

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Infrarakentaminen, maa- ja kalliorakentaminen

Tomi Palkama

## **2D- ja 3D-suunnittelutöiden kustannusvertailu ja 3D-järjestelmän hyödyt työmaalla**

Opinnäytetyö 2015

## Tiivistelmä

Tomi Palkama

2D- ja 3D-suunnitteluiden kustannusvertailu ja 3D-järjestelmän hyödyt työmaalla, 45 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infrarakentaminen, maa- ja kalliorakentaminen

Opinnäytetyö 2015

Ohjaajat: tuntiopettaja Eija Mertanen, Saimaan ammattikorkeakoulu, toimitusjohtaja Jyri Husa, VRJ Etelä-Suomi Oy

Tietomallit ja koneohjaus ovat tulossa nykypäivänä rakentamisessa arkipäiväiseen käyttöön. Tietomalli ja koneohjaus vaativat toimiakseen 3D-mallin, joka voidaan tuottaa suunnitteluvaiheessa. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää, millä tavoin 2D-suunnittelun ja 3D-suunnittelun kustannukset eroavat toisistaan. Lisäksi tutkitaan 3D-järjestelmän hyötyjä työmaalla työn suorittajan eli urakoitsijan kannalta.

Teoriaosuudessa selvitetään, mitä 2D-järjestelmä ja 3D-järjestelmä tarkoittavat. Toisena osuutena on tutkimustyö, jossa on selvitys 2D- ja 3D-suunnitteluiden kustannuseroista, 3D-järjestelmän hyödyistä työmaalla sekä lyhyt osuus mittamiehen tekemästä muunnostyöstä, jossa 2D-suunnitelmat muunnetaan käsin 3D-järjestelmään sopivaksi.

Tässä työssä ei perehdytä tarkemmin muihin kustannuseroihin kuin suunnitteluvaiheen kustannuksiin. Aineisto työtä varten kerättiin internetistä ja haastattelemalla VRJ Etelä-Suomi Oy:n omia työntekijöitä sekä Ramboll Oy:n suunnittelijoita.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin selville, että 2D-suunnittelun ja 3D-suunnittelun suurin kustannuseroa aiheuttavana tekijä on suunniteltavan kohteen monimuotoisuus, eli mitä suurempi kohde, sitä kalliimpi se on tilaajalle. Monimutkainen kohde aiheuttaa suurempaa ajankäyttöä ja suurempaa tarkkuutta. Monimuotoisessa kohteessa esimerkiksi tien kerrokset täytyy mallintaa jokainen erikseen ja normaalista tien rakenteesta eroavat seikat, kuten bussipysäkit tai muut vastaavat, vaativat antamaan ohjelmalle lisäinfoa.

3D-järjestelmän hyötyjä selvisi useita. Niitä olivat muun muassa mittamiehen käytön tarpeen väheneminen, järjestelmän helppokäyttöisyys, työn ennakoiminen, materiaalimenekkien ja kaivutöiden hallinta, kokonaisuuden hahmottaminen sekä itsenäisen työskentelyn mahdollisuus.

Asiasanat: 2D-suunnittelu, 3D-suunnittelu, kustannusvertailu

## **Abstract**

Tomi Palkama

Comparison of costs of 2D-planning and 3D-planning and their benefits on the building site, 45 Pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Construction Engineering

Civil engineering

Bachelor's Thesis 2015

Instructors: Ms Eija Mertanen, Lecturer of Saimaa University of Applied Sciences, Mr Jyri Husa, managing director of VRJ Etelä-Suomi Oy

In construction data models and machine control are becoming to be introduced nowadays. The data model and the machine control require the 3D model to view. The data model and 3D model can be produced at the planning stage.

The purpose of this thesis was to find out the cost differences between 2D-planning and 3D-planning. Also researched the benefits of the 3D-system for contractor on the construction site were researched.

The purpose of the theoretical part was to find out what does 3D-system mean. The purpose of the research part was to find out the factors which cause the cost differences between 2D-planning and 3D-planning. In addition the purpose was to find out the benefits of the 3D-system for the contractor on the construction site. There is a little part of modification, which is used by measure man when he modifies the 2D material into 3D-material.

This thesis only deals with the costs of the planning phase. The information was gathered from the internet and by interviewing employees of Ramboll Oy and of VRJ Etelä-Suomi Oy.

The results of the thesis show that the biggest factor causing cost differences between 2D-planning and 3D-planning was the diversity of the planning object. A Multiform object requires more time accuracy. In a multiform object every structural layer has to be planned separately. The things that differ from the normal structure of the road require to give more info for the planning programme.

The research revealed a number of benefits of the 3D-system on the construction site: no need for measure man, ease of use, anticipating of work, control of material usage and excavation work, understanding the big picture of the site and possibility to work independently.

Keywords: 2D-planning, 3D-planning, comparison of costs

## Sisältö

Käsitteet.....	5
1 Johdanto .....	6
2 Infran suunnittelu ja menetelmät .....	7
3 Tietomalli.....	10
3.1 Yleistä.....	10
3.2 Tietomallin tiedot ja sen käyttö .....	11
3.3 Tietomallintamisen ja kaksiulotteisen CAD-suunnittelun erot .....	12
4 2D-suunnittelu.....	13
5 3D-suunnittelu.....	14
5.1 3D-järjestelmä .....	15
5.2 Nykytilanne.....	17
5.3 3D-järjestelmän toiminta.....	19
5.3.1 Takymetripaikannus .....	20
5.3.2 Satelliittipaikannus .....	21
6 Aineiston muuntaminen 3D-laitteisiin sopiviksi.....	22
6.1 Yleistä.....	22
6.2 Tien rakennekerrokset.....	22
6.3 Pistemäiset kohteet .....	27
6.4 Linjamaiset kohteet .....	27
7 Kustannusvertailu .....	28
7.1 Lähtötiedot.....	29
7.2 Ajankäyttö.....	29
7.3 Tilaajan vaatimukset.....	32
7.4 Yhteenveto .....	32
8 3D-järjestelmän hyödyt työmaalla .....	34
8.1 Yleisesti .....	34
8.2 Mittamiehen tarve .....	35
8.3 Kokonaisuuksien hallinta .....	35
8.4 Työn suoritus ja taloudellisuus.....	36
8.5 Ilkivalta. ....	37
8.6 Helppokäyttöisyys .....	37
8.7 Tiedonsiirto .....	37
8.8 Mahdolliset haitat.....	39
9 Pohdinta.....	40
Kuvat.....	43
Taulukot .....	43
Lähteet.....	44

## Käsitteet

Tietomalli	Tietomallilla tarkoitetaan digitaalisessa muodossa olevan rakennelman 3-ulotteista esittämistä ominaisuustietoineen.
3D-järjestelmä	Koneohjausjärjestelmään ladattu digitaalinen malli, joka koneen sensoreiden avulla opastaa kuljettajan oikeisiin korkoihin ja kallistuksiin.
Infrarakentaminen	Teollisuusyhteiskunnan toiminnassa tarvittavien teknisten perusrakenteiden eli infrastruktuurin rakentamista, jossa tarvitaan monenlaista rakennustekniikkaa.
Takymetripaikannus	Takymetrin avulla tehtävä paikannusmenetelmä, jolla saadaan tietää koneohjauksessa olevan työkoneen sijaintitiedot.
Satelliittipaikannus	Kohteen sijaintitiedon määrittämistä maapalloa kiertävien satelliittien avulla.
Rakennekerrokset	Tien alusrakenteet, joilla liikenneväylästä saadaan tarpeeksi kantava kestääkseen liikenteen kuormituksen.
Laserkeilaus	Mittaustapa, jolla kohteesta saadaan lasersäteiden avulla mittatarkkaa kolmiulotteista tietoa kohteeseen koskematta.

# 1 Johdanto

VRJ Etelä-Suomi Oy on pääasiassa pääkaupunkiseudulla toimiva rakentamisen monitoimialayritys. Yritys on perustettu vuonna 1981 Oulussa. Tällä hetkellä VRJ Group työllistää noin 350 ihmistä ja vuosittainen liikevaihto on noin 80 miljoonaa euroa. Noin kolmasosa VRJ Groupista työskentelee VRJ Etelä-Suomi Oy:n palveluksessa. Yrityksen vuosittainen liikevaihto on noin 43 miljoonaa euroa. VRJ Etelä-Suomi Oy:n suurimmat toimialat ovat maa- ja vesirakentaminen, korjausrakentaminen, viher- ja ympäristörakentaminen, kunnallistekniset työt sekä betoni- ja siltarakentaminen. Asiakkaina VRJ Etelä-Suomi Oy:llä ovat muun muassa yksityiset tahot, taloyhtiöt ja erilaiset yritykset.

Työn tavoitteena on vertailla 2D-suunnittelun ja 3D-suunnittelun kustannuksia ja selvittää 3D-järjestelmän hyödyt työmaalla. Tätä varten haastattelin järjestelmien parissa työskenteleviä alan ammattilaisia, suunnittelijoita ja urakoitsijoita.

Aloitin työni selvittämällä, kuka on tehnyt sekä 2D-suunnittelua että 3D-suunnittelua. Suunnittelutoimisto Ramboll Oy:ltä löytyi henkilöitä, joilta, sain tarvittavaa tietoa haastatteluiden ja sähköpostikeskusteluiden kautta.

Rajasin työni 3D-järjestelmän hyötyjen tarkastelemiseen. Omalla työmaallani oli VRJ Etelä-Suomi Oy:n omia kaivinkoneenkuljettajia, jotka ovat työskennelleet 3D-järjestelmän kanssa sen käyttöönotosta lähtien. Heiltä sain nopeasti hankittua tiedon järjestelmän tuomista hyödyistä työmaalla.

Työhöni kuului vielä tutkia mittamiehen tekemää muunnostyötä, jota tarvitaan 2D-suunnitelmien muuntamiseen 3D-järjestelmään sopivaksi. Tähän löysin tietolähteen todella läheltä, sillä oma isäni työskentelee pääkaupunkiseudulla toimivan mittausyrityksen palveluksessa. Hän toimii tällä hetkellä AIP-Mittaus Oy:n tuotantopäällikkönä, ja hän osasi vastata kysymykseen, mitä aineiston muunnostyö on.

## 2 Infran suunnittelu ja menetelmät

Infrarakentamisessa suunnittelulla pyritään luomaan tiedot tuotteiden geometriasta, jolla tarkoitetaan tietoja sijainnista, mitoista ja muodoista. Lisäksi pyritään saamaan tiedot rakenteista, laitteista ja materiaaleista ominaisuuksineen. Jos mahdollista, tuotetaan tiedot maa-ainesten massamääristä, ominaisuuksista ja kustannuksista sekä valmistustekniikoiden vaatimuksista. (1, s. 20.)

Infrarakentaminen tarkoittaa teollistuvassa yhteiskunnassa tarvittavien teknisten perusrakenteiden rakentamista, eli infrastruktuurin rakentamista. Infrastrukturi pitää sisällään monenlaista rakennustekniikkaa, joten suunnittelulta vaaditaan myöskin paljon. Infran suunnittelu sisältää liikenneväylien-, vesihuollon-, energia-alan rakentamisen-, viherrakentamisen-, tietoliikenneyhteyksien-, teollisuusrakentamisen-, kalliotilojen- ja lentoasemiensuunnittelun. (2.)

Infran suunnittelussa yleisimmin käytössä olevat suunnitteluohjelmistot ovat Vianova Oy-nimisen yrityksen tuottama Novapoint ohjelmistokokonaisuus sekä Terrasolid Oy:n tuottamat suunnitteluohjelmistot, kuten Terrastreet, Terrapipe ja monet muut vastaavanlaiset ohjelmistot. Näillä jokaisella suunnitellaan eri osa-alueita, kuten Terrastreet:lla suunnitellaan tiet ja kadut. Alalla on monia vastaavanlaisia suunnitteluohjelmistoja, eikä niitä käsitellä tässä työssä.

Monet infran suunnitteluohjelmistot on rakennettu suuremman ohjelmiston päälle. Esimerkiksi Novapoint-ohjelmistot tarvitsevat usein toimiakseen myös AutoCAD piirto-ohjelmiston. Novapointilla pystytään suunnittelemaan melkein kaikkia infrarakentamisen osa-alueita. Novapoint käsittää liikenneväylien-, vesihuollon-, rautateiden-, liikennemerkkien ja tiemerkitöjen-, geoteknisen-, kunnossapidon-, vihersuunnittelun-, kaavoituksen ja kartta-aineistojen suunnittelut. Kaiken tämän lisäksi Novapointilla on sovellukset urakoitsijalle, tiedonhallinnalle, kännykkäsovellus urakoitsijalle navigointia ja paikkatietoa varten, mittausoperaattoreille sekä visuaaliselle viestinnälle. (3.)

Yleisimmin Novapointia käytetään suunniteltaessa liikenneväyliä sekä vesihuoltoverkostoja. Liikenneväyliä suunniteltaessa joudutaan käyttämään ohjelmiston muutamaa eri sovellusta, jotta väylä saadaan suunniteltua.

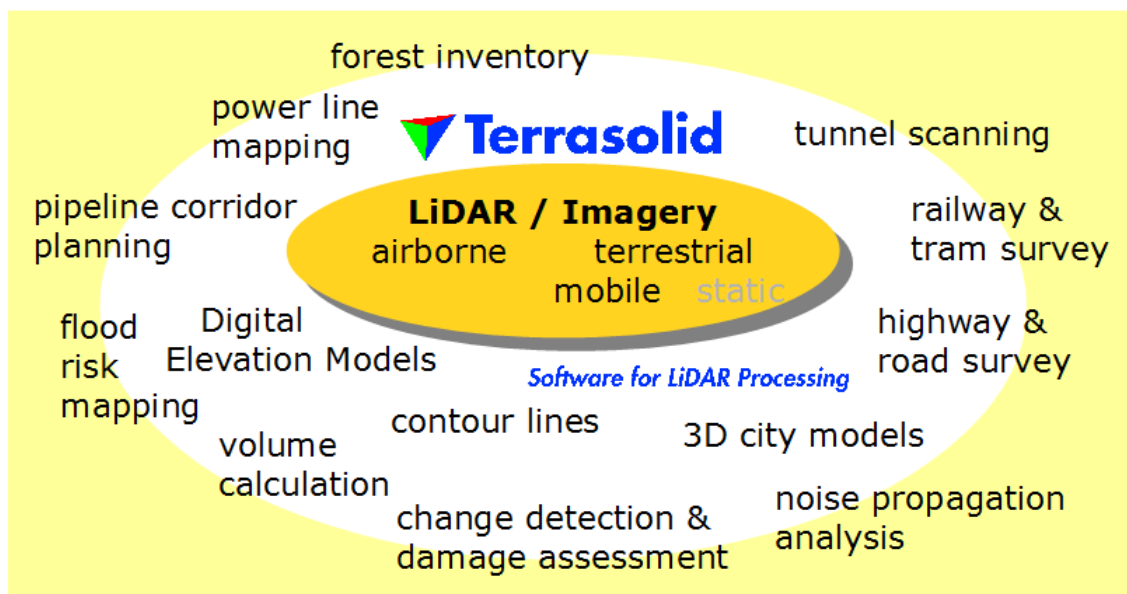
AutoCAD on yhdysvaltalaisen Autodesk Inc:n kehittämä ja julkaisema suunnitteluohjelmisto. AutoCAD on vektorigrafiikkaohjelma, jonka tiedon käsittelyn perustana ovat graafiset objektit, kuten viivat, murtoviivat, kaaret, ympyrät ja tekstit. Tämän päivän AutoCAD-versioihin on lisätty muun muassa uusimpia pintatyökaluja, solidimallinnuksen perusmuotoja sekä renderointimoottori. Renderointi tarkoittaa kuvan luomista mallista tietokoneohjelman avulla. AutoCAD on laajennettavissa monella erilaisella laajennussovelluksella. Ohjelmistolla on useita erilaisia rajapintoja, joiden avulla voidaan luoda lisätoimintoja. AutoCAD:n laajennussovelluksia on olemassa muutamia kymmeniä, joilla voidaan tehdä suunnittelutyötä aina tavallisesta kadusta sähkösuunnitteluun ja talotekniikan järjestelmäsuunnitteluun asti ja kaikkea siltä väliltä. Jokainen sovelluksista on käytettävissä riippuen suunniteltavasta kohteesta. AutoCAD:n tiedostotyyppi sekä siirtoformaatti ovat nousseet valta-asemaan infra-alan 2D- ja 3D-suunnittelutyössä. Tiedostotyyppi DWG ja siirtoformaatti DXF olivat suosittuja, mutta suunnitteluohjelmistojen kehittyessä 2000-luvulla AutoCAD lisäsi ohjelmiston 3D-ominaisuuksia ja niiden käytettävyyttä. Uusimpien 3D-suunnittelutyökalujen saapuessa markkinoille uudet formaatit ovat nousseet valta-asemaan. Nykyään 3D-suunnittelussa LandXML-formaatti on valta-asemassa. (3;4.)

Monet Terrasolid-ohjelmistot tarvitsevat toimiakseen MicroStation ohjelmiston. Terrasolid toimii MicroStation pohjalla. Terrasolid on ohjelmistopaketti monenlaisiin ratkaisuihin. Kuvassa 1 on esitetty Terrasolidin sisältämät suunnittelusovellukset. MicroStation on maailman johtava tietomallinnuksen ympäristö erityisesti arkkitehtuurin ja rakentamisen suunnitteluun. Ohjelmistolla voidaan suunnitella kaikkia perusrakenteita, sisältäen tiet ja rautatiet, sillat, rakennukset, viestintäverkkojen, vesi- ja viemäriverkoston, voimalaitokset, kaivokset, ja monet muut kohteet. (5.) MicroStationia voidaan käyttää joko ohjelmistosovelluksena tai teknologia-alustana. Sillä voi piirtää vektorigrafiikkaa sekä kaksi- että kolmiulotteisesti. Ohjelmistoa kehittää ja myy Bentley Systems.



Ensimmäiset versiot kehitettiin 1980-luvulla ja uusin versio julkaistiin 2009. Ohjelman viimeisimmät versiot sopivat vain Microsoft Windows-käyttöjärjestelmille, mutta aikaisemmin MicroStation oli saatavilla myös Macintosh- ja Unix- ympäristöihin. Tiedostomuoto on nimeltään DGN eli DesiGN file, vaikka ohjelma osaa silti lukea myös muita CAD-muotoja, kuten AutoCAD:in DWG:tä ja DXF:tä. Ohjelmaan on mahdollisuus liittää esimerkiksi arkkitehtuuriin, yhdyskuntatekniikkaan ja kartografiaan liittyviä sovelluksia. Se voi toimia myös käyttöliittymänä erilaisiin tietokantoihin. (6.)

MicroStationin suurimpia käyttäjiä ovat Suomessa eri kuntien tekniset toimet. MicroStation on käytössä muun muassa Helsingin kaupungin rakennusvirastossa ja kiinteistövirastossa. Yhdysvalloissa MicroStation on de facto standardi eri osavaltioiden tiehallinnosta vastaavien viranomaisten käytössä. (6.)



Kuva 1. Terrasolid- ohjelmien käyttömahdollisuuksia (7.)

Kuvasta 1 käy ilmi, että Terrasolidilla on monia käyttömahdollisuuksia. Terrasolidilla voi tehdä muun muassa ääriviivojen piirtoa, 3D-kaupunkimalleja, teiden tutkimusta, rautateiden tutkimusta, tunneleiden skannausta, tulvariskien kartoitusta, äänen etenemisen analysointia, putkilinjoiden suunnittelua, voimalinjoiden kartoitusta, digitaalisia korkeusmalleja, äänilaskentaa, muodonmuutoksen tunnistamista sekä vahinkojen tunnistamista.

## 3 Tietomalli

### 3.1 Yleistä

Tietomallilla tarkoitetaan rakennelman esittämistä ominaisuustietoineen digitaalisessa muodossa kolmiulotteisesti. Ideaalitalanteessa yhden mallin avulla pyritään hallinnoimaan rakennelman elinkaarta aina suunnittelusta toteutukseen ja ylläpidosta elinkaaren loppuun. (8.)

Rakennusteknisesti tietomalli on digitaalisessa muodossa oleva tietojen kokonaisuus, jolla kuvataan erilaisia rakennelmia, esimerkiksi siltoja ja teitä. Tietomalli pitää sisällään rakennelman ominaistiedot, kuten putkimateriaalin tai murskekoon sekä rakennusosien ominaisuudet. Malli pitää sisällään myös tietoja eri rakennusvaiheista ja niiden vaikutuksista. Tietomallia voidaan siis pitää eräänlaisena rakennelman elinkaaren aikaisena tietokantana. Lisäksi tietomallissa hyödynnetään myös visuaalisuutta. Rakennelmat kuvataan kolmiulotteisina esityksinä, joita on yleensä helpompi ymmärtää kuin teknisiä piirroksia. (9.)

Käsitteenä tietomalli yhdistyy useimmin tiedonhallinnan ja tiedon mallintamisen kautta tietokantasuunnitteluun ja visiointiin. Tässä tapauksessa infra-alan rakennusteknisestä tietomallista olisi hyvä käyttää käsitettä inframalli. (9.)

Nykyään rakennusalalla on ruvettu korostamaan tietomallinnuksen taloudellisia hyötyjä. Tänä päivänä arvioidaan väylähankkeiden suunnittelussa säästettävän 5-10 prosenttia, rakentamisessa ja kunnossapidossa jopa kolmasosa, kunhan tietomallinnus hallitaan ja siitä otetaan kaikki hyödyt irti. Lisäksi kaikki suunnittelumateriaali ja rakentamisen toteutustieto saadaan dokumentoiduksi niin, että ylläpito ja jatkorakentaminen on tehtävissä huomattavasti paremmin. (10.) Kuvassa 2 esitetään tietomallin käyttöä rakennushankkeen eri vaiheissa.



Kuva 2. Tietomallin elinkaari (11.)

Rakennushanke lähtee liikkeelle lähtötietojen hankinnasta. Lähtötietojen pohjalta tehdään lähtötietomalli. Lähtötietomallista siirrytään kohteen suunnitteluun, jossa suunnittelija rakentaa tuotemallin. Rakentamisvaiheen alettua ja rakentamisen etenemisen yhteydessä tehdään rakennuskohteesta ajantasaista toteumamallia tarkastuksien pohjalta. Rakennuskohteen ollessa valmis tehdään ylläpitomalli, jonka avulla kohdetta ylläpidetään asianmukaisessa kunnossa. Lisäksi kohteen kuntoa seurataan jäännösarvomallin avulla.

### 3.2 Tietomallin tiedot ja sen käyttö

Tietomalli ei voi toimia ilman rakennushankkeen määrittelyä tai kohteeseen liittyvien eri suunnittelualojen 3D-malleja. Tietokantaan lisätään jatkuvasti rakennushankkeen toteumatiedot sekä käytön aikaiset tiedot. Tämä informaatio on tärkeää siksi, että mahdollisessa peruskorjauksessa nämä tiedot luovat pohjan peruskorjaushankkeelle. Peruskorjauksen jälkeen tietomallia päivitetään ja sinne lisätään peruskorjauksen toteumatiedot. Lisäksi joudutaan palaamaan

käytönaikaisen tiedon keruuseen ja tiedot tallennetaan. Näitä tietoja tullaan käyttämään kun suunnitellaan rakennuksen purkua tai poistamista käytöstä. (12.)

Tietomallin tärkeä ominaisuus on miten tietoa käytetään. Kerätty tieto tallennetaan tietomalliin ainoastaan kerran. Tietomalli on rakennushankkeen yhteinen tietokanta, ja tästä syystä erilaisissa tilanteissa voidaan käyttää samaa tietolähdettä. Peruseriaatteena on, ettei tietoja kopioida useaan paikkaan. Tämä varmistaa tietojen helpon päivitettävyyden tarpeen tullen sekä estää riskin paikkansapitämättömän tiedon esittämisestä. (12.)

Tietomallin käyttämisellä varmistetaan rakennushankkeen vaatimusten hallinnointi, suunnittelu, rakentaminen, käyttö sekä ylläpito. (12.)

### **3.3 Tietomallintamisen ja kaksiulotteisen CAD-suunnittelun erot**

Perinteisessä 2D-suunnittelussa muodostetaan viivoja sekä muita graafisia elementtejä. Näistä elementeistä muodostetaan piirustuksiin ja näytölle erilaisia rakennelmaa esittäviä kuvantoja, kuten esimerkiksi leikkaus. Kuvanto ei itsessään sisällä informaatiota, vaan ryhmiteltyjä piirustusobjekteja, jotka ihminen tulkitsee tietosisällöksi. Tämän vuoksi esimerkiksi rakennukseen kohdistuvia voimia laskeva FEM-ohjelma ei ymmärrä rakennesuunnittelijan suunnitelmaa suoraan, vaan sille on syötettävä erikseen samat tiedot uudestaan. Tietoa saattaa myöskin hävitä suunnitteluprosessin aikana, esimerkiksi siirryttäessä suunnitteluvaiheesta toisen. (13.)

Tietomalli taas sisältää digitaalisesti rakennuksen muodon kolmiulotteisesti määriteltynä sekä lisätietoja rakennuksen, sen prosessien ja rakennusosien ominaisuuksista. Tällöin rakennusta esittävä kuvanto voidaan muodostaa automaattisesti. Tiedoista saadaan muodostettua helposti myös erilaisia kustannuslaskelmia, aikatauluja, energialaskelmia tai simulaatioita, jotka perinteisillä suunnittelumenetelmillä vaatisivat runsaasti esivalmisteluja, tiedon keruuta ja tietojen yhdistelyä. (13.)

Koska tietomallin erityyppiset tulosteet ja näkymät tuotetaan samasta tietomallista, yhden tiedon päivittäminen malliin voi vaikuttaa lukuisiin piirustuksiin, laskelmiin, simulaatioihin ja mallinäkyymiin. Perinteisessä

suunnittelussa tieto pitäisi päivittää manuaalisesti erikseen jokaiseen tulostepohjaan. Vaihtoehtojen esittäminen suunnitelmavaiheen aikana tietomallipohjaisesti on nopeaa, koska päivitys voidaan tehdä jopa yhdellä käskyllä. (13.)

## 4 2D-suunnittelu

2D-suunnittelu tarkoittaa nykyisin tietokoneen avulla tehtävää suunnittelua. 2D-suunnittelussa kohteet suunnitellaan tasossa eikä kohteelle anneta korkeustietoa. Kohteelle annetaan vain sijaintitieto. Suunnittelijalla on käytössään tätä nykyä esimerkiksi AutoCAD tai MicroStation suunnitteluohjelmisto ja sen päällä toimiva suunnitteluovellus, joka riippuu suunnittelukohteesta.

Suunnittelun alkuaikoina 2D-suunnittelu oli työtä yksinkertaisilla välineillä, sillä suunnittelijalla oli käytössään vain paperi, kynä, ja viivain. Näillä välineillä suunnittelija alustavasti suunnitteli ja hahmotteli suunniteltavan kohteen. Nykypäivänä suunnittelu ei sinänsä ole paljoa kokenut muutoksia, vain välineet ovat nykyaikaistuneet.

2D-suunnittelusta puhuttaessa suunnittelija piirtää AutoCAD:llä tai vastaavanlaisella ohjelmalla suunniteltavat kohteet. Suunnittelua tapahtuu kokoajan, sillä koskaan ei tiedä, mitä työmaalla tapahtuu ja milloin tarvitaan muutossuunnitelmia. 2D-suunnittelun ymmärtää parhaiten ajattelemalla, että ensin suunnittelija piirtää kuvat, jonka jälkeen ne toimitetaan urakoitsijalle paperiversioina.

Nykyisin 3D-suunnittelun yleistyessä 2D-suunnittelua tehdään enää vähän. 3D-järjestelmän hyötyjen arvioinnin jälkeen sekä suuret että pienemmät toimijat ovat siirtymässä 3D-järjestelmän käyttöön. Lähtökohtaisesti suunnitelmat on aina tehty 2D-muotoisina, ellei tilaaja toisin vaadi. Nykyisin yritykset ovat huomanneet 3D-järjestelmän hyödyt koko rakennustyömaan kannalta ja tästä syystä jo tarjouspyynnöissä on alettu vaatimaan 3D-suunnittelua ja 3D-järjestelmän käyttöä.

## 5 3D-suunnittelu

3D-suunnittelu tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelua, jossa kohde suunnitellaan virtuaalisessa ympäristössä ja jossa kohdetta voidaan tarkastella kolmeulotteisesti tietokoneen näytöltä.

Suunnittelijan työhön kuuluu samat asiat kuin 2D-suunnittelijan työhön, mutta 3D-suunnittelijan työssä on X- ja Y-koordinaattien lisäksi myös Z-koordinaatin tuoma ulottuvuus. 2D-suunnitteluun kuuluu kohteen suunnittelu ja piirtäminen sijaintitiedon perusteella. 3D-suunnittelijalla on siis käytössään myös korkeusasematieto.

Infra-alalla ja rakennusalalla yleisestikin puhutaan monista erilaisista malleista. Tällaisia malleja ovat esimerkiksi tieto-, tuote-, koordinointi-, kaupunki-, ylläpito- ja koneohjausmallit. Tietomalli voidaan ajatella rakenteen, tai infra-alalla tarkemmin infrarakenteen, koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuutena digitaalisessa muodossa. Tietomalliin kuuluvat myös rakenteen geometriatiedot ja rakenteiden esittäminen kolmiulotteisesti. Tuotemalli on suunnitteluvaiheen infrarakenne, kuten esimerkiksi tie, ja se on osa tietomallia. Koneohjausmallit kuuluvat rakentamisen aikaisiin malleihin ja ne pystytään tuottamaan valmiiksi suunnitellusta infrarakenteesta. Valmiista infrarakenteesta mitataan lopuksi toteumamalli, joka on myös osa tietomallia. Toteumamallia ja tuotemallia vertailemalla voidaan arvioida rakentamisen tarkkuutta ja laatua sekä kuinka lähelle suunniteltua on päästy. Näillä malleilla saadaan aikaan perusta infrarakenteen elinkaaren hoitoon ja ylläpitoon. (14, s. 9.)

Koordinointimalleja käytetään kun suunnittelutahoja, sidosryhmiä, suunnittelutyökaluja, malleja ja dataformaatteja on paljon. Koordinointimalleilla hallitaan kaikkien osapuolten tuotoksia, sovitetaan yhteen kokonaisuuksia ja pyritään vähentämään aineisto- ja suunnitteluvirheitä (mm. törmäystarkastelut). Koordinointimalleilla simuloidaan siis toteutusta ja varmistetaan hankkeen rakennettavuus. Ne ovat myös hyödyllinen väline rakennushankkeen

kokouksissa, joissa mallia voidaan tarkastella kolmiulotteisesti ja siihen voidaan kirjata suoraan tarvittavat muutokset. Koordinointimallien käyttö tulee helpottumaan infra-alan yhteisen tiedonsiirtoformaatin vakiinnuttaessa asemansa toimijoiden kesken. (14, s. 9 - 10.)

Ylläpito- ja kaupunkimallit ovat rakentamisen ja käyttöönoton jälkeinen tietovarasto. Näihin tietovarastoihin kerätään nykyiset ja tulevaisuudessa rakennettavat rakenteet malleina, jotka toimivat kaupunkien tai muiden tahojen jatkosuunnittelun ja jatko-ohjauksen pohjana. Mallipohjainen suunnittelu ja tiedonsiirto mahdollistavat myös ylläpidon sekä korjaustarpeiden ennakoimisen tehostamisen. (14, s. 9 - 10.)

Jokainen rakennustyömaa on kuin eräänlainen tuotantoprosessi. Erilaisia työvaiheita on monenlaisia ja ne liittyvät toisiinsa. Seuraavan työvaiheen toteutuminen vaatii edellisen työvaiheen onnistumista virheettömästi. Koko toimintakokonaisuuden optimoimiseksi on tärkeää, että laitteet toimivat ja ovat luotettavia. Tehokkailla ja toimivilla laitteilla saadaan leikattua kustannuksia, nopeutettua työskentelyä sekä lisättyä työn tarkkuutta. (15, s. 10.)

Työmaalla rakennuskohdetta suunniteltaessa perinteiseen tapaan suunniteltu digitaalinen malli siirretään maastoon merkkien avulla mittamiehen toimesta. Operaatioon kuluu paljon aikaa ja mittamieheltä vaaditaan suurta työpanosta sekä tarkkuutta. (15, s. 7.)

## **5.1 3D- järjestelmä**

Nykyisin 3D-järjestelmällä tarkoitetaan, että suunnittelijalta saatava digitaalinen malli ladataan työkoneessa sijaitsevaan ohjausjärjestelmään, jolloin koneen sensorit ohjaavat työkoneen hytissä sijaitsevan näytön (kuva 3) avulla työkoneen osan oikeaan korkoon ja kallistukseen oikeassa paikassa automaattisesti tai kuljettajaa avustaen. Kuvassa 3 on esitetty kuljettajalle avautuva näkymä työkoneen hytissä sijaitsevasta näytöstä. Infra-alalla koneohjausta käytetään pääasiassa kaivinkoneissa, tiehöylissä ja puskutraktoreissa. Järjestelmän tarkat ja erikoisvahvat sensorit (kuva 5) on sijoitettu turvallisiin paikkoihin koneessa niin, että ne altistuvat mahdollisimman

vähän haitallisille tekijöille. Näin ollen koneen jokaisen osan liikkeiden tiedot saadaan selville. 3D-järjestelmässä koneen sijainti tiedetään satelliitti- tai takymetripaikannuksella. (16.)

Koneohjausjärjestelmät saavat tarvitsemansa tiedon koneohjausmalleista, jotka tuotetaan suunnitteluohjelmilla perinteisten 2D-paperisuunnitelmien lisäksi. Mallit sisältävät pinnat, joista saadaan korko-, kallistus-, pituus-, leveys- ja syvyystietoa. Tie- ja katurakentamisessa tarvitaan tietoa myös geometrioista, rakennekerroksista, leikkauksista, penkereistä, putkista ja ojapinnoista. Näitä tietoja sisältäviä malleja siirretään suunnittelijan tietokoneelta työkoneen ohjausjärjestelmään eri formaateissa. Nykyään malleja toimitetaan eniten LandXML-standardissa olevalla Inframodel 3 formaatilla, joka on tällä hetkellä infra-alan yhteinen tiedonsiirtoformaatti, ja sitä kehitetään kokoajan. Mallit siirretään työkoneen ohjausjärjestelmän sisäiseen muistiin lähinnä muistitikkujen ja -korttien avulla. Joissain järjestelmissä siirtäminen voidaan tehdä myös langattomasti. (14, s. 3 - 4.)

Koneohjauksessa tarvitaan erilaisia paikannus- ja mittausjärjestelmiä. Niillä määritetään koneen paikka sekä työterien ja kauhojen asemat. Sijainnin määrittämiseen voidaan käyttää satelliittipaikannusta tai takymetrioista sekä joissain tapauksissa molempia samanaikaisesti. Työkoneeseen asennetaan antureita ja vastaanottimia sekä näyttöpäätte hyttiin, josta kuljettajan toimintaa opastetaan. Sitä mukaa kun näiden mittausjärjestelmientarkkuus paranee, paranee myös työmaalla rakennettavan tuotteen tarkkuus. Nykyisillä järjestelmillä päästään pääasiassa +/- 1-3 cm tarkkuuteen. (14, s. 4.)





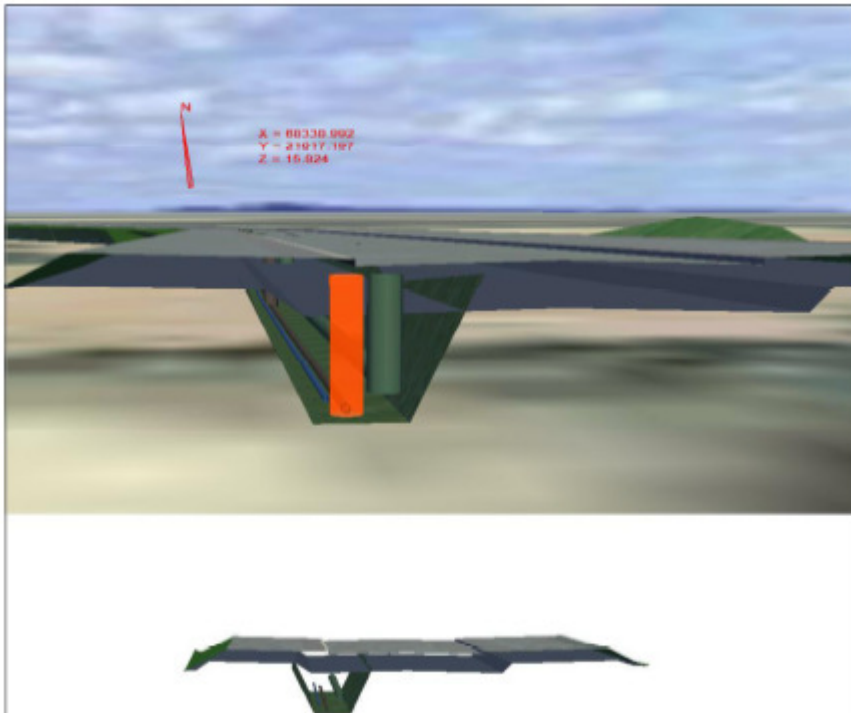
Kuva 3. Näkymä 3D-järjestelmän kuljettajan hytissä sijaitsevasta näytöstä. Kuvaushetkellä kuljettaja kaivoi sadevesilinjaa.

Kuvassa 3 on esitetty näytön näkymä, joka avautuu koneen kuljettajalle hytissään. Kuvassa vasemmalla näkyy työkoneen sijaintitieto ja oikealla kauhan sijainti.

## 5.2 Nykytilanne

Nykyisin tie- ja katusuunnitelmista voidaan tuottaa koneohjausaineistoa rakennussuunnitelmavaiheessa ja siirtää ne työmaalle työkoneiden ohjauslaitteisiin opastamaan koneenkuljettajaa työssään. Tällä tekniikalla on monia hyötyjä. Ajan ja henkilöresurssien säästämisen lisäksi koneohjaus vähentää virheitten mahdollisuuksia. Parhaassa tapauksessa suunnittelun, urakoinnin ja ylläpidon kesken vallitsisi katkeamaton tiedonkulku. Perinteiseen suunnitteluun verrattuna ne toimenpiteet, joita tarvitaan koneohjausmallin käyttöönottoon, ovat erilaisten rakennushankkeiden kokonaiskustannuksiin sekä saataviin hyötyihin nähden pieniä. Suunnittelijan tuottamat suunnitelmat siirtyvät toteutusvaiheeseen kuitenkin nykyään suurelta osin edelleen kaksikulotteisina, sähköisinä tai paperisina dokumentteina sekä luetteloina. Mallipohjaisen toteutustavan edellytyksenä on, että kaikki hankkeen osapuolet tilaajasta lähtien sitoutuvat tähän toimintatapaan. (14, s. 5.)

Tällä hetkellä koneohjauksen edelläkävijöinä maailmassa pidetään Norjaa ja Ruotsia. Etenkin Norja on vienyt koneohjausta todella paljon eteenpäin viime vuosina. Norjassa on toteutettu merkittäviäkin tiehankkeita tietomalleihin perustuen. Tietomallien kanssa on käytetty koordinoitumallia, johon kaikki suunnitelmat kootaan yhtenäiseksi virtuaalimalliksi. Norjan tiehallinnon käytäntö sisällyttää tilausvaatimuksiinsa tietomalli hankkeesta muitten suunnitelmien lisäksi nopeuttaa tietomallipohjaisen suunnittelun ja rakentamisen käyttöönottoa. Norjassa myös erilaiset ohjeistukset tietomallin käyttöä koskien ovat jo pitkällä. Myös Ruotsissa ollaan toteutettu väylärakentamista koneohjauksella. (14, s. 5.) Suomessakin väylärakentamista on toteutettu koneohjauksella, esimerkiksi Destia valtatie 6-projektissa.



Kuva 4. 3D-näkymä kadun yläpinnasta, leikkauspinnasta, putkikaivannosta ja kaivannon putkista sekä kaivoista (14. s. 6.)

Kuvassa 4 on suunniteltu katu. Valmiista suunnitelmasta on mahdollista tarkastella suunnitelmaa 3D-näkymänä. Kuvassa 4 on esitetty valmiin kadun 3D-näkymä kahdesta eri kuvakulmasta. Kuvasta 4 on katsottavissa suunnitellun kadun yläpinta, leikkauspinta, putkikaivanto ja niihin sijoitettavat putket ja kaivot.

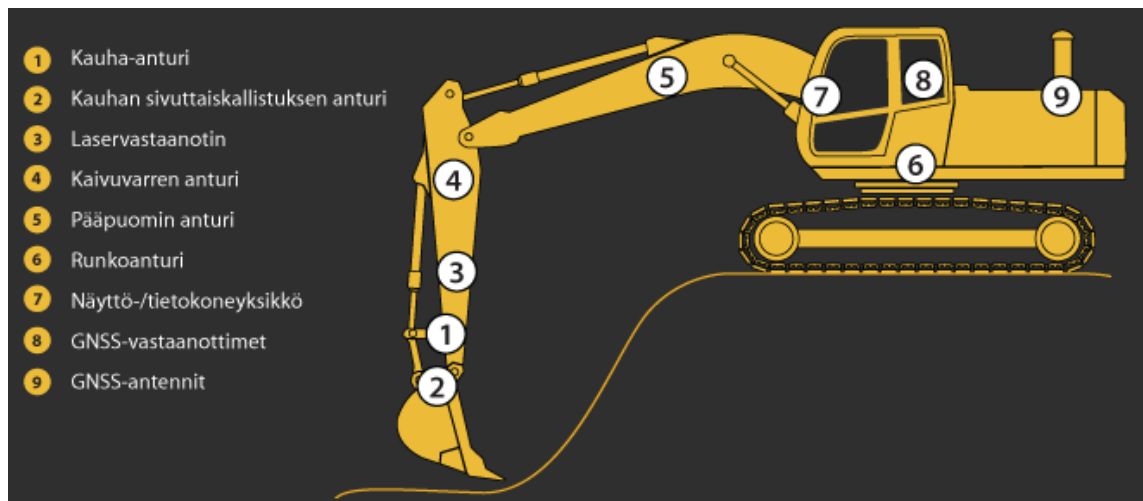
Suomessa infra-alalla ollaan tällä hetkellä koneohjauksen laajan käyttöönnoton kynnyksellä. 2014 alkaen ainakin Liikennevirasto sekä ELY-keskukset vaativat tietomallipohjaista suunnittelua suurilta hankkeilta. Infrapuolella tiehankkeiden lähtötietoja ja maastomalleja mitataan perinteisen mittaustavan lisäksi esimerkiksi laserkeilaamalla ilmasta, jolloin lähtötiedot ovat suoraan 3D-aineistona. Suunnittelussa hyödynnetään vahvasti 3D-mallinnusta ja koneohjausjärjestelmiä aletaan työmaalla ottaa yhä enemmän käyttöön toimijoiden kesken. Toteumatietoja kerätään laserkeilaamalla ja perinteisillä mittausmenetelmillä. Koneohjaus on myös tilaajapuolella huomattu hyväksi ja se näkyy jo tarjouspyynnöissä. (14, s. 8.)

Koneohjausta on kokeiltu paljon erilaisissa toteutuksissa. Näissä toteutuksissa koneen kuljettajaa yleensä opastetaan tai koneen hydraulikkaa ohjataan automaattisesti. Testattavina koneina on ollut kaivinkoneita, puskuotraktoreita, tiivistyskoneita, asfaltinlevittäjiä, porajumboja, tiehöyliä, paalutuskoneita ja jyrsimiä. Todettujen tulosten perusteella koneohjausta hyödyntävien koneiden tekemän työn laatu on parantunut ja kustannukset pienentyneet. (14, s. 8.)

### **5.3 3D-järjestelmän toiminta**

3D-järjestelmän toiminta perustuu takymetrin tai satelliittipaikannuksen tuottamaan sijaintidataan sekä kaivinkoneessa sijaitsevien sensoreiden toimintaan. 3D-järjestelmässä paikkatieto ja suunnitelmat yhdistetään, jolloin kuljettaja pystyy rakentamaan kohteen mallin mukaisesti. Koneen toimintoja ohjaa siis kuljettaja, mutta hän pystyy hytissään sijaitsevan näytön avulla näkemään suunnitelmat ja oman koneensa paikan suhteessa suunnitelmiin ja maastoon. (15, s.14 - 15.)

3D-järjestelmässä terän tai kauhan sijainti voidaan osoittaa yksiselitteisesti. Tällöin puhutaan koordinaateista X, Y ja Z. Koneeseen sijoitettu anturijärjestelmä (kuva 5) määrittää tietoa puomien asennoista jonkun ennalta määritellyn koneessa olevan pisteen suhteen. Tuntemalla koneen sijainnin kolmiulotteisessa koordinaatistossa voidaan kauhalle määrittää sijainti XYZ-avaruudessa. Kuvassa 5 on esitetty kaivinkoneessa olevat anturit ja niiden sijainnit. (15, s.14 - 15.)



Kuva 5. Kaivinkoneen anturijärjestelmän antureiden sijainnit kaivinkoneessa (17.)

Kuvan 5 kaivinkoneessa on yhdeksän anturia, jotka kertovat työkoneen sijainnista sekä vastaanottavat signaaleja.

3D-järjestelmää käyttävän työkoneen sisäinen paikannusjärjestelmä sisältää kaltevuusanturit sekä laskentayksikön. Ulkoinen paikannusjärjestelmä kertoo sijainnin ulkoisessa koordinaatistossa laskentayksikön, antennin ja vastaanottimen avulla. Ohjausjärjestelmä käsittää näytön ja tietokoneen, jonka sovelluksessa 3D-mallit toimivat. (18.)

### 5.3.1 Takymetripaikannus

Takymetri on kulman- ja etäisyydenmittauskoje, jolla mitataan pysty- ja vaakakulmia, sekä etäisyyksiä koneen sijaintipisteen ja havaintopisteen välillä. Takymetripaikannusta käytettäessä kaivinkoneissa takymetri on ensiksi orientoitava joko tunnetun pisteen mukaan, tai käyttämällä niin sanotun vapaan asemapisteen menetelmää. Koneohjaussovelluksissa havaintoprisma on kiinnitetty työkoneeseen ja sitä mitataan maastokoordinaatistossa takymetrillä. Takymetri lähettää koneohjausjärjestelmälle kokoajan reaaliaikaista tietoa prisman sijainnista kolmiulotteisessa maastokoordinaatistossa ja erikoisvahvat sensorit mittaavat kauhan terän sijainnin. Kun koneen terän sijainti tunnetaan, pystytään koneohjausjärjestelmän näytöllä osoittamaan kuljettajalle etäisyyksiä suunnitelman mukaisista linjoista ja koroista. (15, s. 12.)

Takymetrimittausta käytettäessä on takymetrin ja koneen välillä oltava esteetön näköyhteys, mutta työkoneen nopeus ja työolosuhteiden vaihtelevaisuus voi aiheuttaa siinä ongelmia. Takymetrimittaus on tällä hetkellä GPS-järjestelmää tarkempi korkeuden määrittämisessä, mutta mittauksen vaatima esteetön näköyhteys asettaa suuria rajoituksia. (15, s.12.)



Kuva 6. Takymetriohjauksella toimiva tiehöylä (15, s.13.)

### 5.3.2 Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannuksella tarkoitetaan kohteen sijainnin määrittämistä maapalloa kiertävien satelliittien avulla. Paikannussatelliitit kiertävät maapalloa noin 21 000 km:n korkeudessa. Signaali joutuu siis kulkemaan pitkän matkan maan pinnalle ja signaali on matkalle oleville esteille häiriöherkkä. Nykyajan satelliittipaikannuksen häiriötekijät voidaan kuitenkin minimoida erittäin tehokkaasti hyväksikäyttäen tukiasemia. (15, s. 13.)

3D-koneohjausjärjestelmän edellyttämää paikkatietoa voidaan tuottaa maapalloa kiertävien satelliittien avulla. Työkoneeseen on sijoitettu kartoitusyksikkö, jonka tehtävä on määrittää kohteen sijainti kolmiulotteisessa koordinaatistossa ja koneohjausjärjestelmä yhdistää kartoitusyksikön, sekä sensoreiden tuottaman datan, jolloin kauhauksen tarkka sijainti määrittyy. Satelliittisignaali kulkee pitkän matkan, jonka vuoksi on olemassa riski mittavirheille. Mittavirheitä pystytään pienentämään tunnetulle pisteelle sijoitetun tukiaseman korjaussignaalin avulla. Korjaussignaali voidaan lähettää

myös radioteitse, Internetin välityksellä tai GSM14 verkkoa hyväksi käyttäen. (15, s. 13 - 14.)

## **6 Aineiston muuntaminen 3D-laitteisiin sopiviksi**

### **6.1 Yleistä**

Joskus on mahdollista tehdä tilattu työ 3D-järjestelmällä, vaikka tilaaja ei sitä edellytäkään. Tällöin suunnittelija tekee suunnitelmat 2D-muotoisina, jolloin tarvitaan asiantuntevaa mittamiestä muuntamaan suunnittelijalta saatu aineisto 3D-muotoon.

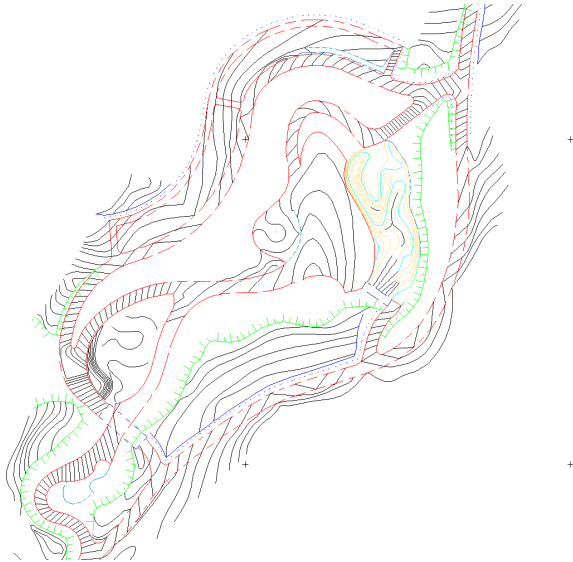
Esimerkiksi tiehankkeessa on kolme mahdollista mallintamistarvetta. Ne ovat tien rakennekerrokset, pistemäiset kohteet ja linjamaiset kohteet.

Suunnitelmien muunnoksissa on yleisesti käytössä kotimainen 3D-win-ohjelmisto, jonka etuina ovat muun muassa kotimaisuus ja joustavuus. Ohjelmistoon on mahdollista saada päivityksiä ja parannuksia tietyin väliajoin, jolloin ohjelmisto pysyy kokoajan ajantasaisena. Muista ympäristöistä on esimerkiksi MicroStation ja CAD-pohjaiset ympäristöt.

Tämän luvun sisältö perustuu AIP-Mittaus Oy:n tuotantopäällikön Markku Palkaman haastatteluun (29). Haastattelun vastaukset perustuvat 3D-win ohjelmiston käyttökokemuksiin.

### **6.2 Tien rakennekerrokset**

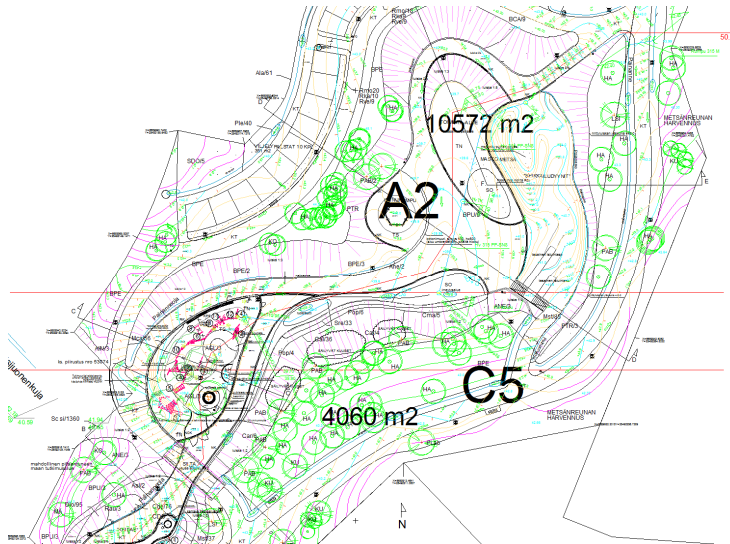
Rakennemallia tehdessä suunnitelma muutetaan tien suuntaiseksi 3D-murtoviivoiksi (kuva 7). Kuvassa 7 on esitetty puistoalueen 2D-muotoisesta suunnitelmasta 3D-muotoon muunnettu versio. Pisteväleinä käytetään 0,5 – 10 metriä riippuen tieluokasta ja siinä käytettävästä säteiden arvoista. Mallista pyritään saamaan mahdollisimman ”kevyt”, eli tiedostona pienikokoinen.



Kuva 7. Puistoalueen valmiin pinnan rakenne 3D-murtoviivoina

Suunnitelma lähetettynä sähköisessä muodossa työkoneeseen mahdollistaa 3D-järjestelmän käytön työmaalla.

Työ aloitetaan hankkimalla DWG-muotoiset CAD-piirustukset (kuva 8), jotka voivat olla esimerkiksi pelkkä asemakuva. Kuvassa 8 on esitetty 2D-muotoinen suunnitelma puistoalueesta CAD-piirustuksena. Lisäksi tarvitaan liittymien taseuspiirustukset, tyyppi- ja paalukohtaiset poikkileikkaukset tiestä. Pituusleikkausta ei tarvita CAD-piirustuksena, vaan paperiversio riittää. Tiestä muodostetaan geometrialinja ja osoitetaan pisteillä elementtien vaihtopisteet kuvalta ja lisätään pyöristyssäteet. Vaakageometrian jälkeen lisätään pystygeometria, jolloin saadaan lisättyä geometriaan tien taseus.



Kuva 8. Lähtötilanne. Puistoalueesta 2D-muotoinen CAD-kuva.

Kuvassa 8 esitettyä puistoalueen 2D-muotoinen suunnitelmaa ei voi käyttää työkonen 3D-järjestelmässä.

Mittamies laskee tien reunojen paikat. Tämän voi tehdä eri tavoin. Mittamies voi osoittaa suoraan CAD-kuvasta tien reunaviivan ja korkeus lasketaan erikseen tien geometrialinjasta katsomalla pituusleikkauksen sivukaltevuuskuvaajaa. Toinen vaihtoehto on katsoa tyypipoikkileikkauksesta tien leveys, jolloin voidaan laskea myös suoraan tienreunan korkeus tasausviivan korkeudesta lukemalla pituusleikkauksesta sivukaltevuuskuvaajaa.

Tässä vaiheessa etsitään suunnitelmasta mahdollista poikkeamakohtaa, esimerkiksi tienlevitystä tai linja-autopysäkkiä. Jos sellainen löytyy, kaltevuudet ja leveydet tulee katsoa tyypipoikkileikkauksesta ja paalukohtaisista poikkileikkauksista. Levityksen alku- ja loppukohtat sekä liittymäkaaret löytyvät vain CAD-asemapiirustuksesta. Liittymien tasaukset saadaan vain tasauspiirustuksista, josta löytyy liittymien viettoviivat kymmenen senttimetrin välein. Väli- ja sivuojat löytyvät paalukohtaisista poikkileikkauksista, ellei pituusleikkauksen yläreunassa ole kuivatuskuvaaja.

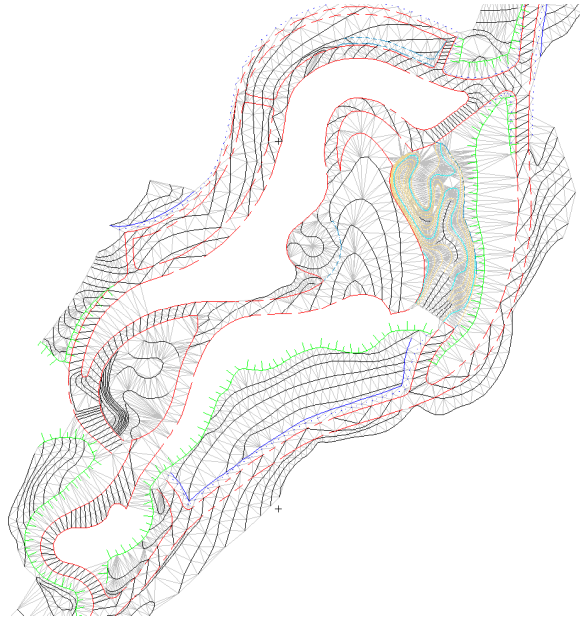
Sitten mittamies etsii tien sivuilla olevien kevyenliikenteenväylien paikat CAD-asemapiirustuksesta, korkeudet tutkimalla tyypipoikkileikkauksia ja paalukohtaisia poikkileikkauksia. Isommissa hankkeissa, kuten maanteiden



vierustalla olevissa kevyenliikenteenväylissä, on yleensä omat vaaka- ja pystygeometriat, joita voi hyödyntää. Katumaisissa kohteissa ei ole omia geometrioita, jolloin kevyenliikenteenväylien kaltevuudet ja leveydet selvitetään tyyppi- ja paalukohtaisista poikkileikkauksista. Lisäksi liittymien kohdalla käytetään apuna tasauspiirustusta. Kun tien pinta on mallinnettu tai muodostettu tien suuntaiset 3D-murtoviivat, pinta nimetään oikealla pintatunnuksella. Pintatunnus tarkoittaa pinnan yläpinnan tunnusta, joka on 3D-win-ohjelmiston koodaustapa.

Kun pinta on nimetty ja tarkastettu, tehdään pinnasta kolmioverkko (Kuva 9), joka voidaan tarkastaa laskemalla korkeuskäyrät verkosta ja vertaamalla niitä liittymäkuvien viettoviivoihin. Kuvassa 9 on esitetty puistoalueen 2D-suunnitelman muunnostyön kolmiointivaihe. Viettoviivojen ja kolmioverkon korkeuskäyrien täytyy yhtyä, eli mennä päällekkäin, silloin tiedetään aineiston olevan kunnossa.

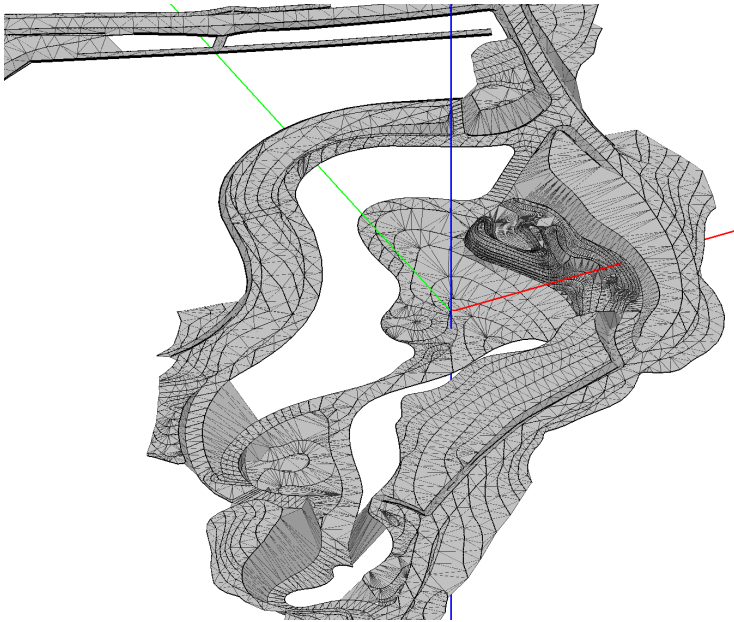
Sitten kolmioverkko tallennetaan DXL- tai LandXML-formaattiin. Sillä, kumman valitsee, ei ole merkitystä, mutta LandXML-formaatti sisältää enemmän tietoa käytetystä koordinaattijärjestelmästä ja käytetystä ohjelmasta. Tämä formaatti on niin sanottu luettava formaatti.



Kuva 9. Puistoalueen valmiin pinnan rakenne kolmioituna

Kuvassa 9 on esitetty puistoalue kolmioituna. Kolmioverkon avulla luodaan kolmiot matemaattisella laskennalla pisteiden ja viivojen välille.

Näiden vaiheiden jälkeen valmis 3D-malli (kuva 10) on siirrettävissä kaivinkoneeseen esimerkiksi USB-muistitikulla tai pilvipalvelussa, josta koneen kuljettaja voi sen käydä hakemassa. Muiden pintojen tekeminen tapahtuu valmiin pinnan 3D-murtoviivoja kopioimalla alaspäin ja sivulle tyypipoikkileikkauksista selviävien rakennepaksuuksien ja rakenteiden leveyserojen verran. Leikkauspohjakin voidaan periaatteessa kopioida valmiin tien pinnan 3D-murtoviivoista alaspäin ja sivulle. Ensin on selvitettävä, onko samalla tieosuudella eri tieluokkia, jolloin tien kokonaisrakennepaksuus muuttuu. Lisäksi pitää huomioida, jos pituusleikkauksessa on kerrottu tien rakennepaksuuksien muuttuvan jossakin vaiheessa.



Kuva 10. 3D-muotoinen puistoalueen valmiin pinnan rakennemalli kolmioituna

Kuvassa 10 on esitetty puistoalueen valmiin pinnan rakennemalli kolmioituna 3D-muotoisena. Kuvaa 9 verrattuna tässä kuvassa on esitetty sama asia, mutta 3D-muodossa.

### 6.3 Pistemäiset kohteet

Lähtötiedoista haetaan pistemäisen kohteen tasosijainti ja päätetään se korkeus, joka halutaan pistemäiselle kohteelle antaa. Tällainen korkeus voi olla esimerkiksi kaivon pohja, -kansi tai putken vesijuoksun korkeus. Pistemäiset kohteet kirjoitetaan 3D-järjestelmän vaatimaan formaattiin, kuten SPG Geo-formaattiin, GT-formaattiin tai LandXML-formaattiin. Tämän jälkeen tiedosto on valmis siirrettäväksi 3D-järjestelmään.

### 6.4 Linjamaiset kohteet

Linjamaisten kohteiden mallintamiseen on olemassa kaksi tapaa. Joko ne mallinnetaan samalla tavalla kuin pistemäiset kohteet, tai linjatiedosto tehdään 3D-Win-ohjelmalla.

Mallinnettaessa samalla tavalla kuin pistemäisiä kohteita koneen kuljettaja muodostaa linjan valitsemalla kaksi pistettä, joiden välille 3D-järjestelmä muodostaa halutun linjan.

Jos linjatiedosto joudutaan tekemään 3D-Win-ohjelmalla, muodostetaan erikseen linjan vaaka- ja pystygeometria. Tässä vaiheessa linjalle annetaan linjaus, suunta ja korko. Tämän jälkeen tiedosto tallennetaan oikeaan formaattiin, yleensä Point-formaattiin tai LandXML-formaattiin, jonka jälkeen tiedosto on valmis siirrettäväksi 3D-järjestelmään. Tiedostojen nimeämiseen on syytä kiinnittää huomiota, jotta kuljettajan on helpompaa hakea tarvitsemaansa mallia järjestelmästä.

## **7 Kustannusvertailu**

3D-suunnittelu on alkanut vastikään yleistymään ja harva projekti on tehty kokonaan 3D-suunnittelulla. Vaikka järjestelmä on tunnettu jo vuosia, edelleen on monia urakoitsijoita, joilla ei ole valmiuksia tehdä työtä 3D-järjestelmän avulla. Jos näin olisi, hankkeet olisi mahdollista viedä alusta loppuun saakka ilman ylimääräisiä kustannuseriä.

Alkuolettamuksena on, että 3D-suunnittelu on kalliimpaa. Se johtuu siitä, että 3D-suunnitteluun tarvitaan nykyaikaiset uudet ohjelmistot, asiantuntevaa suunnitteluhenkilöstöä ja suunnittelutyö vaatii tarkkuutta, joka johtaa vääjäämättä lisääntyneeseen suunnittelu-aikaan. Lisäksi uusien ohjelmien käyttöä joutuu harjoittelemaan. Toisaalta suunnittelu-aika voi myös lyhentyä, jos automatiikka pystyy hoitamaan tulostetut piirustukset helpommin.

Ellei tilaaja vaadi 3D-suunnittelua tai kohdetta ei tarvitse välttämättä tehdä 3D:nä, ei kukaan halua maksaa kalliimmasta suunnittelusta turhaan. Tällaisia kohteita ovat muun muassa pienet kohteet.

Harvaa kohdetta on suunniteltu sekä 2D-suunnitteluna sekä 3D-suunnitteluna. Yleensä kohde saattaa vaatia, että suunnittelutyön joissakin osissa käytetään molempia tapoja suunnitella.

Tämän luvun haastattelun vastaukset perustuvat Ramboll Oy:n alue- ja kunnallisteknisen suunnittelun projektipäällikön Jyrki Oinaanojan (20) haastattelukyselyn vastauksiin sekä Ramboll Oy:n suunnittelija Leevi Laksolan (21) kanssa käytyyn sähköpostikeskusteluun.

## 7.1 Lähtötiedot

Lähtötietojen tarkkuustaso vaihtelee voimakkaasti. Joissakin kohteissa on mitattu ja tutkittu kaikki mahdollinen, kun taas toisaalla vain kohteen kannalta oleelliset. Yleisolettamuksena on, että lähtötiedoilla, kuten tehdyllä pohjatutkimuksella, maastonmuodoilla tai jo olemassa olevilla rakenteilla ei ole merkitystä siihen, lähdetäänkö kohdetta suunnittelemaan 2D:nä vai 3D:nä. Näin ollen lähtötiedoilla ei myöskään ole vaikutusta hankkeen suunnittelukustannuksiin.

Ainoa lähtötieto, jolla on hieman vaikutusta, on se, millaista kohdetta lähdetään suunnittelemaan. Yleisesti Ramboll Oy on käyttänyt useissa suunnitteluprojekteissaan molempia suunnittelutapoja. Sääntönä on ollut se, että kohteet, joista "tiedetään" miltä ne valmiina näyttävät ja tiedetään niiden sopivat varmasti ympäristöönsä, suunnitellaan 2D:nä. Suunnittelukustannuksia tulee siinä vaiheessa, kun kohteessa on jokin osa, jonka ulkomuoto halutaan tarkistaa ennen rakentamisvaihetta. Tällöin käytetään 3D-suunnittelua.

Ramboll Oy:n Espoon toimipisteen uudessa projektissa on esimerkkitapaus, jossa halutaan käyttää molempia tapoja suunnitella. Kohteena on siltarakenne, jossa alikulussa on ympyräramppi ja portaat, jotka kiertävät vastakkaisiin suuntiin. Siltarakenne suunnitellaan 2D:nä ja ulkomuodon varmistamiseksi alikulku, ympyräramppi ja portaat suunnitellaan 3D:nä.

## 7.2 Ajankäyttö

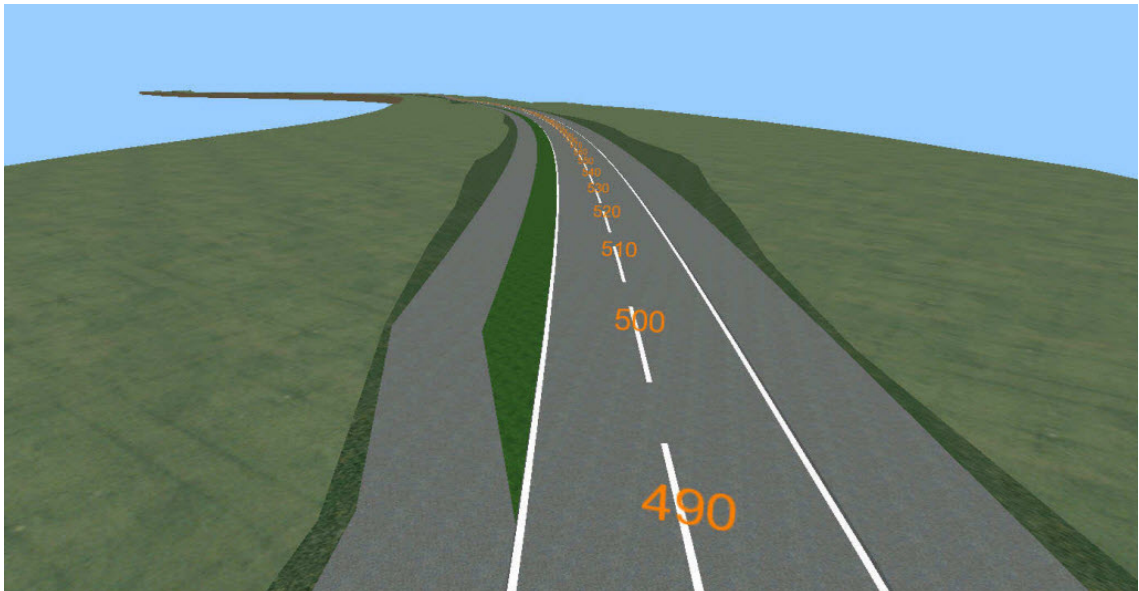
Suunnittelutyöhön vaadittava aika riippuu melko pitkälle suunniteltavasta kohteesta ja suunnittelu ympäristöstä. 2D-suunnittelun ja 3D-suunnittelun erona on se, että 2D-suunnitelmissa esiintyy vain kohteiden sijaintitieto, eli X- ja Y-koordinaatit. 3D-suunnittelussa on otettu lisäksi mukaan Z-koordinaatti, eli korkeusasema.

Yleisesti ottaen yksinkertainen kohde suunniteltuna 2D-suunnitteluna ja 3D-suunnitteluna ei aiheuta suuria tai merkittäviä kustannuseroja. Yksinkertaisissa kohteissa ei ole niin paljon epäjatkuvuuskohtia, jotka 3D-suunnittelussa johtaisi tarkempaan suunnittelutyöhön ja ajankäytön eroihin sekä näin ollen

kustannuseroihin. Suunnittelutyö on jatkuvasta mallista johtuen selvästi tarkempaa ja samalla hitaampaa kuin perinteinen poikkileikkaussuunnittelu. Suunnitelmien yksityiskohtien tarkasteluun joutuu käyttämään aikaa, koska kaikki epäjatkuvuuskohdat näkyvät. Aikaisemmin 2D-suunnitelmana laaditut suunnitelmaosat, kuten pohjanvahvistukset, melusuojausrakenteet ja kunnallistekniikka suunnitellaan 3D-maailmaan, mikä osalta vaatii myös lisää ohjelmisto-osaamista ja työpanosta. Samalla suunnittelijalla on mahdollisuus paremmin tarkastella työnsä laatua itsenäisesti. (22, s. 5.)

Suunnittelu-aika riippuu paljolti suunnittelu-ympäristöstä, joka suunnittelijalla on käytössään. Ohjelmissa on suuriakin eroja, sillä toisissa ohjelmistoissa on automaattisesti työkaluja, jotka helpottavat ja nopeuttavat suunnittelijan työtä. Tämä asia vaikuttaa olennaisesti suunnittelutyön kustannuksiin, sillä Ramboll Oy:llä suunnittelutyöstä maksetaan käytettyjen tehokkaiden työtuntien mukaan.

Suunnittelu-ympäristöjä ovat muun muassa AutoCAD-pohjainen Novapoint sekä MicroStation-pohjainen Terrasolid. Kuvassa 11 on esitetty valmiin tien 3D-näkymä Novapointilla toteutettuna. 3D-näkymä helpottaa suunnittelijaa hahmottamaan kokonaisuuden.

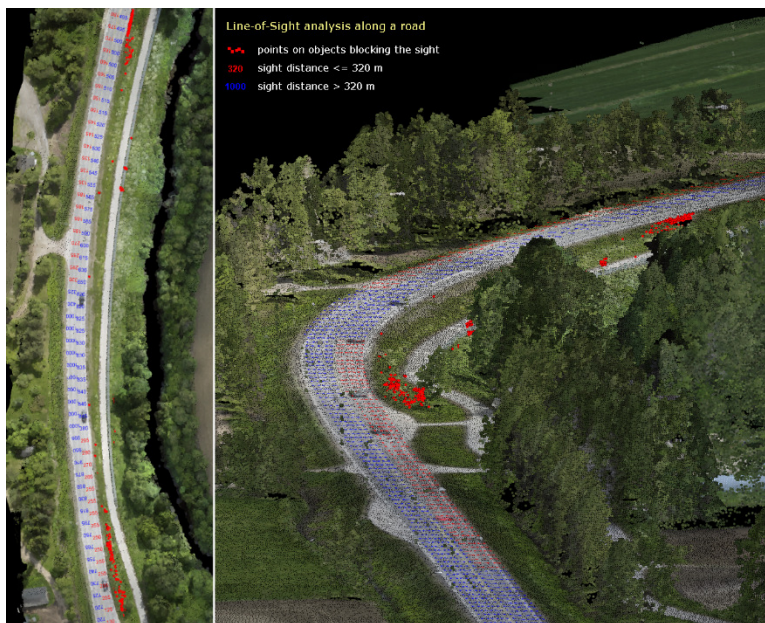


Kuva 11. Novapointilla suunnitellun tien 3D-näkymä (23.)

Terrasolid-ohjelmassa on automaattisesti osa suunnittelutyökaluista 3D-muotoisina, kuten putkistot sekä tien yläpinnan malli. Tämän ansiosta työskentely on nopeampaa Terrasolidilla kuin Novapointilla. Terrasolidilla suunniteltaessa aikaa kuluu enemmän alkuvaiheessa projektin aloittamiseen, mutta lopussa työskentely on nopeampaa automaattisten 3D-työkalujen ansiosta. Novapointilla aikaa voitetaan alussa nopean projektinluomisen ansiosta. Sen sijaan suunnitteluvaiheessa Novapointilla joutuu tekemään paljon määrittämiä, joiden tekeminen voi viedä aikaa. Novapointilla suunniteltaessa säästöjä syntyy kuitenkin piirustusten tuottamisvaiheessa.

3D-suunnittelussa Terrasolid-ohjelmalla voi työkaluilla piirtää leikkauksen, johon valitut pinnat tulevat suoraan. On helppoa projisoida putkia tai muita elementtejä sen sijaan, että laskisi ja mittaisi korkeusasemia ja piirtäisi ”käsini” leikkauksiin.

Kuvassa 12 on esitetty tulvariskianalyysi Terrasolidilla. Kuvasta käy ilmi, missä kohtaa sadevesi kertyy tielle.



Kuva 12. Tulvariskianalyysi Terrasolidilla (24.)

3D-suunnittelussa on enemmän aikaa vaativia suunnitteluvaiheita kuin 2D-suunnittelussa. Esimerkiksi jo olemassa olevat rakenteet täytyy 3D-suunnittelulla mallintaa tarkasti. Lisäksi mitä tarkempaa suunnittelua joudutaan tekemään, sitä tärkeämpää on tehdä suunnitelmat 3D:nä. Näin ollen voidaan varmistua suunnitelman toimivuudesta paremmin. Suunniteltaessa 3D:nä nähdään heti mahdolliset ongelmakohdat. Suunniteltaessa tietä kustannuseroa ajankäytön suhteen tuottaa tien rakennekerrosten suunnittelu, sillä jokainen kerros täytyy mallintaa erikseen. Pelkkä valmiin pinnan hyödyntäminen kopioimalla ei riitä. Lisää eroja aiheuttaa tien monimuotoisuus, esimerkiksi vaihtelevatko rakennepaksuudet jossakin kohtaa, onko levityksiä tai muita mahdollisia epäjatkuvuuskohtia. Näistä asioista johtuen kustannukset kohoavat korkeammiksi.

### **7.3 Tilaajan vaatimukset**

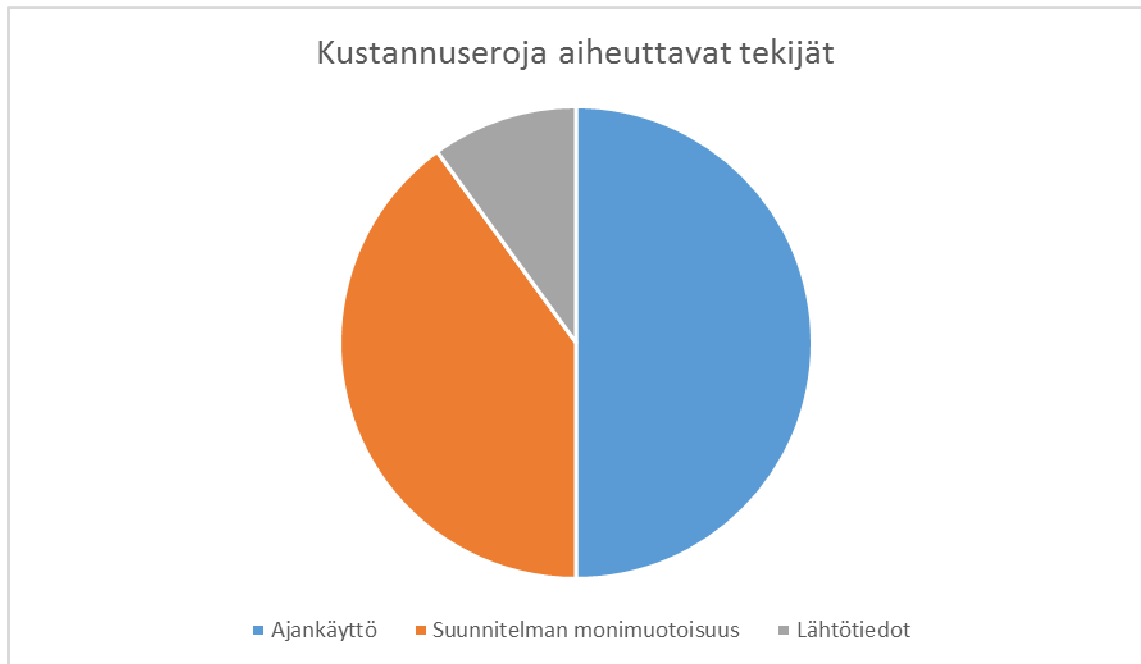
Tilaajan vaatimukseen perustuen suunnittelija joutuu suunnittelemaan kohteen tietyllä tavalla. Tilaaja esittää jo hankkeiden aloitusvaiheissa, millä tavoin haluaa kohteen suunniteltavan. Kustannuksia tarkasteltaessa on varmasti selvää, että 3D-suunnitelmien teettäminen tulee halvemmaksi, jos tilaaja esittää vaatimuksen jo tarjouspyyntövaiheessa. Tämä karsii suunnittelijalta turhan työn pois ja helpottaa työn aloittamisen suunnittelussa.

Tilaajan vaatiessa 3D-suunnittelua täytyy tilaajatason varmistua myös urakoitsijan valmiudesta tehdä työ 3D-suunnitelmien avulla. Urakoitsijan täytyy käyttää 3D-järjestelmää saadakseen 3D-suunnittelua vaativan urakan.

### **7.4 Yhteenveto**

Yhteenvedossa on esitetty suurimmat tutkimuksessa esiintyneet kustannuseroja aiheuttavat tekijät (taulukko 1).





Taulukko 1. Eniten kustannuseroja aiheuttavat tekijät

Suurin kustannuseroja 2D- ja 3D-suunnitteluiden välille aiheuttava tekijä oli ehdottomasti suunnitelman monimuotoisuus. Monimuotoisuudella tarkoitetaan sitä, että normaalin tierakenteen lisäksi kohteessa on spesiaaleja rakennusosia tai -vaiheita. Niitä voi esimerkiksi olla linja-autopysäkit, tien levitykset, tien reunaan sijoitetut parkkipaikat tai vastaavat. Lisäksi kustannuseroja aiheuttavat tietä suunniteltaessa tien rakennekerrosten suunnittelu, jotka täytyy mallintaa kaikki erikseen. Valmiin pinnan kopioiminen alla oleviin kerroksiin ei onnistu. Tällaisessa kohteessa kustannukset ovat suuret. Jos kohde on pieni ja yksinkertainen, kustannuseroja ei välttämättä synny merkittäviä määriä, tai niitä ei välttämättä synny ollenkaan.

Suunnittelun monimuotoisuudesta johtuen ajankäyttö on toinen asia, joka aiheuttaa kustannuseroja 2D-suunnittelun ja 3D-suunnittelun välille. Tutkiessani asiaa selvisi, että Ramboll Oy:llä suunnittelusta maksetaan tehokkaiden työtuntien mukaisesti. Mitä tarkempaa suunnittelua joudutaan tekemään, sitä enemmän aikaa suunnittelija käyttää. Yksityiskohdat vievät suunnittelijalta paljon aikaa. Pienetkin asiat joudutaan mallintamaan tarkasti, ja se vaatii aikaa ja kärsivällisyyttä. Suunnitteluohjelmalla on myös merkitystä suunnittelu-aikaan. Ohjelmia on erilaisia, ja toiset ovat toisia parempia. Joillakin ohjelmilla pystyy

suunnittelemaan tietyt rakenneosat suoraan 3D:nä, mikä vähentää suunnittelu-aikaa. Toisilla ohjelmilla tämä ei ole yhtä helppoa. Ajankäyttöön ja suunnittelukustannuksiin vaikuttaa myös itse suunnittelija. Joku suunnittelija on tottunut työskentelemään tietyllä ohjelmalla ja muiden ohjelmien käyttö voi tuntua hankalalta. Toisaalta taas joku suunnittelija sopeutuu hyvin suunnittelu-ympäristön muutoksiin, eikä uuden oppiminen vie paljon aikaa.

Lähtötiedoilla ei ole merkitystä suunnittelutapaa valittaessa. Lähtötietojen tarkkuustaso vaihtelee kohteissa paljon. Ainoa lähtötieto, jolla on merkitystä kustannuseroja tarkasteltaessa, on itse suunniteltava kohde. Joissakin kohteissa voidaan joutua käyttämään 2D-suunnittelua sekä 3D-suunnittelua. Suunnittelutapa ilmenee tilaajan vaatimuksista.

## **8 3D-järjestelmän hyödyt työmaalla**

### **8.1 Yleisesti**

3D-järjestelmä on vielä infratyömaalla melko uusi tuttavuus. Sen käyttöä harjoitellaan edelleen, mutta sen käyttöönotosta lähtien on huomattu jo lukuisia hyötyjä entiseen maastoon mittaukseen nähden. Hyödyt liittyvät suurimmaksi osaksi ajankäyttöön, taloudellisuuteen ja työvoiman tarpeeseen. Taloudellisia hyötyjä tulee hieman muita hyötyjä myöhemmin, sillä järjestelmän käyttöönotto maksaa urakoitsijalle. Tämä sijoitus maksaa itsensä takaisin muiden hyötyjen muodossa.

Järjestelmä kehittyy koko ajan ja sen käyttäjät harjaantuvat ja osaavat pikkuhiljaa paremmin käyttää järjestelmää. Kun kehitystä tapahtuu ajan kuluessa, 3D-järjestelmästä saadaan kaikkien kannalta vieläkin suuremmat hyödyt irti.

3D-järjestelmiä valmistaa tällä hetkellä muutama yritys, ja tässä luvussa esitetyt tiedot perustuvat Scanlaser-järjestelmän käyttökokemuksiin.

## 8.2 Mittamiehen tarve

Mittamiehen tarve vähenee radikaalisti työmaalla 3D-järjestelmän myötä. Ennen 3D-järjestelmää mittamies joutui siirtämään suunnitelman paperilta työmaalle mittakepeillä, jotka osoittavat sijaintia ja korkoa. 3D-järjestelmän saavuttua markkinoille mittamiestä ei tarvita työmaalla yhtä paljoa, sillä järjestelmästä pystyy suoraan lukemaan rakennusosien, kuten putkilinjojen, sijainnit ja korot. Tästä seuraakin, että mittamiehen tarpeen vähentyessä myös työkone saa enemmän työtilaa etenkin ahtaissa paikoissa. Mittamies ei merkitse keppejä työmaalle, ja koneen kuljettajan ei tarvitse varoa keppejä. Jos mittakeppi kaatuu tai muutoin vaurioituu, tarvitaan mittamiestä asentamaan keppi uudelleen. (25;26.)

Mittamiehen tarve vähenee edelleen, sillä 3D-järjestelmän avulla koneen kuljettaja pystyy ottamaan tarkemittaukset itse. Mittamiehelle lähetetään vain mittauksen tulokset, ja hän piirtää niistä kartan jälkeinpäin. (25;26.)

Työnjohdollisesta näkökulmasta työmaalla on muutamia asioita, joita ei voi rakentaa 3D-järjestelmän avulla. Mittakeppejä tarvitaan reunakiven asennuksissa kivimiehiä varten, sillä heillä ei ole yleensä 3D-järjestelmää käytössään. Kivimiehet katsovat kepeistä oikean linjan ja koron. Siten he saavat asennettua linjalangan, jonka avulla he pystyvät asentamaan reunakiven oikein. (27.) Jos kivimiehillä on laserlaite mukana, voivat he sillä katsoa reunakiven sijainnin.

## 8.3 Kokonaisuuksien hallinta

Kokonaisuuksien reaaliaikainen hallinta on enemmän kuin tervetullut rakennusalalle. Kokonaisuuden näkeminen hyötynä tarkoittaa sitä, että kaivinkoneen hytissä sijaitsevalta näytöltä näkee rakennettaessa työvaiheittain kokonaisuuksia. Tämän ansiosta pystyy näkemään tulevat mahdolliset ongelmatilanteet jo etukäteen. (25;26.)

Koneen kuljettaja pystyy tekemään ajantasaista toimintasuunnitelmaa työn edetessä. Kuljettaja näkee näytöltä koko ajan suunnitelmakartan ja sen, mitä rakennetaan mihinkin, sekä on selvillä työvaiheista. Näin ollen on helppo miettiä

etukäteen jatkotoimia. Esimerkiksi liikennejärjestelyistä työmaalla saadaan kerralla toimivia. (25;26.)

Suunnittelija tarkastelee suunnitellessaan tekemänsä työn törmäystarkastelun. Jos lähtötiedot eivät ole riittäviä, putkilinjojen, kuten kaukolämmön tai suoja-putkien törmäystä ei voida havaita, ennen kuin asennustyö on törmäyskohdassa. 3D-järjestelmä kertoo koko ajan rakennettavan osan linjaa ja korkoa. Jos eri rakenteiden korot ja linjat lähestyvät liikaa toisiaan ja mahdollinen törmäysvaara on olemassa, kuljettaja osaa sen lukea ajoissa hytin näytöltään. Näin välttään turhalta työltä. (25;26.)

#### **8.4 Työn suoritus ja taloudellisuus**

Hankkeessa saadaan säästöjä muun muassa rakennusajassa sekä kustannuksissa. Rakennusaika pienenee huomattavasti, kun suunnitelmien toimittamiseen paperiversiona sekä mahdollisesta 2D-aineiston muuntamisesta 3D-muotoon ei kulu aikaa, mittamiestä ei tarvita, kommunikointivaikeudet ja mittamiehen tikkujen merkintöjen epäselvyys häviää. 3D-järjestelmän mukaisessa rakennusprosessissa kaikkea tätä ei tarvitse käydä läpi. Kaivinkone on mittalaite, josta näkee kaiken tarvittavan. Tällä rakentamisella voidaan säästää 30 – 50 prosenttia rakennusajassa ja kustannuksissa. (15, s. 21.)

Työn suorittaminen on 3D-järjestelmän ansiosta helpompaa. Kuljettaja ei välttämättä tarvitse perämiestä ollenkaan, sillä koneen kuljettaja näkee itse näytöltä kaiken tarpeellisen, kuten korot ja kaivulinjat. Kuljettaja pystyy työskentelemään yksin, joten myös työvoiman tarve vähenee. Toiseksi työn suorittaminen nopeutuu, kun 3D-järjestelmä antaa kuljettajalle koko ajan ajantasaista suunnitelmatietoa. (25;26.)

3D-järjestelmä on taloudellinen ratkaisu. Vaikka järjestelmä maksaakin, työmaalla pystytään karsimaan melkein kaikki turhat kustannukset pois. 3D-järjestelmän avulla voidaan välttyä liikakaivuulta, sillä näytöltä näkee suoraan, täytyykö kaivantoa leikata vai täyttää. Voidaan sanoa, että turhasta työstä aiheutuvat lisäkustannukset alkavat kadota työnkuvasta. Näytöltä näkee tienpohjat, nurmialueet ja kaiken muun tarpeellisen työmaan kannalta. Virheitä tapahtuu, mutta inhimilliset virheet vähenevät työmaalla 3D-järjestelmän

käyttörutiinin yleistyessä. 3D-järjestelmä myös kertoo sen, voidaanko kerran kaivettuja maita käyttää hyödyksi jossain toisessa kohteessa työmaalla. (25;26.)

Liikakaivuun lisäksi vältetään myös väärään paikkaan läjittämistä, sillä kuljettajalla on tiedossaan läjitysalueeksi suunnitellut kohdat. Esimerkiksi maita ei tarvitse siirrellä edestakaisin. Näin vältetään ennen turhaa rahaa vieneiltä siirtotehtäviltä. (25;26.)

### **8.5 Ilkivalta**

Ilkivallan teko vähenee työmaalla selvästi 3D-järjestelmän avulla. Mittamiehen keppejä ei voida enää siirrellä, kepeissä olevia lippuja ei voida irrottaa tai merkintöjä sotkea eikä keppien korkoa muuttaa. Muutoinkin kaikki ilkivalta, jota pystyy tekemään maastoon merkatuille osille, vähenee. (25;26.)

Toki 3D-järjestelmällekin voi tehdä ilkivaltaa, mutta tavallinen ilkivallantekijä ei välttämättä tiedä sen mahdollisuudesta. Laitteet ovat hyvin piilossa kaivinkoneessa ja yleensä tukiasemakin on sellaisessa paikassa, että ilkivallan teko ei välttämättä onnistu. (25;26.)

### **8.6 Helppokäyttöisyys**

3D-järjestelmää on helppo oppia käyttämään. Yleensä oppimisinto riippuu kuljettajasta ja hänen asenteestaan järjestelmää kohtaan. Haastattelututkimuksen perusteella järjestelmää oppii käyttämään muutamassa päivässä sillä tasolla, että sen kanssa pystyy työskentelemään itsenäisesti. Alussa kuljettaja saattaa tarvita apua, mutta avun tarve nopeasti. (25;26.)

Järjestelmän mukana tulee ohjekirja, jonka avulla pääsee liikkeelle jopa itsenäisesti. Ohjeista löytyy myös suomenkielinen ohjeistus järjestelmän käyttöön. (25;26.)

### **8.7 Tiedonsiirto**

Suunnitelmien siirtäminen 3D-järjestelmään ja urakoitsijan käyttöön työmaalla on helppoa. Mahdollisuuksia on muutamia: suunnitelmat voidaan siirtää manuaalisesti käsin järjestelmään tai lähettää etänä suoraan järjestelmään.

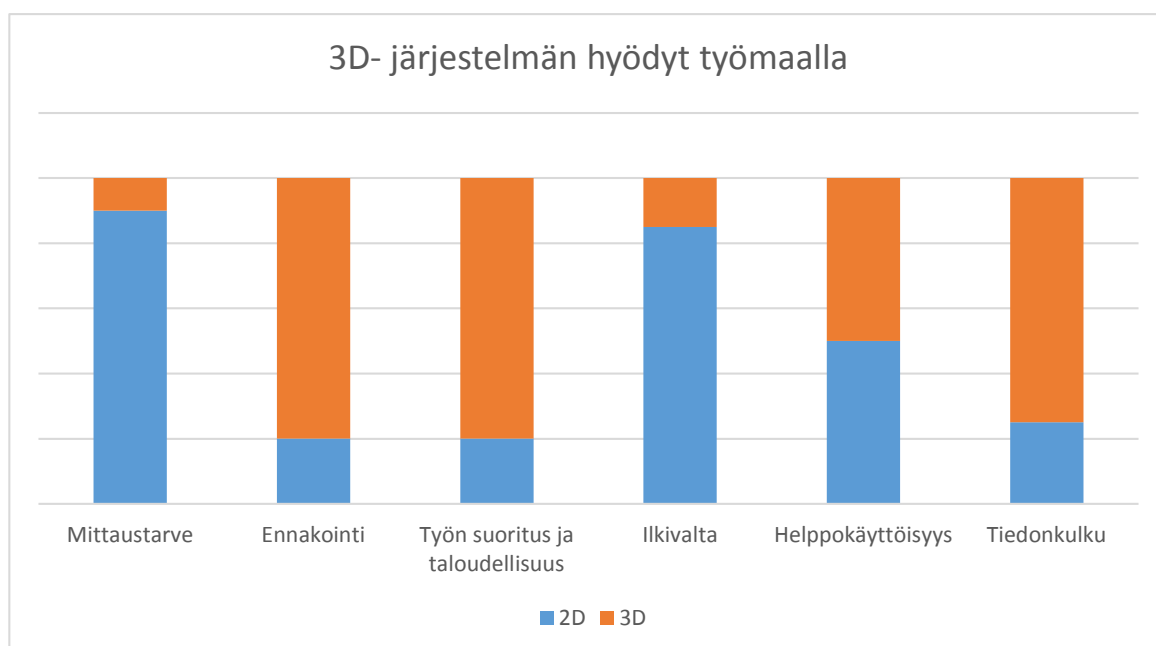
Manuaalinen siirto tarkoittaa sitä, että suunnittelija toimittaa suunnitelmat urakoitsijalle siirrettävällä datalla, esimerkiksi muistitikulla tai pilvipalvelussa. Hytissä olevassa näytössä on USB-portti (kuva 13), johon siirrettävä data voidaan liittää. VRJ Etelä-Suomi Oy:n työmailla mittamies toi 3D-aineistoa kaivinkoneenkuljettajalle muistitikulla. (25;26.) Kuvassa 13 on esitetty hytin näytössä kohta, jossa on USB-portti.



Kuva 13. Hytin näytössä oleva USB-portti, jonka kautta on mahdollista siirtää suunnitelma järjestelmään

Etänä tehtävä siirto tarkoittaa sitä, että suunnittelijan on mahdollista lähettää suunnitelmat suoraan järjestelmään. Tiedosto on oikeassa formaatissa ja yhteensopiva laitteen kanssa. Suunnitelman saavuttua aineisto nimetään oikealla tavalla ja on sen jälkeen valmis käytettäväksi.

Hyötynä tiedonsiirrossa on se, että suunnitelmien hukkuminen jää vähäiseksi. 2D:nä suunniteltujen kohteiden suunnitelmien päivittäminen on hankalampaa kuin 3D-kohteissa. Työmaalla mapissa voi olla vanha suunnitelma, vaikka esimerkiksi projektipankkiin on ladattu päivitetty versio. Taulukossa 2 on esitetty pylväsdiagrammeihin 3D-järjestelmän hyödyt verrattaessa 2D-järjestelmään.



Taulukko 2. 3D- järjestelmän hyödyt työmaalla verrattuna 2D:hen

Taulukosta tulee ilmi, että 3D-järjestelmää käytettäessä mitaustarve on pienempi, työn ennakointi ja kokonaisuuksien hahmotus on helppoa, työn suoritus on helppoa ja taloudellista, ilkivalta vähenee työmaalla, järjestelmää on helppo käyttää, kunhan on vastaanottavainen uudelle teknologialle sekä tieto kulkee työmaalla jouhevasti.

### 8.8 Mahdolliset haitat

Kuten jo työssä on todettu, 3D-järjestelmä ja 3D-suunnittelu ovat edelleen leisty misvaiheessa eikä kaikkia mahdollisuuksia ole vielä hyödynnetty. Tämän takia pelkästään 3D-projekteja on tehty toistaiseksi vähän. Myös suunnittelijat opettelevat vielä 3D-suunnittelun kanssa rutinoitunutta työskentelytapaa, joten täysin ammattitaitoinen henkilöstö on vasta tuloillaan.

Yleinen haittapuoli on järjestelmän toimivuuteen liittyvä yhteys. Yleensä yhteys toimii satelliitin välityksellä, ja silloin tällöin yhteydessä saattaa olla vikaa. Tällöin työmaalla ei tapahdu mitään, jos järjestelmä ei toimi ja jos mittamieskään ei ole työmaalla. (25;26.)

Haittapuolena voidaan pitää myös paikkansapitävyyttä. Järjestelmä näyttää oikeita tietoja niin kauan, kun kaivinkoneen osat ovat asianmukaisessa kunnossa ja puhtaita. Jos näin ei ole, järjestelmä näyttää esimerkiksi väärää korkoa. Koneen osat, yhteys ja tukiasema on tarkistettava tietyin väliajoin parhaan mahdollisen tötuloksen varmistamiseksi. (25;26.)

## 9 Pohdinta

Tutkimustyössäni sain selville suunnittelutyön vaiheita kustannuksineen. Tässä työssä kustannuspuoli kiinnosti minua enemmän. Tarkoituksena oli saada tietoja siitä, mitä 2D-suunnittelu ja 3D-suunnittelu on ja mitä suunnittelutyö maksaa tilaajalle. Näitä suunnittelutapoja lähdin tässä työssä vertailemaan. Lisäksi halusin saada selville, mitä hyötyjä 3D-järjestelmästä on työmaalla, kun järjestelmä yleistyy rakennusosalalla kovaa vauhtia. Tutkimustyötä tehdessäni vastaan tuli tilanne, jossa suunnitelmat tehtiin 2D-muotoisina, vaikka urakoitsijalla oli käytössään 3D-järjestelmä. Rupesin selvittämään tilannetta, ja olin yhteydessä maanmittausalan yritykseen, joka muuntaa 2D-suunnitelma-aineistoa yhteensopivaksi urakoitsijan 3D-laitteiden kanssa. Tästä halusin saada enemmän tietoa, joten lisäsin työhöni mittamiehen tekemän suunnitelma-aineiston muunnostyön.

Työn tuloksena sain paljon vastauksia kysymyksiini. 2D- ja 3D-suunnittelua tehneet suunnittelijat jakoivat tietoa suurimmista kustannuseroista aiheuttavista tekijöistä sekä maanmittausalan yritys kertoi muunnostyöstään 2D-suunnitelma-aineiston muuttamisesta 3D-järjestelmään sopivaksi. Lisäksi monet kaivinkoneenkuljettajat kertoivat omia kokemuksiaan 3D-järjestelmän käytöstä ja siitä, mitä hyötyä heille ja työmaalle on järjestelmästä ollut.

Kuten jo aikaisemmin työssäni mainitsin, 3D-suunnittelu alkaa olla yhä suuremmassa roolissa rakennustoiminnan kehittyessä. Suomessa ensimmäiseksi suuret rakennusyrietykset kuten YIT Oyj ja Skanska ovat jo ottaneet käyttöön 3D-järjestelmän ja ovat tietoisia sen tuomista eduista. Järjestelmän käyttöönotto maksaa kymmeniä tuhansia euroja, eikä suurille rakennusalan yrityksille järjestelmän käyttöönotto ole ongelma. Järjestelmän käytön yleistyessä ja tarjouskilpailussa tilaajan sitä vaatiessa ei näillä



rakennusalan yrityksillä ole ongelmia töiden ja urakoiden hankkimisessa. Pienemmillä yrityksillä taas tulee olemaan hankalaa. Tällaisten pienten yritysten saattaa olla vaikeampaa työllistää väkensä ja saada urakoita. Kuten sanottua, järjestelmän käyttöönotto maksaa ja pienten yritysten on sitä vaikea saada rahoituksen ja resurssien ollessa rajalliset. Nykyään 3D-suunnittelua tehdään jo todella usein. Tutkimuksissani selvisi, että Ramboll Oy:n suunnittelijoille 3D-suunnittelu on arkipäivää valtaosalle suunnittelijoista. Ramboll Oy tekee jatkuvasti suunnitelmia 3D:nä. Kukaan alalla toimiva ei tee täysvaltaista 2D-suunnittelua 3D-suunnittelun ollessa yleistymässä. Vanhemman sukupolven totutut rutiineiksi muodostuneet toimintatavat ja osittain suunnitteluohjelmien keskeneräisyys ja puutteellisuus estää osin tiettyjen asioiden suunnittelemisen 3D:nä, esimerkiksi liittymien tasauksen suunnittelemisen 3D:nä joillain ohjelmilla. Kehitystä kuitenkin tapahtuu koko ajan.

Vaikka suunnittelu tehtäisiin 3D-suunnitteluna, suunnittelun tuloksena tilaajalle luovutetaan piirustukset ja suunnitelmat edelleen 2D:nä, ellei toisin sovita. Esimerkiksi suunnittelijan suunnittelemien katujen pintamallien käyttö koneohjauksessa on suhteellisen marginaalista. Rakennusalan suurimmat yhtiöt ovat kuitenkin tarttuneet asiaan esimerkiksi InfraFINBIM–työpaketissa, jossa tietomallintamiselle on yritetty luoda hyvää kasvualustaa, kuten ohjeita ja pilottihankkeita.

Suuremmissa hankkeissa varmasti edellytetään jo, että urakoitsijalla ja mahdollisilla aliurakoitsijoilla on käytössään 3D-järjestelmä. Suuren hankkeen kustannuksia tarkasteltaessa, ei 3D-järjestelmän hinta ole kovin suuri koko hankkeen kustannuksiin nähden. Käyttöönotto maksaa itsensä takaisin jo melko pian suuremmissa rakennushankkeissa. Takaisinmaksu alkaa näkyä kaivutöiden hallintana, saman toteuman saavuttamisella vähemmällä työvoimalla ja kokonaisuuden hallintana.

3D-järjestelmän yleistyessä herää väkisininkin kysymys, kuka enää tarvitsee 2D-suunnittelua? Nykyään suunnittelutyö aloitetaan vielä usein suunnittelemalla asemapiirustus 2D-muotoisena, mutta järjestelmän vielä kehittyessä saattaa tämäkin työvaihe hävitä tai muuttaa muotoaan. Olen varma, että ajan kuluessa rakennusalan totuteltaessa 3D-järjestelmään vielä enemmän, on mahdollista

jättää 2D-suunnittelu historiaan ja saada vielä merkittävämmät hyödyt 3D-järjestelmästä käyttöön.

Järjestelmä saattaa olla suurin haaste mittausyrityksille, joiden työt vääjäämättä vähenevät järjestelmän tulon myötä. Toiseksi järjestelmän opettaminen on varmasti työteliästä vanhemmille rakennustyöntekijöille, jotka eivät ole kovin innoissaan uuden tekniikan tullessa alalle. Työmiehiä täytyy vain informoida järjestelmän käytöstä, sen hyödyistä ja kannustaa heitä käyttämään järjestelmää. Ehkä näillä keinoilla heidän asenteensa muuttuu järjestelmää kohtaan, joka tulee tavalla tai toisella muuttamaan rakennusala.

Mittamies joutuu muunnostyössään kuluttamaan aikaa epäjatkuvuuskohtien työstämiseen. 2D-aineiston muuntaminen ei välttämättä ole kovin nopeaa työtä. Mittamiehen tekemässä muutostyössä aikaa vie epäjatkuvuuskohtien etsintä sekä niiden muuntaminen. Aikaa vie myös tietojen etsintä oikeista asiakirjoista, kuten esimerkiksi linja-autopysäkin levityksen alku- ja loppupisteet. Jotkin tiedot löytyvät vain tietystä asiakirjasta, kuten liittymien tasaustiedot löytyvät ainoastaan tasauspiirustuksesta.

## **Kuvat**

Kuva 1. Terrasolid- ohjelmien käyttömahdollisuuksia. s.9

Kuva 2. Tietomallin elinkaari. s. 11

Kuva 3. näkymä 3D-järjestelmän kuljettajan hytissä sijaitsevasta näytöstä. Kuvaushetkellä kuljettaja kaivoi sadevesilinjaa. s. 17

Kuva 4. 3D-näkymä kadun yläpinnasta, leikkauspinnasta, putkikaivannosta ja kaivannon putkista sekä kaivoista. s. 18

kuva 5: Kaivinkoneen anturijärjestelmän antureiden sijainnit kaivinkoneessa. s. 20

Kuva 6. Takymetriohjauksella toimiva tiehöylä. s. 21

Kuva 7. Puistoalueen valmiin pinnan rakenne 3D-murtoviivoina. s. 23

Kuva 8. Lähtötilanne. Puistoalueesta 2D-muotoinen CAD-kuva.s. 24

Kuva 9. Puistoalueen valmiin pinnan rakenne kolmioituna. s. 26

Kuva 10. 3D-muotoinen puistoalueen valmiin pinnan rakennemalli kolmioituna.. s. 27

Kuva 11. Novapointilla suunnitellun tien 3D-näkymä.. s. 30

Kuva 12. Tulvariskianalyysi Terrasolidilla. s. 31

Kuva 13. Hytin näytössä oleva USB-portti, jonka kautta on mahdollista siirtää suunnitelma järjestelmään. s. 38

## **Taulukot**

Taulukko 1. Eniten kustannuseroja aiheuttavat tekijät s. 33

Taulukko 2. 3D-järjestelmän hyödyt työmaalla verrattuna 2D:en s. 39

## Lähteet

1. Tiehallinto, Johdatus tienrakentamisen automaatioon, tiehallinnon selvityksiä 61/2004  
<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200915-vjohdatustienrakautom.pdf>.  
Luettu 15.12.2014.
2. Wikipedia: Infrarakentaminen  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Infrarakentaminen>. Luettu 15.12.2014.
3. Vianova, tuotteet  
<http://www.vianova.fi/tuotteet/>. Luettu 15.12.2014.
4. AutoCAD  
<http://www>. <http://fi.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>. Luettu 2.1.2015.
5. MicroStation  
<http://www.bentley.com/en-US/Products/MicroStation%20Product%20Line/>. Luettu 17.12.2014.
6. Wikipedia: MicroStation  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/MicroStation>. Luettu 18.12.2014.
7. Terrasolid  
<http://www.terrasolid.com/solutions.php>. Luettu 3.1.2015.
8. Liikennevirasto, mikä on tietomalli?  
[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/tietomal lit/mika\\_tietomalli](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/tietomal lit/mika_tietomalli). Luettu 2.12.2014.
9. Liikennevirasto, Kuin kaksi marjaa (Tietomalli vs. tietomalli)  
[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/tietomal lit/kuin\\_kaksi\\_marjaa](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/tietomal lit/kuin_kaksi_marjaa). Luettu 2.12.2014.
10. Infrabim, Vehviläinen uskoo mallintamisen hyötyihin 04/2009  
<http://www.infrabim.fi/vehvilainen-uskoo-mallintamisen-hyotyihin/>.  
Luettu 15.11.2014.
11. Tuote ja tietomallinnus  
[http://www.rts.fi/infrabim/tuote\\_ja\\_tietomallinnus.gif](http://www.rts.fi/infrabim/tuote_ja_tietomallinnus.gif). Luettu 5.1.2015.
12. Wikipedia: Tietomalli, tietomallin tiedot ja niiden käyttö  
[http://fi.wikipedia.org/wiki/Rakennuksen\\_tietomalli](http://fi.wikipedia.org/wiki/Rakennuksen_tietomalli). Luettu 2.1.2015.
13. Wikipedia: Tietomalli, tietomallintamisen ja kaksiulotteisen CAD—suunnittelun erot  
[http://fi.wikipedia.org/wiki/Rakennuksen\\_tietomalli](http://fi.wikipedia.org/wiki/Rakennuksen_tietomalli). Luettu 2.1.2015.

14. Eklöf 2011. Tietomalleista koneohjaukseen, Metropolia ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma, opinnäytetyö  
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/34940/Tietomalleista%20koneohjaukseen.pdf?sequence=1>. Luettu 15.12.2014.
15. Piironen 2012, 3D-koneohjausjärjestelmä kaivinkoneissa, Tampereen ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma, opinnäytetyö  
[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41528/Piironen\\_Villie.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41528/Piironen_Villie.pdf?sequence=1). Luettu 15.12.2014.
16. Topgeo, mitä koneohjaus on?, perinteisistä korkeusjärjestelmistä integroituihin 3D-koneohjausjärjestelmiin  
[http://www.topgeo.fi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121&Itemid=126](http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=126). Luettu 2.1.2015.
17. Koneohjaus.  
<http://www.novatron.fi/fi/koneohjaus.html>. Luettu 5.1.2015.
18. Meriläinen 2010. Työkoneautomaatio rakennustyömaalla, Savonia ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma, ylempi AMK-tutkinto, opinnäytetyö  
<http://www.theseus.fi/handle/10024/33678>. Luettu 15.12.2014.
19. Palkama M. 2014, tuotantopäällikkö, AIP-Mittaus Oy, Vantaa, haastattelu 7.10.2014
20. Oinaanoja J, Projektipäällikkö, Alue- ja kunnallistekninen suunnittelu Ramboll Oy, Espoo. Haastattelu 8.10.2014.
21. Laksola L, Suunnitteluja, Ramboll Oy, Espoo. Sähköpostihaastattelu 13.11.2014.
22. Suomen tieyhdistys, väylät & liikenne 2012, seminaariesitelmät, sessio: tietomallit väylähankkeissa  
<http://www.tieyhdistys.fi/binary/file/-/id/50/fid/387/>. Luettu 15.12.2014.
23. Novapoint  
<https://novapoint.files.wordpress.com/2010/05/2road.jpg>.  
Luettu 5.1.2015.
24. Terrasolid  
[http://www.terrasolid.com/images/road\\_lineofsight.png](http://www.terrasolid.com/images/road_lineofsight.png). Luettu 5.1.2015.
25. Kiviniemi H, kaivinkoneenkuljettaja, VRJ Etelä-Suomi Oy, Vantaa. Haastattelu 9.10.2014.
26. Kiviniemi M, Kaivinkoneenkuljettaja, VRJ Etelä-Suomi Oy, Vantaa. Haastattelu, 21.10.2014.
27. Kokkonen T, Työpäällikkö, VRJ Etelä-Suomi Oy, Vantaa. Haastattelu 28.10.2014.