://www.infrabim.fi/> Tarkistettu 22.2.2014
- Infra FINBIM. Rakennustietosäätiö. [http://www.rts.fi/infrabim/infra\\_alan\\_visio\\_vr.htm](http://www.rts.fi/infrabim/infra_alan_visio_vr.htm) Tarkistettu 22.2.2014
- Maanmittauslaitos. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät.  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/koordinaatti-korkeusjarjestelmat> Tarkistettu 22.2.2014
- Maanmittauslaitos. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. Ellipsoidi ja geoidi.  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/3d-koordinaatitot/ellipsoidi-geoidi> Tarkistettu 22.2.2014
- Maanmittauslaitos. N2000-korkeusjärjestelmä julkaisu.  
[http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/N2000\\_Valtakunnallinen\\_korkeusjarjestelma.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/N2000_Valtakunnallinen_korkeusjarjestelma.pdf) Tarkistettu 22.2.2014

Nieminen, J-M. 2011. Koneohjaus maanrakennustyössä. Maa- ja kalliorakentamisen koulutusohjelma. Saimaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö  
[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27378/Nieminen\\_Juha-Matti.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27378/Nieminen_Juha-Matti.pdf?sequence=1) Tarkistettu 16.3.2014

Novatron koneohjausjärjestelmien esite. 2013.  
<http://www.novatron.fi/pdf/Novatron%20brochure%202013%20FI.pdf> Tarkistettu 22.2.2014

Parantala, S. & Snellman, S. 2013. PRE / infraBIM tietomallivaatimukset ja -ohjeet, osa 4. Rakennemallit; Maa-, pohja- ja kalliorakenteet, päällys- ja pintarakenteet. Luonnos-versio 0.4.

Pelkonen J. 2012. Koneohjausjärjestelmän käyttö ja hyödyntäminen maanrakennusyrityksessä. Maanmittaustekniikan tutkimusohjelma Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. [http://theseus17-kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/40073/Final\\_ver.pdf?sequence=1](http://theseus17-kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/40073/Final_ver.pdf?sequence=1) Tarkistettu 22.2.2014

Pienimäki, M. 2013. PRE / infraBIM tietomallivaatimukset ja -ohjeet, osa 3. Mallinnus hankkeen eri vaiheissa. Luonnosversio 0.94.

Poutanen M. 1998. GPS-paikanmääritys. Hämeenlinna: URSA

Poutanen, M. 2007. Satelliittipaikannus.  
<http://www.helsinki.fi/~korpela/MINV12/GPSkirja.pdf> Tarkistettu 22.2.2014

PRE-ohjelma. RYM. <http://www.rym.fi/tutkimusohjelmat/PRE/> Tarkistettu 22.2.2014

von Schantz N. 2011. Norjan tiehallinnon ohjekirja HB 138: Tietomallit. Lähtötietojen, mallien, merkintä- ja mittaustietojen vaatimukset. Käännöstyö norja – suomi, versio 1.0. 4.3.2011



## LIITTEET

### Liite 1. Jakavan kerroksen sallitut mittapoikkeamat.

*Taulukko 21210:T4. Jakavan kerroksen sallitut poikkeamat.*

Ominaisuus	Sallittu poikkeama
Rakenteen yläpinnan tasosijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa	- 0 / + 150 mm
Em. poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	100 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan 1)	± 30 mm
	30 mm
Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	± 15 mm
Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 1,0 %-yksikköä
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	20 mm
1) Tähtäysmerkkien ja mittakepin avulla mitataan poikkeama kohtisuoraan pintaa vasten, mutta takymetri-mittauksessa poikkeama pystysuuntaan.	

### Liite 2. Kantavan kerroksen sallitut mittapoikkeamat.

*Taulukko 21310:T3. Kantavan kerroksen sallitut poikkeamat.*

Ominaisuus	Sallittu poikkeama
Rakenteen yläpinnan tasosijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa	- 0/+ 150 mm
Em. poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	100 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan 1)	± 20 mm
	20 mm
Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	± 10 mm
Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 0,5 %-yksikköä
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	12 mm
1) Tähtäysmerkkien ja mittakepin avulla mitataan poikkeama kohtisuoraan pintaa vasten, mutta takymetri-mittauksessa poikkeama pystysuuntaan.	

## Liite 3. Rakennetun jätevesiviemärin mittavaatimuksia

**31100.4.1 Valmis jätevesiviemäri, yleistä****Vaatimukset**

Valmiissa jätevesiviemärissä sallitaan seuraavat poikkeamat, jos ne eivät haittaa rakenteen toimivuutta tai johtohaarojen rakentamista:

- vietto- ja paineviemärin sijainti vaakatasossa  $\pm 100$  mm
- paineviemärin korkeusasema  $\pm 100$  mm
- viettoviemärin sivupoikkeama suorasta linjasta on valitun mittausmatkan kolmasosassa ( $1/300$ ).

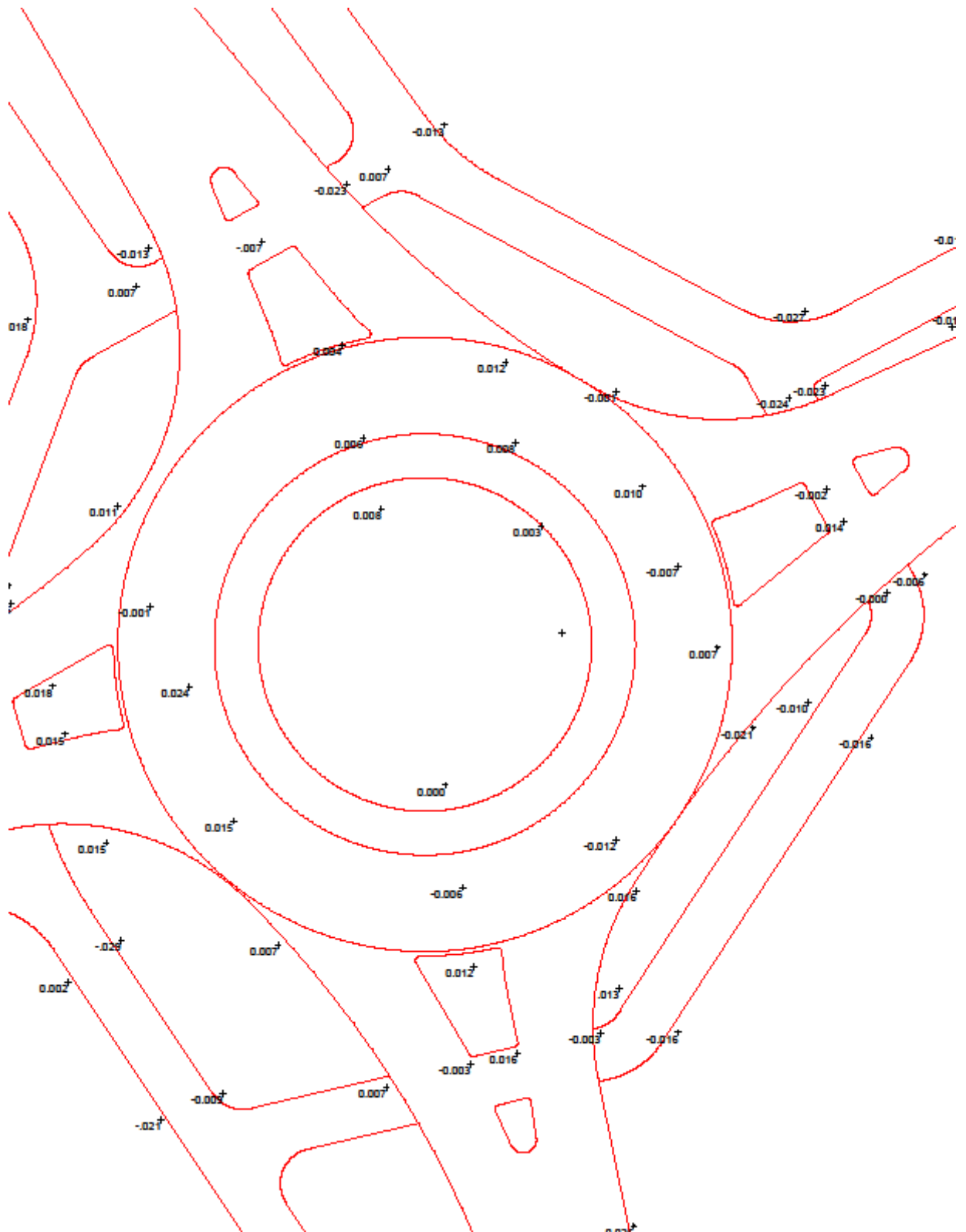
Viettoviemäreissä sallitaan *taulukon 31100:T6* mukaiset poikkeamat suunnitelmasta korkeusasemasta ja kaltevuudesta edellyttäen, että viemäriin ei jää vesipainanteita, kaivoon tulevan putken vesijuoksu ei ole lähtevän putken vesijuoksua alempana ja johdon pituuskaltevuus peräkkäisten kaivojen välillä on  $> 0$  promillea. Kaltevuus tai korkeus eivät kumpikaan saa poiketa sallittua arvoa enempää. Putkikoon ollessa yli 1000 mm poikkeamat ovat suunnitelma-asiakirjojen mukaiset.

*Taulukko 31100:T6. Viettoviemärin sallitut kaltevuus- ja korkeuspoikkeamat.*

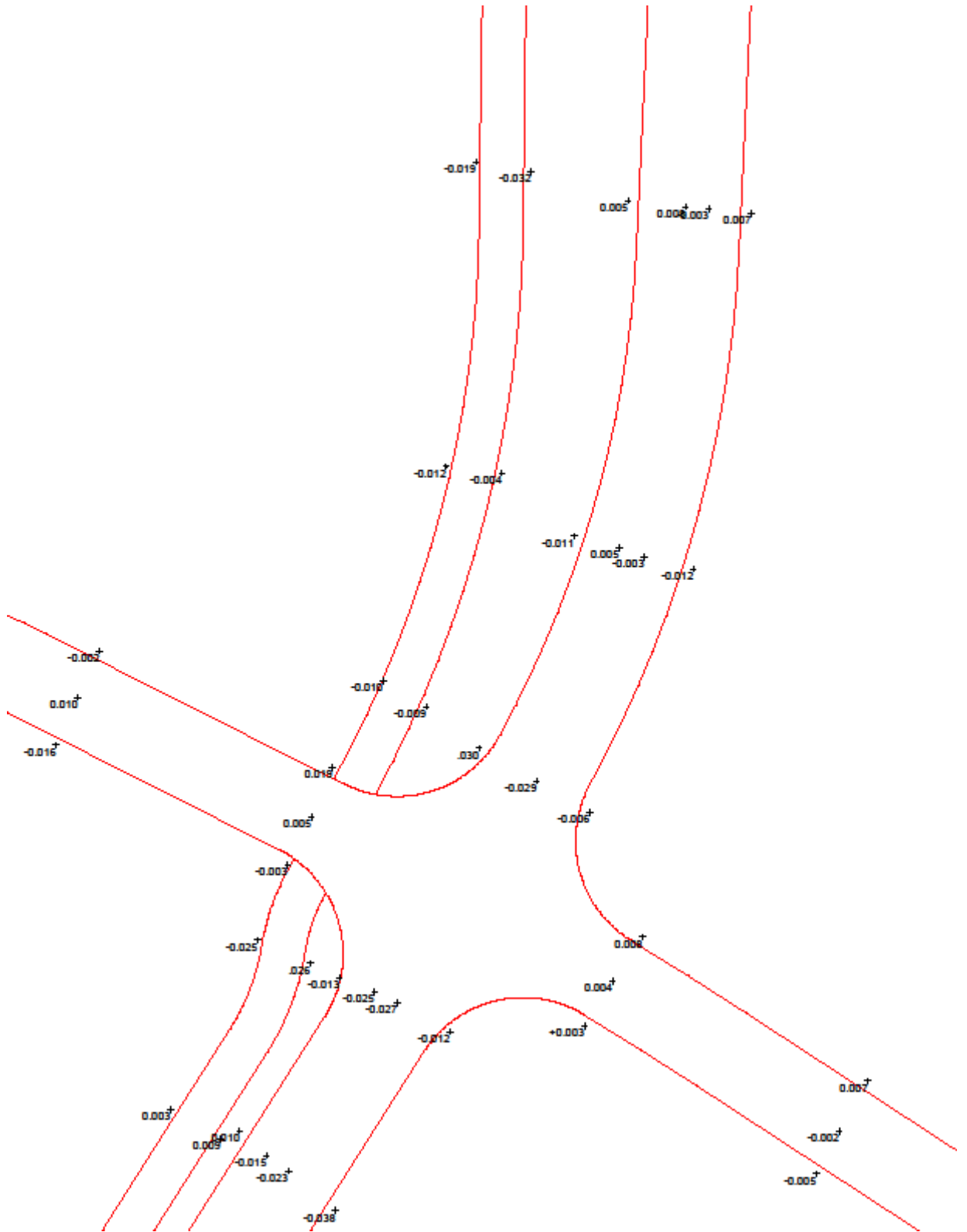
Suunnitelman mukainen kaltevuus, ‰	Kaltevuuspoikkeama lillä enintään, ‰	kaivovä-	Korkeuspoikkeama enintään, mm
> 5	1,5		50
3...5	1,0		30
< 3	1,0		20

Liite 4. Immulan kaava-alueen kiertoliittymän alueen jakavan kerroksen tarkemittauksia.

1 (2)

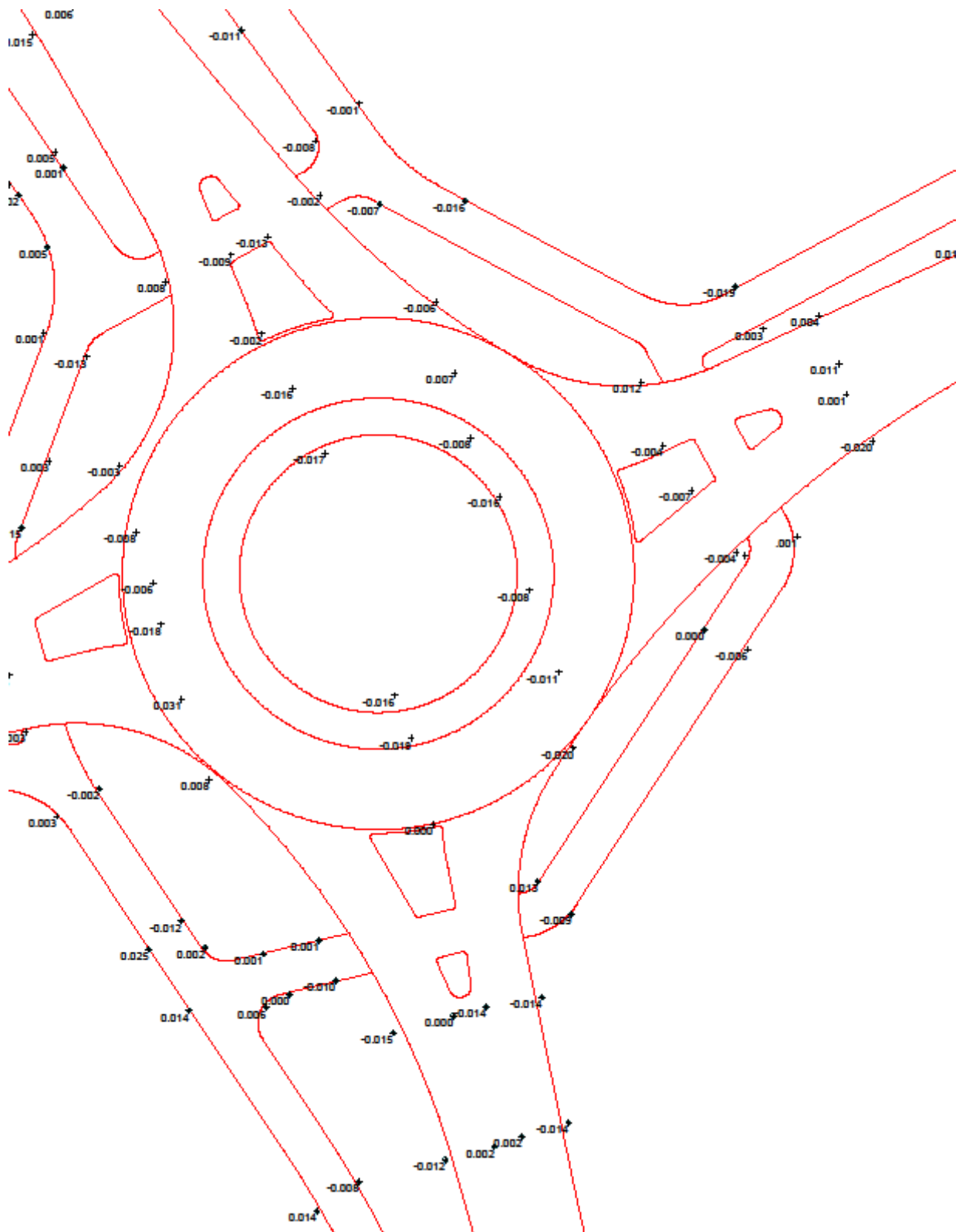


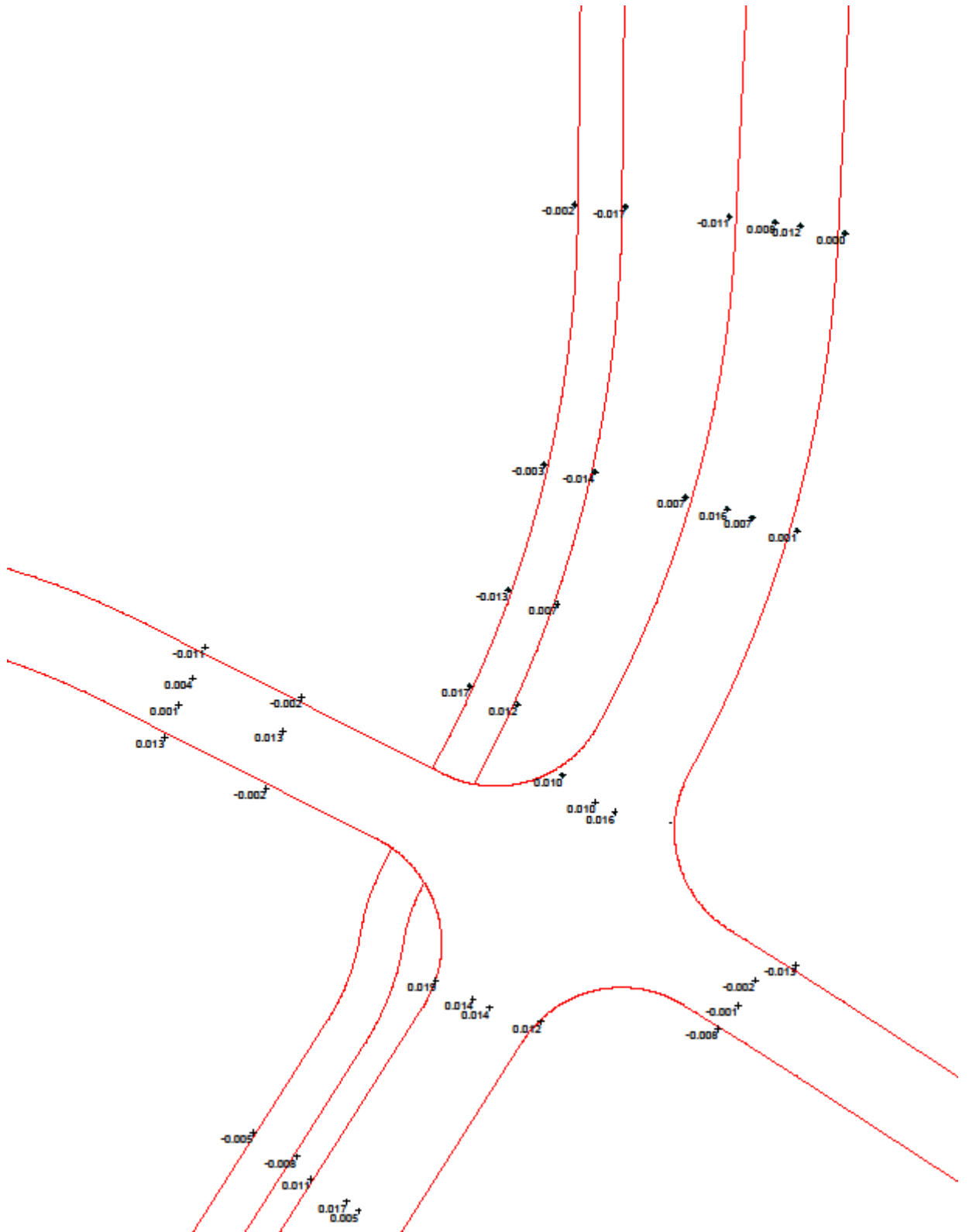
2 (2)



Liite 5. Immulan kaava-alueen kiertoliittymän alueen kantavan kerroksen tarkemittauk-  
sia.

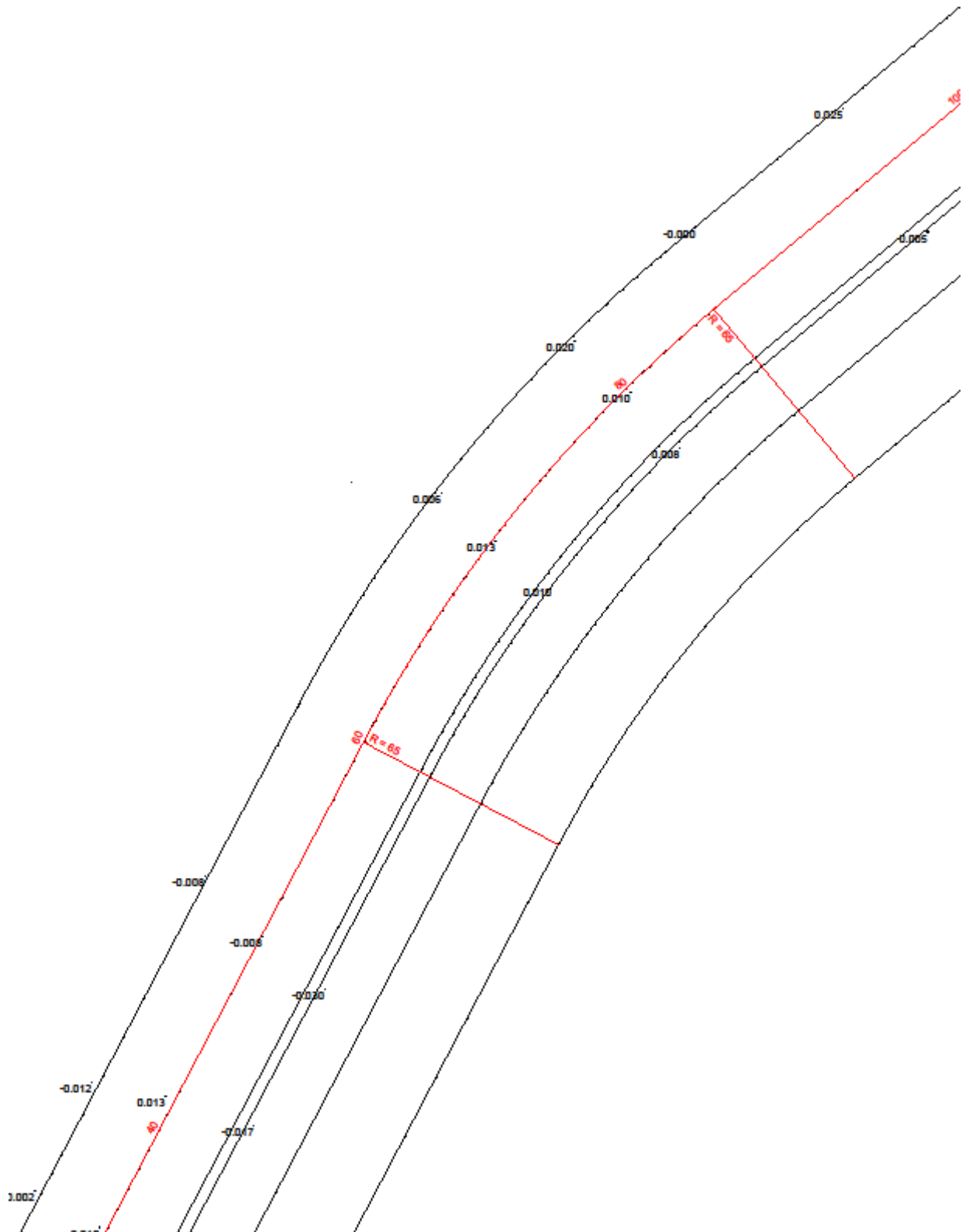
1 (2)



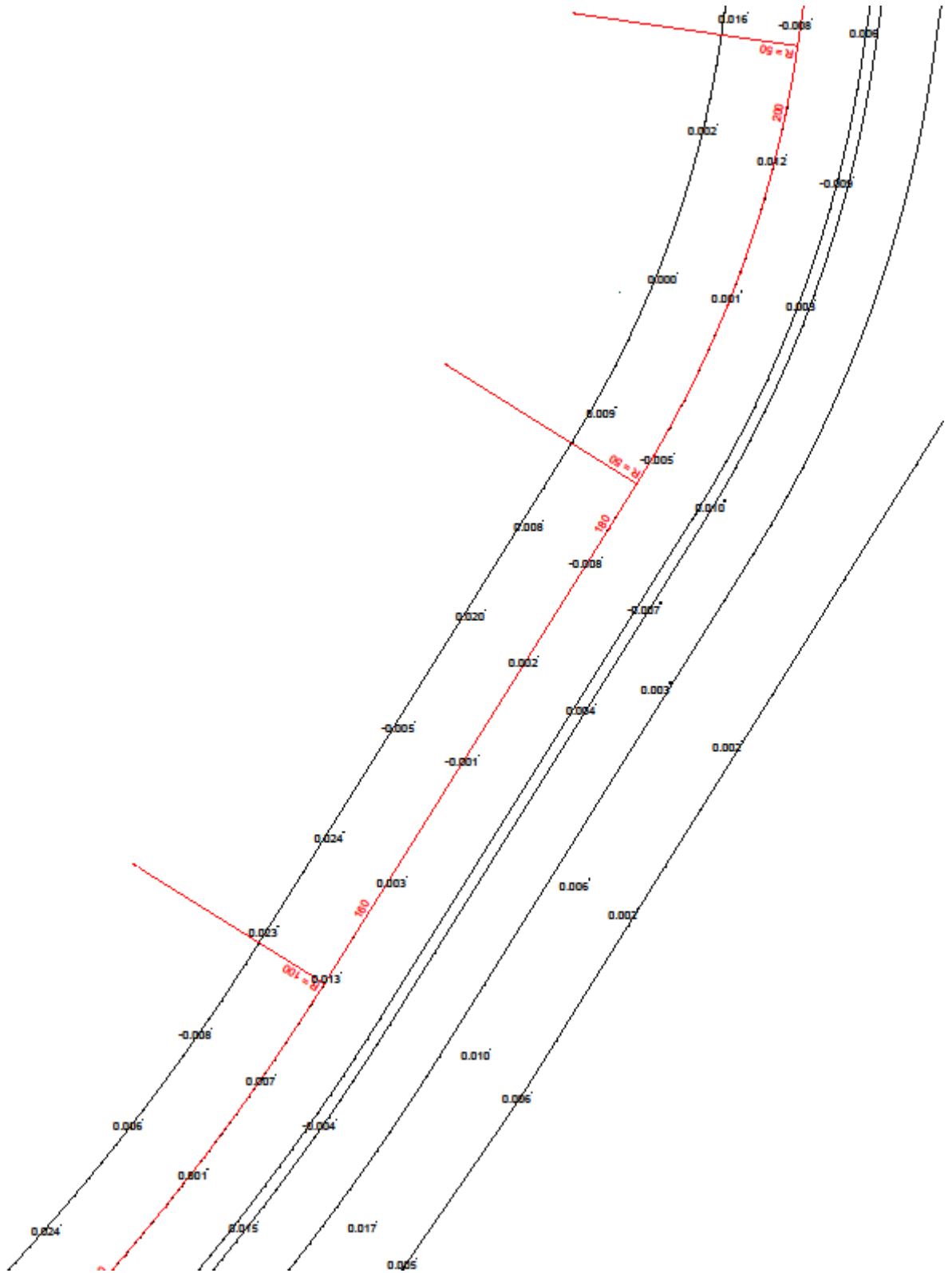


## Liite 6. Bassenkyläntien jakavan kerroksen tarkemittauksia.

1 (2)



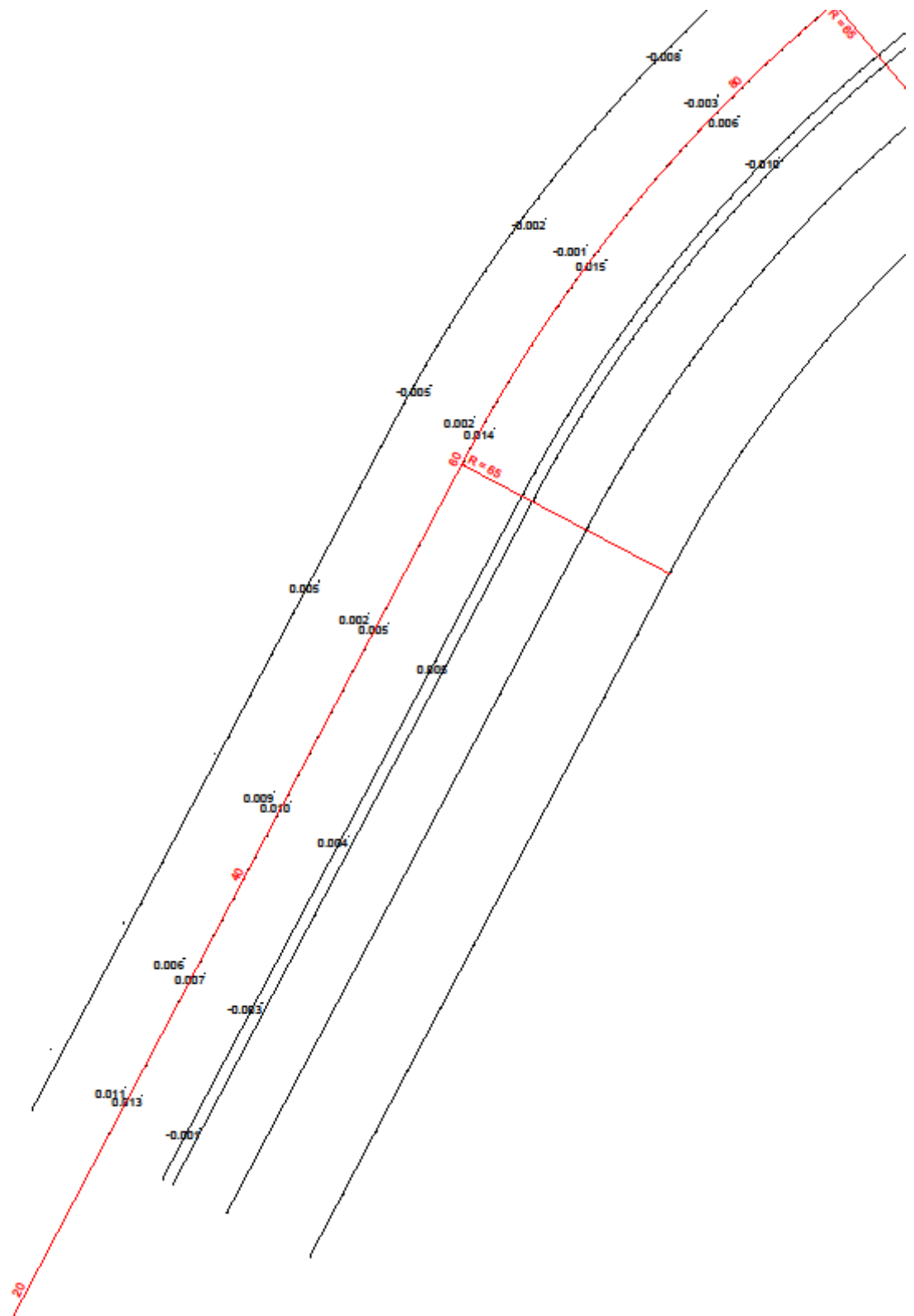
2 (2)





## Liite 7. Bassenkyläntien kantavan kerroksen tarkemittauksia.

1 (2)



2 (2)

