



# Koneohjausmallien tekeminen rakennustyömaalle

Antti Härmä

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Infrarakentaminen

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Infrarakentaminen

HÄRMÄ, ANTTI:  
Koneohjausmallien tekeminen rakennustyömaalle

Opinnäytetyö 33 sivua  
Toukokuu 2023

---

Koneohjausjärjestelmät ovat nykyään vakiinnuttaneet paikkansa lähes jokaisessa maanrakennusalan yrityksessä. Parhaan hyödyn saavuttamiseksi on koneohjausmallien oltava riittävän kattavat, mutta myös selkeät käyttää. Kuljetus A. Härmä Oy on monipuolinen maanrakennusalan yritys, joka tarvitsee työmaillaan useita erilaisia koneohjausmalleja. Tähän asti mallit on ostettu ulkopuoliselta toimijalta, mutta jatkossa tarkoitus on tuottaa mallit itse. Mallien tekeminen itse säästää työmaan kustannuksissa ja lisäksi mallien muuttaminen työn aikana tapahtuvien muutosten takia helpottuu.

Opinnäytetyönä laadittiin ohje, joka auttaa mallin tekijää tuottamaan hyvän ja laadukkaan mallin, jossa osataan ottaa huomioon kaikki käytännön toteutuksessa tarvittavat asiat. Kuljetus A. Härmä Oy:n käytössä on Trimblen koneohjausjärjestelmiä ja mittalaitteita, tämän vuoksi ohje tehdään toimimaan vain Trimblen järjestelmissä. Opinnäytetyössä käsitellään myös Trimblen pilvipalveluita ja siellä tapahtuvaa mallien siirtoa toimistolta koneisiin ja toteumapisteiden siirtoa koneista takaisin toimistolle.

Opinnäytetyössä käytetään mallin luomiseen ja tietojen käsittelyyn Trimblen Business Centeriä. Ohjeessa käsitellään rakennustyömaan mallien luomista ja tallentamista mallin tekemisen pääkohdat. Lopputulosta tullaan hyödyntämään kaikilla tulevaisuuden työmailla, joissa käytetään koneohjausjärjestelmiä. Opinnäytetyön tekemisen myötä kynnys koneohjausjärjestelmien käyttämiseen lyhyemmälläkin työmailla pienenee.

---

Asiasanat: koneohjausmalli, mallintaminen, inframalli, työmaan tiedonhallinta

## **ABSTRACT**

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

HÄRMÄ, ANTTI:  
Building a Machine Control Model for Construction Site

Bachelor's thesis 33 pages  
May 2023

---

Machine control systems are a common sight on construction sites. Accurate modeling enables machine control systems to work the best possible way, but creating perfect model can be challenging.

The purpose of this study was to create instructions that help to understand machine control systems and machine control models. The thesis instructs the modeller through the machine control model building process.

The study was created by modelling an example construction site and exporting finished models to an excavator. Source materials in thesis were literature, web pages and the author's own experience.

The outcome of the study was instructions that clarified critical points of creating a machine control model and data transfer between office and machine. The thesis also presented machine control system operation generally focusing on Trimble's systems.

To conclude, creating machine control system is relatively easy job when the modeller takes the necessary precautions. During modelling process there, are some phases where a major error can occur, but by following the steps of these instructions a modelling process should be successful.

---

Key words: machine control system, Trimble, machine control model

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	KONEOHJAUS YLEISESTI .....	8
	2.2 Trimblen koneohjausjärjestelmät .....	11
	2.2.1 GCS900 .....	12
	2.2.2 Earthworks .....	13
	2.3 Automaattinen ja autonominen koneohjaus .....	14
3	MALLIN LUOMINEN .....	16
	3.1 Trimble Business Center .....	16
	3.1.1 Pihan pintamalli .....	16
	3.1.2 Perustusten leikkausmalli .....	19
	3.1.3 Putkijohtojen 3D-linjamallit .....	21
	3.2 Muita mallien luomistapoja .....	23
	3.2.1 Trimble fileflipper .....	23
	3.2.2 Earthworks järjestelmällä .....	24
4	TIEDONSIIRTO .....	25
	4.1 WorksManager .....	27
	4.1.1 Tiedonsiirto kaivinkoneesta .....	29
	4.2 Mallien siirto USB-tikulla .....	30
5	POHDINTA .....	31
	LÄHTEET .....	32

**LYHENTEET JA TERMIT**

DSZ	Earthworksin käyttämä tiedosto, jossa voi olla pinta ja taustakartta
Earthworks	Trimblen uudempi käytössä olevista koneohjausjärjestelmistä
GCS900	Grade Control System: Trimblen vanhempi käytössä oleva koneenohjausjärjestelmä
GNSS	Global Navigation Satellite System: koko maailmaa palveleva satelliittipaikannusjärjestelmä
RTK	Real Time Kinematic
VCL	Trimblen käyttämä projekti
VRS	Virtual Reference Station
SVD	GCS900 järjestelmän pintamalli
SVL	GCS900 järjestelmän viivamalli
Tarkepiste	Mittaushenkilön takymetrillä tai GNSS-laitteella mitaama piste
Toteumapiste	Työkoneella mitattu XYZ-koordinaatit omaava piste

## 1 JOHDANTO

Koneohjausjärjestelmät ovat maanrakennustyömailla melko tavanomainen näky ja monesti jopa vaatimus. Tämän päivän koneenkuljettajilla saattaa olla jopa enemmän kokemusta mallipohjaisesta kaivamisesta, kuin perinteisestä ”silmällä” kaivamisesta. Toimiakseen koneohjaus tarvitsee aina jonkinlaisen mallin, jonka luomiseen on useita erilaisia helppoja tapoja. Mallia luodessa on kuitenkin syytä olla tarkkana, sillä pienikin virhe mallissa voi johtaa suuriin taloudellisiin ja aika-  
taulullisiin vahinkoihin. Toisaalta taas hyvä malli pystyy parantamaan työn laatua, tekemään työstä mielekkäämpää kuljettajille sekä säästämään aikaa ja rahaa toteutuksen läpiviennin nopeutuessa.

Opinnäytetyön aiheen valinta perustuu tekijän omaan mielenkiintoon, asiakasyrityksen tarpeeseen saada parempia malleja käyttöönsä ja halukkuuteen alkaa itse mallintamaan työkohteitaan. Aiheen valintaan vaikutti myös vastaavanlaisten ohjeiden puute, sillä kaikki samantyylliset työt on tehty käyttäen kotimaista Novatronin koneohjausjärjestelmää. Kuljetus A. Härmä Oy:n käytössä on Suomessa hieman harvinaisempi Trimblen valmistama koneohjausjärjestelmä ja maastomittalaitteet. Trimblen koneohjausjärjestelmään mallin luominen on hieman erilainen prosessi, kuin Novatronin vastaavaan järjestelmään. Eroja on esimerkiksi tiedostomuodoissa ja tiedonsiirtomenetelmissä.

Työn tavoitteena on madaltaa kynnystä koneohjausmallien käyttämiseen pienemmissäkin kohteissa, tehostaa työnjohdon työskentelyä nopeuttamalla tiedonsiirtoa toimiston ja koneen välillä, sekä auttaa mallintajaa huomioimaan kaikki työn suorittamisen kannalta oleelliset asiat mallissa. Opinnäytetyössä esitellään Trimblen koneohjausjärjestelmiä ja niiden toimintaperiaatteita. Tämän jälkeen perehdytään itse mallin tuottamiseen Trimblen Business Centerillä suunnittelijalta saatavien aineistojen pohjalta, ja lopuksi käydään vielä läpi erilaisia tiedonsiirtomenetelmiä.

Opinnäytetyössä oletuksena on, että ohjeen käyttäjä osaa jo lähtökohtaisesti käyttää Trimblen Business Centerin yleisimpiä työkaluja. Mikäli lukijalla ei ole ol-

lenkaan kokemusta kyseisestä ohjelmistosta, tarjoaa Trimble hyviä ilmaisia harjoituksia. Harjoitukset ovat ladattavissa osoitteesta <https://geospatial.trimble.com/trimble-business-center-tutorials>. Harjoituksissa on selkeät ohjeet, ja esimerkkimalli, jota muokataan harjoituksen edetessä. Suorittamalla esimerkiksi harjoitukset Working with Linestrings, Performing Data Prep ja Creating and Editing Vertical Designs saa ohjeen lukija riittävät valmiudet opinnäytetyön mukaiseen mallien käsittelyyn.

## 2 KONEOHJAUS YLEISESTI

Koneohjausjärjestelmä on työkoneen kuljettajaa avustava järjestelmä. Ensimmäiset järjestelmät kehitettiin jo 1960-luvulla, jolloin koneita ohjattiin erilaisten laserien avulla (Brown 2023). Satelliittipaikannuksen avulla toimivia koneohjausjärjestelmiä alettiin kehittää 1990-luvun lopulla, jolloin syntyivät ensimmäiset 3D-koneohjausjärjestelmät (Trimble Inc. 2018). Koneohjausjärjestelmiä on sekä opastavia, että ohjaavia, ja molempia järjestelmiä löytyy 1D, 2D ja 3D tyyppisinä.

1D järjestelmä pystyy mittaamaan korkeutta ainoastaan yhdessä tasossa, mikä rajaa sen käyttömahdollisuuksia todella paljon. 2D järjestelmä pystyy mittaamaan korkeuseron lisäksi koneen suuntaa, eli sitä voidaan käyttää esimerkiksi kaltevan luiskan kaivamisessa. 2D järjestelmät ovat kilpailukykyisen hintansa ansiosta edelleen jokseenkin yleisiä. Useat kaivinkonevalmistajat tarjoavat jo kaivinkoneisiin valmiiksi integroituja 2D mittausjärjestelmiä, jotka ovat päivitettävissä myös 3D järjestelmiksi. Yhteistä molemmille järjestelmille on, että ne tarvitsevat toimiakseen kiintopisteen lähelle työkohdetta.

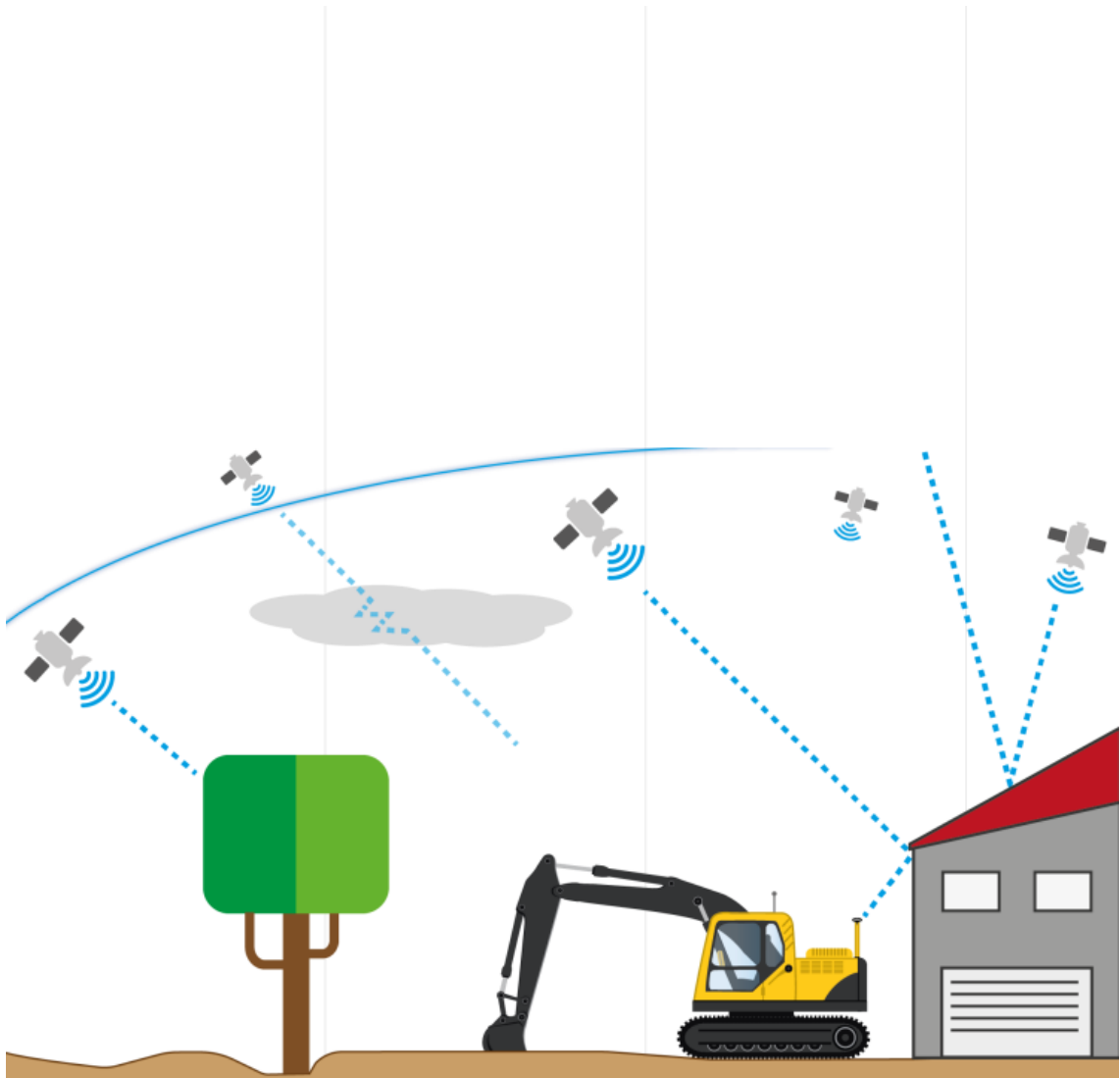
### 2.1 3D-koneohjausjärjestelmän toiminta

Tehokkain ja kallein vaihtoehto on 3D-koneohjausjärjestelmä, joka mittaa korkeuden ja suunnan lisäksi myös koneen sijaintia. Koneen sijainnin tietäminen mahdollistaa erilaisten monimutkaisempienkin mallien kanssa työskentelyn, ja erilaisten rakenteiden sijaintien mittaamisen.

Sijainnin määrittämiseen käytetään useimmiten GNSS-satelliittijärjestelmää, joka koostuu neljästä eri satelliittipaikannusjärjestelmästä. Kaikissa satelliittijärjestelmissä on 20–30 satelliittia. Paikannus satelliittien avulla perustuu satelliitin signaalin lähetysaikatiedon ja vastaanottimen vastaanottoajan erotuksen laskemiseen, ja sen kertomiseen radiosignaalin etenemisnopeudella. (Maanmittauslaitos n.d..) Pelkän satelliiteista saatavan paikkatiedon tarkkuus vaihtelee metristä kymmeniin metreihin, koska matkalla signaalin kulkemiseen vaikuttaa ylempi- ja



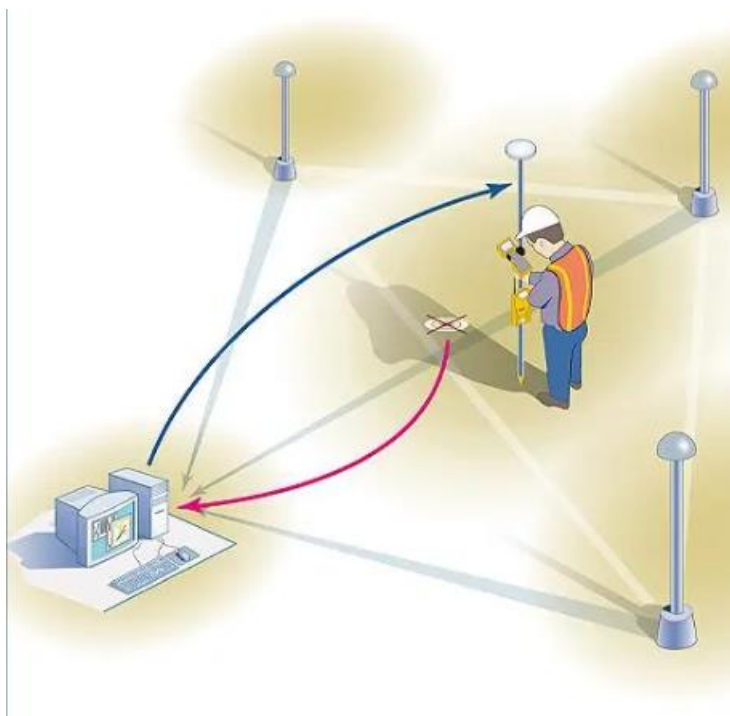
alempi ilmakehä, satelliittien lentoratamuutokset, heijastukset ja auringon aktiivisuus (Malo n.d.). GNSS-signaaliin vaikuttavia tekijöitä havainnollistaa kuva 1.



KUVA 1. GNSS-signaaliin vaikuttavia tekijöitä (Malo n.d.)

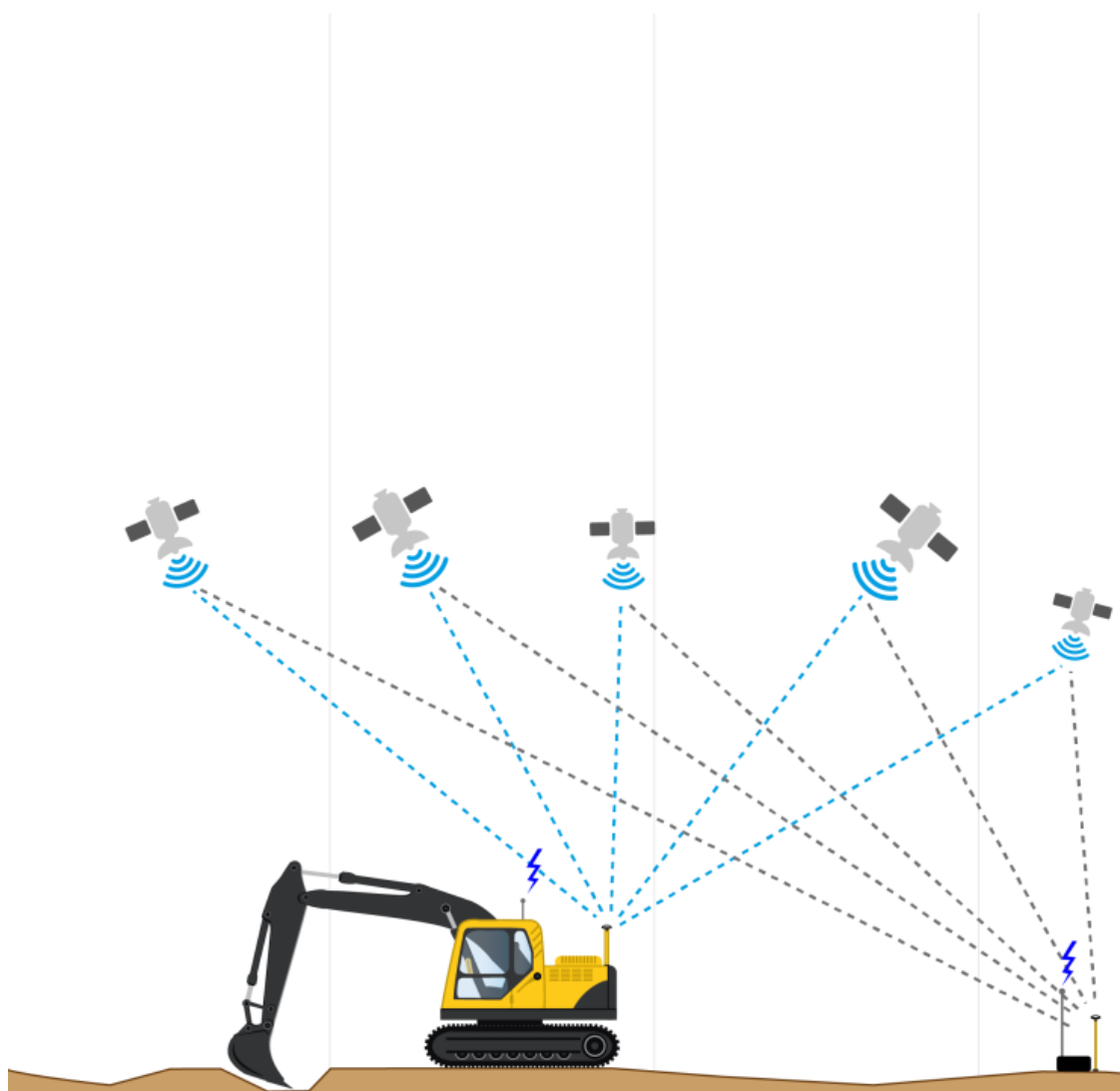
Toimiakseen 3D-koneohjausjärjestelmä tarvitsee jatkuvaa senttimetriluokan paikkatietoa, jonka tuottamiseksi tarvitaan GNSS-signaalin korjaus. Korjaus voidaan tuottaa kahdella eri tavalla: VRS-korjauksena tai omalla kiinteällä tukiasemalla. Helpoin vaihtoehto on VRS-korjaus, jossa palveluntarjoaja luo omien kiinteiden tukiasemiensa ja laskentakeskuksensa avulla virtuaalisen tukiaseman koneen viereen. Virtuaalitukiaseman havaintojen ja sijainnin perusteella pystyy mittalaite laskemaan oman millitarkan sijaintinsa. VRS-korjaus on hyvä ratkaisu pienille työmaille ja koneille, jotka vaihtavat usein työmaata, sillä korjaus toimii valtakunnallisesti kaikkialla. Huonona puolena VRS-korjauksessa on ainoastaan

sen hinta. Lisenssien hinnat vaihtelevat palveluntarjoajasta ja maantieteellisestä laajuudesta riippuen 700–1500 €:n välillä. VRS-korjauksia Suomessa myyvät Geotrim Oy ja Karera Oy. Lisäksi osalla kaupungeista on omat tukiasemaverkonsa, joita käytetään niiden omilla työmailla. VRS-korjauksen toimintaa havainnollistaa kuva 2.



KUVA 2. VRS-korjauksen toiminta (Geotrim n.d.)

Toinen vaihtoehto tuottaa korjaussignaali on RTK-mittaus, jossa työmaalle hankitaan oma kiinteä tukiasema. Tukiasema sijoitetaan tunnetulle pisteelle, josta se pystyy radion välityksellä jakamaan korjaussignaalin usealle eri koneelle. RTK-mittausta rajoittaa sen kohtalaisen lyhyt toimintasäde (5–10 km). Lisäksi työkonetta tulee olla varustettu radiolla, jotta se voi vastaanottaa korjaussignaalin. Tukiasema vaatii toimiakseen huoltoa, ja sen sijainti pitää tarkistaa takymetrillä 2–4 viikon välein. RTK-mittausta on havainnollistettu kuvassa 3.



KUVA 3. RTK-mittauksen periaate (Malo n.d.)

## 2.2 Trimblen koneohjausjärjestelmät

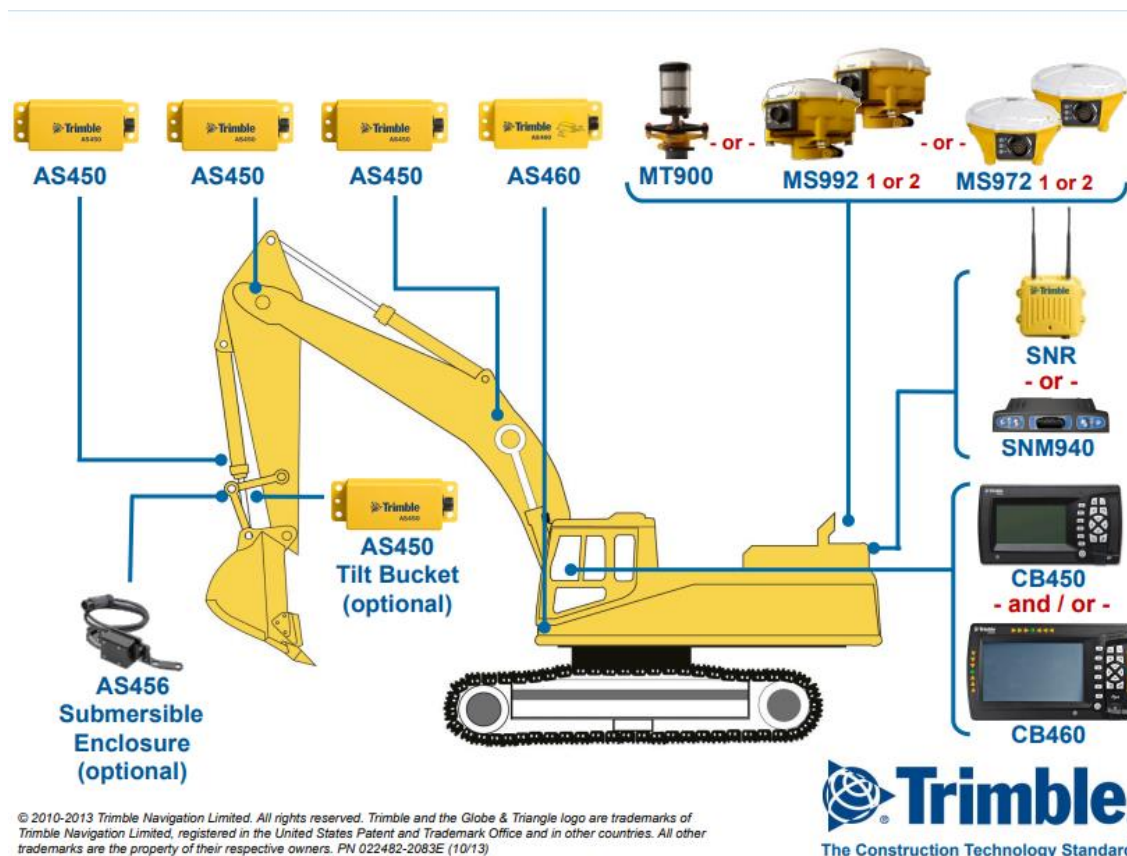
Trimble on yksi vanhimmista mittalaitevalmistajista. Trimblen perusti vuonna 1978 Charlie Trimble yhdessä kahden muun Hewlett-Packardin työntekijän kanssa. Ensimmäiset 3D-koneohjausjärjestelmät kehitettiin vuonna 1997, jolloin koneohjausta käytettiin puskukoneissa. Nykyään Trimble tarjoaa koneohjausjärjestelmiä lähes kaiken tyyppisiin työkoneisiin. (Trimble Inc. 2018.)

Suomessa Trimblen koneohjausjärjestelmät eivät ole vielä kovinkaan yleisiä. Vuonna 2021 tehdyssä kyselyssä Trimblen osuus Suomessa olevista koneohjausjärjestelmistä oli vain 11 % (Telin 2021). Suomessa ylivoimaisesti isoin markkinaosuus on kotimaisella Novatronilla, mutta maailmanlaajuisesti Trimble on valmistajana paljon isompi. Suomessa Trimblen jälleenmyyjänä toimii Sitech Finland Oy, ja esimerkiksi Caterpillarin kaivinkoneita myydään suoraan Trimblen laitteilla tehdasvarusteltuina.

### **2.2.1 GCS900**

GCS900 on Trimblen vanhempi käytössä olevista 3D-koneohjausjärjestelmistä. GCS900 järjestelmä julkaistiin 2006 ja se oli ilmestyessään uuden sukupolven koneohjaustekniikkaa (Trimble Inc 2018). GCS900 järjestelmää pystytään käyttämään 2D tai 3D tilassa, ja sitä voidaan ohjata joko laserin, satelliittien tai takymetrin avulla. GCS900 on saatavilla ainakin puskutraktoreihin, tiehöyliin, jyriin ja kaivinkoneisiin. (Trimble Inc. 2007.)

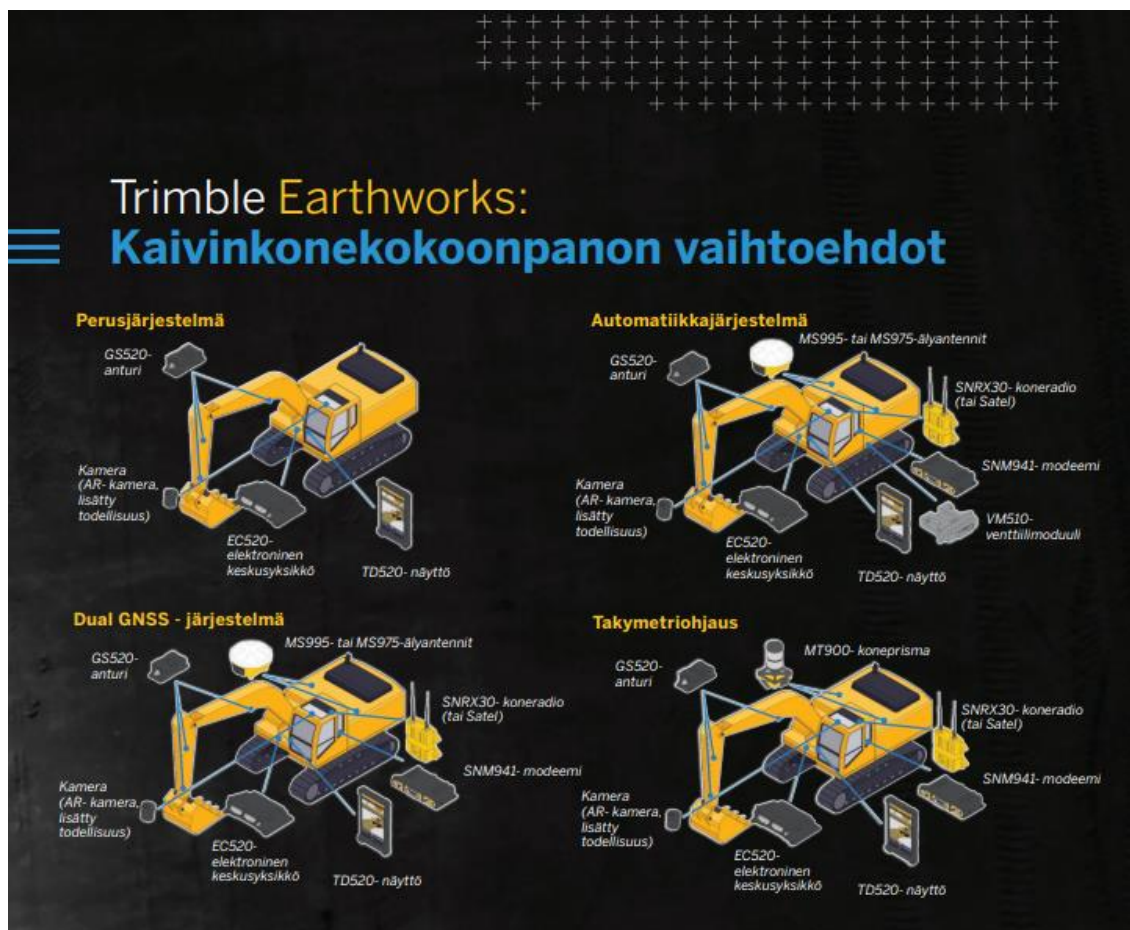
GCS900 järjestelmä käytti näyttönään Trimblen CB430 näyttöä, jonka jälkeen tuli CB440, CB450 ja vielä viimeisimpänä CB460. CB näytöt ovat kaikki kooltaan melko pieniä, eikä kahden eri kuvan samaan aikaan katsominen ole helppoa. Järjestelmä on hyvä kaivettaessa isoja ja yksinkertaisia malleja, mutta esimerkiksi monimutkaiset anturanleikkausmallit ovat melko haastavia tulkita. Trimblen GCS900 järjestelmän komponentit kaivinkoneeseen kuvassa 4.



KUVA 4. Trimble GCS900 järjestelmä kaivinkoneessa (Sitech Austria 2013, 4)

## 2.2.2 Earthworks

Maaliskuussa 2017 Trimble julkaisi kokonaan uudistetun koneohjausjärjestelmänsä. Järjestelmän perustana on Android-pohjainen sovellus, jota käytetään Trimblen 10" TD520 tabletilla. Iso näyttö mahdollistaa pituusleikkauksen, poikki-leikkauksen ja asemapiirroksen samaan aikaan katsomisen, mikä tekee monimutkaisempienkin mallien kaivamisesta helppoa. (Sitech n.d..) Earthworks järjestelmä kaivinkoneeseen kuvassa 5.



KUVA 5. Trimble Earthworks järjestelmä (Trimble Inc. 2020)

Earthworks tarjoaa tavallisen koneohjauksen rinnalle kokonaan uusia ominaisuuksia. Earthworks järjestelmä oli ensimmäinen markkinoille tullut koneohjausjärjestelmä, joka mahdollisti kaivinkoneiden automaatiikan. Earthworksin avulla kaivinkone toimii puoliautomaattisessa tilassa, jossa kuljettaja operoi kaivupuomia, ja kaivinkone ohjaa pääpuomia ja kauhaa. Muita uusia ominaisuuksia ovat päivitysten mukana tulleet lisätty todellisuus ja vaakasovellus.

### 2.3 Automaattinen ja autonominen koneohjaus

Maanrakennusala on muiden teollisuudenalojen tapaan viime vuosina ottanut isoja askeleita kohti autonomisia ratkaisuja. Esimerkiksi Oulun yliopistolla on käynnissä SWARM-hanke, jossa testataan puskutraktorin, jyrän ja kaivinkoneen etäohjattua ja autonomista yhteistyötä (Oulun yliopisto 2022). Autonomian vasta tehdessä tuloa markkinoille, on erilaisia automatisoituja ratkaisuja ollut käytössä jo vuodesta 1998 lähtien. Ensimmäisenä automatisoituna ratkaisuna markkinoille tuli tiekarhun ja puskutraktorin terää automaattisesti 3D-mallin mukaan ohjaava

järjestelmä. (Brown 2023.) Vuodesta 2017 alkaen on automatisoituja ratkaisuja ollut saatavilla myös kaivinkoneille. Kaivuautomaatiikan sisältäviä järjestelmiä tarjoavat nykyään kaikki tunnetut koneohjausjärjestelmien valmistajat.

Automaattinen ja autonominen ovat keskenään helposti sekoituvia termejä. Automaattinen tarkoittaa koneohjauksen kannalta ennalta määrättyjen liikkeiden toteuttamista, kuten kaivuliikkeen toteuttamista pintamallin mukaisesti. Autonominen järjestelmä puolestaan osaa tehdä havaintoja ympäristöstään, ja pelkän kaivuliikkeen lisäksi se pystyy esimerkiksi tunnistamaan kuorma-auton, ja lastaamaan sen itsenäisesti. Automaattisen ja autonomisen erona on siis autonomisen järjestelmän kyky ajatella ja huomioida ympäristöään. (Machado, Ahonen & Ghabcheloo 2021, 1.)

Automaatiikan ja autonomian mukaantulo muuttaa mallintamisen vaatimuksia oleellisesti. Kuljettajaa opastavaa tai kaivuautomaatiikalla varustettua järjestelmää varten tehtävän mallin ei tarvitse olla tarkkuudeltaan läheskään niin tarkka, kuin mitä autonominen järjestelmä vaatisi. Puutteellinen malli kuitenkin hidastaa työkentelyä, lisää virheiden mahdollisuutta ja vähentää automaattisista avustimista saatavan hyödyn määrää.

Tulevaisuudessa automaatiikan ja autonomian kehittyessä tulee yhä tarkemmille malleille olemaan kysyntää. Erityisesti rakennustyömailla, tarkan kaivumallin luomisen haasteena on, että se vaatii paljon tietoa rakenteista, työvaroista ja alusrakenteista. Kaikki tarvittava tieto ei ole monesti edes työmaan alkaessa kokonaan selvillä, ja tämä johtaa tarpeeseen päivittää malleja kesken työmaan.

### **3 MALLIN LUOMINEN**

Rakennustyömaalle mallin luominen alkaa tarvittavien kuvien ja tietojen hankkimisella. Mallin kannalta oleellisia tietoja ovat koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä, työvarat, rakenteiden reunat, alusrakenteiden paksuudet, eristeiden leveys, sallitut luiskakaltevuudet ja tietenkin käytössä olevat koneohjausjärjestelmät. Tässä opinnäytetyön tapauksessa työmaalla käytetään sekä GCS900 että Earthworks järjestelmiä.

Opinnäytetyön tapauksessa malli tehdään ETRS-GK23 koordinaatistoon käyttäen FIN2005N00 geoidimallia. Suunnittelijalta saatu pinnantasaussuunnitelma oli jo valmiiksi oikeassa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä, joten siitä oli helppo aloittaa. Tarvittavat kuvat DWG-muodossa saatiin työmaan projektipankista, ja työvarat selvitettiin rakennusurakoitsijalta.

#### **3.1 Trimble Business Center**

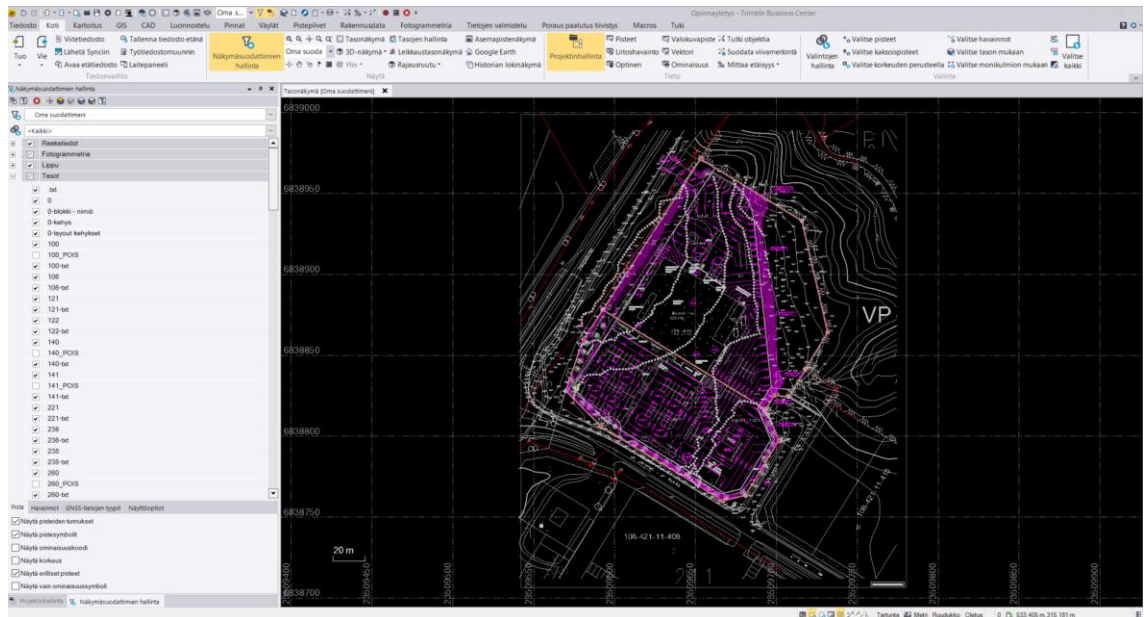
Trimblen koneohjausjärjestelmiin mallin luominen on luonnollisesti helpointa Trimblen omalla aineistojen käsittelyyn tarkoitettulla sovelluksella. Trimble Business Center tarjoaa laajan valikoiman monipuolisia työkaluja tietojen käsittelyyn, massalaskentoihin ja suunnitteluun.

Mallin luominen aloitetaan luomalla työmaa Trimble Business Centeriin. Työmaan tietoihin asetetaan haluttu koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä, jonka jälkeen voidaan ohjelmaan tuoda tarvittavia aineistoja.

##### **3.1.1 Pihan pintamalli**

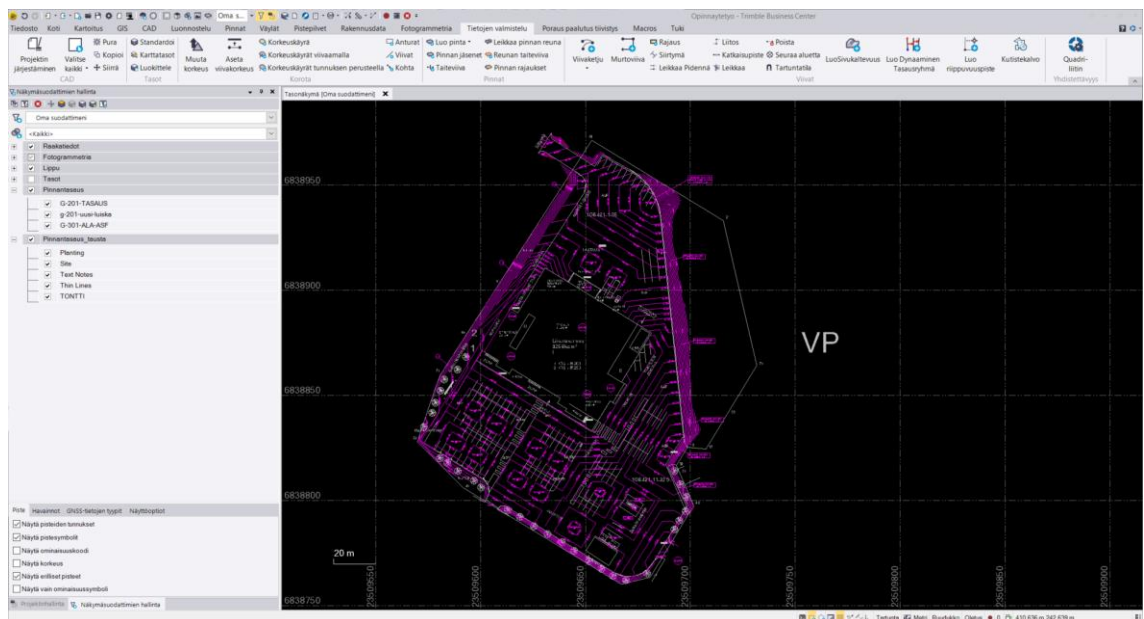
Pintamalli luodaan käyttämällä geosuunnittelijan luomaa pinnantasaussuunnitelmaa. Koska pinnantasaussuunnitelma oli jo valmiiksi koordinaatistossa, asetettiin se heti tuonnin jälkeen oikeaan paikkaan. Näkymä lähtötilanteesta kuvassa 6.





KUVA 6. Lähtötilanne pihan pintamallia luodessa

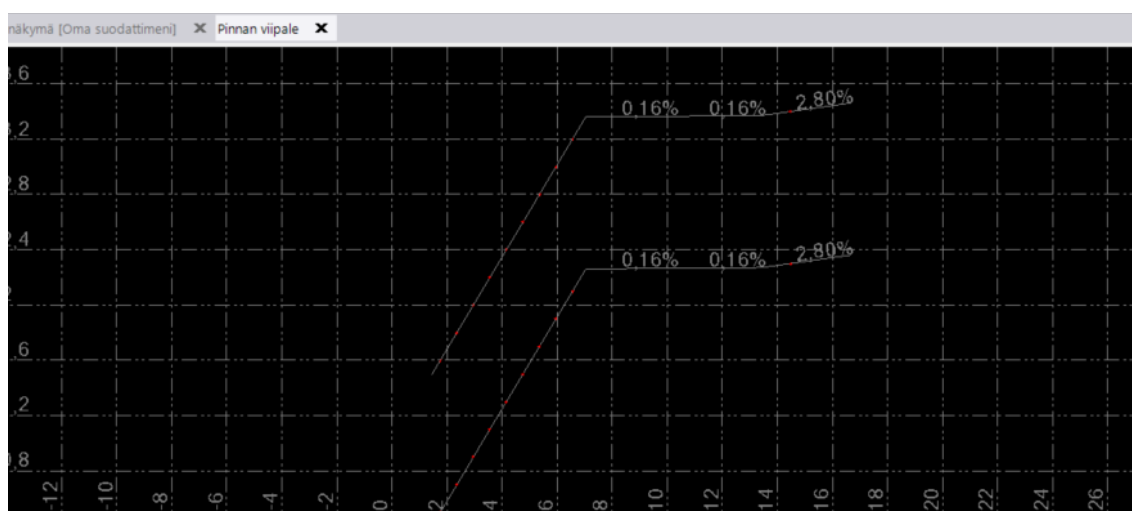
Mallin käsittely aloitetaan määrittelemällä pinnan jäsenet. Pinnan kannalta tarvittavia objekteja ovat korkeuskäyrät, hulevesikaivot, reunakivet ja laatoitusten korot. Taustakartaksi kannattaa jättää pysäköintipaikat, saarekkeet, kasvit sekä rakennuksen reunat. Näiden objektien tasoille luodaan omat tasoryhmät helpottaen jatkotyöskentelyä. Kuvassa 7 näkyy pinnantasaukseen ja taustakarttaan tulevat objektit eriteltyinä.



KUVA 7. Pinnantasauksen ja taustakartan elementit

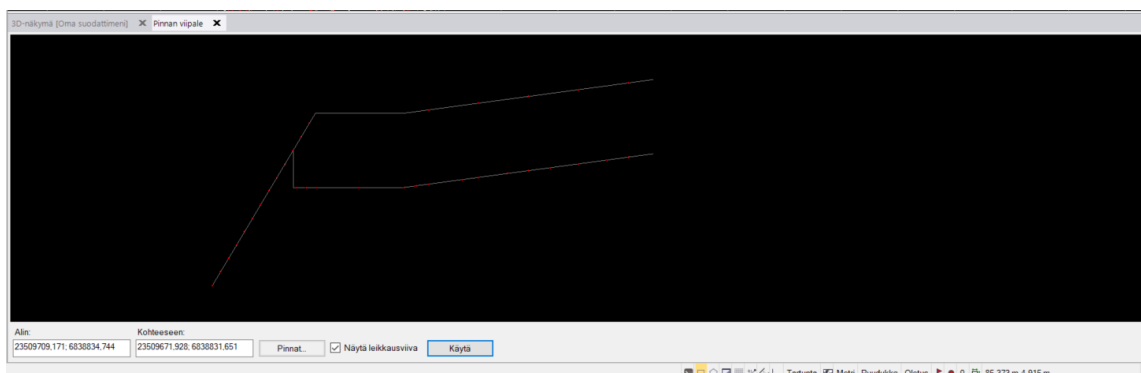
Tasauksen valmis pinta saadaan helposti luomalla pinta pelkkien korkeuskäyrien avulla. Kustannustehokkain tapa tehdä pinnantasausmalli on tehdä ainoastaan valmiin pinnan malli, ja antaa koneenkuljettajan asettaa pystysiirtymän avulla leikkauksen ja rakennekerrosten pinnat oikeiksi.

Pystysiirtymällä toimiminen aiheuttaa kuitenkin aina virheen mahdollisuuden. Pystysiirtymä siirtää leikkuupinnan lisäksi myös luiskan pintaa, joka koneenkuljettajan pitäisi osata ottaa huomioon. Mikäli kuljettaja leikkaa siirretyn pintamallin mukaan, jää rakennekerrosten reuna täysin pystysuoraksi. Kuljettajan on siis osattava kaivaa sopivasti mallin yli, jotta riittävä leveys saavutetaan. Tässä kohteessa on huomioitava myös pintaan tuleva liimattava betonireunakivi. Liimattava betonireunakivi tarvitsee taakseen asfalttia 50 mm (Rudus 2010), ja kantavan kerroksen tulee ulottua 250 mm asfaltinreunan yli. Rakennekerrokset on luiskattava kantavan kerroksen yläpinnasta vielä leikkaukseen saakka. Pystysiirtymällä siirrettävää pintaa (kuvassa 8 alempana) ja alkuperäistä pinnantasausausta (kuvassa 8 ylempänä) on havainnollistettu kuvassa 8.



KUVA 8. Pinnantasaus ja pystysiirtymällä siirretty pinnantasaus

Mahdollinen virheen paikka voidaan välttää mallintamalla jokainen rakennekerros erikseen. Mallintaminen tehdään korottamalla asfaltinreunaa kuvaava viiva pinnan tasoon, ja sen jälkeen siirtämällä sitä pysty- ja vaakasuunnassa halutun luiskakaltevuuden ja rakennekerrosten paksuuden mukaisesti. Tämä vie mallintamisessa hieman lisää aikaa, mutta helpottaa kaivinkoneenkuljettajaa huomattavasti, ja poistaa virheen mahdollisuuden. Leikkausmalli, jossa luiskat on huomioitu, kuvassa 9.



Kuva 9. Leikkausmalli ja pinnantasaus

Samalla menetelmällä tehdään kaikille kerroksille omat pintansa. Lopputuloksena saadaan kolme pintaa, jotka voidaan myöhemmin siirtää koneohjausjärjestelmään.

Pinnantasauksen teon yhteydessä on hyvä mallintaa myös sähköasemakuva. Pintamalli kannattaa jättää sähköpiirustuksen päälle, jotta koneenkuljettaja voi varmistua riittävästä peittosyvyydestä kaapeliputkille. Taustakartaksi vaihdetaan sähköasemakuva ja malli on valmis käytettäväksi.

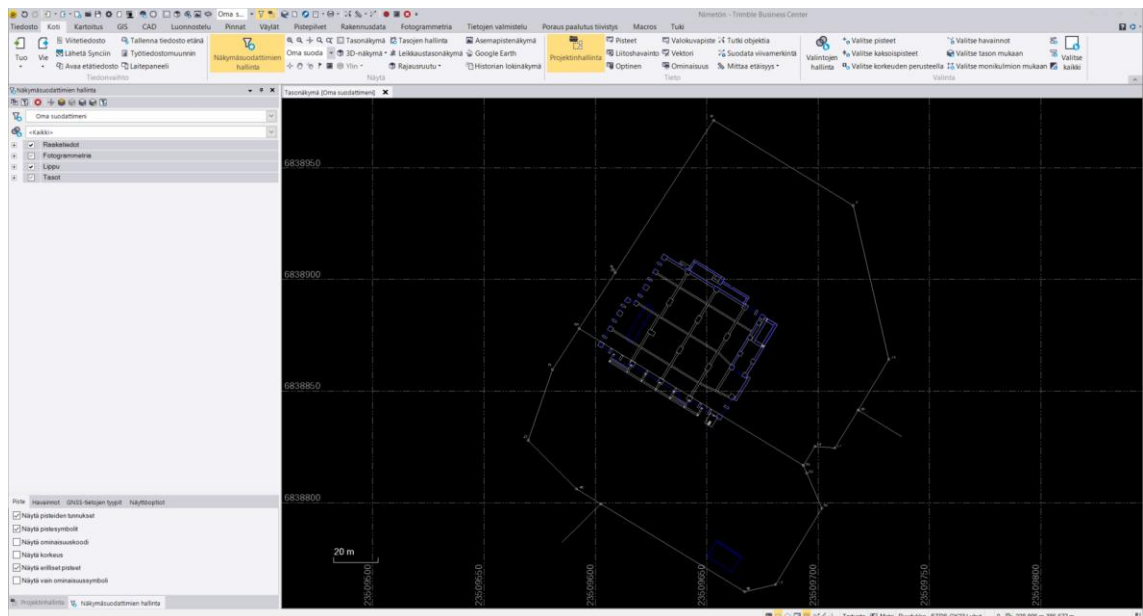
### 3.1.2 Perustusten leikkausmalli

Opinnäytetyön projekti perustetaan tukipaalujen, pilarianturoiden ja nauha-anturoiden avulla. Mallin kannalta oleellisia lähtötietoja oli perustusurakoitsijan tarvitsemat työvarat, kapillaariseppelin paksuus sekä perustussuunnitelma. Työn kulkua käytiin läpi perustusurakoitsijan kanssa ja sovittiin, että matalat pilarianturat valetaan nauha-anturoiden kanssa samassa valussa. Pilarianturoita varten kaivettavien monttujen reunat luiskataan nauha-anturoiden kohdalta.

Perustussuunnitelma ei ollut valmiiksi koordinaatistossa, joten työ jouduttiin aloittamaan asemoimalla perustussuunnitelma pinnantasaussuunnitelman avulla. Asemoimiseen käytettiin Helmert laskentamenetelmää, ja käännoispisteiksi valittiin kaksi rajapyykkiä. Rajapyykit eivät ole paras mahdollinen käännoispisteiden valinta, koska toisinaan niissä voi esiintyä pientä eroavaisuutta. Yleisesti paras

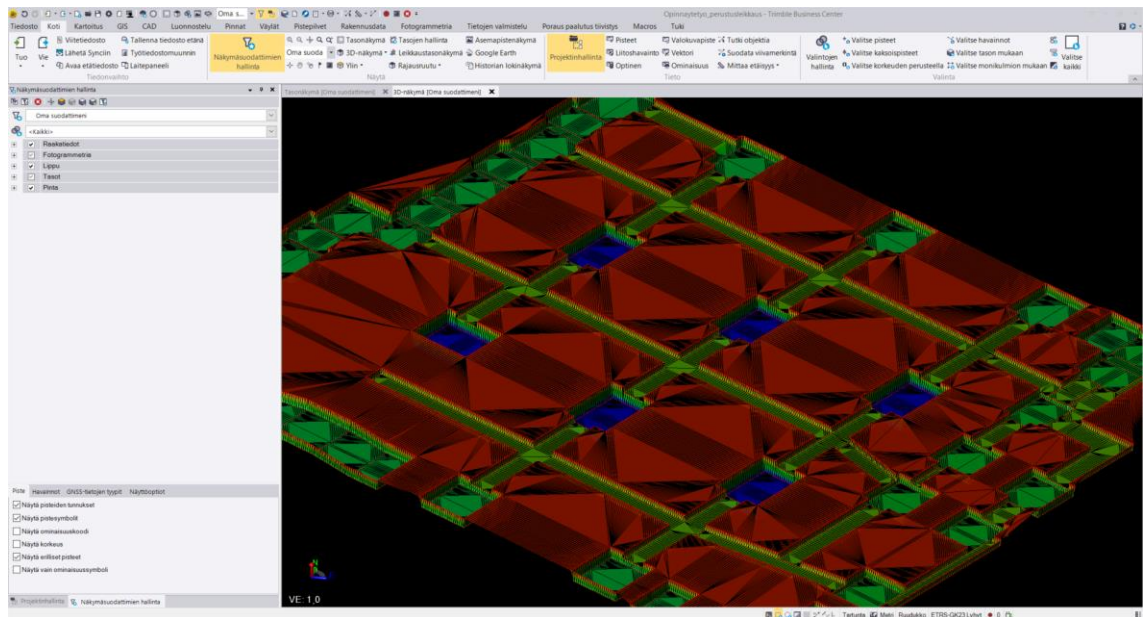
käännöspisteen paikka olisi moduulilinjojen leikkauskohta, mutta koska pinnantasaussuunnitelmassa ei sellaisia ollut, päädyttiin käyttämään rajapyykkeitä. Valmis lähtötilanne on kuvassa 10.

Ennen muunnoksen tekemistä luodaan sekä asemoituun kuvaan että asemoitavaan kuvaan samoihin rajapyykkeihin käännöspisteet. Käännöspisteet kannattaa luoda kokonaan omalle tasolle, joka helpottaa käännöksen tekemistä. Helmert-muunnos tehdään Business Centerillä *Kartoitus* välilehdellä valitsemalla *Muunnamittauspisteitä*. Muunnettavat objektit kohtaan valitaan asemoitava kuva. Otetaan laskentamenetelmäksi Helmert ja valitaan halutut muunnosparametrit. Tässä tapauksessa muunnetaan pohjois- ja itäkoordinaattia, Z-kiertoa ja vaaka- sekä pystymittakaavaa. Muunnoslaskimeen syötetään käännöspisteet tasolta aiemmin luodut käännöspisteparit. Valitaan *käytä*, ja ohjelma laskee muunnoksen. Muunnoksesta kannattaa tallentaa ohjelman luoma muunnamittauspisteitä-raportti. Raportista käy ilmi mahdollinen virhe muunnoksessa, joka on aina tarkistettava. Mikäli muunnoksessa jostain syystä on virhe, ei työtä voida jatkaa ennen kuin se on saatu korjattua. Yleisin virheen aiheuttaja on klikkausvirhe, mutta toisinaan myös suunnittelijoilta saatavissa aineistoissa saattaa olla heittoa. Mikäli mittakaavaa tai muunnosvirhettä ei muutaman yrityksen jälkeen saada oikeaksi, kannattaa ottaa yhteyttä suunnittelijaan ja pyytää esimerkiksi moduulilinjoja kuvaan.



KUVA 10. Perustusten leikkausmallin lähtötilanne

Mallintaminen aloitetaan alhaalta ylöspäin. Pilarianturoiden viivoja siirretään työvarojen vaatiman etäisyyden verran joka suuntaan. Pilarianturoiden reunoista alkaen jatketaan nauha-anturoilla, ja viimeisenä korkeimpana kerroksena on poikkileikkauksista katsottu sepelin korkeus. Näistä saadaan luotua perustusten valmiin pinnan taso, joka voidaan pystysiirtymällä siirtää suoraan 30 cm alemmas, mikä on valmis leikkuupinnan taso. Tämän pystysiirtymän voi tehdä myös kaivinkoneenkuljettaja koneohjausjärjestelmällä. Perustusten valmis pinta on esitettyä kuvassa 11.



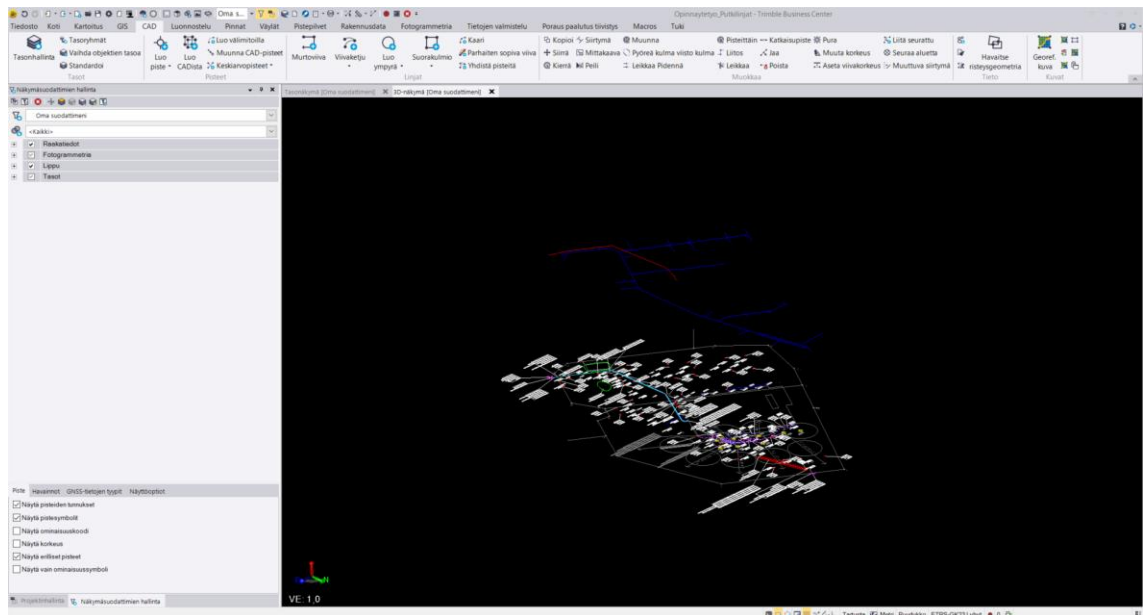
KUVA 11. Perustukset valmis pintamalli

### 3.1.3 Putkijohtojen 3D-linjamallit

Opinnäytetyön kohteeseen tulee 11 000 m<sup>2</sup> asfalttipihaa, joka vaatii paljon hulevesiviemärointiä. Hule- ja jätevesiviemärien mallit kannattaa toteuttaa 3D-linjamalleina. 3D-linjamallissa koneenkuljettaja saa itse valita tehtävän linjan ja määrittää halutun levyisen poikkileikkauksen. Pystysiirtymää käyttämällä voidaan asettaa tarvittavat arinarakenteet. Työ aloitetaan valitsemalla tarvittavat linjat ja halutut taustakartan objektit. Ylimääräiset tasot ja viivat voidaan poistaa, ja tämän jälkeen siirretään malli koordinaatistoon samalla tavalla kuin perustusten leikkausmalli.

Taustakartaksi on hyvä ottaa kaivojen vesijuoksu- ja kansikorot, kaivojen numerot sekä putkien kaadot ja halkaisijat. Kaivojen paikat voisi mallintaa myös merkintäpisteinä, mutta helpoin tapa on vain sisällyttää kaivot taustakarttaan. Taustakartasta pystytään mittaamaan riittävällä tarkkuudella kaivon paikka, ja kaivaminen taustakartan ja jatkettun 3D-linjan avulla on helpompaa, kuin merkintäpisteiden avulla toimiminen.

Tärkein työvaihe on itse putkilinjojen asettaminen oikeaan korkoonsa, ja viivojen yhdistäminen yhdeksi pitkäksi ketjuksi. Mikäli 3D-linja on katkonainen, joutuu koneenkuljettaja vaihtamaan jokaisen katkon kohdalla viivaa ja asettamaan halutun poikkileikkauksen uudelleen. Valmis 3D-linjamalli ja taustakartta ovat kuvassa 12.



KUVA 12. Valmis 3D-linjamalli ja taustakartta

Myös salaojat kannattaa mallintaa 3D-linjoina. Prosessi on täysin sama kuin viemäriinjassakin, mutta vaihdetaan viivastoksi perustussuunnitelmassa olevat salaojat, ja taustakartaksi pitää ottaa vähintään salaojakaivot. Taustakarttaan kannattaa ottaa silti mukaan myös anturoiden tulevat paikat, jotta salaojat eivät vahingossa päädy anturoiden alle.

## 3.2 Muita mallien luomistapoja

Mallien luomiseen on muitakin käteviä, ja nopeita tapoja. Erilaisia pieniä nopeita työtehtäviä varten voidaan malli tuottaa työnjohdon toimesta maastotietokoneella, tai koneenkuljettajan tekemänä koneohjausjärjestelmällä. Tällaisten mallien luomiseen liittyy aina riskejä, sillä mallin tarkasteleminen koneen tai maastotietokoneen näytöllä on huomattavasti hankalampaa, kuin esimerkiksi Business Centerillä.

Kentällä tehdyt mallit ovat hyviä esimerkiksi sisätäyttöä tehtäessä, jolloin malli on pelkkä suora pinta, tai laskuojaa kaivettaessa, kun lähtö- ja loppupiste ovat hyvin selkeästi kaivinkoneella mitattavissa. Kentällä tehtävien mallien käytettävyys riippuu kuitenkin aina koneen kuljettajasta. Osaava kuljettaja pystyy luomaan haastavampiakin malleja, mutta työnjohdon olisi kuitenkin aina syytä varmistaa mallien oikeellisuus.

### 3.2.1 Trimble fileflipper

Trimblen fileflipper ei ole varsinaisesti mallien luomistyökalu, vaan se on tarkoitettu mallien kääntämiseen. Fileflipperin avulla voidaan esimerkiksi Earthworks järjestelmään tehty malli helposti kääntää toimimaan GCS900 järjestelmässä. Fileflipperillä voidaan myös luoda uusia malleja koordinaatistossa olevista suunnitelmista. Esimerkiksi suunnittelijalta saatava LandXML-pinta ja dxf-viivatiedosto voidaan kääntää koneohjauksessa toimivaksi pinnaksi ja taustakartaksi.

Fileflipperillä ei pystytä kuitenkaan huomioimaan mahdollisia työvaroja tai muutenkaan muokkaamaan kuvaa, vaan pinta ja tausta menevät koneeseen suoraan. Tämän takia fileflipper ei yksinään riitä työmaan mallien luomiseen, mutta on tarpeellinen työkalu luotaessa malleja muilla kuin Trimblen sovelluksilla, ja käytettäessä vanhempaa GCS900 järjestelmää.

### 3.2.2 Earthworks järjestelmällä

Koneenkuljettaja voi myös itse luoda työmaan sisällä omia apumalleja. Earthworks järjestelmä pitää sisällään monipuolisia tapoja luoda kentällä tehtäviä malleja. Kentällä tehtäviä malleja varten Earthworks tarvitsee kuitenkin työmaakan-sion, johon kentällä tehtävät mallit luodaan.

Yksinkertaisin kentällä luotava malli on pelkkä taso, jonka taustakartaksi voidaan ottaa jokin saman työmaan muista malleista. Monimutkaisempia malleja varten tarvitaan pisteitä. Pisteet voivat olla tunnettuja ja niiden koordinaatit voidaan syöt-tää koneeseen, tai halutut pisteet voidaan osoittaa koneen kauhalla. Pisteiden välille koneenkuljettaja voi piirtää halutun poikkileikkauksen, josta järjestelmä luo koneohjausmallin.



## 4 TIEDONSIIRTO

Tiedonsiirtoon koneen ja toimiston välillä on tarjolla useita vaihtoehtoja. Helpoin ja tehokkain tapa on Trimblen oma pilvipohjainen palvelu. Trimblen vanha myconnectedsite.com-pilvipalvelu on poistumassa käytöstä, ja tulevaisuudessa käytössä tulee olemaan Trimblen WorksManager. Tiedonsiirtoon on tarjolla myös ilmaisia ratkaisuja, joita ovat esimerkiksi USB-tikulla siirtäminen tai tiedostojen lähettäminen sähköpostin avulla laitteeseen.

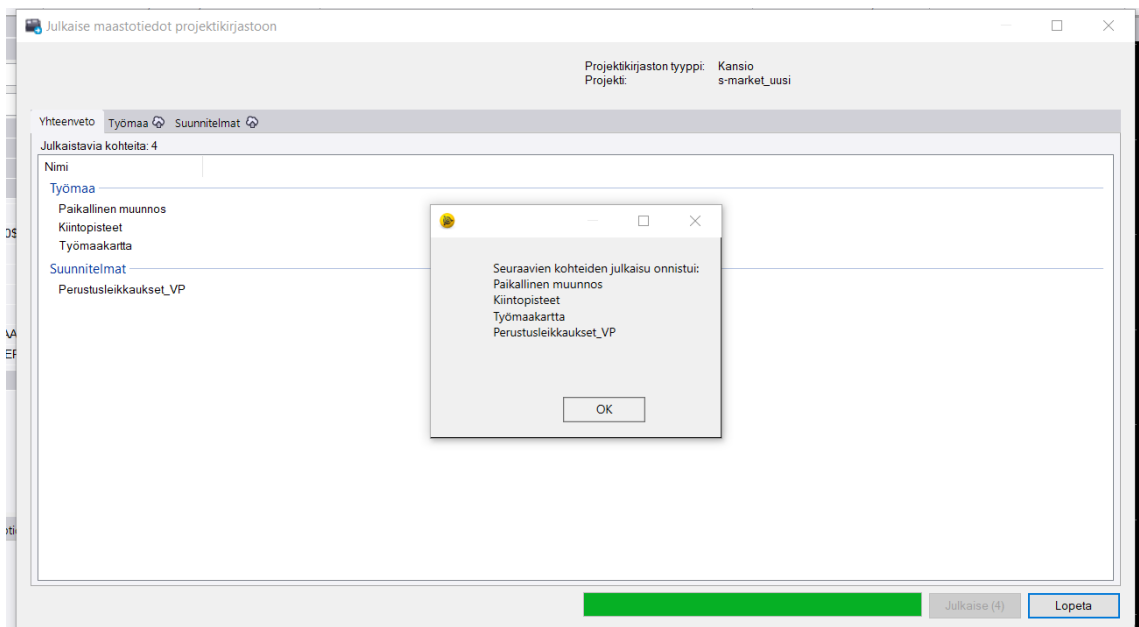
Suunnitelmia voidaan viedä Trimblen järjestelmiin vcl-, dsz- tai xml-tiedostona. Xml-tiedosto sisältää pelkän pinnan, ja sen taustakartaksi voidaan sijoittaa esimerkiksi dxf- tai dwg-taustakartaksi. Dsz-tiedostoon voidaan sisällyttää pinta tai 3D-linja ja haluttu taustakartta. Vcl-tiedosto voi sisältää useita pintoja, 3D-linjoja ja taustakartan. Opinnäytetyön tapauksessa viedään tiedostot dsz-muodossa, ja tehdään jokaiselle pinnalle oma dsz-suunnitelma.

Dsz-tiedosto tehdään Business Centerillä käyttämällä *rakennusdata*-välilehden *julkaise kirjastoon* toimintoa. Aluksi pitää *projektiasetuksissa* asettaa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät oikeiksi. Opinnäytetyön tapauksessa valitaan ETRS-GK23 lyhyt koordinaattijärjestelmä ja fin2005N00 korkeusjärjestelmä. Trimblen GCS-900 järjestelmän vanhemmat versiot vaativat koordinaattijärjestelmän, joka on lyhyessä muodossa.

Projektin julkaiseminen aloitetaan luomalla *rakennusdata* välilehdellä työmaa. Klikkaamalla *työmaa* kohtaa aukeaa työmaan hallintaohjelma, jossa ensiksi nimetään työmaa. Työmaan nimeämisen jälkeen klikataan *projekti kirjasto* kohdasta *valitse* ja valitaan vetovalikosta *kansio*. *Työmaan kalibrointi* kohtaan ei tarvita mitään, vaan ohjelma luo automaattisesti koordinaatti- ja korkeusjärjestelmän perusteella työmaan kalibrointitiedoston. *Kiintopisteet* kohdassa voidaan työmaalle lisätä merkintäpisteinä esimerkiksi kaivojen tai valaisintolppien keskipisteitä. Tässä tapauksessa ei kiintopisteitä valita. *Taustakartta* kohtaan voidaan lisätä koko projektin ajan näkyvissä oleva taustakartta, mutta koska esimerkiksi perustusleikkaus malliin ei haluta näkyviin pinnantasaussuunnitelman taustakarttaa, jätetään tämäkin kohta tyhjäksi. Kieltoalueita eikä myöskään ominaisuuskoodia tässä tapauksessa lisätä ja voidaan klikata *sulje*.

Seuraavaksi luodaan varsinainen koneohjauksessa näkyvä suunnitelma. Suunnitelman luominen aloitetaan *rakennusdata* välilehdellä klikkaamalla *luo suunnitelma*. Suunnitelman nimeämisen jälkeen aukeaa *työmaan suunnitelman hallinta* välilehti. *Malli* kohdassa valitaan mallin tyyppi, joka voi olla pinta, linjaus, tien pinta, 3D-viivasto tai rakennekerros. Opinnäytetyön tapauksessa käytetään pintaa ja 3D-viivastoa. Lisätään haluttu pinta tai 3D-linja, ja painetaan *ok*. *Suunnitelmakartta* kohtaan lisätään haluttu taustakartta, joka voi olla esimerkiksi anturalinjat. Suunnitelmakartta näkyy vain tietyn mallin sisällä, esimerkiksi perustusleikkaukset mallin ollessa auki näkyvät vain anturoiden reunat taustalla. Tämän jälkeen voidaan sulkea työmaan suunnitelman hallintaohjelma.

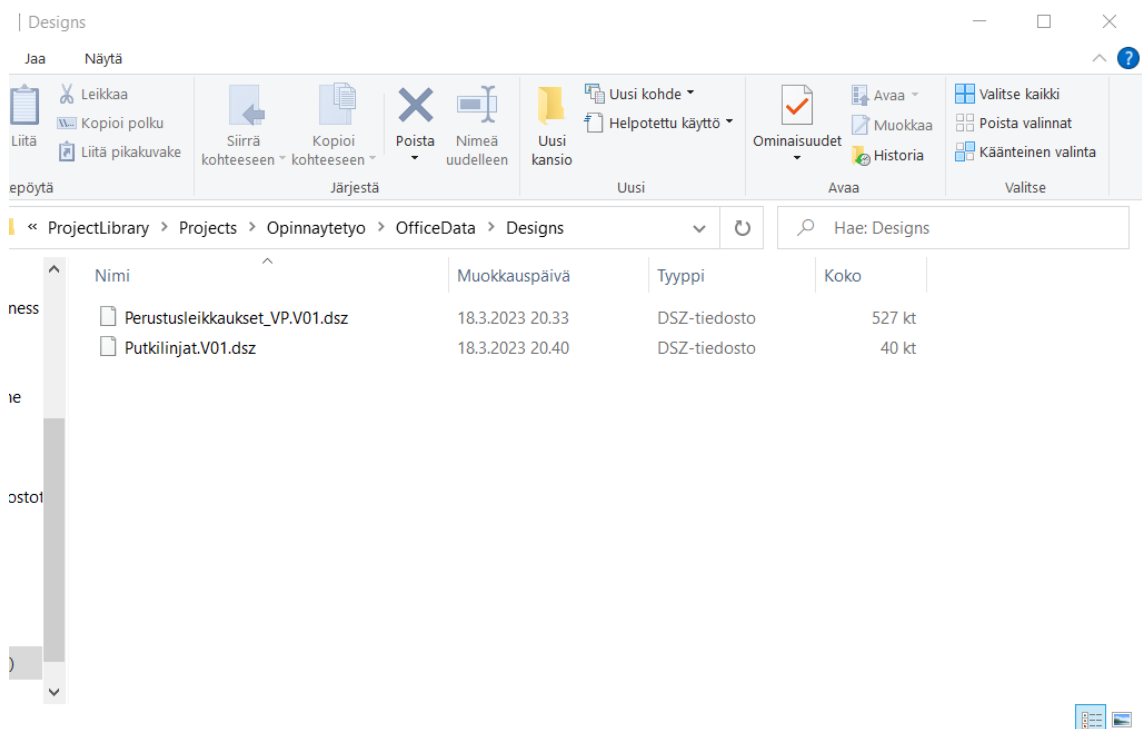
Työmaan ja suunnitelman luomisen jälkeen projekti on valmis julkaistavaksi. Klikataan *rakennusdata* välilehdellä *julkaise kirjastoon* kohtaa, jolloin *julkaise maastotiedot projektikirjastoon* välilehti aukeaa. Yhteenveto kohdasta voidaan tarkistaa, että kaikki tarpeellinen on näkyvissä. Kuvassa 13 näkyvät tarvittavat tiedot, joita ovat *työmaa* kohdassa paikallinen muunnos, ja *suunnitelmat* kohdassa julkaistava suunnitelma.



KUVA 13. Onnistunut projektin julkaiseminen

Ohjelmisto luo automaattisesti tarvittavat kansiot ja tiedostot, joita Earthworks osaa lukea. Tämän jälkeen voidaan avata esimerkiksi putkilinja-projekti ja toistaa

sama, mutta uuden kansion sijaan valitaan edellisessä vaiheessa luotu kansio. Olemassa olevaan kansioon julkaistaan tällä kertaa 3D-linjat, ja jätetään työmaatiedot julkaisematta, sillä ne ovat jo edellisessä vaiheessa julkaistu kansioon. Oikea tiedostopolku on kuvassa 14.



KUVA 14. Suunnitelmat julkaistuna projektikirjastoon

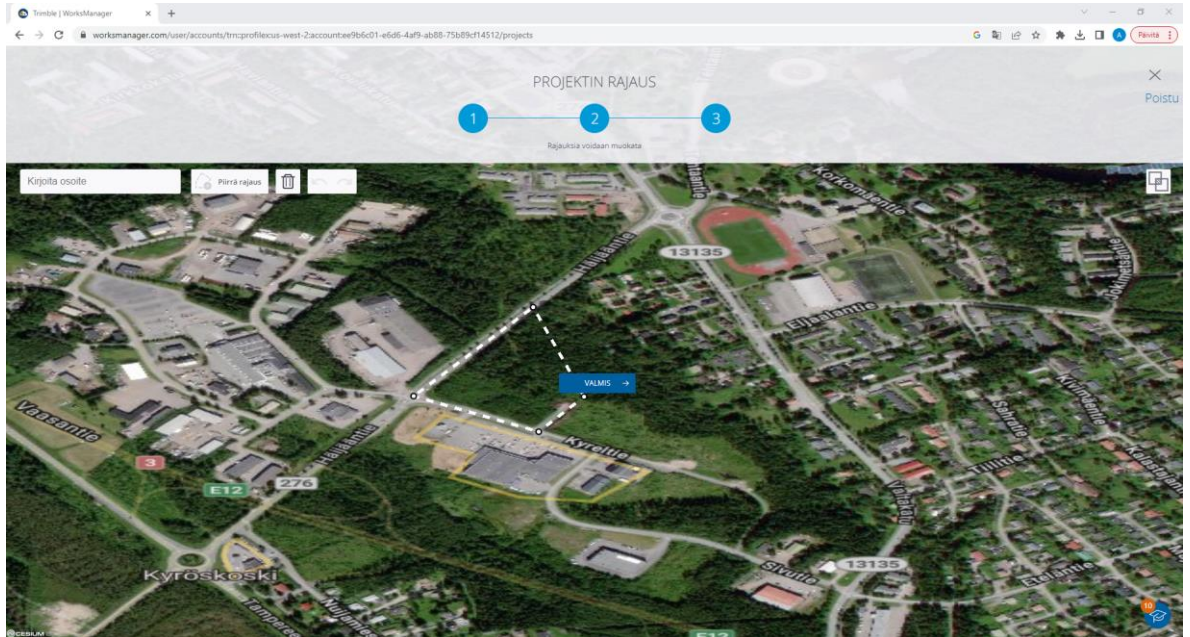
Dsz-tiedostojen lisäksi OfficeData kansioon ilmestyy paikallisen muunnoksen cal-tiedosto. Mikäli työmaalle olisi valittu kiintopisteitä, tai koko työmaalla näkyvä taustakartta, näkyisivät ne myös OfficeData kansiossa. Luotu kansiorakenne ja tiedostot toimivat Trimblen Earthworks järjestelmässä, mutta GCS900 järjestelmää varten täytyy kääntää dsz-tiedostot fileflipperillä GCS900 järjestelmään sopiviksi.

#### 4.1 WorksManager

WorksManagerin kirjautumisen jälkeen luodaan projekti *projektit* välilehdellä. Projektin nimeämisen jälkeen aukeavalle välilehdelle sijoitetaan *kalibrointi* kohtaan aiemmin luotu cal-tiedosto, tai valitaan haluttu koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä listalta. Muihin kohtiin ei opinnäytetyön tapauksessa laiteta mitään. *Taus-*

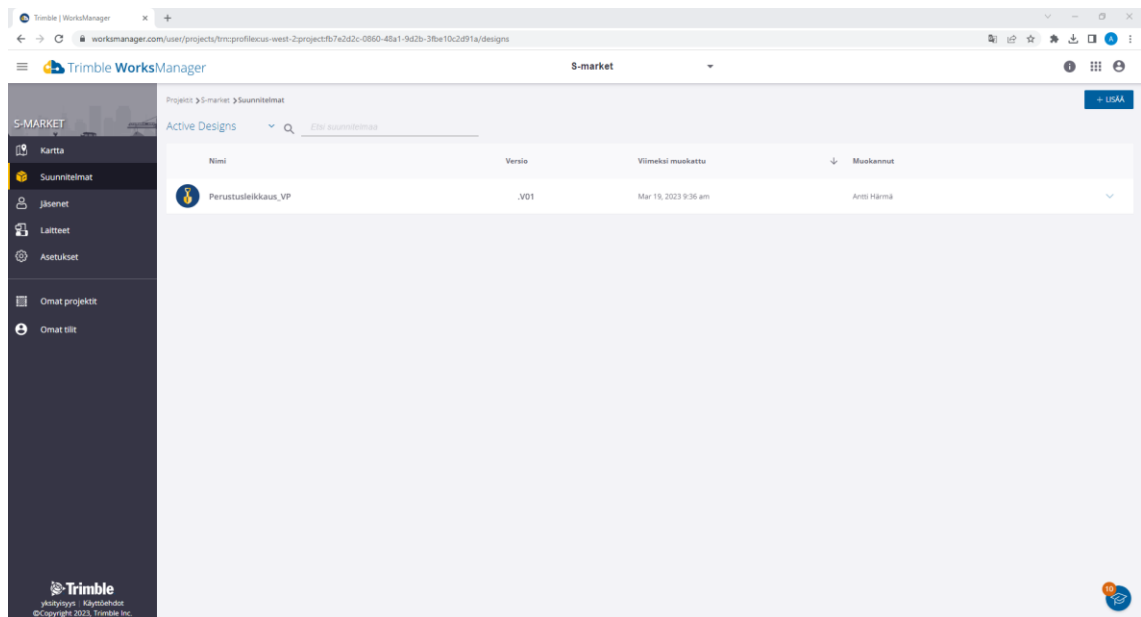
*takartta* kohta jätetään myös tyhjäksi, sillä asetustiedostoihin lisättävä taustakartta näkyy taustalla koko projektin ajan, ja haluttu taustakartta sisältyy jo dsz-tiedostoon.

Asetustiedostojen jälkeen tehdään projektialueen rajausta, joka piirretään kartalle kuvassa 15 näkyvällä tavalla. Rajaamisen jälkeen työmaa ilmestyy *projektit* listaan ja on valmis suunnitelmien lisäämistä varten. Opinnäytetyössä jokainen pinta viedään erikseen dsz-tiedostona.



KUVA 15. Työmaa-alueen rajausta

Aiemmin luodut dsz-tiedostot löytyvät tietokoneen Windows-C kansioista *project libraryn* alta. Valitaan *suunnitelmat* välilehdeltä *lisää* ja nimetään suunnitelma esimerkiksi *Perustusleikkaus\_VP*. Valitaan *pinta* ja etsitään haluttu dsz-tiedosto tietokoneelta. Listalta poimitaan halutut koneohjausjärjestelmät ja valitaan *julkaise*. Kuvassa 16 on tilanne julkaisun jälkeen.



KUVA 16. Valmis suunnitelma WorksManagerissa

Kun kone ajaa aiemmin rajatun työmaa-alueen sisään, päivittyvät pilvessä olevat suunnitelmat automaattisesti koneohjausjärjestelmään.

#### 4.1.1 Tiedonsiirto kaivinkoneesta

WorksManagerin avulla tiedonsiirto koneesta toimiston suuntaan helpottuu myös huomattavasti. Kun kone työskentelee aiemmin rajatun projektialueen sisällä, päivittyvät koneen ottamat toteumapisteet automaattisesti WorksManageriin. WorksManagerista voidaan ladata toteumapisteet *laitteet* välilehdeltä konekohtaisesti. Valitsemalla haluttu kone ja klikkaamalla *kenttätiedot* kohtaa saadaan ladattua pnt-tiedosto, jossa toteumapisteet ovat. Tätä tiedostoa voidaan tarkastella esimerkiksi Business Centerillä.

WorksManagerin avulla pilvestä on ladattavissa myös koneohjausjärjestelmällä tehdyt mallit. Tämä ominaisuus helpottaa huomattavasti toimiston työskentelyä, kun kuljettajan tekemä kenttämalli voidaan tarkistaa toimistolla käyttäen esimerkiksi Business Centeriä. Mikäli kuljettajan tekemässä mallissa on jotain korjattavaa, voidaan se hoitaa WorksManagerin välityksellä todella helposti.

## 4.2 Mallien siirto USB-tikulla

Malleja voidaan koneisiin viedä myös perinteisesti USB-tikulla. Tämä on tarpeellista, jos koneen omistaja ei ole hankkinut lisenssiä Trimblen pilvipalveluun. GCS900 järjestelmän uusin käyttöjärjestelmä tukee WorksManageria, mutta vanhempiin koneisiin joudutaan [myconnectedsite.com](http://myconnectedsite.com):in poistuessa mallit viemään tikulla.

USB-tikulla mallia siirrettäessä tulee tiedoston kansiojärjestyksen olla oikea. Earthworks järjestelmään siirrettäessä voidaan kopioida aiemmin Business Centerillä tehty kansiorakenne valitsemalla *ProjectLibrary* kansio ja kopioimalla se tikulle. Laittamalla USB-tikku kiinni Earthworksin näyttöön ja valitsemalla tiedonsiirto > tuo tiedostot koneelle > kohteesta > USB ja valitsemalla asetettu muistitikku, Earthworks synkronoi tiedostot muistitikun kanssa.

GCS900 järjestelmän koneohjausmalli koostuu svd-tiedoston pintamallista ja svl-tiedoston viivoista. Nämä tiedostot saadaan kääntämällä Earthworksin malli fileflipperillä. Fileflipper osaa myös automaattisesti luoda GCS900 järjestelmälle toimivan kansiorakenteen, jonka edellä tulee olla kansiot *Machine Control Data\All* ja viimeisenä fileflipperin tekemä projektikansio. GCS900 järjestelmässä jokainen malli on oma kansionsa, ja koneenkuljettaja näkee mallia valittaessa vain kansion nimen, joten kansion nimeäminen selkeästi on tärkeää.

## 5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä rakennustyömaalla tarvittaviin koneohjausmalleihin, ja koneohjausjärjestelmiin yleisesti. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös selvittää koneohjausmallien tekemisen prosessia, ja yksinkertaistamalla sitä madaltaa kynnystä niiden tekemiseen itse. Mallien käsittelyä tutkittiin aina suunnittelijalta saatavista aineistoista koneenohjausnäytölle asti. Työtä tehtiin tutustumalla aiheen ohjeisiin, artikkeleihin, ja oman kokemuksen perusteella.

Työn tuloksena laadittu runko työmaan mallien rakentamisesta voidaan katsoa olevan hyvin yleistettävissä. Välillä esimerkiksi työvaroissa voi olla vaihtelua urakoitsijakohtaisesti, ja suunnittelijoilta saatavat aineistot saattavat vaihdella. Malleissa tarvittavat tiedot kuitenkin pysyvät lähes aina samoina, ja tiedonsiirto suoritetaan aina samalla tavalla. Koneohjausjärjestelmiä esittelevä osuus on nopeasti vanhentuva, sillä kehitys alalla on todella nopeaa.

Lopputuloksena ohjeen lisäksi saatiin työmaalla täysin toimivia malleja, joita tullaan käyttämään työn toteutuksessa. Työn tarkoitus avata mallintamisen vaiheita onnistui hyvin, ja ainakin asiakasyrityksessä se madaltaa kynnystä omien mallien tekemiseen jatkossakin. Työssä kiinnitettiin huomiota mallintamisen mahdollisiin riskeihin, jotka huomioimalla mallintaminen on melko helppoa ja turvallista. Opinnäytetyössä haastavin osuus oli perehtyä WorksManageriin, sillä se on vielä melko uusi sovellus, eikä sitä ollut asiakasyrityksessä ennen käytetty. Työn tekemisen jälkeen tullaan kaikki tiedonsiirto tekemään WorksManageria käyttämällä.

## LÄHTEET

Brown A. A history of machine control. Construction Technology. 24.1.2023. Viitattu 10.3.2023.

<https://www.constructiontechnology.media/news/a-history-of-machine-control-part-one/8026080.article>

Geotrim. n.d. VRS 20V Suomessa. Verkkosivu. Viitattu 10.3.2023. <https://geotrim.fi/vrs20v-vuosi/>

Maanmittauslaitos. n.d. Satelliittipaikannus. Verkkosivu. viitattu 9.3.2023. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietao/satelliittipaikannus>

Machado, T., Ahonen, A. & Ghabcheloo, R. 2021. 'TOWARDS A STANDARD TAXONOMY FOR LEVELS OF AUTOMATION IN HEAVYDUTY MOBILE MACHINERY', in Proceedings of ASME/BATH 2021 Symposium on Fluid Power and Motion Control, FPMC 2021. [Online]. 2021 p. Viitattu 11.3.2023 [https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN\\_TAMPO/1j3mh4m/alma9911292454805973](https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911292454805973)

Malo S. n.d. Avoin koneohjauskoulutus. Julkaisematon. Novatron avoin koneohjauskoulutus. <https://novatron.fi/koulutukset/avoin-koneohjauskoulutus/>

Sitech n.d. Koneohjausjärjestelmä kaivinkoneille Verkkosivu Viitattu 10.3.2023 <https://www.sitech.fi/fi/solutions/koneohjausjaerjestelmaet-2/koneohjausjaerjestelmae-kaivinkoneille>

Sitech Austria 2013. Trimble Grade Control Systems. Pdf-Dokumentti. Viitattu 10.3.2023. [https://www.sitech-austria.at/fileadmin/sitech-content/Downloads/Downloads\\_AT/Datenblaetter/GCS900-Excavators-Machine-System-Spec-Sheets-EN.pdf](https://www.sitech-austria.at/fileadmin/sitech-content/Downloads/Downloads_AT/Datenblaetter/GCS900-Excavators-Machine-System-Spec-Sheets-EN.pdf)

Telin Toni 2021. Koneohjausjärjestelmät maanrakennuksessa. Tampereen yliopisto kandidaatintutkielma. Viitattu 20.3.2021. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/131866/TelinToni.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Trimble Inc. 10.7.2007. TRIMBLE GCS900 GRADE CONTROL SYSTEM VERSION SHIFTS EARTHWORKS OPERATIONS INTO A HIGHER GEAR. Verkkosivu. Viitattu 10.3.2023. [HTTPS://INVESTOR.TRIMBLE.COM/NEWS-RELEASES/NEWS-RELEASE-DETAILS/TRIMBLE-GCS900-GRADE-CONTROL-SYSTEM-VERSION-SHIFTS-EARTHWORKS.](https://investor.trimble.com/news-releases/news-release-details/trimble-gcs900-grade-control-system-version-shifts-earthworks)

Trimble Inc. 2018. A History of Outstanding Innovations. YouTube-video Julkaistu 19.11.2018 Viitattu 8.3.2023. <https://www.trimble.com/en/our-company/about/company-timeline>

Trimble Inc 2020. Koneohjausjärjestelmä kaivinkoneille. Pdf-Dokumentti. Viitattu 10.3.2023. [https://www.sitech.fi/fileadmin/user\\_upload/sitech-fi/Earthworks\\_Esite.pdf](https://www.sitech.fi/fileadmin/user_upload/sitech-fi/Earthworks_Esite.pdf)



Oulun yliopisto. 15.6.2022. Maansiirtokoneista kehitetään itsenäistä työkoneparvea. Verkkosivu. Viitattu 11.3.2023. <https://www.oulu.fi/fi/uutiset/maansiirtokoneista-kehitetaan-itsenaista-tyokoneparvea>

Rudus 24.9.2010 Liimattava Betonireunakivi. Pdf-Dokumentti. Viitattu 13.3.2023. <https://www.rudus.fi/ohjeet/pihakivet-ja-maisematuotteet/kiviasentajan-kasikirja/kiviasentajan-kasikirja-reunakivet-ja-kiveyksen-reunukset>