

Lauri Rantala

Maaperämallin käyttö maa-ainesalueiden suunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinööriytyö

30.11.2016

Tekijä Otsikko	Lauri Rantala Maaperämallin käyttö maa-ainesalueiden suunnittelussa
Sivumäärä Aika	58 sivua 30.11.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	maa-ainespäällikkö Kari Lappalainen ympäristöpäällikkö Maarit Salonoja lehtori Jussi Laari
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli esittää maa-ainesalueelta hankitun maaperätiedon maaperämallinnus esimerkkitapauksen kautta sekä pohtia, miten mallinnuksella tuotettuja aineistoja voitaisiin hyödyntää maa-ainestoiminnassa. Työ tehtiin Destia Oy:n kiviainesyksikön hyödynnettäväksi.</p> <p>Opinnäytetyössä selvitetään, miten maa-ainesalueilta hankittua maaperätietoa hyödynnetään maa-ainestoiminnassa sekä esitellään maa-ainesalueiden tutkintaan yleisimmin käytettävät maaperätutkimusmenetelmät. Työssä selvitetään myös, mitä tulee ottaa huomioon suunniteltaessa maaperätutkimusta sekä tutkimusmenetelmän valintaan vaikuttavia asioita. Koska tietomallien käyttö infrarakentamisessa on yleistymässä, selvitettiin työssä myös maaperämallin tärkeimpiä vaatimuksia tietomallinnuksen kannalta.</p> <p>Opinnäytetyössä esitellään esimerkkikohteelta tehty mallinnusprosessi käyttäen maanmittaus- ja paikkatietosovelluksia. Mallinnettavan kohteena oli Hollolassa sijaitseva Destia Oy:n sora-alue, josta oli maaperätietona käytettävissä maatutka-, kairaus- ja koekuoppa-aineistoa. Mallinnuksella tuotettiin sora-alueen maaperän rakennetta kuvaava blokkimalli sekä 3D-virtuaalimalli.</p> <p>Maaperämallien avulla pystytään havainnollisesti kuvaamaan maa-ainesalueen maaperän rakennetta, materiaaleja sekä korkeussuhteita. Mallinnuksella tuotettuja aineistoja voitaisiin hyödyntää maa-aineslupaprosessissa maaperätiedon esittämiseen sekä maa-ainesalueiden tuotannon ohjauksessa esimerkiksi materiaalien paikantamiseen. Tässä työssä tehtyä mallinnusta voidaan hyödyntää esimerkkitapana maaperätiedon mallintamiseen maa-ainesalueilta.</p>	
Avainsanat	maaperämalli, maaperätutkimus, maa-ainesalue

Author Title Number of Pages Date	Lauri Rantala Using a geotechnical model in the planning of aggregate extraction sites 58 pages 30 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Kari Lappalainen, Geologist Maarit Salonoja, Environmental Manager Jussi Laari, Senior Lecturer
<p>The goal of this final year project was to show an example on how to model soil and rock data into geotechnical models, a rarely used method, and consider ways to use the end products in the aggregate extraction industry.</p> <p>This project studied the use of geotechnical data in aggregate extraction, what geotechnical investigation methods are used to gather the data and what to consider when planning a geotechnical investigation. The project also aimed to show some key requirements of geotechnical modelling from the view of information modelling, a major method of data management in the infrastructure construction industry.</p> <p>The modelling process was done with land surveying software and GIS on data from a gravel pit. The data included ground-penetrating radar produced profiles and point data, borehole information and trial pit records. Two model presentations were produced of the site; a block model depicting the geological structure and a virtual 3D model.</p> <p>The models provide excellent visual information on the soil layers and on the bedrock depth of the site. Models like these could be used in the planning and management of aggregate extraction sites, as well as in the permit process for aggregate extraction.</p>	
Keywords	geotechnical model, geotechnical investigation, aggregate extraction site

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Maaperätutkimukset maa-ainesalueilla	1
2.1	Yleistä	1
2.2	Maaperätiedon merkitys maa-ainesalueiden suunnittelussa	2
2.3	Maaperätiedon merkitys maa-aineslupaprosessin kannalta	2
2.4	Maaperätiedon esittäminen ottamissuunnitelmissa	3
3	Maaperätutkimusmenetelmät	5
3.1	Karttatulkinta ja maastokatselmus	6
3.2	Koekuoppa	6
3.3	Porakonekairaus	7
3.4	Maatutkaluotaus	8
3.5	Sähköinen luotaus	9
3.6	Seisminen luotaus	9
3.7	Painovoimamittaus (gravimetrinen)	10
4	Maaperätutkimuksen suunnittelu ja tutkimusmenetelmän valinta	10
4.1	Tutkimusohjelma	10
4.2	Tutkimusmenetelmän valinta	11
4.2.1	Tutkimusmenetelmän tarkkuustaso	12
4.2.2	Referenssitiedon määrä	13
5	Maaperämalli osana tietomallipohjaista mallinnusta	14
5.1	Maaperämalli	14
5.2	Yleiset inframallivaatimukset YIV2015	14
5.3	Lähtöaineiston laadunvarmistus	15
5.4	Mittayksiköt ja koordinaatit	15
5.5	Maaperämallin vaatimukset	16
6	Case: Hollolan Orinmäen sora-alueen maaperämallinnus	17
6.1	Mallinnusprosessin vaiheet	17
6.2	Orinmäen sora-alueen sijainti- ja ottosuunnitelmatiedot	19
6.3	Maaperätutkimuksen taustatiedot	21

6.4	Mallinnuksen lähtöaineistot	22
6.5	Maaperäaineiston tarkistaminen	25
6.6	Mittausaineiston käsittely 3D-Winillä	26
6.6.1	Tekstimuotoinen data vektoritiedostoiksi	27
6.6.2	Rajapinta-aineiston tuonti N2000- korkeusjärjestelmään	29
6.6.3	Rajapintojen erittely	31
6.6.4	Pintamallien luonti	32
6.6.5	Kallionpinnan virheellinen tulkinta	35
6.7	Mallinnus ArcGIS 3D Analyystillä	37
6.7.1	Tietokantojen koordinaatit	38
6.7.2	TIN- ja blokkimallit	38
6.7.3	Yhdistelmämalli	44
6.7.4	Tietokantojen tallentaminen ja 3D-näkymien tulostaminen	45
6.8	Virtuaalimalli	46
6.8.1	VRML-muunnos	46
6.8.2	3D PDF -muunnos	48
6.8.3	3D PDF maaperämallin katselualustana	50
7	Yhteenveto	53
	Lähteet	57

Lyhenteet

CAD	Computer-Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
DXF	Drawing Interchange Format. Autodeskin kehittämä CAD-tiedostomuoto.
ETRS-GKn	Seudullisella tasolla mittauksissa ja kartastotöissä käytettävä tasokoordinaatisto.
ETRS-TM35FIN	Valtakunnallisella tasolla mittauksissa ja kartastotöissä käytettävä tasokoordinaatisto.
m3ktr	Teoreettinen kiintotilavuus. Luonnontilaisessa tiiviudessa oleva maan tilavuus mitattuna teoreettisin mitoin.
N2000	Suomen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä.
N60	Suomen vanha valtakunnallinen korkeusjärjestelmä. N60-korkeusjärjestelmää käytetään yhä osassa Suomen kunnista.
PDF	Portable Document Format. Adoben kehittämä siirrettävä tiedostomuoto.
SXD	ArcScenessä tallennettu Scene-dokumentti.
TIN	Triangulated Irregular Network. Vektorimuotoinen kolmioitujen pintamallien tallennusformaatti.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle. Miehittämätön ilma-alus, jota voidaan käyttää esimerkiksi kartoitusmittauksissa.
UTM	Universal Transverse Mercator. Globaalisti käytössä oleva tasokoordinaatisto ja poikittain leikkaava lieriöprojektio.

YIV2015	Yleiset inframallivaatimukset 2015. Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunnan buildingSMART Finland (bSF) julkaisemat ohjeistukset inframallintamiseen.
VRML	Virtual Reality Modeling Language. Kolmiulotteisen datan esittämiseen kehitetty tekstimuotoinen formaatti.
WGS84	World Geodetic System 1984. GPS-satelliittipaikannusjärjestelmän käyttämä koordinaattijärjestelmä.

1 Johdanto

Maaperätietojen kolmiulotteinen mallintaminen on melko vähäisessä käytössä maa-ainesalalla. Useimmiten maa-ainesalueilta hankittu maaperätieto koostuu havaintopistekohtaisista maaperän ominaisuustiedoista ja profiilitulkintakuvista, joita yleensä hyödynnetään vain sellaisinaan. Varsinaista maaperämallia tutkimuksien tuloksista ei siis yleensä tehdä [1.]. Kolmiulotteinen maaperämalli voisi parhaimmillaan olla yksityiskohmainen ja havainnollinen esitys alueen maaperäoloista, jota voitaisiin hyödyntää alueen käytön suunnittelussa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on esittää esimerkitapauksen avulla tapa maaperätietojen mallintamiseen maa-ainesalueelta. Opinnäytetyö on tehty Destia Oy:n kiviainesyksikölle. Työn teoriaosuudessa käydään läpi maaperätiedon merkitys maa-ainestoiminnassa, Destia Oy:n yleisesti hyödyntämät maaperän tutkimusmenetelmät sekä maaperätutkimuksen suunnitteluun ja tutkimusmenetelmän valintaan vaikuttavia asioita. Työssä selvitetään myös maaperämallin vaatimuksia tietomallintamisen kannalta, tarkoituksena tuoda esille mallintamisessa huomioitavia seikkoja muun muassa mallin tarkkuudesta ja laadunvarmistuksesta.

Työssä käydään läpi maaperätietojen mallintaminen testikohteena olevalta maa-ainesalueelta eri tietokonesovelluksia käyttäen sekä esitellään mallinnusprosessin aikana tuotettuja maaperämallin esittämistapoja. Opinnäytetyön yhteenvedossa pohditaan mallinnusprosessin toimivuutta sekä sitä, miten mallinnuksella tuotettuja aineistoja voitaisiin maa-ainestoiminnassa hyödyntää.

2 Maaperätutkimukset maa-ainesalueilla

2.1 Yleistä

Maaperätutkimuksia tehdään maa-ainesalueilla yleensä alueen hankinta- tai laajentamisvaiheessa, kun halutaan selvittää, kuinka hyvin uusi alue soveltuu ottotoimintaan, kuinka paljon hyödynnettävää maa-ainesta alueelta on saatavissa ja minkä laatuista se on. Oleellista on, että maaperätutkimuksen perusteella saadaan suunnittelun kannalta riittävä tieto maaperästä, jolloin oikean tutkimusmenetelmän valinta korostuu. Tekemäl-

lä perusteelliset maaperätutkimukset voidaan pienentää riskiä, että maanpinnan alta paljastuu jotain muuta kuin oletettiin. Maaperätutkimuksen tarve määräytyy käytännössä hankkeen suuruuden ja vaativuuden mukaan. Mitä suurempi ja merkityksellinen investointi maa-ainesalue on, sitä tärkeämpää on riittävien maaperätietojen hankinta. [1.]

2.2 Maaperätiedon merkitys maa-ainesalueiden suunnittelussa

Maaperätutkimuksella hankittua tietoa voidaan hyödyntää maa-ainesalueeseen kohdistuvassa suunnittelussa kuten ottotoiminnan- ja tuotannonohjauksessa. Maaperätutkimuksilla saadaan hankittua tietoa muun muassa materiaalien määrästä ja laadusta sekä pohjavesipintojen tasosta. [1.] Maaperätiedon merkitys maa-ainesalueen suunnittelussa ja käytössä voi konkretisoitua esimerkiksi maalajirajapinnan tai kallionpinnan sijaintitiedon esittämisellä kuvin ja kartoin, joiden avulla ottotoimintaa voidaan suunnitella ja ohjata. Tieto siitä, mitä maanpinnan alta otton edetessä paljastuu, voidaan maaperätutkimuksella hankitulla tiedolla selvittää etukäteen. Näin saadaan tehostettua sekä suunnitteluprosessia että ottotoimintaa.

2.3 Maaperätiedon merkitys maa-aineslupaprosessin kannalta

Maa-ainesalueiden käyttöön liittyy aina, kun ottotoiminta on kotitarvekäyttöä suurempaa, maa-aineslupan hankinta sekä yleisesti myös ympäristöluvan hankinta. Ympäristölupa vaaditaan, jos maa-ainesalueella murskataan tai louhitaan kiviainesta sen elinkaaren aikana vähintään 50 päivää sekä jos ottotoiminta kohdistuu vedenhankinta-alueelle ja ottotoiminnasta voi aiheutua haittaa pohjaveden laadulle. Maa-aineslain 4 § a:n mukaan maa-aines- ja ympäristölupaa voidaan hakea lupaviranomaiselta yhden hakemuksen kautta yhteiskäsittelyssä. Maa-aineslupahakemukseen on liitettävä selvitys ainesten ottamisesta, ympäristön hoitamisesta sekä alueen myöhemmästä käytämisestä. Tätä selvitystä kutsutaan ottamissuunnitelmaksi, ja sen sisällöstä on tarkemmin määrätty valtioneuvoston asetuksessa maa-ainesten ottamisesta. [2; 3.]

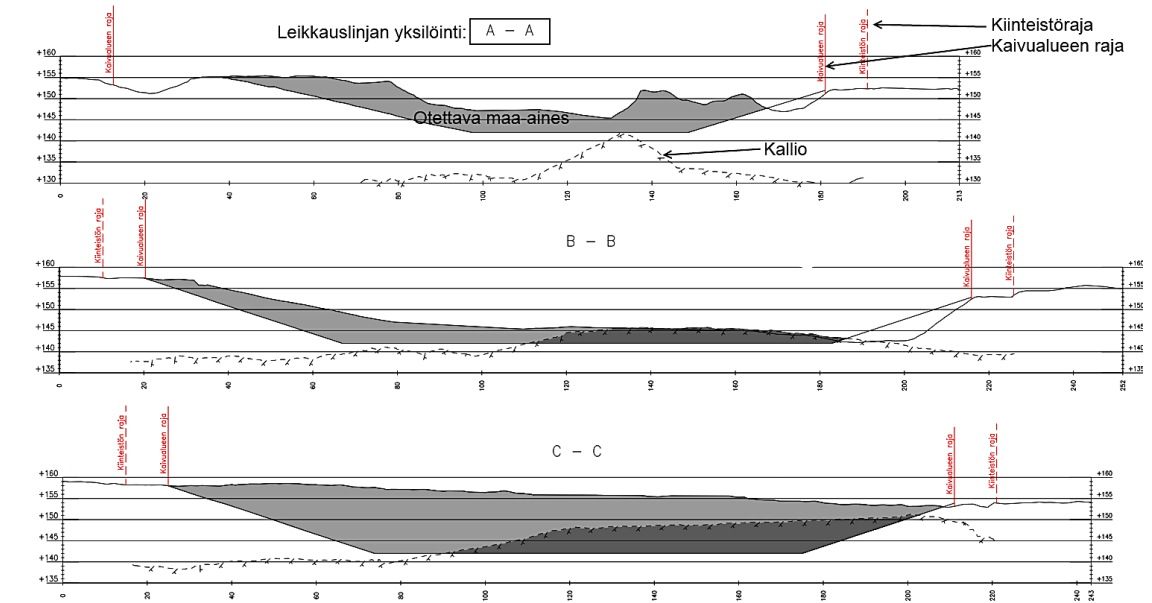
Ottamissuunnitelmassa tulee olla selvitys maa-aineksen laadusta, kokonaismäärästä, käyttötarkoituksesta, ottamisalueen rajauksesta, pinta-alasta sekä kaivausten ja leikkausten syvyydestä. Ottamissuunnitelmaan liitetään suunnitelmakartat ja leikkauspiirroks-

set, joissa esitetään suunnitelma-alueen nykytilanne, lopputilanne, ottamisen eteneminen sekä tarpeen mukaan myös ottamisen vaiheistus. Ottamissuunnitelmassa tulee lisäksi olla selvitys alueen pohjavesiolosuhteista, pohjaveden havaintopaikoista sekä pohjaveden pinnan ylin korkeustaso. [4, 1 §, 2 §.] Pohjavesialueilla pohjavesipinnan taso määrää maa-ainesten ottamistason. Näihin edellä lueteltuihin selvityksiin voidaan hankkia tietoa maaperätutkimuksilla.

Maaperätutkimuksella hankittu tieto voidaan sisällyttää ottamissuunnitelmaan omana liitteenään tutkimusraportin muodossa tai se voidaan esittää suunnitelmakarttojen yhteydessä esimerkiksi pituus- ja poikkileikkauksien tai teemakarttojen avulla. Maaperätutkimustieto palvelee luvan Hankintaprosessia lisäinformaation lähteenä, ja kun se tuodaan esille ottamissuunnitelmassa, se voi antaa lupaviranomaiselle paremman käsityksen maa-ainesalueen geologisesta rakenteesta.

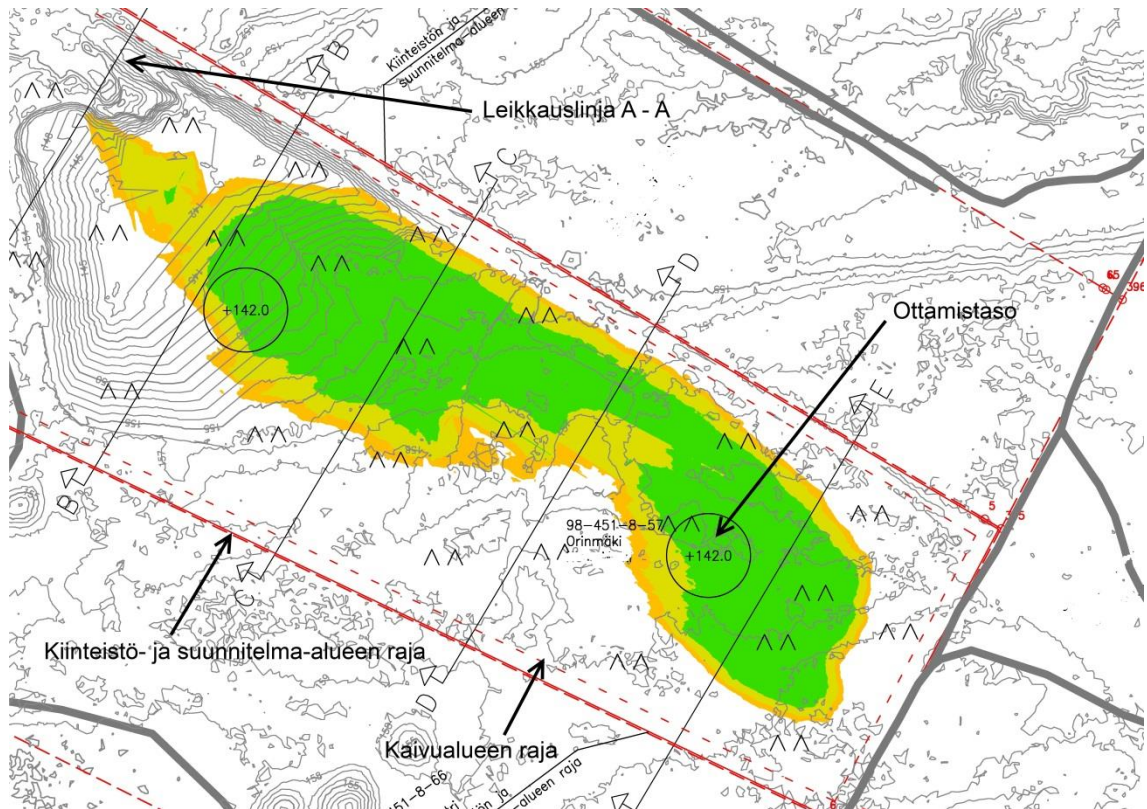
2.4 Maaperätiedon esittäminen ottamissuunnitelmissa

Maaperätieto voidaan esittää ottamissuunnitelman yhteydessä perinteisillä pituus- ja poikkileikkauksilla. Maanpinnan pituus- ja poikkileikkaukset tehdään yleensä kuvastamaan alueen nykytilannetta. Piirroksissa ja kartalla esitetään muun muassa suunniteltu ottotaso, luiskaukset, otettava maa-aines, kiinteistörajat ja kaivalueen raja. Maaperätietona näissä kuvissa voidaan esittää esimerkiksi etäisyys kallionpintaan leikkauksen kohdalla tai kairauspisteen sijainti ja sen kohdalla tulkitut maalajirajapinnat. Esimerkkinä on kuvassa 1 esitetty Destia Oy:n Hollolan Orinmäen sora-alueelta poikkileikkaukset, joihin on otettu mukaan kallionpinnan sijainti suhteessa sora-alueelta otettavaan maa-ainekseen ja ottotasoon.



Kuva 1. Poikkileikkaukset Orinmäen sora-alueelta [5].

Kuvan 1 kaltaisilla leikkauksilla voidaan esittää, miten rajapinnat sijoittuvat leikkausten kohdilla. Mitä tiheämmin tieto kallionpinnan sijainnista ottoalueelta halutaan esittää, sitä enemmän leikkauksia alueelta täytyy tehdä. Maaperätiedon tietyn ominaisuuden esittämisessä voidaan käyttää myös teemakarttoja. Teemakartalla voidaan esittää esimerkiksi halutun rajapinnan sijainti. Teemakarttojen avulla maaperätieto voidaan esittää samanaikaisesti laajemmalta alueelta, kuin yhdellä poikkileikkauksella pystytään. Teemakarttoja voidaan tehdä kuvastamaan esimerkiksi kallionpinnan, materiaalien tai pohjavesipinnan sijaintia ottoalueella. Kuvassa on 2 esitetty Orinmäen sora-alueelta tehty teemakartta, johon on kuvattu kallionpinnan sijainti ottoalueella yhdessä alueen nykytilannetta kuvaavan karttapohjan sekä ottotoimintaan liittyvien aluerajojen kanssa. Kartalla on myös esitetty kuvan 1 poikkileikkaukset.



Kuva 2. Arvioidun kallionpinnan korkeusero ottamistasoon ja -muotoon nähden Orinmäen sora-alueella [5].

Kuvassa 2 esitetyltä teemakartalta voidaan helposti havainnoida kallionpinnan sijainti ottoalueella. Kun esitetään maaperätietoa kuvan 2 mukaisesti, tulee kiinnittää huomio käytettävään karttapohjaan. Maaperän rajapinnat voidaan kuvata syvyysvärjäyksen lisäksi esimerkiksi syvyyskäyrillä, mutta tällöin ei voida kuvata maanpintaa korkeuskäyrin avulla, sillä esitystapa tulee sekavaksi.

3 Maaperätutkimusmenetelmät

Maa-ainesalueiden maaperätutkimuksiin on olemassa useita eri menetelmiä. Useimmiten käytettäväksi menetelmäksi valikoituvat koekuopat ja kairaukset, mutta myös geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä hyödynnetään. [1.] Geofysikaalisilla tutkimusmenetelmillä maaperää pystytään tutkimaan laajoilta alueilta maanpintaa rikkomatta [11]. Geofysikaalisten tutkimusmenetelmien käyttö kuitenkin rajautuu yleensä vain vaativille ja merkityksellisille kohteille [1]. Tässä luvussa esitellään Destia Oy:n yleisimmin hyödynnettävät maaperän tutkimusmenetelmät.

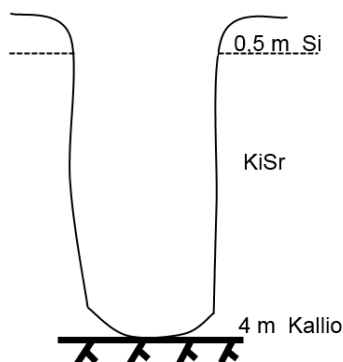
3.1 Karttatulkinta ja maastokatselmus

Uusien maa-ainesalueiden hankinnassa tukeudutaan yleensä ennen muita tutkimustoimia alueen tarkasteluun erilaisilta kartoilta. Tähän lukeutuu maastokartat, kallio- ja maalajikartat sekä maankäyttökartat (kaavat). Maastokartoilta alue voidaan kohdentaa kartalle sekä määrittää etäisyyksiä lähimpiin asutuksiin. Kallio- ja maalajikartoilta voidaan arvioida maaperän rakennetta ja laatua. Maankäyttösuunnitelmista ja kaavoista voidaan havaita esimerkiksi suojelualueet. Kartoilta tehtävien tulkintojen avulla voidaan valmistautua maastokatselmukseen. [1.] Maastokatselmus tehdään ennen kuin päätetään tarkemmista alueelle tehtävistä pohjatutkimuksista ja niiden laajuuksista. Maastokatselmuksessa tarkastellaan kohdealueen pinnanmuotoja, kasvipeitteistöä, kallion paljastumia, pintakivisyyttä ja niin edelleen. Yhdessä maastokatselmuksessa tehtyjen havaintojen ja kohdealueeseen kohdistuvien geologisten karttojen kanssa pystytään tekemään alustavia päätelmiä alueen maaperän rakenteesta ja materiaalin laadusta. [6, s. 257.]

3.2 Koekuoppa

Koekuopat kaivetaan suunnittelualueelle yleensä 3–6 metrin syvyyteen. Koekuoppien avulla pystytään pintatarkastelua paremmin hahmottamaan maan rakennetta ja materiaalin laatua. Koekuopista voidaan havainnoida maakerroksien rajoja, ottaa näytteitä ja havaita kallion- tai pohjavedenpintaa. Koekuopista tehtyjen näytteenottojen avulla voidaan selvittää materiaalin laatu, esimerkiksi rakeisuus ja lujuus. [6, s. 257.]

Kuoppa D , Kairaus 4 m



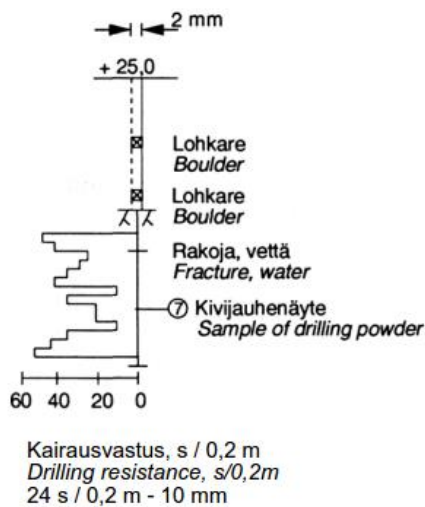
Kuva 3. Esimerkki koekuopan leikkauspiirroksesta.

Koekuopista tehdään koekuoppakortit sekä otetaan tarvittaessa valokuvat. Koekuopan sijainti tulee dokumentoida, ja tarvittaessa tehdään leikkauspiirros, johon merkitään maalajikerroksien rajat ja arvio materiaalin rakeisuudesta sekä muista oleellisista havainnoista. Koekuopan leikkaus voidaan piirtää koekuoppakorttiin esimerkiksi mittakaavaan 1:50, ja siihen tulisi merkitä kussakin syvyydessä esiintyvät maalajit, vedenpinta ja kallionpinta (kuva 3). Koekuopat soveltuvat tutkimusmenetelmäksi alueille, joissa pintamaat ovat vaikeasti kairauksella läpäistävissä esimerkiksi kivisyydestä johtuen. [6, s. 257–258.]

3.3 Porakonekairaus

Maa-ainesalueiden tutkimisessa yleisimmin käytetty kairausmenetelmä on porakonekairaus [1]. Porakonekairaus soveltuu eri kairausmenetelmistä parhaiten kallionpinnan sijainnin määrittämiseen. Se soveltuu käytettäväksi lohkareisessa maassa, sillä lohkareet eivät muista kairausmenetelmistä poiketen estä kairan etenemistä. Porakonekaira voi olla yksinään oma tutkimuslaitteistonsa, mutta myös monitoimikairoihin saadaan liitettyä porakonelaite. [7, s. 254.] Porakonekairauksen avulla on mahdollista maaputken avulla ottaa näytteitä, joiden avulla pystytään selvittämään maa-aineksen laatua [7, s. 256]. Porakonekairauksessa kallionpinnan taso yleensä varmistetaan poraamalla havaintokohdan jälkeen vielä useampi metri alaspäin, jolloin voidaan varmistua siitä, ettei kyseessä ole vain iso lohkare. Porakonekairauksen tuloksena saadaan tuotettua kairausdiagrammi, mihin on merkitty kairan kärjen etenemään kuluttama aika (kuva 4). Diagrammeista pystytään päättelemään myös maan ja kallion laadun vaihteluita. [7, s. 254, s. 256.]

PORAKONEKAIRAUUS
TANGOILLA
Percussion drilling with rods



Kuva 4. Esimerkki porakonekairausdiagrammista. Diagrammiin on merkattu porauksen aikana tehtyjä huomioita oikeaan reunaan. Kallionpinnan havaintokohta on merkattu diagrammiin symbolilla ja sen alapuolelle on kuvattu varmistusporaus. [8.]

Porakonekairauksen aikana tehdyt havainnot merkitään pöytäkirjaan. Pöytäkirjasta tulisi ilmetä muun muassa maakerroksien rajat, kairan lävistämien lohcareiden paksuus ja sijainti, kallionpinnan sijainti, tunkeutumisnopeus, kallion rikkonaisuus ja raot sekä kärjen vaihdot. [6, s. 268.]

3.4 Maatutkaluotaus

Maatutkaluotauksessa maaperään lähetetään radioaaltoja ja takaisin heijastuneista radioaalloista pystytään määrittämään maaperän rajapintojen sijainnit. Radioaaltojen heijastuminen eri rajapinnoissa perustuu vesipitoisuuksien muutoksiin materiaaleissa. [8.] Maatutkalaitteistoa liikutetaan yleensä vetäen perässä joko kävellen tai kulkuneuvolla. Tutka-antennista lähetetään aaltopulsseja maaperään ja maan rajapinnoista takaisin heijastuvat aallot rekisteröidään tiedonkeruulaitteen vastaanottimeen ja tallennetaan digitaalisesti. Lähetettävän aallon taajuus valitaan sen mukaan, kuinka syvältä ja tarkkaa tietoa maaperästä halutaan saada. Matalilla taajuuksilla tietoa saadaan syvältä, mutta samalla maaperän kerroksien erottelukyky heikkenee. Vastaavasti korkeilla taajuuksilla eri kerrokset pystytään tulkitsemaan helpommin. [9; 10, s. 26–27.]

Maatutka soveltuu parhaiten harjualueille, sillä karkearakeisessa soramaassa tutka-
aallot tunkeutuvat helposti maaperään. Hyvissä olosuhteissa maatutkalla pystytään
luotaamaan noin 25–35 metrin syvyyksiä. Maatutkaa ei pystytä kunnolla hyödyntämään
savisilla alueilla, sillä lähetettävän pulssin tunkeutuvuus heikkenee. [9; 10, s. 26–27, s.
40.] Maatutkauksessa tukeudutaan yleensä referenssikairauksiin, joiden avulla maatut-
kalla tulkittu tieto pystytään varmentamaan hyvällä tarkkuudella. Tällöin verrataan maa-
tutkalla rekisteröityjä heijastuksia kairaushavaintoihin. Maatutkaluotauksella saadaan
tuotettua jatkuvia profiilikuvia ja linjamaisia pisteaineistoja. [10, s. 26–27.]

3.5 Sähköinen luotaus

Sähköinen luotaus on geofysikaalinen tutkimusmenetelmä, jolla voidaan tutkia muun
muassa maaperän rakennetta, maakerroksia ja vedenpinnan syvyyttä. Sähköinen vas-
tusluotaus perustuu maalajien ominaisvastuksen määrittämiseen. Ominaisvastus mita-
taan syöttämällä maahan tasavirtaa elektrodilla, joka on sähköisessä kontaktissa maan
kanssa. Hyvin johtavassa aineessa sähkövirta kokee vähän vastustusta ja huonosti
johtavassa aineessa paljon vastustusta. Kun tasavirtaa syötetään maahan, mitataan
samalla kahdella potentiaalelektrodilla potentiaalienten voimakkuutta. Mitattu omi-
naisvastus on elektrodien välinen jännite-ero. Lopputulokseksi tulkitaan maaperän
ominaisvastusjakauma alueelta. [10, s. 21–23.] Sähköisellä luotauksella tehdään
yleensä linjamaisia kartoituksia sekä myös pistemäisiä luotauksia. Linjamaisilla kartoi-
tuksilla saadaan ominaisvastustiedot maanpintaosasta ja elektrodiväliä kasvattamalla
pystytään luotaamaan syvemältä. Sähköinen luotaus soveltuu sora- ja hiekkaesiinty-
mien tutkimiseen. [10, s. 21–23, s. 40.]

3.6 Seisminen luotaus

Seisminen luotaus perustuu maankamaraan lähetettyjen, räjäytyksellä tai lyömällä luo-
tujen, seismisten aaltojen etenemisnopeuksien tutkimiseen. Seismisten aaltojen ete-
nemiseen maaperässä vaikuttaa maalajien tiiveys ja kosteus sekä kallioalueiden tutki-
muksissa kivilajin rikkonaisuus. Aaltojen etenemisaika räjäytys- tai lyöntikohdasta mita-
taan geofoneilla, eli eräänlaisilla maahan kiinnitetyillä tuntoelimillä. Aaltojen saapu-
misajoista sekä geofonien etäisyyksistä räjäytyspisteeseen voidaan määrittää ns. aika-
matkakuvaaja, josta voidaan tulkita maalajit, pohjaveden pinta, maaperän rajapintojen

kerrospaksuudet sekä kallion mahdollinen rikkonaisuus. Tulosten tulkintaa voivat vaikeuttaa erilaiset ulkoiset häiriötekijät, kuten liikenne, värinä, asutus, rakennukset tai virtaava vesi. [10, s. 14; 11.] Seisminen luotaus soveltuu suurien alueiden tutkimiseen, joissa luotauslinjojen pituudet ovat pitkiä ja tarkkuusvaatimus tuloksille ei ole kovin vaativa. Menetelmä on tällaisissa käyttökohteissa edullinen. Seismisellä luotauksella pystytään luotaamaan noin 100 metrin syvyyksiä. [6, s. 285; 11.]

3.7 Painovoimamittaus (gravimetrinen)

Painovoimamittaus perustuu maan painovoimakentän muutoksien mittaamiseen tarkkaa vaakaa käyttämällä. Painovoimakentän muutokset pystytään havainnoimaan maaperän tiheyksien muutoksista johtuen. Painovoimamittausta varten tulee tietää kallionpinnan syvyys mittauslinjojen päädyistä, sekä jos kyseessä on pitkä linja, myös keski-osista. Mittauksen tarkkuus riippuu tunnettujen kallionsyvyyksien määrästä. Painovoimamittauksessa tutkimuslaitteistolla mitataan maanpinnan korkeuden tasoa, mitä kautta päästään kiinni kallionpinnan muotoihin, asemaan sekä maapeitteen paksuuteen. Painovoimamittauksella ei kuitenkaan saada selville maa- tai kallioperän laatua, eikä sillä pystytä erottamaan pohjavesipinnan tasoa tai maaperän eri kerroksia. [11.] Painovoimamittausta käytetään harvoin ja lähinnä vain vaativissa hiekka- tai sora-alueiden tutkimuksissa [1].

4 Maaperätutkimuksen suunnittelu ja tutkimusmenetelmän valinta

4.1 Tutkimusohjelma

Maaperätutkimusta varten laaditaan tutkimusohjelma, mihin määritellään tutkimuksen tavoitteet ja tarvittavat maastotyöt aikataulutettuna. Tutkimuksen onnistumisen kannalta on tärkeää, että tutkijalla olisi riittävä asiantuntemus maaperätutkimuksen suunnitteluun. Tutkimuksen tuloksien tarkkuudelle on prosessin alkuvaiheessa asetettava tavoitetaso. Tähän sisältyy syvyystulkinnan, alueellisuuden sekä tutkimuksessa määriteltävien parametrien tarkkuusvaatimusten päättäminen. Tutkimuksen tekijän on tehtävä tilaajalle selväksi, että tutkimukseen käytettävät resurssit vaikuttavat tutkimuksen laatuun. Tuloksien tarkkuus riippuu siitä, että on käytetty oikeita menetelmiä ja välineitä oikealla tavalla. Sää on merkittävä tekijä, joka voi vaikuttaa maastotöiden tekemiseen

sekä geofysikaalisten tutkimusten tuloksiin. Esimerkiksi sateen jälkeen maaperä on kyllästynyt vedellä, jolloin geofysikaalisilla tutkimusmenetelmillä ei pystytä luotettavasti havaitsemaan pohjaveden tasoa. Maatutka, sähköinen luotaus ja seisminen luotaus antavat parhaat tulokset sulan ja kuivan maaperän aikaan. [1; 10, s. 10.]

Ennen pohjatutkimuksen aloittamisista tulee selvittää, onko tutkimusalueelta olemassa aikaisempia tutkimustuloksia. Usein suunnitelma-alueelta on saatavissa jo olemassa olevia geologisia tutkimustuloksia, kuten maa- tai kallioperäkartoja. Niistä saadaan alustavaa pohjatietoa tutkimusalueesta sekä mahdollisesti vältetään turhan työn tekemistä. [7, s. 239.]

4.2 Tutkimusmenetelmän valinta

Tutkimusmenetelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat menetelmän kustannustehokkuus, tutkimusalueen saavutettavuus, tutkimusalueen geologinen rakenne, tutkimusmenetelmän herkkyys ympäristötekijöille sekä tutkimusmenetelmällä saavutettava tarkkuustaso [10, s. 10–11]. On valittava sopiva menetelmä sen mukaan, mitä maaperän ominaisuutta halutaan tutkia. Taulukossa 1 on esitetty eri tutkimusmenetelmien soveltuvuutta eri geoteknisten ongelmien selvittämiseen.

Taulukko 1. Tutkimusmenetelmien soveltuvuus geoteknisten ongelmien ratkaisemiseen [mukailtu 7, s. 254, s. 256; 10, s. 28].

Selvitettävän ongelman tyyppi	Kairausmenetelmä	Geofysikaalinen tutkimusmenetelmä			
		Maatutkaluotaus	Seisminen taittumislouotaus	Sähköinen luotaus	Gravimetrinen mittaus
Kallionpinnan sijainnin määrittäminen	●●	●●*,1	●●	○	●
Kallion laadun määrittäminen (rikkonaisuus)	●	○	●●	●	○
Lohkareisuuden määrittäminen		○	○		
Kerrösjärjestyksen määrittäminen		●●*,1	●	●*	
Maalajiryhmän määrittäminen					
Saven havaitseminen		●	○	●●	
Saven paksuuden määrittäminen		○	○	●	
Pohjaveden pinnan määrittäminen irtomaissa	**	●●	●	●	

Soveltuu hyvin ●●

Soveltuu tyydyttävästi ●

Soveltuu välttävästi ○

*) Luotaussyvyys 0 – 15 metriä. Menetelmän luotettavuus heikkenee kun luodattava syvyys kasvaa.

1) Jos irtomaakerros on hyvin sähköä johtava, niin saadaan heikompia tuloksia.

***) Porakonekairausta käytetään kallio- ja pohjaveden määrittämisessä

Kallista menetelmää ei kannata valita tutkimukseen, jossa riittää heikompikin tarkkuustaso. Tulee myös selvittää, miten hyvin tutkimusalue on tieyhteyksin saavutettavissa sekä kuinka helppokulkuinen maasto alueella on. Esimerkiksi maatutkaluotaus onnistuu nopeammin avoimessa maastossa kuin tiheässä metsässä. Tutkimussuunnitelmaa laadittaessa tulisi myös huomioida menetelmien soveltuvuus ja riippuvaisuus toisistaan. Geofysikaaliset tutkimusmenetelmät voi vaatia riittävän tarkkuustason saavuttamiseksi myös muita tutkimustuloksia, esimerkiksi kairauksia referenssitiedoiksi. [10, s. 10–11.]

4.2.1 Tutkimusmenetelmän tarkkuustaso

Maaperätutkimuksella tuotetun maaperätiedon tarkkuustaso ja luotettavuus määräytyy useiden tekijöiden vaikutuksen kautta. Tulee varmistaa, että tutkimuksen tekijäksi valitaan osapuoli, jolla on riittävä ammattitaito ja kalusto tehdä tutkimus luotettavasti ja

halutussa laajuudessa. Tutkimuksesta saatujen tuloksien tarkkuuteen vaikuttaa ammattitaidon lisäksi valittu tutkimusmenetelmä sekä se, kuinka hyvin tutkittava kohde soveltuu kyseiselle menetelmälle. [12, s. 32.] Maaperän ominaisuuksia pystytään parhaimmillaan tutkimaan vain rajatuilla tarkkuustasoilla, jotka ovat riippuvaisia eri tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Esimerkiksi pohjavesipintaa määriteltäessä tulee kiinnittää huomio mittausajankohtaan, edustavan tutkimuspisteen löytämiseen ja käytettävän havaintojakson pituuteen. Pohjavesipinnan korkeus voi vaihdella suuresti vuodenajasta ja alueesta riippuen. [13, s. 11.]

Geofysikaalisilla menetelmillä saavutettava tarkkuustaso riippuu pitkälti siitä, kuinka helposti muutokset rajapintojen materiaaleissa pystytään havaitsemaan. Mitä suurempi muutos mitattavassa suureessa rajapinnoilla on, sitä tarkemmin ne pystytään tunnistamaan. Geofysikaalisilla menetelmillä tuotettujen tulosten tarkka tulkinta on riippuvainen saatavilla olevista referenssitiedoista. Jos referenssitietoa on vain vähän, se vaikeuttaa tulosten tulkintaa sekä heikentää tulosten tarkkuutta. Geofysikaaliset tutkimustulokset saadaan yleisesti sidottua hyvällä tarkkuudella vaakasuunnassa, mutta korkeustarkkuus on usein heikko. [13, s. 11, s. 15, s. 17–18.] Menetelmästä ja tulkinnan luotettavuudesta riippuen korkeustarkkuutena geofysikaalisille menetelmille voidaan yleisesti pitää n. 10 %:ia tutkittavasta syvyydestä [1; 10]. Kairaushavaintojen syvyystarkkuutena pidetään yleensä $\pm 0,05$ metriä ja syvyyshavainnoista määriteltujen maakeroksien syvyystarkkuutena arviolta 0,15 metriä [13, s. 14].

4.2.2 Referenssitiedon määrä

Geofysikaalisten maaperätutkimusmenetelmien tuloksien tukemista varten tarvittavien referenssitietojen määrä määräytyy pitkälti tutkimuskohteen tai tutkittavan ominaisuuksien mukaan. Aineiston tulkitsijan on ilmoitettava tilaajalle, mikäli referenssitietoa ei ole riittävästi luotettavaa tulkintaa varten. [13, s. 17–18.] Mitä enemmän referenssitietoa maaperästä on, niin sitä tarkempaa ja kattavampaa tietoa geofysikaalisilla maaperätutkimusmenetelmillä pystytään tuottamaan. Tosin, mitä enemmän referenssitietoa hankitaan, sitä kalliimmaksi maaperätutkimus muodostuu. [1.]

5 Maaperämalli osana tietomallipohjaista mallinnusta

5.1 Maaperämalli

Maaperämalli kuuluu osana nykyaikaiseen tietomallipohjaiseen infrasuunnitteluun. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa maaperämalli on osa suunnittelualueen nykytilamallia ja samalla myös lähtötietomallia. Maaperämalli pohjautuu maaperätutkimusmenetelmällä hankittuun pohjatutkimusaineistoon suunnittelualueelta. [14, s. 13–14.] Maaperämalli sisältää yleisesti tiedon maanpinnanalaisista maalajikerroksista sekä kallionpinnasta. Maaperämalli voi sisältää myös pohjavesipinnan ja orsivesipinnan sijainnin.

Maaperämallin sijainti- ja ominaisuustiedot perustuvat maaperätutkimuksen tulkintaan. Esimerkiksi maatulkualueilla tulkittu piste sisältää aina epävarmuustekijöitä, sillä kohteeseen ei ole suoraa havaintoyhteyttä. Maaperämalli koostuu maanpinnanalaisista pisteistä ja niiden välille luodusta kolmioverkosta. Jotta malli olisi selkeä ja johdonmukainen, tulisi eri rajapinnat asettaa eri pintatasoille. Maanalaiset rajapinnat voidaan luokitella pääasiassa kolmeen eri pintaluokkaan: kallionpinta, pohjavedenpinta ja maalajirajapinnat. [14, s. 21; 15, s. 10.]

Tie-, katu- ja ratahankkeita varten tehdyt maaperämallit tulisi YIV2015-ohjeistuksen mukaan tallentaa Inframodel-muodossa. [14, s. 14.] Maa-ainesalueille kohdistuvan suunnittelun kannalta on kuitenkin oleellisempaa, että maaperämalli on hyödynnettävissä CAD- ja 3D-pohjaisissa suunnitteluohjelmistoissa, joita yleisimmin käytetään otamissuunnitelmien tekemisessä.

5.2 Yleiset inframallivaatimukset YIV2015

Yleiset inframallivaatimukset YIV2015 on useiden eri tahojen kokoama ohjeistus inframallintamiseen. Tarve yleisille inframallivaatimuksille on syntynyt siitä, että yhä useampi infra-alan yritys tänä päivänä on siirtymässä tietomallintamisen käyttöön infrahankkeissa. Ohjeistuksen tavoitteena on, että nyt ja tulevaisuudessa tilaajilla ja palveluiden tarjoajilla olisi yhteinen näkemys siitä, mitä ja miten mallinnetaan hankkeiden eri vaiheissa. Ohjeita ovat olleet laatimassa useiden eri yritysten asiantuntijat. Ohjeita on tarkoitus päivittää ja täydentää jatkuvasti saadun palautteen perusteella. [16, s. 3.]

Tässä opinnäytetyössä ei suoraan noudateta kaikkia YIV2015-ohjeistuksia, sillä työn tarkoituksena ei ole käsitellä maa-ainesalueen maaperämallia osana tietomallipohjaista infrahanketta. Maa-ainesalueelta tehtävä maaperämalli on tarkkuustasoltaan huomattavasti väljempi, kuin esimerkiksi tiehankkeen lähtötietomalli. Osaa YIV2015-ohjeistuksessa esitetyistä maaperämallin vaatimuksista ja ohjeista olisi kuitenkin hyvä noudattaa lähdeittäessä tekemään maaperämallia maa-ainesalueelle. Luvuissa 5.3–5.5 on esitelty näistä tärkeimmät kohdat onnistuneen mallin kannalta.

5.3 Lähtöaineiston laadunvarmistus

Maaperämallia laadittaessa tulee lähtöaineiston käyttäjän varmistaa, että saatu mittausdata on ajantasaista, fyysisesti aukotonta, tarkkuudeltaan suunnittelun tasoa vastaavaa ja että siihen liittyvät aikaisemmat muutokset on dokumentoitu. Lähtöaineistoon liittyvät selostukset tulee olla saatavilla, eli tiedot siitä, mitä on tehty, miten se on tehty ja mitä ohjelmistoja ja laitteita tai työkaluja on käytetty. Tehdystä maaperätutkimuksesta on tiedettävä hankkeen tausta ja tavoitteet, työn sisältö ja ohjaus, käytetty koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä ja jos on jotain muuta jatkosuunnittelussa huomioon otettavaa. Huolellinen dokumentointi on ehto mallin laadulle ja luotettavuudelle. [17, s. 19–20.]

5.4 Mittayksiköt ja koordinaatitot

YIV2015-ohjeistuksen mukaan mallinuksissa käytettävä mittayksikkö on metri, koordinaatisto seudullisella tasolla ETRS-GKn ja valtakunnallisella tasolla ETRS-TM35FIN. Korkeusjärjestelmänä käytetään N2000:ta. [18, s. 9.] Vanhat aineistot tulee muuttaa näihin järjestelmiin. Nykyisin ottosuunnitelmat tehdään yleisimmin ETRS-GKn-tasokoordinaatistoon ja N2000-korkeusjärjestelmään. Yleisesti eri järjestelmien käyttö maa-ainesalueiden suunnitelmakartoissa riippuu siitä, mitä järjestelmiä kunnan alueella käytetään. Hyödyllistä olisi, jos maa-ainesalueelta hankittu maaperätutkimustieto saataisiin yhdistettyä tai hyödynnettyä yhdessä aluetta koskevien aikaisempien suunnitelmien kanssa. Jos ja kun aikaisemmat suunnitelmat ovat vanhemmissa koordinaatis-

toissa tai korkeusjärjestelmissä, tulee varmistua siitä, että käytettävät muunnoskaavat järjestelmästä tai koordinaatistosta toiseen ovat toimivia ja luotettavia.

5.5 Maaperämallin vaatimukset

Maaperämallissa rajapinnat tulee eritellä eri pinnoille niille tehdyn tulkinnan mukaan. Esimerkiksi kallionpinta voidaan eritellä kolmeen eri alaluokkaan: varmistettu kallionpinnan piste, tulkittu kallionpinnan piste ja määrittelemätön kalliopinnan piste. Pisteille asetetaan eri koodi riippuen siitä, mihin tulkintaluokkaan se kuuluu. [17, s. 16.]

Mallinnetuille rajapinnoille tulee tehdä erilaisia tarkistustoimenpiteitä, joilla varmistetaan mallin laatu ja luotettavuus. YIV2015-ohjeistuksen mukaan maaperämallille tehtäviä tarkistuksia ovat

- visuaaliset tarkistukset
- kolmioinnin tarkistus
- leikkausten läpikäynti ja vertailu kairauksiin
- korkeus- ja syvyyskäyrien muodostus ja tarkistus
- maalajirajapintojen ja kallionpinnan rajapintojen törmäys- sekä leikkaus-tarkastelut. [17, s. 20.]

Visuaalisella tarkistuksella tarkoitetaan maaperämallin tarkastelua selvien virheiden tai ongelmien löytämiseksi. Jos maaperämallille on tehty formaattimuunnos, tulee visuaalinen tarkastelu tehdä siinä ohjelmassa, jossa muunnos on tehty. Jos aineistolle on tehty koordinaatisto- tai korkeusjärjestelmämuunnos tulee tietojen luotettavuus tarkistaa vertailemalla muunnettua tiedostoa referenssiaineistojen kanssa. [19, s. 18.]

Kolmioinnin tarkistuksessa tarkistetaan kolmioverkkojen eheys. Kolmioverkoille tehdään pistokokein muutamia **leikkausten tarkastamisia**. Leikkauskuvia verrataan muihin suunnittelualueen maaperätutkimustietoihin, jos niitä on saatavilla. [19, s. 18.]

Törmäystarkastelulla tarkoitetaan suunnitteluohjelmistojen työkalua, jolla voidaan laskea törmäyksiä mallin rakenteiden välillä. Kyseessä on toiminto, jolla voidaan paikantaa mallin rakenteessa ristiriitoja tai virheitä, jotka saattaisivat esimerkiksi visuaali-

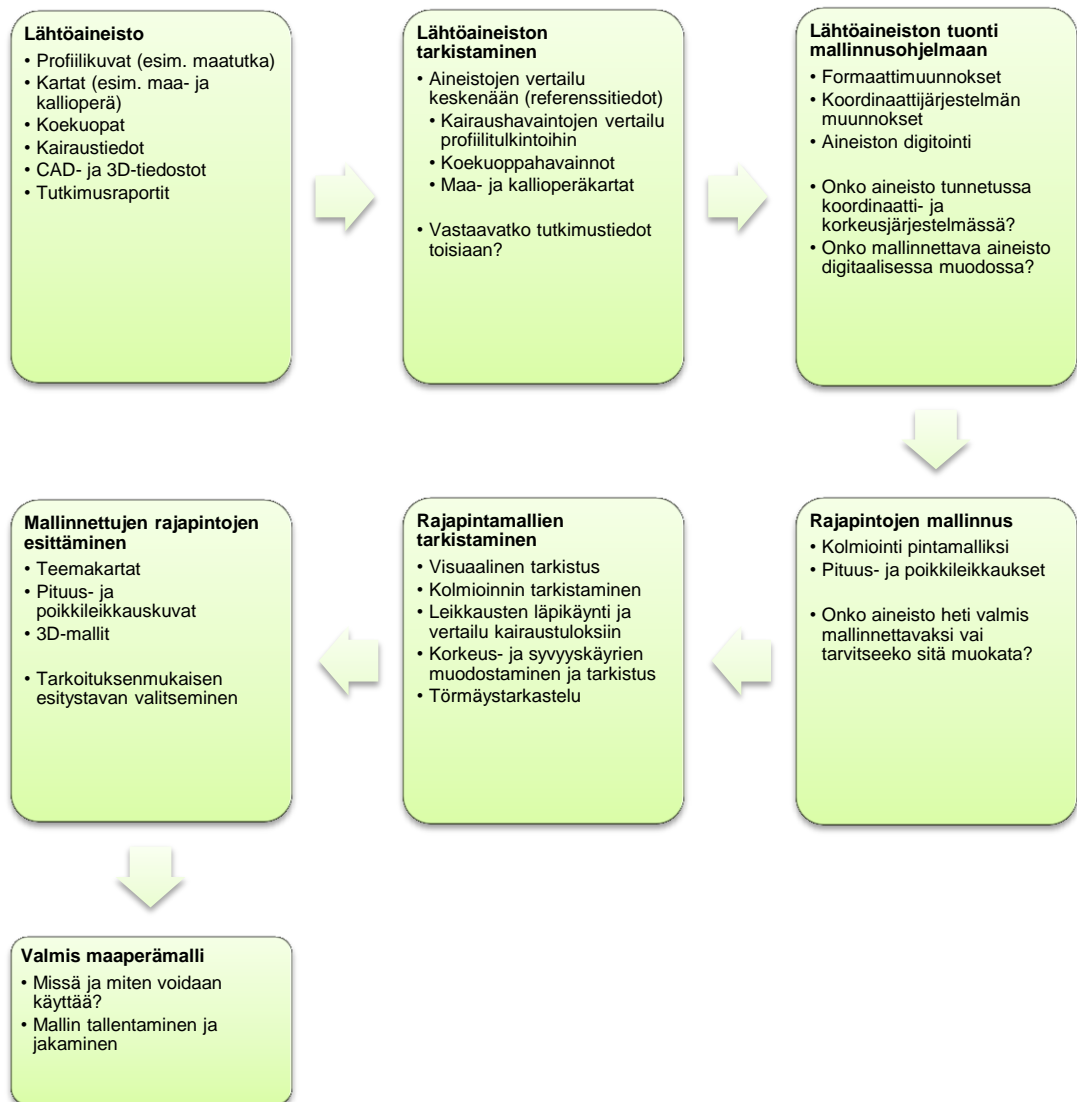
sessä tarkistuksessa jäädä helposti huomaamatta. [19, s. 18; 20.] Jos rajapintojen pintamalleissa havaitaan keskinäisiä päällekkäisyyksiä, ei niitä tule mallin tarkistusvaiheessa enää korjata, vaan ne hyväksytään sijainnin epätarkkuutena sekä dokumentoidaan. [17, s. 20.] Törmäystarkastelu on hyödyllinen työkalu silloin kun luodaan yhdistelmämalleja, jotka voivat koostua useiden eri suunnittelijoiden tekemistä malleista. Maaperämallissa törmäystarkastelutoimintoa voitaisiin hyödyntää eri rajapintojen pintamallien konfliktikohtien löytämiseen.

6 Case: Hollolan Orinmäen sora-alueen maaperämallinnus

Tässä luvussa esitellään maaperämallinnuksen esimerkkinä Destia Oy:n Hollolan Orinmäen sora-alueelle tehty maatutkaluotaus sekä luotauksen perusteella tulkittujen rajapintojen mallintaminen osana tätä opinnäytetyötä. Mallinnuksen tavoitteena oli tuottaa aineistoja, joista voitaisiin havainnoida alueen maaperäolosuhteita ja erityisesti irtomaapeitteen paksuutta alueella. Ottotoiminta tulee tulevaisuudessa ottolupien mukaisesti etenemään alueen eteläosaan, jolloin mallinnettu tieto kallion sijainnista alueella on avuksi ottotoiminnassa. Esimerkkiaineistona käytettiin Orinmäen sora-alueella tehtyä maatutkaluotausaineistoa, koska tutkimus sisälsi huomattavan kattavasti tietoa alueen maaperäolosuhteista. Luvussa esitellään työn edetessä toimivaksi todettu prosessi maaperämallin luomiseen sekä hyväksi koetut maaperämallin esittämistavat. Maaperämallin tekemiseen käytettiin 3D-Win-ohjelmistoa, ArcGIS 3D Analyst -paikkatietosovellusta sekä tiedonsiirto- ja konversiosovellus FME:tä.

6.1 Mallinnusprosessin vaiheet

Jotta mallinnusprosessin eri vaiheet tulisivat lukijalle paremmin selville, on kuvassa 5 esitetty prosessin päävaiheet, käytetyistä ohjelmistoista ja tietokonesovelluksista riippumatta. Kuvassa esitetään mallinnuksessa kuljettu polku lähtöaineiston saamisesta valmiin maaperämallin tuottamiseen.



Kuva 5. Mallinnusprosessin vaiheet.

Taulukossa 2 on esitetty esimerkkikohteen mallinnusprosessi työssä käytettyjen tietokonesovelluksien kautta. 3D-Winillä vertailtiin maatutkaluotausaineiston rajapintojen havaintopisteiden syvyyksiä kairaus- ja koekuoppahavaintoihin, tehtiin vektoritiedostot rajapinnoista sekä kolmioitiin ne pintamalleiksi. Lisäksi 3D-Winillä poistettiin aineistossa havaitut karkeat virheet kuten nollakorkeudella olleet pisteet. 3D-Winillä tehtiin myös rajapintamallien visuaalinen tarkistus. ArcGIS-paikkatietoalustaa käytettiin 3D-Winillä luotujen kolmioitujen pintamallien havainnollisempaan esittämiseen. Kolmiodut pintamallit saatiin ArcGIS 3D Analyysin avulla esitettyä yhdessä sora-alueen nykytilaa kuvaavan maanpintamallin kanssa. FME:tä käytettiin 3D Analyysillä tehdyn kolmiulotteisen maaperämallin muuntamiseen 3D PDF -tiedostoksi.

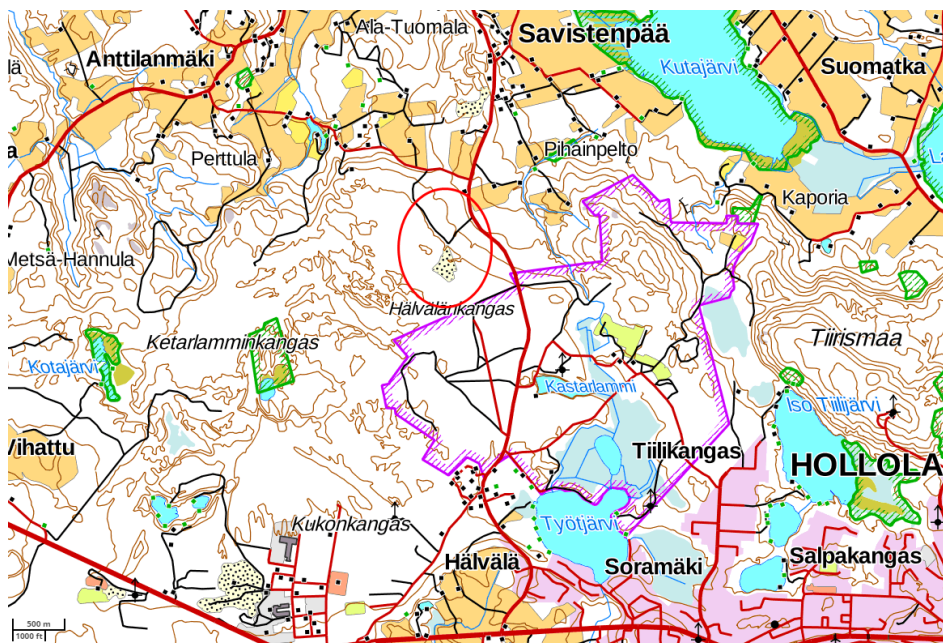
Taulukko 2. Orinmäen sora-alueen maatulkuotusaineiston mallinnusprosessissa käytetyt sovellukset.

Vaihe	Sovellus
1. Maatulkuotusaineiston vertailu kairaustuloksiin	3D-Win
2. Tekstimuotoiset pistelistaustiedostot vektorimuotoon	
3. Maaperän rajapintojen syvyystietojen tuonti korkeusjärjestelmään	
4. Rajapintojen erittely omiin tiedostoihinsa	
5. Pintamallien luonti kolmioimalla rajapinnat	
6. Pintamallien visuaalinen tarkastelu	
7. Maaperämallin luonti ArcGIS 3D Analystissa	ArcGIS
- ArcGIS tietokantojen koordinaattijärjestelmien määrittely	ArcCatalog
- Pintamallien luonti ArcGIS:ssä	ArcScene
- Yhdistelmämallien luonti	
- Maaperämallin kirjoittaminen ulos VRML-tiedostona	
8. ArcGIS:llä luodun VRML-tiedoston muuntaminen 3D PDF:ksi	FME

Mallinnusprosessin aikana kokeiltiin erilaisia vaihtoehtoja maaperämallin visualisointikeinoiksi ja mallinnuksen lopputuotteina voidaan pitää blokkimalleista koostuvaa yhdistelmämallia ja 3D PDF -mallia.

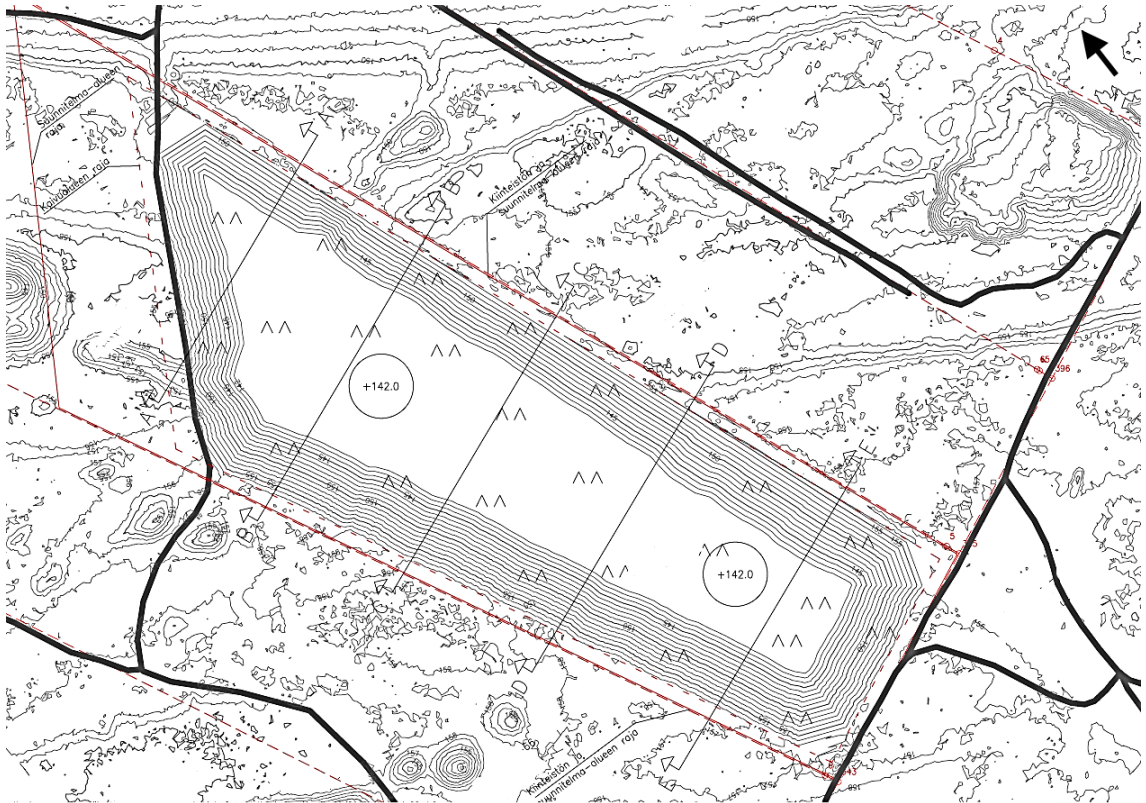
6.2 Orinmäen sora-alueen sijainti- ja ottosuunnitelmatiedot

Orinmäen sora-alue sijaitsee Hollolan Hälvälänkankaalla, noin 10 kilometrin päässä Lahden keskustasta. Alueen sijainti on merkitty punaisella soikiolla kuvaan 6.



Kuva 6. Orinmäen sora-alueen sijainti. [Maastokartta, Paikkatietoikkuna © Maanmittauslaitos.]

Destia Oy on tehnyt vuonna 2014 sopimuksen sora-alueen omistajan kanssa maa-ainesten ostamisesta ja haki tammikuussa 2016 uutta lupaa maa-ainesten ottoon alueelta. Alueella oli aikaisemmin kaksi erillistä maa-aineslupaa, jotka oli tarkoitus korvata uudella luvalla. Uuden luvan myötä alueen kokonaisvaltainen käyttö ja maisemointi helpottuvat. Uuden luvan mukainen kokonaisottomäärä on 820 000 m³ltr ja otettava kiviaines koostuu hiekasta, sorasta ja kalliosta. Suunnitelma-alueen pinta-ala on 13,7 hehtaaria, josta kaivu-alan pinta-ala on 10,4 hehtaaria. Maa-aineksen otto ulotetaan ottotasoon +142 metriä (N2000) (kuva 7). [5, s. 5, 11.]

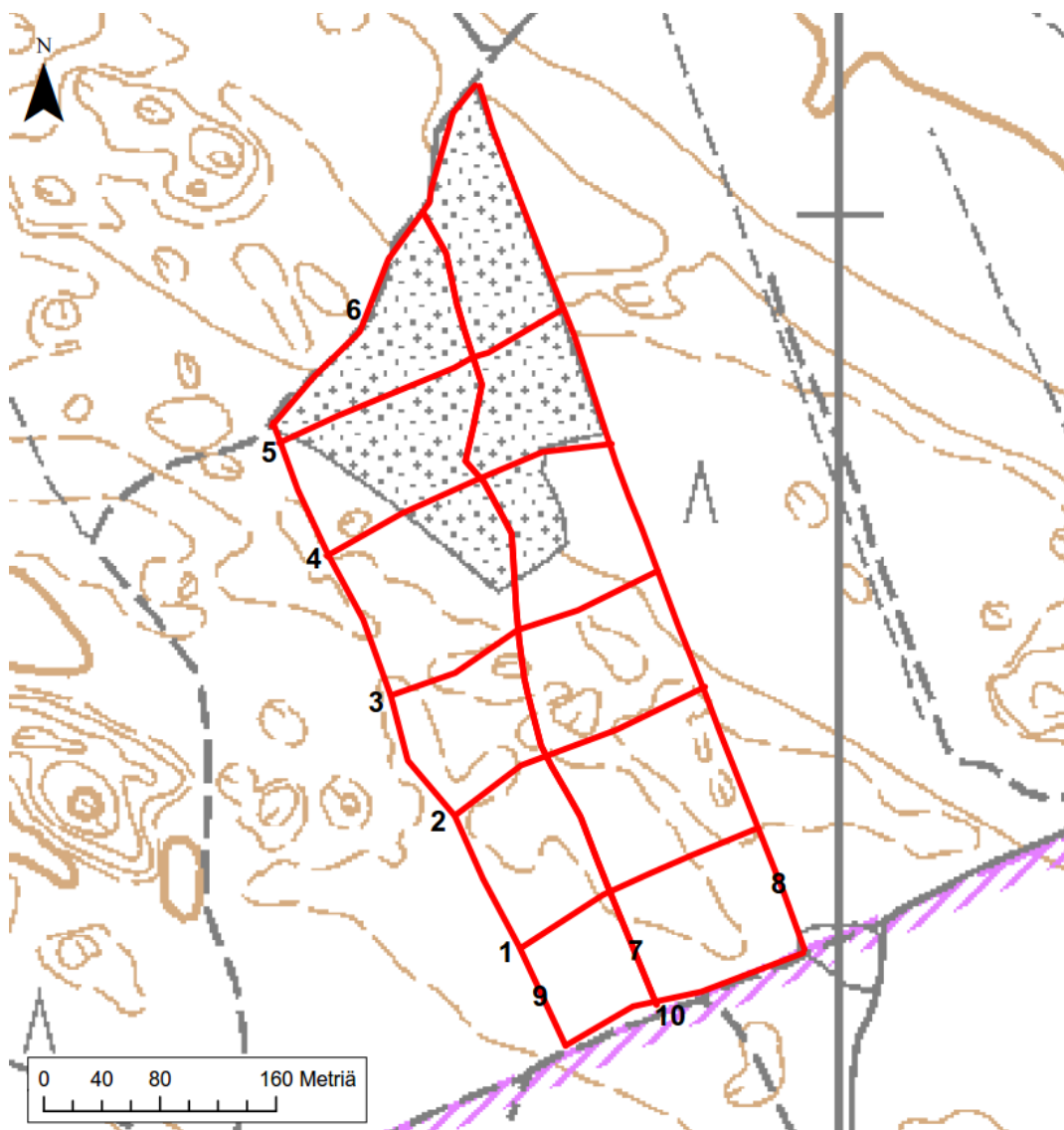


Kuva 7. Orinmäen sora-alueen suunniteltu lopputilanne ottamisen päätyttyä [4].

Sora-alueelle tehtyjen maaperätutkimusten sekä oton etenemisen myötä tehtyjen havaintojen perusteella todettiin että alueella sijaitsee kallion kohouma noin 4 hehtaarin suuruisella osalla suunnitelma-aluetta. Kallion kohouman korkeus ottotasosta vaihtelee noin 0–10 metrin välillä. Kokonaisottomäärä koostuu uuden maa-ainesluvan myötä 165 000 m³ltr:n osalta kalliosta ja 655 000 m³ltr:n osalta sorasta. [5, s. 5, 11.]

6.3 Maaperätutkimuksen taustatiedot

Geo-Work Oy teki maatulkuutuksen Orinmäen sora-alueelle kesällä 2005. Maaperätutkimuksen tarkoituksena oli selvittää maaperän laatua ja paksuutta. Alueelle tehtiin 10 luotauslinjaa, joiden yhteispituus oli noin 3 kilometriä (kuva 8). Työ tehtiin SIR-3000 maatulkuutuslaitteistolla ja antennityyppinä käytettiin 100 MHz:n taajuista antennia. Tällä kalustolla saavutettava syvyysulottuvuus oli noin 15–20 metriä. Mittaukset tehtiin siten, että mittaja kuljetti maatulkuutuslaitteistoa sylissään samalla vetäen perässään antennia. Mittaustulokset rekisteröitiin mittaustaitteiston kovalevylle, josta ne jälkikäteen siirrettiin tietokoneelle. [21.]



Kuva 8. Luotauslinjojen sijainnit Orinmäen sora-alueella. Luotauslinjan 1 profiilitulkinta on esitetty kuvassa 10. [Maastokartta © Maanmittauslaitos 2015.]

Luotauslinjojen sijainnit määritettiin Garmin 60CS käsigs:llä ja linjapisteiden koordinaatit syötettiin maatumkalle. Garminilla määriteltyjä linjojen sijaintia käytettiin luotauksen jälkeen hyväksi profiilikuvien tasoituksessa, luotauslinjojen pituuksien määrittelyssä ja reittikartan muodostamisessa. Mittaaja luonnehti Garminilla mitattuja korkeuksia melko epätarkoiksi niin, että niissä voi olla virhettä jopa 1–3 metriä. Korkeuksia pyrittiin jälkikäteen korjaamaan maastokartoilta tarkemmiksi. [21.]

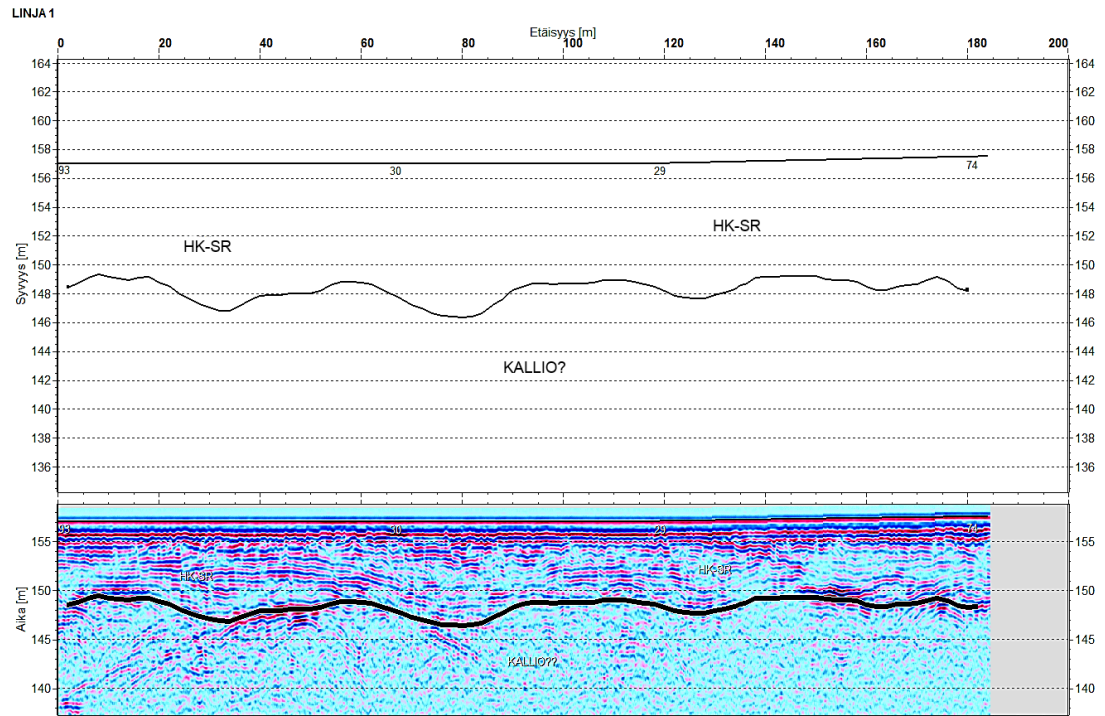
6.4 Mallinnuksen lähtöaineistot

Mallinnuksen lähtöaineisto koostui maatumkaluotauksen profiilitulkintakuvista sekä tekstiedostoista, jotka sisälsivät erikseen jokaiselle luotauslinjalle koordinaatti- ja ominaisuustiedot numeerisina pistelistauksina. Kuvassa 9 on esitetty osa luotauslinjan 1 pistelistauksesta.

Koodi	ArvA	ArvB	Laskuri	Y-koord(m)	X-koord(m)	Syvyys(m)
10	1	0	1	6768334.932	3415917.423	8.520
10	1	0	2	6768335.096	3415917.674	8.520
10	1	0	3	6768336.192	3415919.349	8.229
10	1	0	4	6768337.288	3415921.023	7.838
10	1	0	5	6768338.384	3415922.697	7.611
10	1	0	6	6768339.479	3415924.371	7.793
10	1	0	7	6768340.575	3415926.046	7.900
10	1	0	8	6768341.671	3415927.720	8.035
10	1	0	9	6768342.767	3415929.394	7.853
10	1	0	10	6768343.863	3415931.068	7.793
10	1	0	11	6768344.959	3415932.743	8.180
10	1	0	12	6768346.055	3415934.417	8.447
10	1	0	13	6768347.151	3415936.091	8.899
10	1	0	14	6768348.247	3415937.766	9.338
10	1	0	15	6768349.342	3415939.440	9.683
10	1	0	16	6768350.438	3415941.114	9.914
10	1	0	17	6768351.534	3415942.788	10.126
10	1	0	18	6768352.630	3415944.463	10.156
10	1	0	19	6768353.726	3415946.137	9.792
10	1	0	20	6768354.822	3415947.811	9.405
10	1	0	21	6768355.918	3415949.486	9.126
10	1	0	22	6768357.014	3415951.160	9.065
10	1	0	23	6768358.110	3415952.834	9.065
10	1	0	24	6768359.205	3415954.508	8.944
10	1	0	25	6768360.301	3415956.183	8.944

Kuva 9. Tekstimuotoinen pistelistaus osasta Orinmäen maatumkaluotausta.

Profiilitulkintakuvista nähtiin tutkaprofiilit sekä niiden metrimittakaavaiset pituusleikkaukset, joista voitiin havaita tulkitut rajapinnat luotauslinjoittain. Kuvassa 10 on esitetty luotauslinjan 1 profiilitulkinta. Maanpinnan alle oli tulkittu luotauslinjan 1 kohdalla noin 8–10 metrin syvyinen hiekkainen sorakerros ja sen alle kallionpinta.

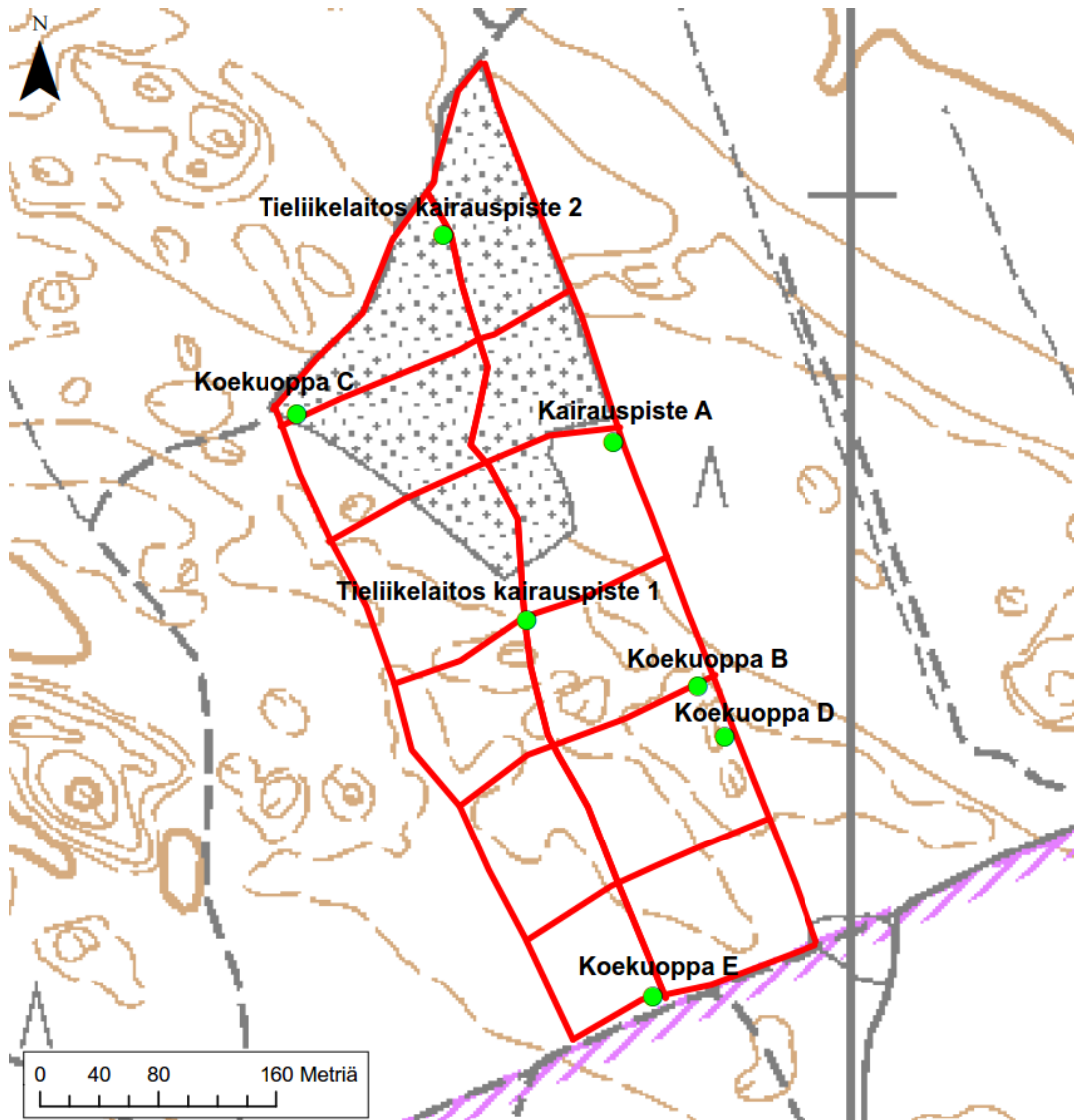


Kuva 10. Orinmäen sora-alueen maatutkaluotauksen luotauslinjan 1 profiilitulkintakuva. Profiilikuvassa ylin vaakaviiva kuvaa maanpintaa.

Sora-alueen maaperäolosuhteista todettiin maatutkaluotausraportissa seuraavaa:

- Maaperän materiaali koostuu pääasiassa hiekasta ja sorasta.
- Pohjoisosassa tutkittua aluetta havaittiin muuta aluetta selvästi syvämpi, noin 20 metrin paksuinen hiekkainen alue.
- Tutkimuksessa ei havaittu pohjaveden pintaa, mutta sen olemassa oloa alueella ei suljettu pois. Pohjaveden esiintyminen alueella voitaisiin todentaa asentamalla pohjavesiputki sopivaan paikkaan.
- Hiekka ja sora rajapintojen alle tulkittiin kalliopinta, sillä kallio oli havaittu muutamilta kairauksilta ja koekuopilta. On kuitenkin mahdollista, että joissain paikoissa hiekan alla on tosiasiaa siltti-savikerros, mikä on tulkinassa vaikuttanut kalliolta.

Alueelle oli myös tehty koekuoppia ja kairauksia Geo-Hydro Oy:n ja Tieliikelaitoksen toimesta. Koekuoppien ja kairauspisteiden sijainnit alueella on esitetty kuvassa 11.



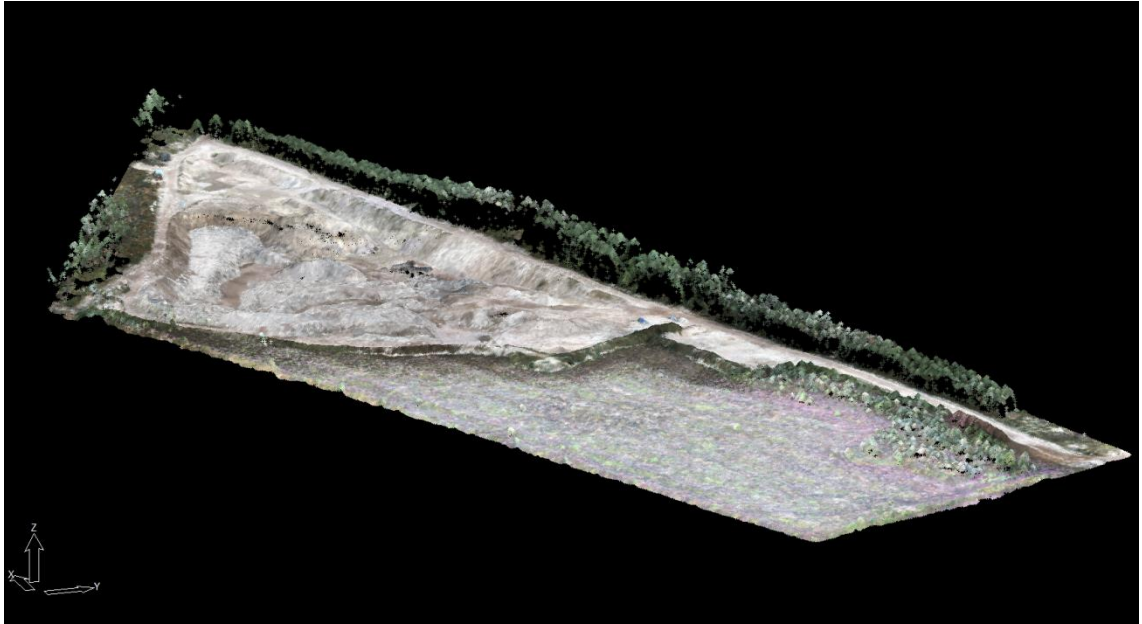
Kuva 11. Koekuoppien ja kairauspisteiden sijainnit Orinmäen sora-alueella. [Maastokartta © Maanmittauslaitos 2015; Kohdetiedot Geo-Hydro Oy.]

Koekuoppa- ja kairaushavaintojen perusteella kallionpinnan sijainnista alueella tiedettiin seuraavaa:

- koekuoppa D: havaittu kallionpinta korkeudessa +153,43 m (N60) \approx +153,67 m (N2000)
- koekuoppa B: havaittu kallionpinta korkeudessa +153,62 m (N60) \approx +153,86 m (N2000)
- kairauspiste A: havaittu kallionpinta korkeudessa +144,58 m (N60) \approx 144,82 m (N2000)
- Tieliikelaitoksen kairauspiste 2: havaittu kallionpinta korkeudessa +130,90 m (N60) \approx 131,14 m (N2000)

- Tieliikelaitoksen kairauspiste 1: havaittu kallionpinta korkeudessa +148,69 m (N60) \approx 148,93 m (N2000)
- koekuopat C ja E: kaivettiin 5 metrin syvyydelle, ei havaittu kallionpintaa.

Mallinnuksessa käytettiin myös vuonna 2014 alueelle tehdystä UAV-kartoituksesta tuotettuja aineistoja. UAV-kartoituksesta oli käytettävissä pistepilvi sora-alueen maanpinnasta (kuva 12) sekä georeferoitu ortoilmakuva. Nämä aineistot saatiin Destia Oy:ltä.



Kuva 12. UAV-kartoituksesta tuotettu pistepilvi Orinmäen sora-alueelta avattuna 3D-Winissä.

UAV-kartoituksesta tuotetuilla aineistoilla maaperämalliin saatiin sora-alueen nykytilanetta kuvaava maanpinta. UAV-kartoituksen aineistot olivat N2000-korkeusjärjestelmässä ja ETRS-GK26-tasokoordinaatistossa.

6.5 Maaperäaineiston tarkistaminen

Ennen mallinnuksen aloittamista maaperäaineistoille tehtiin tarkistus, jossa vertailtiin koekuoppa- ja kairaushavaintojen tietoja profiilitulkintakuviin. Koska kaikilla käytetyillä tutkimusmenetelmillä oli havaittu kallionpintaa, verrattiin eri menetelmien havaintoja kallionpinnan sijainnista keskenään:

1. Koekuopan D kohdalla kallionpinta oli havaittu 4 metrin syvyydessä. Luotusaineistossa kallionpintaa oli havaittu koekuopan D ympäristössä 4–8 metrin sy-

vydyssä. Luotausaineiston kalliohavainnot sopivat siis yhteen koekuoppahavainnon kanssa.

2. Koekuopan B kohdalla kallionpinta oli havaittu 3,5 metrin syvyydessä. Luotausaineistossa kallionpintaa oli havaittu koekuopan D ympäristössä 2–7 metrin syvyydessä. Luotausaineiston kalliohavainnot sopivat siis yhteen koekuoppahavainnon kanssa.
3. Kairauspiste A:n kohdalla kallionpinta oli havaittu 9,1 metrin syvyydessä. Luotausaineistossa kallionpintaa oli havaittu kairauspisteen A ympäristössä 2–5 metrin syvyydessä. Kairauspisteen A kohdalla oli siis saatettu tulkita luotausaineistossa kallioksi jotain muuta materiaalia.
4. Tielaitoksen kairauspisteen 2 kohdalla kallionpinta oli havaittu 22,2 metrin syvyydessä. Luotausaineistossa kallionpintaa oli havaittu tämän pisteen ympäristössä 18–25 metrin syvyydessä. Luotausaineiston tulkittu kallionpinta sopi siis yhteen tämän kairauspisteen kalliohavainnon kanssa.
5. Tielaitoksen kairauspisteen 1 kohdalla kallionpinta oli havaittu 8,4 metrin syvyydessä. Luotausaineistossa kallionpintaa oli havaittu tämän pisteen ympäristössä 8–15 metrin syvyydessä. Luotausaineiston tulkittu kallionpinta sopi siis yhteen tämän kairauspisteen kalliohavainnon kanssa.

Vertailemalla eri tutkimusmenetelmillä hankittuja tietoja kallionpinnan sijainnista todettiin, että eri menetelmillä hankitut tiedot vastasivat toisiaan.

6.6 Mittausaineiston käsittely 3D-Winillä

Maatutkaluotausaineiston käsittely tehtiin 3D-Winillä. Jokaisen luotauslinjan pisteet olivat omissa tiedostoissaan, joissa pisteet oli luokiteltu niille tehdyn tulkinnan mukaan. Mittausaineistosta huomattiin, että pisteet oli luokiteltu tulkinnan tehneen tahon mukaan seuraavasti:

- koodi 8 HK
- koodi 10 Kallio
- koodi 100 Kallio.

Koodille 10 asetetut pisteet oli vuonna 2005 tulkittu alkuperäiseksi kallionpinnaksi. Vuonna 2015 alkuperäisen tulkinnan tehnyt konsultti esitti kuitenkin myös vaihtoehtoisia sijaintia kalliolle, mikä ilmenee koodille 100 asetetuista pisteistä. Kallionpinta tulkittiin osittain uudestaan. Uuden tulkinnan mukaan kallionpinta sijaitsi alueen länsiosassa hieman syvemmällä kuin vuoden 2005 alkuperäisessä tulkinnassa. Aluksi luotauslinjo-

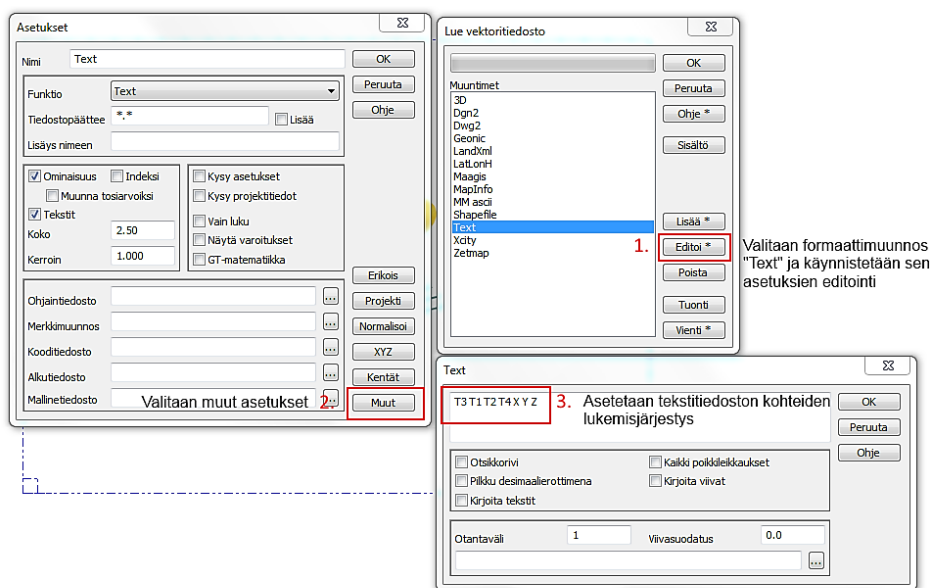
jen pistelistaukset yhdistettiin yhdeksi tekstitiedostoksi, jossa eri rajapintoihin kuuluvat pisteet oli eroteltu yllämainituilla koodiarvoilla. Kun kaikkien rajapintojen pisteet yhdistettiin samaan tiedostoon, ne saatiin eroteltua omiksi pintatiedostoikseen 3D-Winin avulla.

6.6.1 Tekstimuotoinen data vektoritiedostoiksi

Tekstimuotoisten pistelistauksien tuonti 3D-Winiin tehtiin ohjelman formaattimuuntimella. 3D-Winissä yksittäiselle pisteelle voidaan antaa erilaisia ominaisuustietoja neljän eri koodikentän avulla. Oletuksena koodikentät sisältävät seuraavat tiedot:

- T1 pisteen pintatunnus
- T2 pisteen viivatunnus
- T3 pisteen tyyppi tai koodi
- T4 pisteen numerotunnus.

Kenttiin voidaan syöttää arvo joko numeerisena tai tekstimuodossa. Kun pisteet on asetettu oikeille koodeille, on niiden käsittely ja toisistaan erottaminen jatkossa helpompaa. Tekstimuotoiselle rajapintatiedostolle tehtiin formaattimuunnos vektoritiedostoksi. Aluksi ohjelmalle kerrottiin, miten sen tulee lukea tekstitiedosto. Tekstitiedostoissa pisteiden tunnuksien järjestyksellä ei ole käytännössä merkitystä, sillä ohjelmalle voidaan kertoa, missä järjestyksessä kohteet luetaan (kuva 13). Selvyyden ja järjestyksen vuoksi kannattaa kuitenkin tekstimuotoisiin pistelistauksiin ensin listata pisteiden ominaisuuskentät (T1–T4) ja sen jälkeen sijaintitiedot (x-, y- ja z-koordinaatit).



Kuva 13. Tekstitiedoston formaattimuunnos 3D-Winillä.

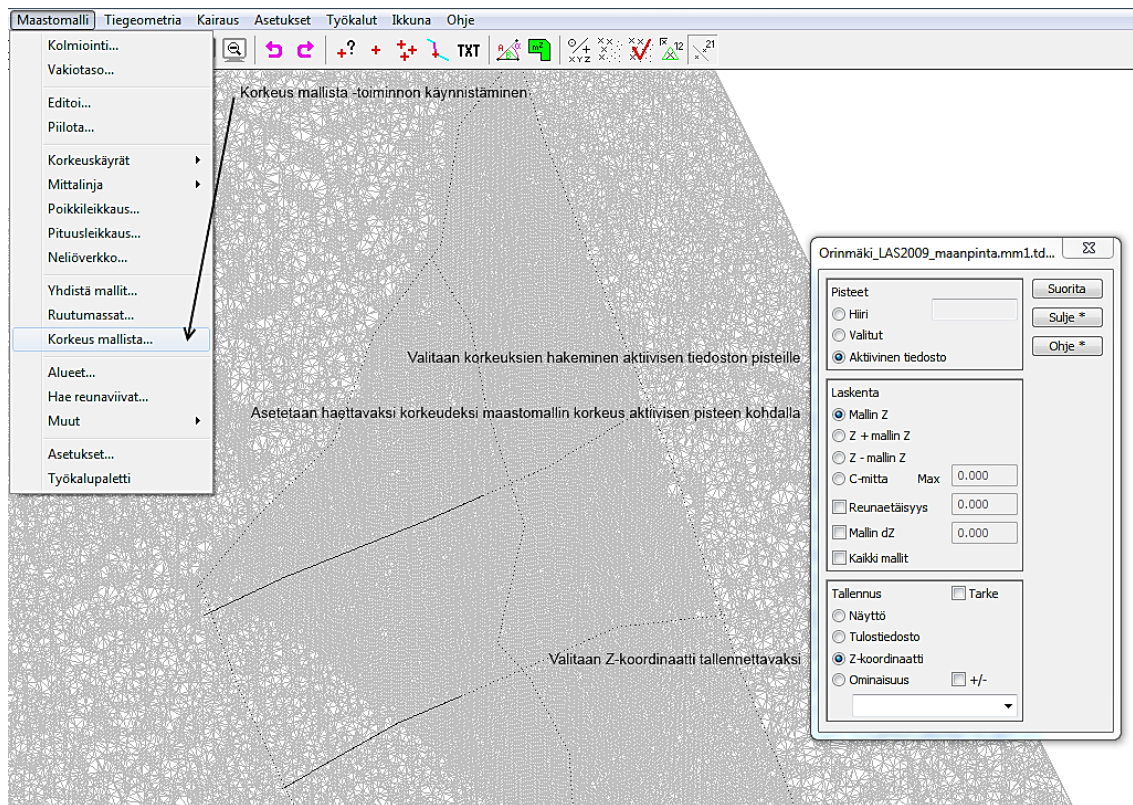
3D-Win käy formaattimuunnoksessa yksitellen läpi jokaisen tekstitiedoston riviä ja muunnokselle asetetun lukemisjärjestyksen mukaan poimii pisteille kohdetiedot vasemmalta oikealle. Formaattimuunnoksen myötä rajapintatiedoston pisteille saatiin seuraavat arvot:

- koodi T3 = 8, 10, 100
- pintatunnus T1 = 2, 4
- viivanumero T2 = 0
- numerotunnus T4 = pistenumero
- X (x-koordinaatti)
- Y (y-koordinaatti)
- Z (z-koordinaatti, syvyysarvo).

Muunnettu tiedosto tallennettiin omaksi tiedostokseen, jolloin alkuperäinen tekstitiedosto säilyi ja jatkossa käsiteltävänä oleva vektoritiedosto voitiin pitää erillään.

6.6.2 Rajapinta-aineiston tuonti N2000-korkeusjärjestelmään

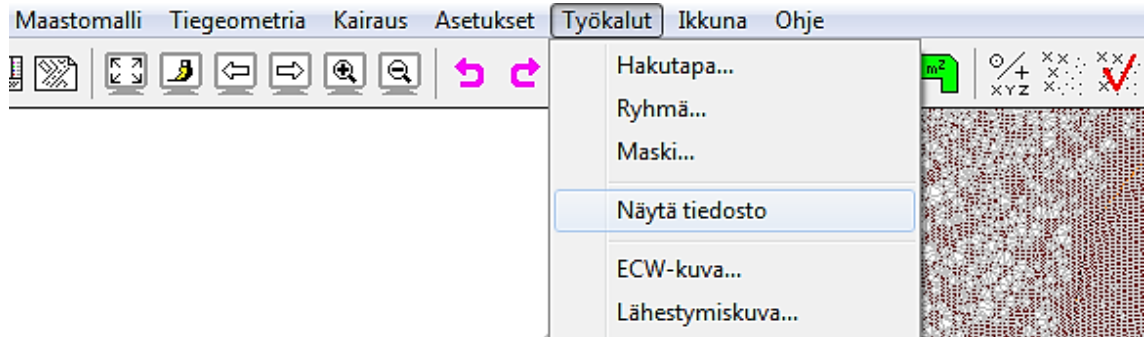
Mallinnuksen kannalta ongelmalliseksi muodostui rajapintojen pisteaineiston z-koordinaattien oleminen syvyysarvoina. Rajapintoja ei saatu suoraan vietyä mallinnus-ohjelmaan siten, että rajapinnat olisivat korkeusjärjestelmässä. Jotta maaperän rajapinnat pystyttiin esittämään yhdessä sora-alueen maanpintamallin kanssa, täytyi rajapintojen syvyystiedot muuntaa sora-alueen nykytilannekartoituksen mukaiseen korkeusjärjestelmään, eli N2000:een. Koska ottotoiminta alueella aloitettiin vuonna 2010, pystyttiin syvyystietojen muuntamisessa hyödyntämään Maanmittauslaitoksen alueelta tuottamaa laserkeilausaineistoa vuodelta 2009. Laserkeilausaineistossa maanpinta oli samassa muokkaamattomassa tilassa, jossa se oli maatutkaluotauksen aikaan. Luotauslinjojen maanpinnan N2000-korkeudet haettiin 3D-Winin ”Korkeus mallista” -toiminnolla. Toiminto etsii aktiiviseksi valitulle tiedostolle korkeudet maastomallista (kuva 14). Maastomallina käytettiin laserkeilausaineiston kolmioituja maanpinnan pisteitä.



Kuva 14. ”Korkeus mallista” -toiminto 3D-Winissä.

Kun luotauslinjojen maanpäälliset korkeudet oli haettu, muunnettiin rajapintojen pisteille N2000-korkeusjärjestelmän mukaiset korkeudet excel-taulukolla. Taulukkoon haettiin

luotauslinjojen pisteiden maanpinnan korkeudet 3D-Winin ”Näytä tiedosto” -toiminnolla (kuva 15). Toiminnolla saatiin tuotettua pistelistaus tekstimuodossa aktiivisesta tiedostosta, josta se voitiin kopioida Excelliin.



Kuva 15. Näytä tiedosto -toiminto 3D-Winissä.

Excelillä tehtyyn taulukkoon liitettiin luotauslinjojen maanpinnan korkeuksien lisäksi alkuperäiset syvyystiedot rajapintojen pisteille. Rajapintojen N2000-korkeusjärjestelmän mukaiset korkeudet saatiin vähentämällä maanpinnan N2000-korkeuksista rajapintojen syvyydet (taulukko 3).

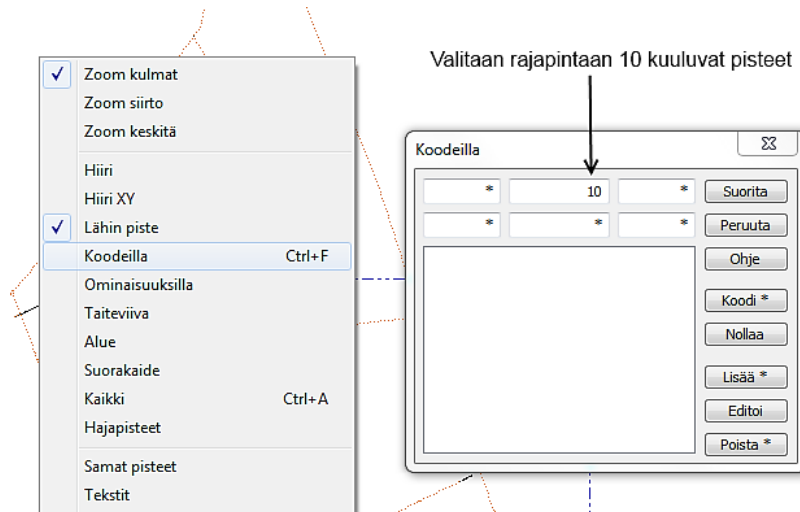
Taulukko 3. Korkeusjärjestelmän määrittely rajapinnan pisteille Excelin laskentataulukossa.

x	y	z (Maanpinta)	Syvyys	z (Rajapinta)
6768588,040	3415999,916	154,921	-6,060	148,861
6768588,722	3416001,308	154,849	-7,634	147,215
6768588,942	3416001,757	154,834	-8,513	146,321
6768589,162	3416002,206	154,804	-9,155	145,649
6768589,382	3416002,655	154,777	-9,796	144,981
6768589,602	3416003,104	154,761	-10,606	144,155

Kun muunnos N2000-korkeusjärjestelmään oli tehty, tuotiin pisteet uudestaan 3D-Winiin käyttäen tekstitiedostojen formaattimuunnosta. Tässä vaiheessa oli saatu kaikki maatutkaluotauksesta tulkitut rajapinnan pisteet tuotua vektorimuotoiseen tiedostoon, niin että ne olivat myös korkeusjärjestelmässä.

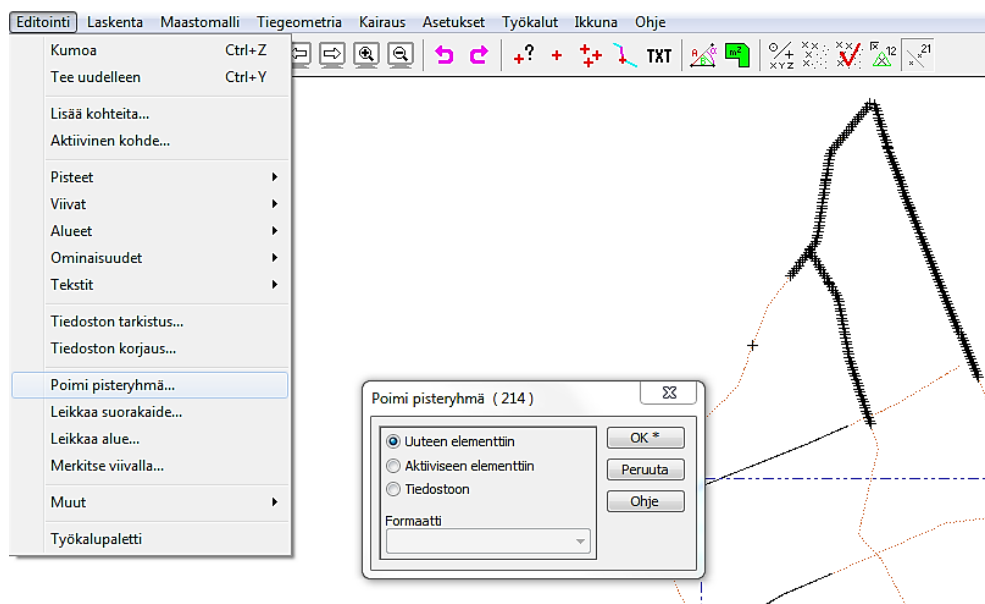
6.6.3 Rajapintojen erittely

Seuraavaksi eroteltiin samassa tiedostossa olleet eri rajapintaluokkiin kuuluneet pisteryhmät omiksi tiedostoikseen. Näin eri materiaalirajapintoja voitaisiin jatkossa muokata ja käsitellä erillään.



Kuva 16. Eri rajapintoihin kuuluvien pisteiden hakeminen 3D-Winissä.

Kuvassa 16 esitetyllä tavalla haettiin eri koodiluokkiin kuuluneet pisteryhmät erilleen omiin tiedostoihinsa. Kun esimerkiksi koodilla 10 olevat pisteet oli haettu, ne eroteltiin omaksi elementtikseen "Poimi pisteryhmä" -toiminnolla (kuva 17).

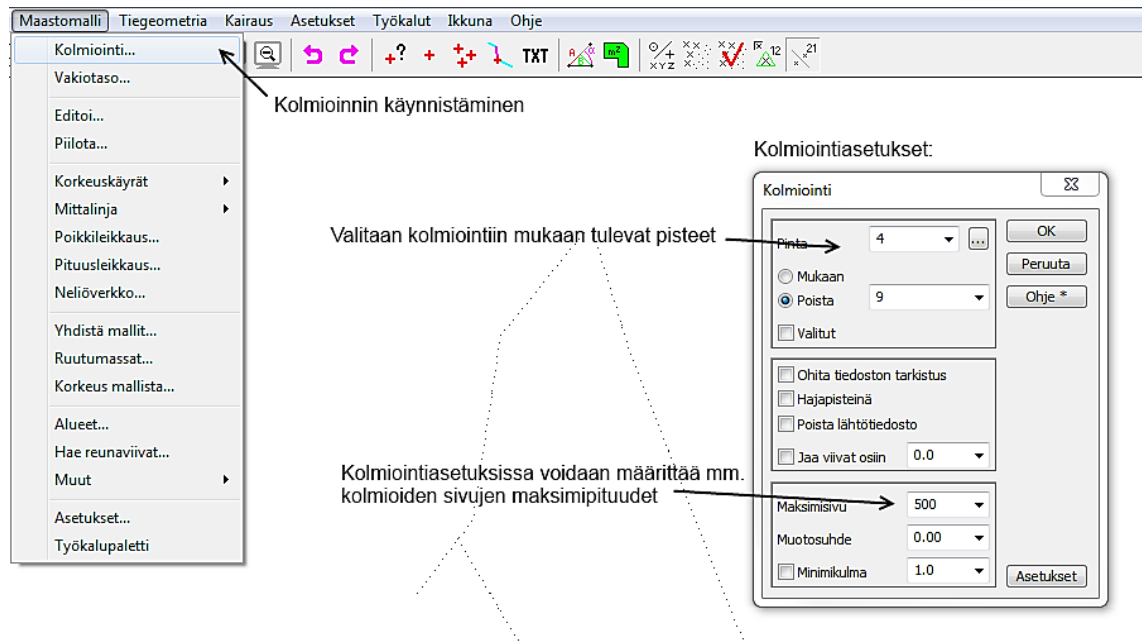


Kuva 17. Pisteiden poiminta omaan elementtiinsä 3D-Winissä.

Kun pisteet oli poimittu omiin elementteihinsä, ne voitiin tallentaa omiksi vektoritiedostoihin.

6.6.4 Pintamallien luonti

Vektorimuotoisten rajapintatiedostojen kolmiointi pintamalleiksi tehtiin 3D-Winin maastomallinnuksella. Maastomallin luonti aloitetaan käynnistämällä kolmiointi (kuva 18).

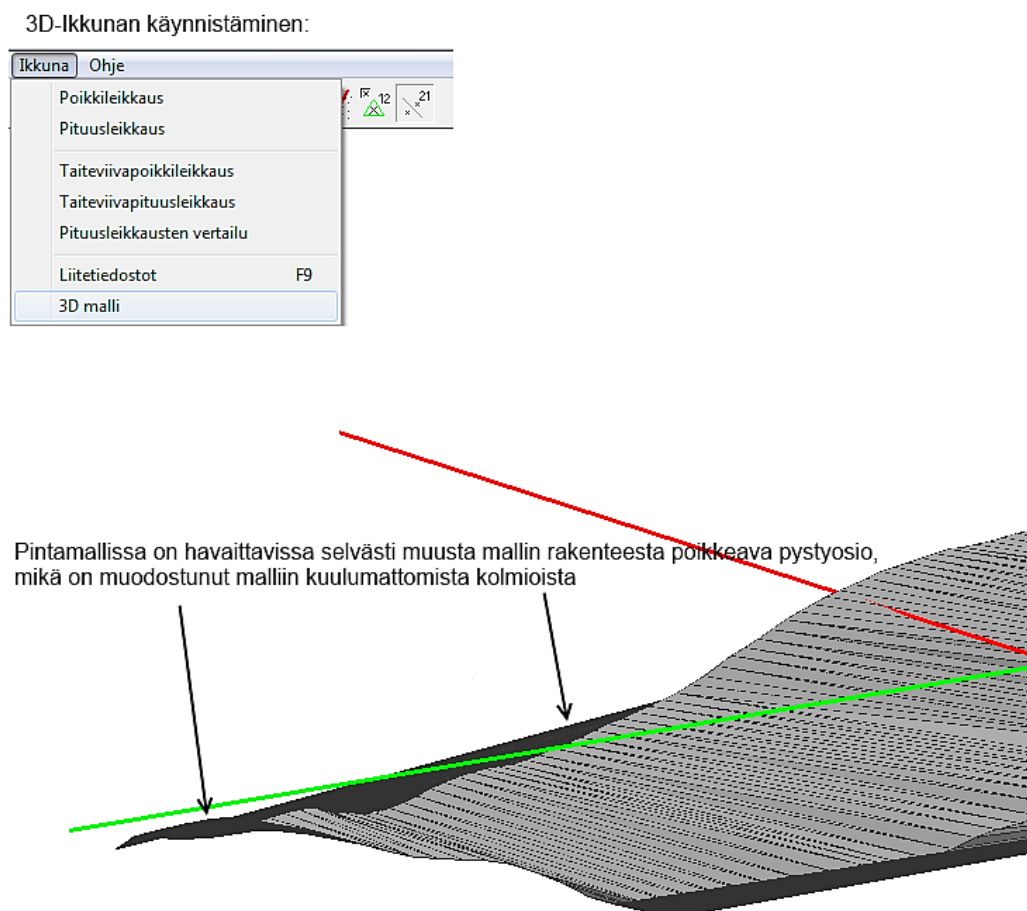


Kuva 18. Pisteiden kolmiointi 3D-Winillä.

Toiminto tekee kolmioverkon pisteiden välille aktiiviseen vektoritiedostoon. Kolmioverkko muodostuu taiteviivoista samalle pintatunnukselle asetettujen pisteiden välille. Toiminto tarkistaa kolmiointia käynnistettäessä pisteverkon mahdolliset virheet sekä ilmoittaa niistä. Käyttäjä voi myös itse määrittää erilaisia asetuksia kolmiointin yhteyteen. Kolmioitavan pintamallin laatu määräytyy sen mukaan, kuinka paljon ja tiheästi havaintoja maaperän rajapinnoista on. Mitä enemmän sijaintitietoa maaperän rajapinnoista on saatavilla, sitä luotettavammin kolmioverkkojen avulla pystytään kuvaamaan niiden muotoja. Pitkät kolmiot havaintopisteiden välillä eivät kuvaa hyvin havaintopisteiden välimaastoa. Esimerkiksi kallionpinnan muodot saattavat muuttua rajusti jo muutaman kymmenen metrin matkalla. Esimerkkikohteelta tehdyistä kolmioiduista pintamalleista voitiin huomata, että kolmioiden sivujen pituudet olivat melko pitkiä. Tämä johtui siitä,

että luotauslinjojen välimatkat olivat suuret. Tämä voidaan huomata esimerkiksi kuvasta 11.

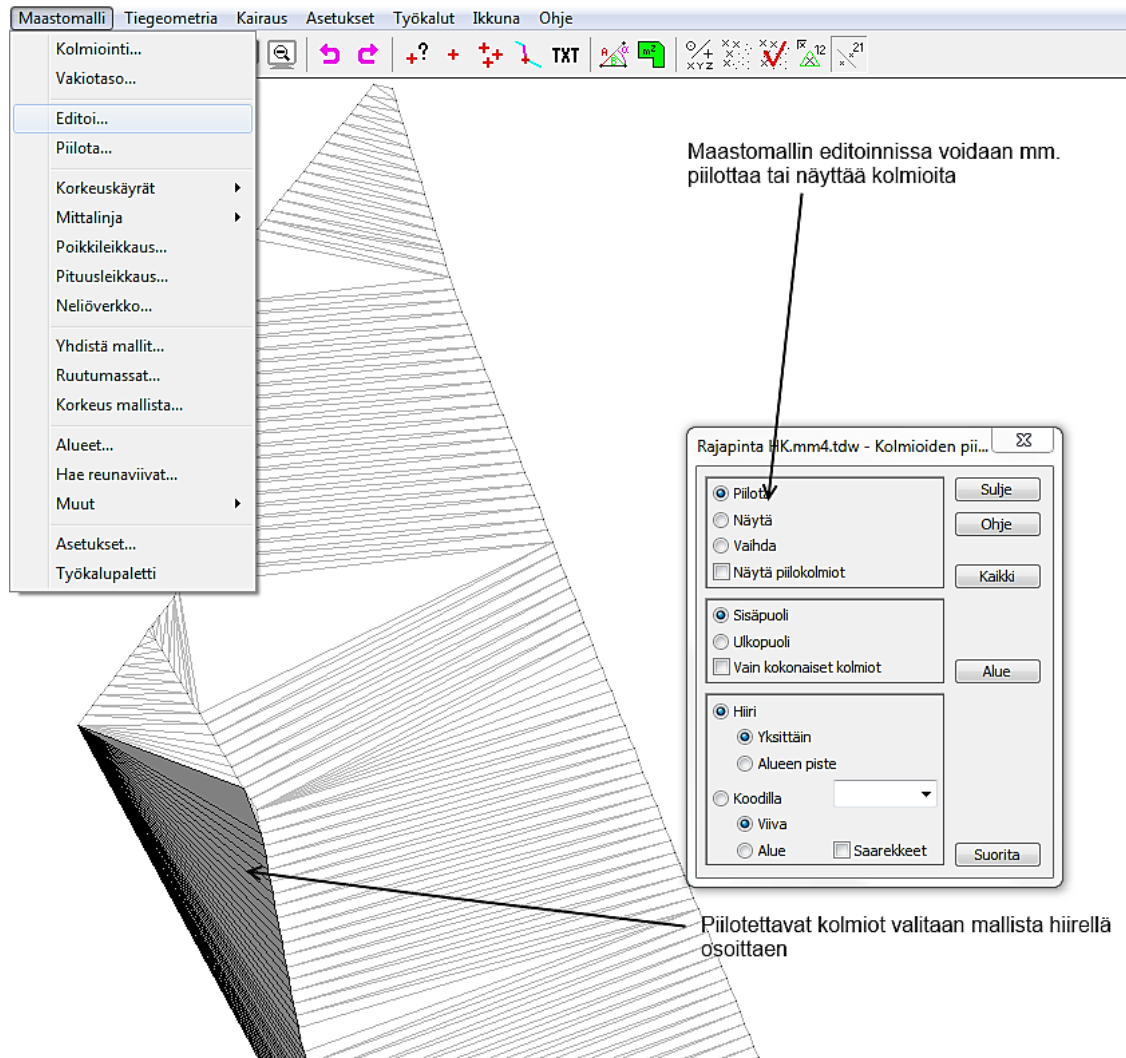
Kun kolmioidut pintamallit oli luotu, niille tehtiin visuaalinen tarkistus 3D-Winillä. 3D-Winissä tiedostoja voidaan katsella kolmiulotteisesti zoomausasetuksia muuttamalla. Kolmioituja pintamalleja voidaan tarkastella myös 3D-ikkunan avulla (kuva 19). Visuaalisella tarkastuksella varmistetaan kolmioverkon eheys ja laatu. Rajapinta-aineistoissa voi esiintyä esimerkiksi nollakorkeuksilla olevia pisteitä, aukkoja kolmioiduissa pintamalleissa tai pintamalliin kuulumattomia kolmioita.



Kuva 19. Mallin tarkastelu 3D-ikkunassa 3D-Winillä.

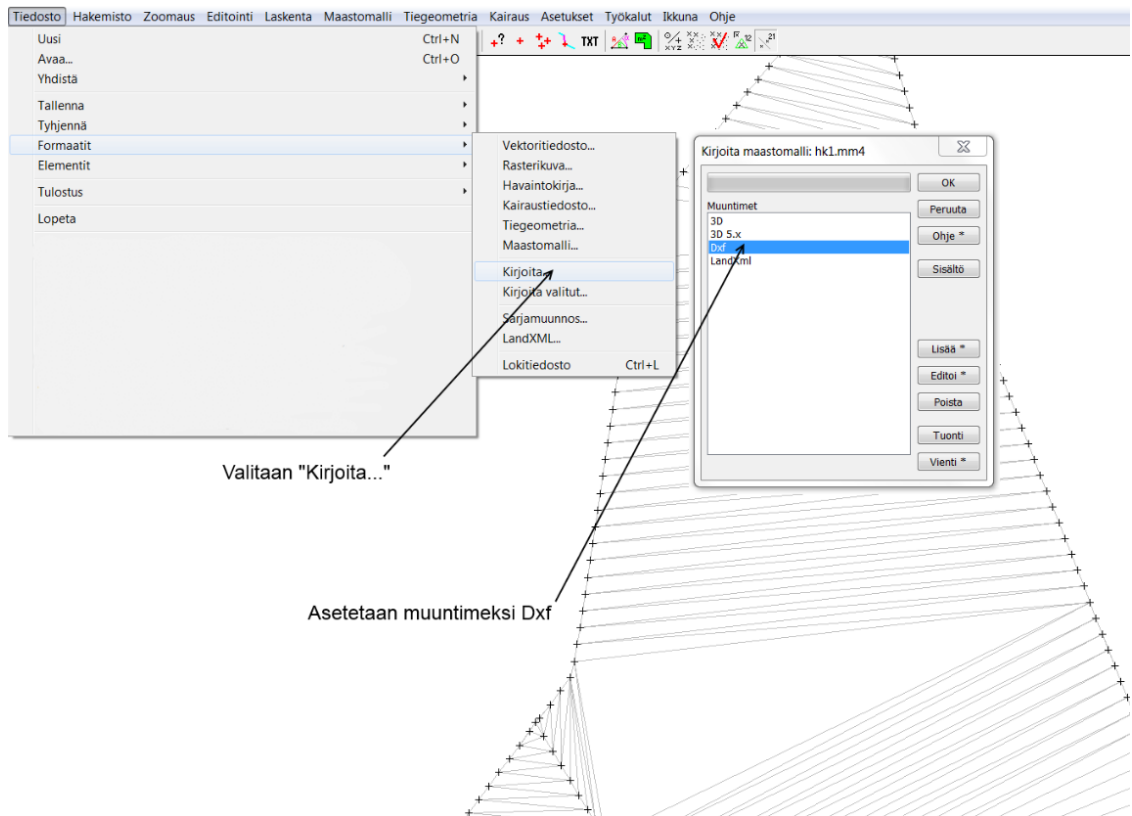
Kolmiointiasetuksia muuttamalla saadaan yleensä helposti korjattua pintamalleissa esiintyvät aukot. Tällöin voidaan esimerkiksi kokeilla kolmioiden sivujen pituuksien kasvattamista. Jos mallissa havaitaan nollakorkeudella olevia pisteitä, ne tulee poistaa.

Malliin kuulumattomat kolmiot voidaan piilottaa käyttämällä 3D-Winin maastomallin editointityökalua (kuva 20). Malliin kuulumattomia kolmioita voi syntyä esimerkiksi käyttämällä kolmioiden maksimisivujen pituuksina liian suuria arvoja.



Kuva 20. Kolmioverkon editointi 3D-Winillä.

Kolmioiduissa pintamalleissa voi ilmetä myös muita virheitä, kuten suuria korkeusvaihteluja lähekkäisten pisteiden välillä tai päällekkäisyyksiä kahden eri rajapinnan välillä. Visuaalisessa tarkistuksessa havaitut karkeat virheet tulisi pyrkiä korjaamaan tai ainakin huomioida mallin selostuksessa.



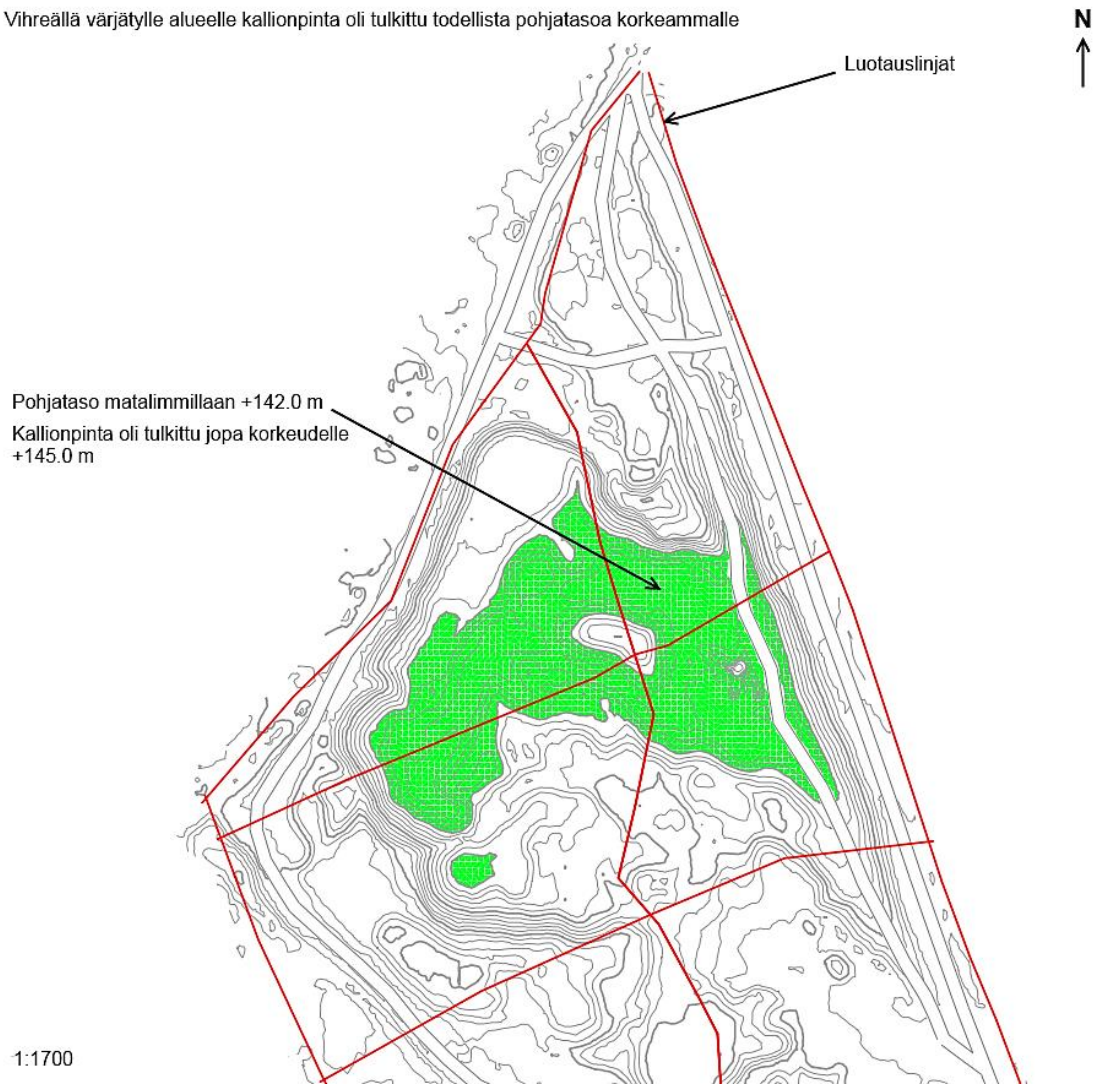
Kuva 21. Pintamallin muunnos 3D-Winillä.

Kun 3D-Winillä luodut pintamallit oli tarkistettu, ne muunnettiin samassa ohjelmassa DXF-formaattiin. Tällöin niitä pystyttäisiin käsittelemään jatkossa käytettävillä ArcGIS-ohjelmilla. Pintamallien muuntaminen DXF-formaattiin tehtiin 3D-Winin formaattimuuntimella (kuva 21).

6.6.5 Kallionpinnan virheellinen tulkinta

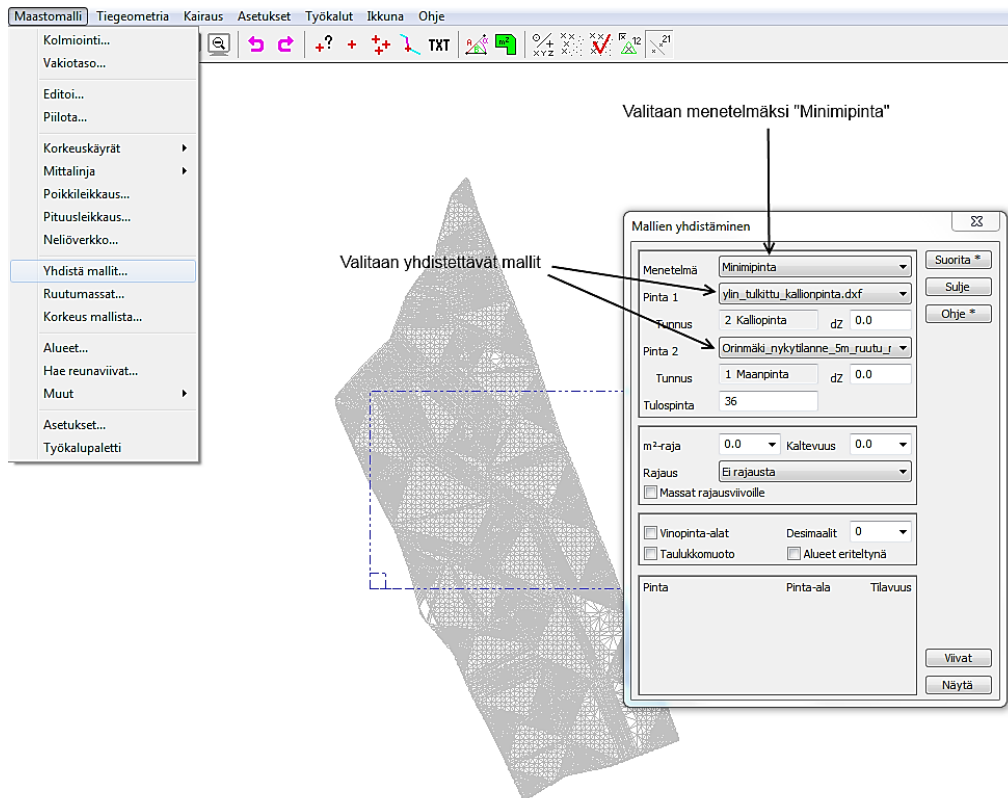
Sora-alueelta tehtyjä pintamalleja tarkasteltaessa havaittiin, että vuoden 2005 maastokartoista tulkittu kallionpinta ei sovi alueen nykytilanteen mukaiseen maastomalliin. Kallionpinta oli sora-alueen nykytilanteen mukaiseen pohjantasoon nähden tulkittu liian korkealle.

Vihreällä värjätylle alueelle kallionpinta oli tulkittu todellista pohjatasoa korkeammalle



Kuva 22. Maatutkatulkinnassa virheellisesti tulkittu kallionpinta sora-alueen alimman pohjatason yläpuolella.

Kuvassa 22 näkyvällä vihreäksi värjätyllä alueella kallionpinta oli tulkittu muutamia metrejä liian korkealle. Kallion todellinen pinta voitiin todeta sora-alueelle kaivetulta alueelta. Virheellinen tulkinta kallionpinnasta korjattiin käyttämällä 3D-Winin maastomallien yhdistämistä minimipintamenetelmällä (kuva 23).



Kuva 23. Mallien yhdistäminen minimipintamenetelmää käyttäen 3D-Winillä.

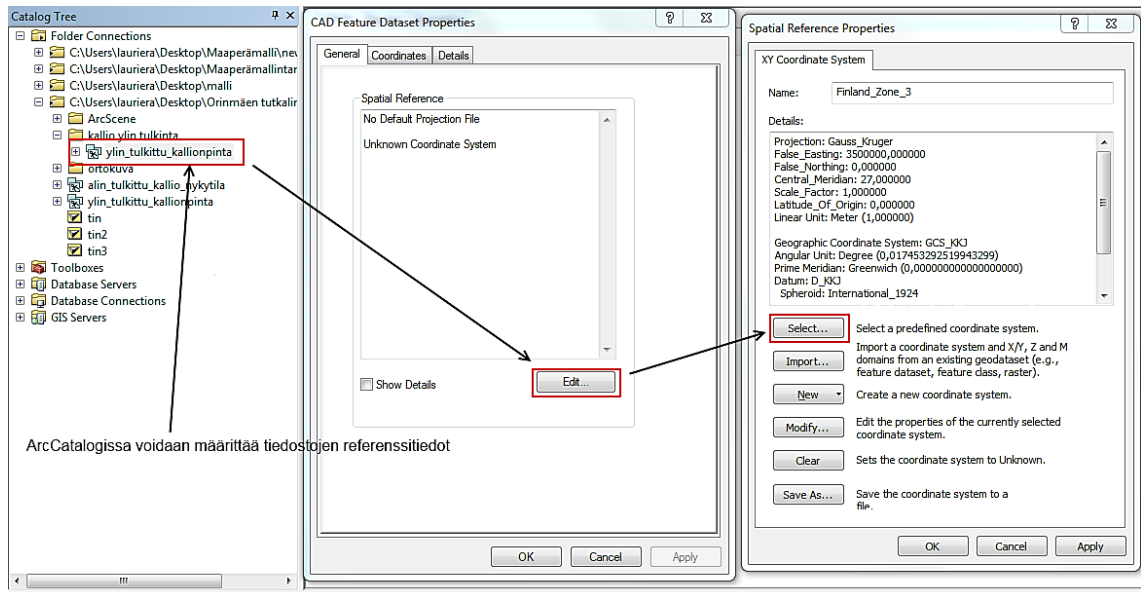
Maastomallien yhdistämisessä käytettiin UAV-kartoituksesta tehtyä maastomallia sekä virheellisestä tulkinnasta tehtyä kallionpintamallia. Toiminto yhdistää mallit siten, että se ottaa molemmista pintamalleista mukaan alimmat pinnat. Näin kallionpinta saatiin asetettua todenmukaiselle tasolle niiltä kohdin, joissa se oli tulkittu väärin.

6.7 Mallinnus ArcGIS 3D Analyystillä

Maaperämallin tekemiseen käytettiin ArcGIS-paikkatietoalustaa sekä ohjelman sovel-luslaajennusta 3D Analystia. Maaperämalliin haluttiin ottaa mukaan maaperän rajapin-tojen lisäksi myös sora-alueen nykytilannetta kuvaava maanpintamalli. Rajapintamalli-en ja maanpintamallin esittäminen yhtä aikaa tehtiin käyttämällä 3D Analystia. 3D Ana-lystilla mallinnusta voidaan tehdä kahdella eri käyttöliittymällä, ArcScenella ja ArcGlo-bella. Tässä työssä hyödynnettiin ArcScenea.

6.7.1 Tietokantojen koordinaatitot

Jotta ArcGIS tunnistaisi 3D-Winillä tuotettujen pintamallien koordinaatitot, niille asetettiin referenssitiedot ArcCatalogia käyttäen (kuva 24).



Kuva 24. Koordinaattijärjestelmän määrittäminen ArcCatalogissa.

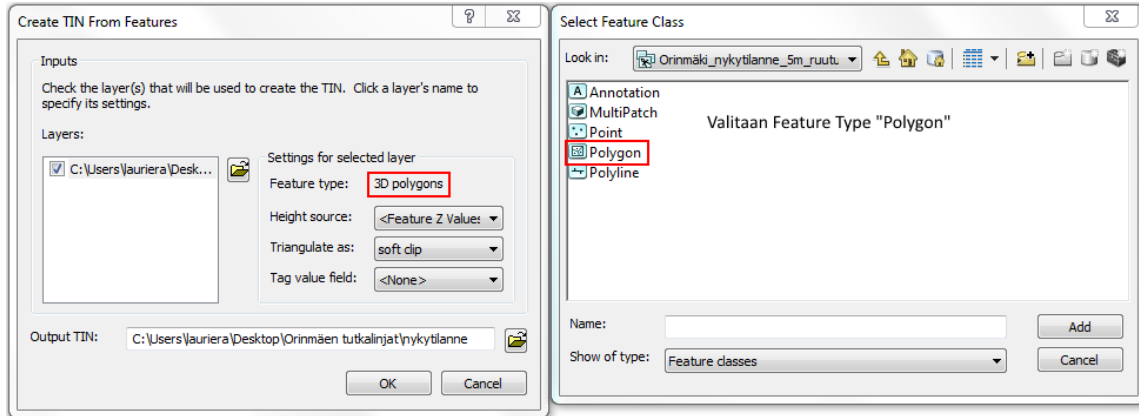
Kun tiedostoille on määritetty oikea koordinaattijärjestelmä, tunnistaa ArcGIS tiedostoissa käytössä olevat yksiköt. Jos koordinaattijärjestelmää ei aseteta ArcCatalogin kautta etukäteen, voi ohjelma antaa virheilmoituksia referenssitietojen puutteista, mikä saattaa estää työn jatkamisen.

6.7.2 TIN- ja blokkimallit

Jotta 3D Analystin mallinnustoimintoja voitiin soveltaa DXF-tiedostoihin, täytyi niistä ensin tehdä ohjelmaan soveltuvat kolmioverkkotiedostot, eli TIN-tiedostot. Aluksi tehtiin TIN sora-alueen nykytilanteen mukaisesta maanpinnasta. Tähän käytettiin sora-alueelle tehdystä UAV-kartoituksesta tuotettua pistepilviaineistoa. Pistepilvestä tehty maastomalli muunnettiin 3D-Winillä DXF-formaattiin 3D Analystin käyttöä varten.

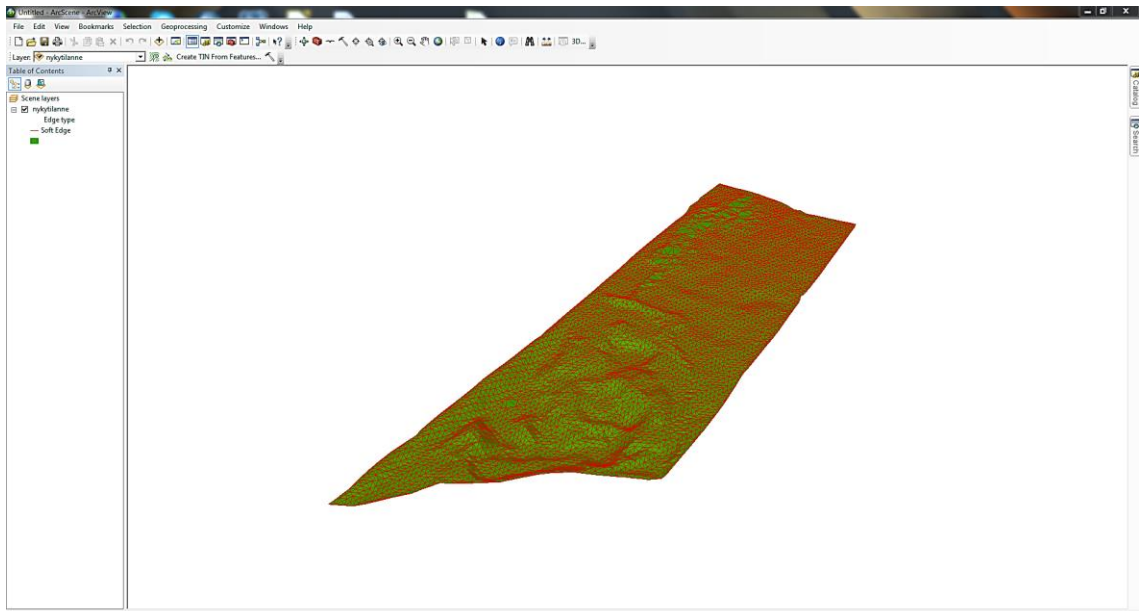
TIN-tiedoston luonti käynnistetään toiminnolla ”Create TIN From Features” (kuva 25). Toiminnon valintaikkunaan haetaan pintamallin DXF-tiedosto sekä valitaan tiedostosta mallinnettava ominaisuus eli ”Feature Type”. Toiminnon käynnistysikkunassa määritel-

lään mallin korkeuslähde "Height Source" sekä käytettävä kolmiointitapa "Triangulate as". TIN-tiedoston korkeuslähteeksi valitaan mallinnettavan tiedoston z-koordinaatit ja mallinnettavaksi ominaisuudeksi valitaan polygonit. Toiminto tunnistaa pintamallitiedostojen kolmiot polygoneina.



Kuva 25. TIN-tiedoston luonti ArcScenellä.

Toiminnon käynnistämisen myötä ArcScenen näkymään saatiin esille kolmiulotteinen pintamalli sora-alueen maanpinnasta (kuva 26).



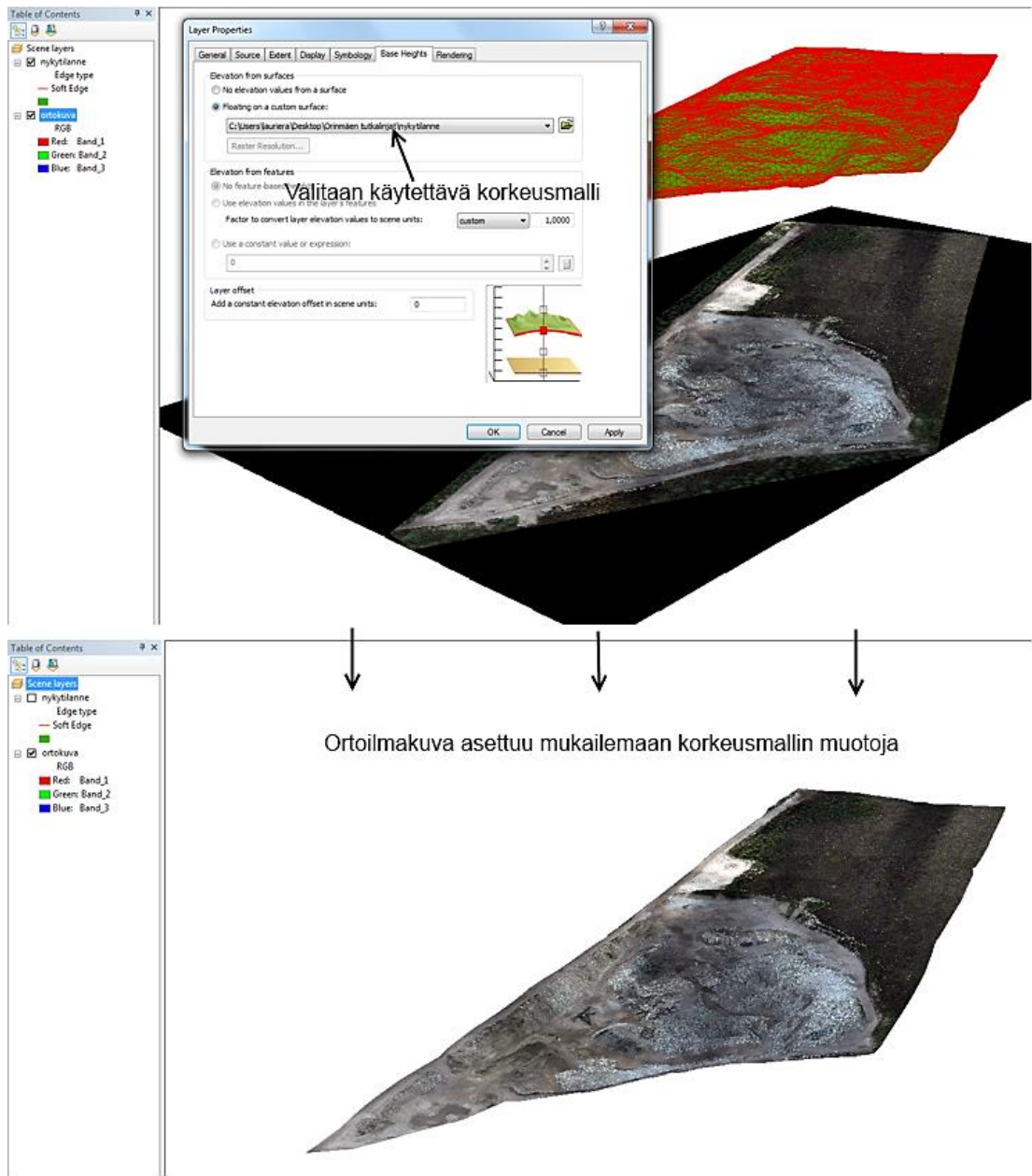
Kuva 26. Orinmäen sora-alueen maanpintamalli TIN-pintana ArcScenen käyttöikkunassa.

Jotta maanpintamallista saatiin paremmin maastonmuotoja kuvaileva sekä visuaalisesti selkeämpi, asetettiin pintamallin päälle georeferoitu ortoilmakuva (kuva 27). Ortoilmakuvan lisääminen nykyiseen tasonäkymään tehdään "Add Data" -toiminnolla.



Kuva 27. Ortoilmakuva Orinmäen sora-alueelta.

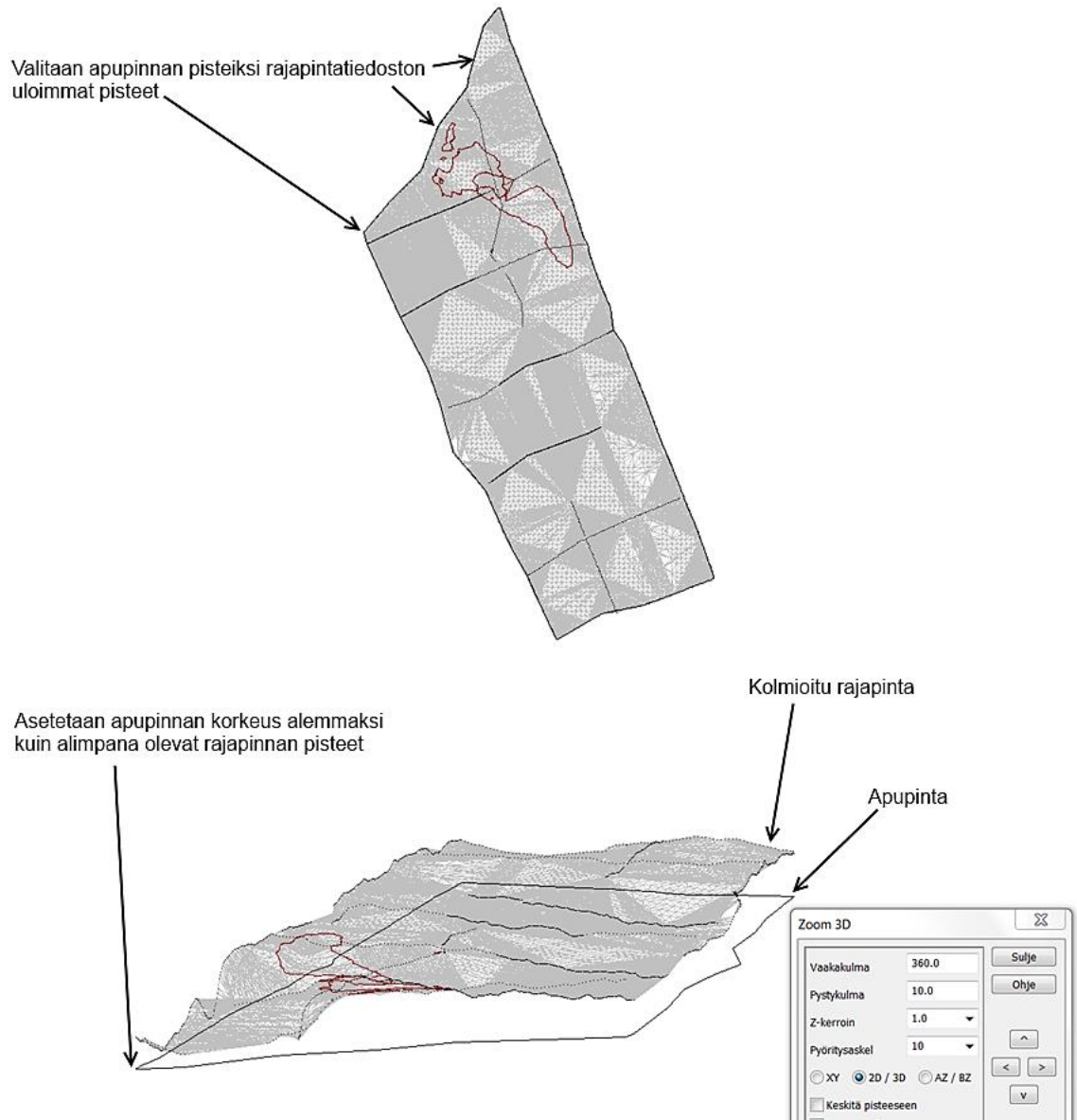
Kun ortoilmakuva oli avattu, voitiin sille määrittää korkeusmalli tiedoston ominaisuuksista (kuva 28). Ortoilmakuvalle asetettiin korkeusmalliksi aikaisemmin luotu TIN maanpinnasta. Näin ortoilmakuva saatiin mukailemaan sora-alueen maaston muotoja.



Kuva 28. Korkeusmallin määrittäminen ortokuvalle ArcScenessä.

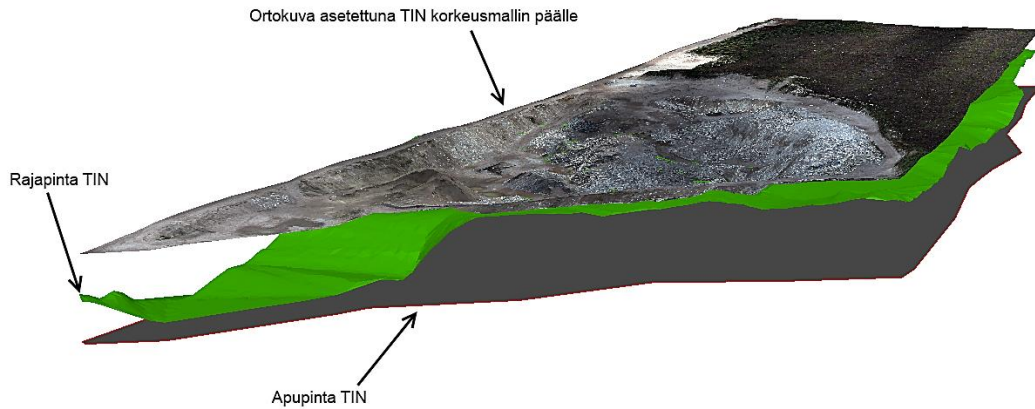
Seuraavaksi tehtiin TIN-tiedostot maaperän rajapinnoista. Kallionpinnan mallintamiseen käytettiin sekä alkuperäisen että uuden tulkinnan mukaisia kallon pisteitä. Uuden tulkinnan mukaan kallonpinta oli osittain syvemmillä kuin alkuperäisessä tulkinnassa. Kallionpintamallit päätettiin tehdä sekä ylimmän että matalimman tulkinnan mukaan. Jotta malleista saataisiin selkeämmät, päätettiin ottaa mukaan apupinta, johon maaperän rajapintamallit ulotettaisiin. Näin rajapintamalleista saataisiin luotua yhtenäiset ja kiinteät kappaleet maanpintamallin alapuolelle. Kun pintamallien väliin jäävä tyhjä tila malleissa täytetään, saadaan paremmin esitettyä mallin syvyysulottuvuutta. Apupinta

luotiin 3D-Winillä ottamalla rajapintatiedostosta mukaan uloimmat reunapisteet samalla asettaen ne korkeudeltaan alemmalle tasolle kuin alimmat rajapintojen pisteet (kuva 29).



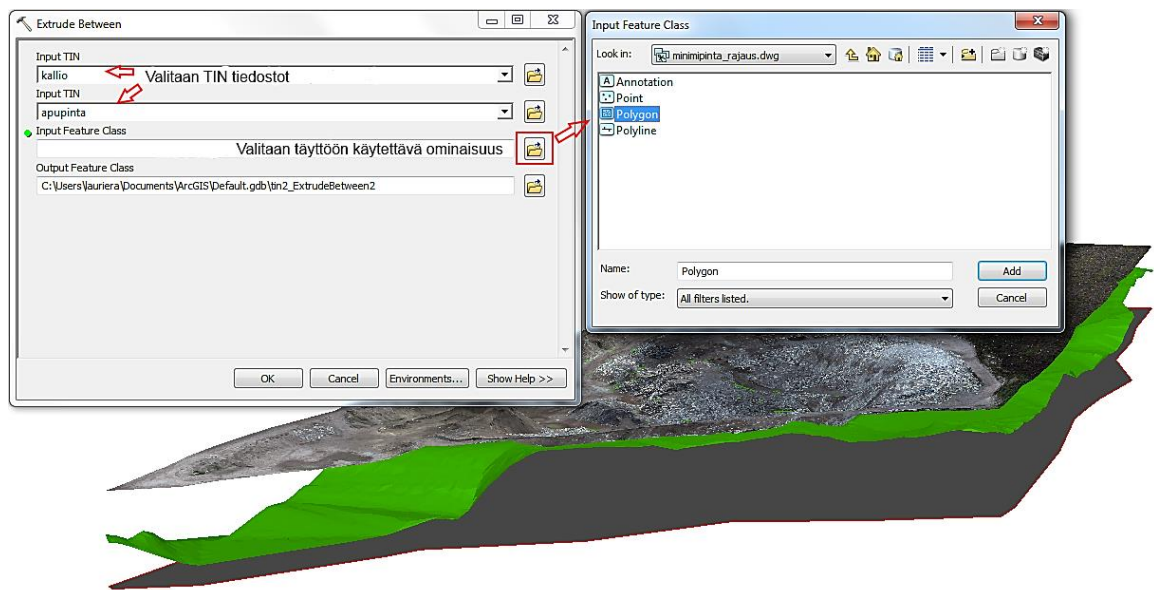
Kuva 29. 3D-Winillä luotu apupinta rajapintamallin alapuolella.

Apupinnalle tehtiin 3D-Winillä formaattimuunnos shapefile-tiedostoksi, jonka jälkeen siitä tehtiin TIN-tiedosto 3D Analystillä (kuva 30). Viivoista ja pisteistä koostuvista shapefile-tiedostoista voidaan 3D Analystillä tehdä TIN-mallit samalla tavalla kuin DXF-tiedostoista.



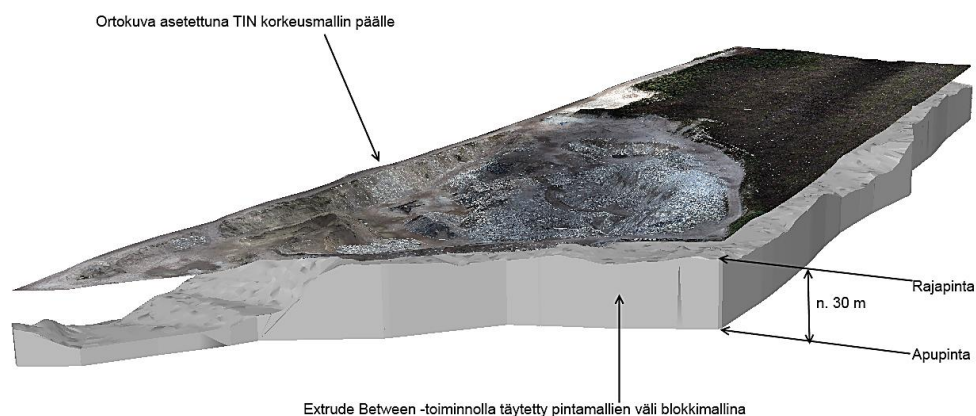
Kuva 30. Apupinta mallinnettuna yhdessä kalliorajapinnan ja maanpinnan kanssa ArcScenessä.

Kun apupinta oli tuotu ArcSceneen, käytettiin ”Extrude Between” -toimintoa täyttämään apupinnan ja rajapinnan väliin jäävä tyhjä tila (kuva 31). Kuten TIN-tiedostoja tehtäessä, valittiin käytettäväksi ominaisuudeksi polygonit.



Kuva 31. TIN-tiedostojen väliin jäävän tilan täyttäminen ArcScenessä.

Täyttämällä apupinnan ja rajapinnan väliin jäävä tyhjä tila, saatiin luotua blokkimainen malli rajapinnasta maanpintamallin alapuolelle (kuva 32).

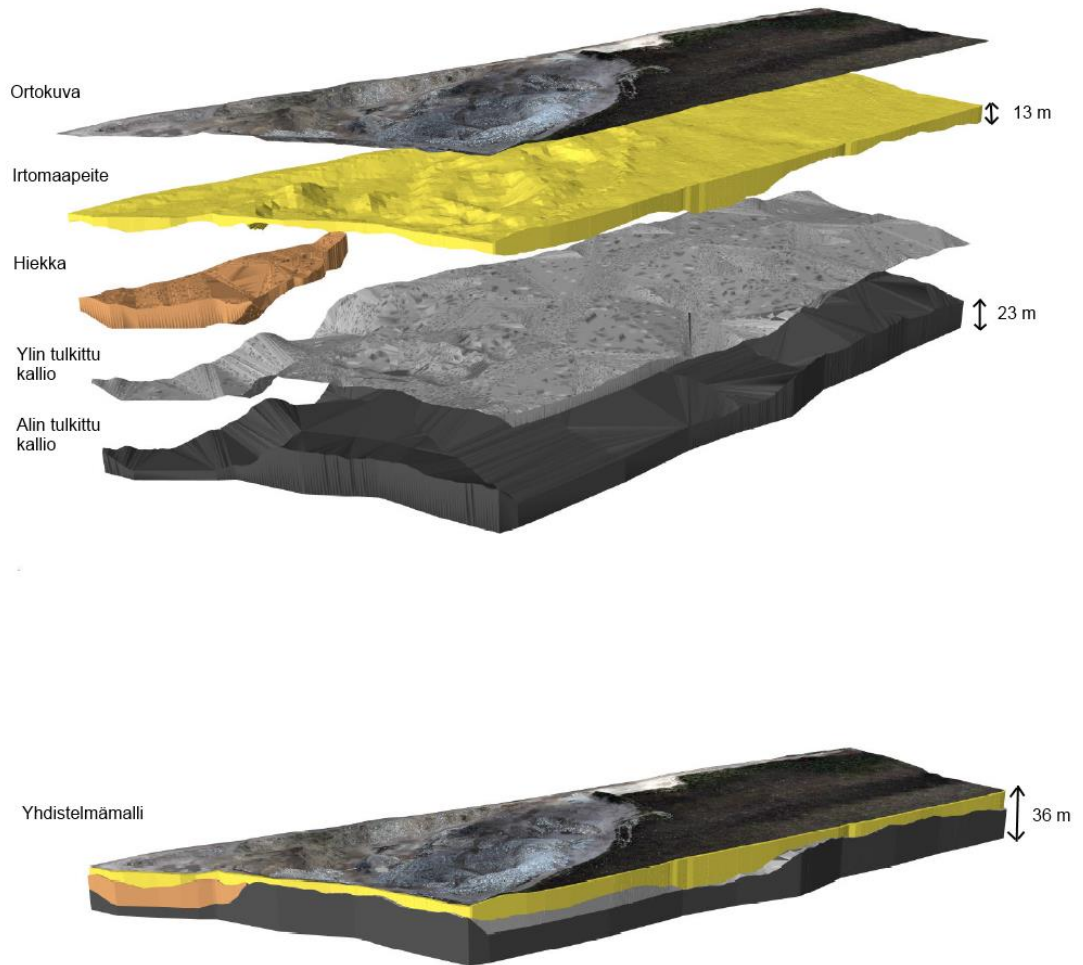


Kuva 32. 3D Analytilla luotu blokkimalli ArcScenessä.

Kaikista rajapinnoista tehtiin blokkimallit ”Extrude Between” -toiminnolla. Myös kaikkien rajapintojen yhtäaikaista esittämistä samassa blokkimallissa kokeiltiin, tavoitteena tuottaa mahdollisimman kattava näkymä maa-ainesalueen geologisesta rakenteesta. Luvussa 6.7.3 esitellään eri rajapintablokeista koostuva yhdistelmämalli.

6.7.3 Yhdistelmämalli

Yhdistelmämallia varten mallinnettiin kaikki sora-alueelta tulkitut rajapinnat, sekä täytettiin rajapintojen väliin jäävät alueet yksittäisten blokkimallien luomiseksi. Jotta eri rajapintojen muodot saatiin paremmin näkyviin, asetettiin blokkimallit eri korkeuksille. Blokkimalleille määritettiin poikkeavat korkeudet niiden alkuperäisistä korkeusasemista muokkaamalla tasojen ominaisuuksia ArcScenessä (Layer Properties). Tason ominaisuuksista mallin korkeusasemaa voitiin vaihtaa ”Layer Offset” -asetuksella. Kuvan 33 mallissa rajapinnat asetettiin 25 metrin korkeuserolle toisistaan.

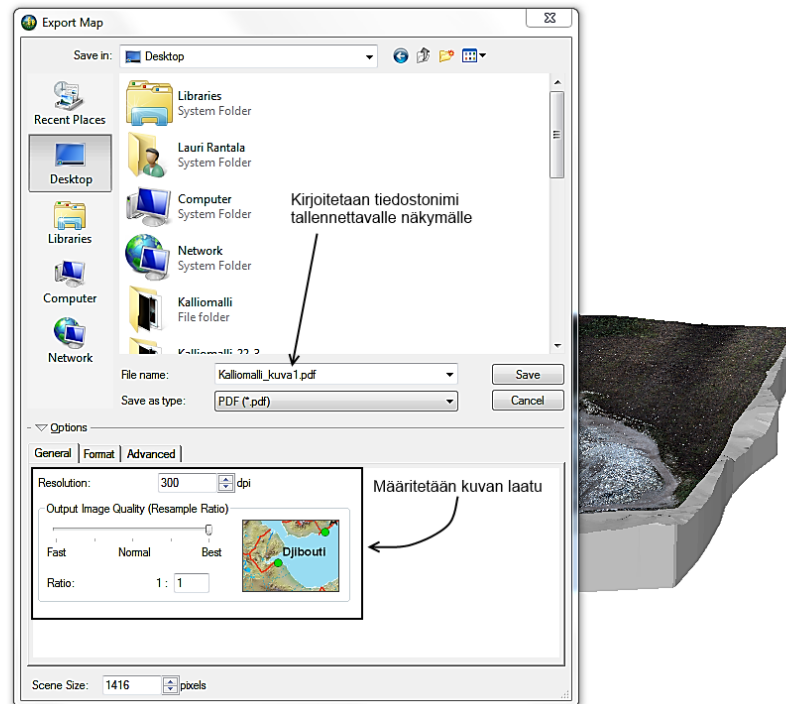


Kuva 33. Orinmäen sora-alueen rajapinnat esitettynä eroteltuina blokkeina sekä yhdistelmämallina. Kuva on ArcScenellä luotu tuloste, johon on jälkikäteen kirjoitettu kuvan editointisovelluksella mallin osien selosteet.

Malliin otettiin lisäksi mukaan kuva tilanteesta, missä rajapintablokkien korkeuksia ei muutettu. Eri rajapintojen erottamista kuvassa korostettiin asettamalla rajapintablokit omille väreilleen.

6.7.4 Tietokantojen tallentaminen ja 3D-näkymien tulostaminen

ArcScenessä luodut TIN-tiedostot tallentuvat käyttäjän määrittämiin kansioihin. Ne voidaan jatkossa lisätä tasonäkymään "Add Data" -toiminnolla. Myös tasonäkymä voidaan tallentaa siten, että tallennuksen hetkellä esitetyt tasot saadaan myöhemmin avattua ja työtä voidaan jatkaa siitä, mihin viimeksi jäätiin. Tasonäkymä tallentuu SXD-tiedostoksi. Jos blokkimallit halutaan tallentaa, tulee niistä tehdä shapefile-tiedostot "Layer 3D to Feature Class" -toiminnon avulla.



Kuva 34. 3D-näkymän tulostaminen ArcScenessä.

ArcScenestä voidaan tarvittaessa tulostaa 3D-näkymiä valitsemalla "File → Export Scene → 2D". Tallennusmuodoksi voidaan valita esimerkiksi PDF (kuva 34). Näkymää tallennettaessa voidaan myös määrittää tulostettavan kuvan laatuasetukset.

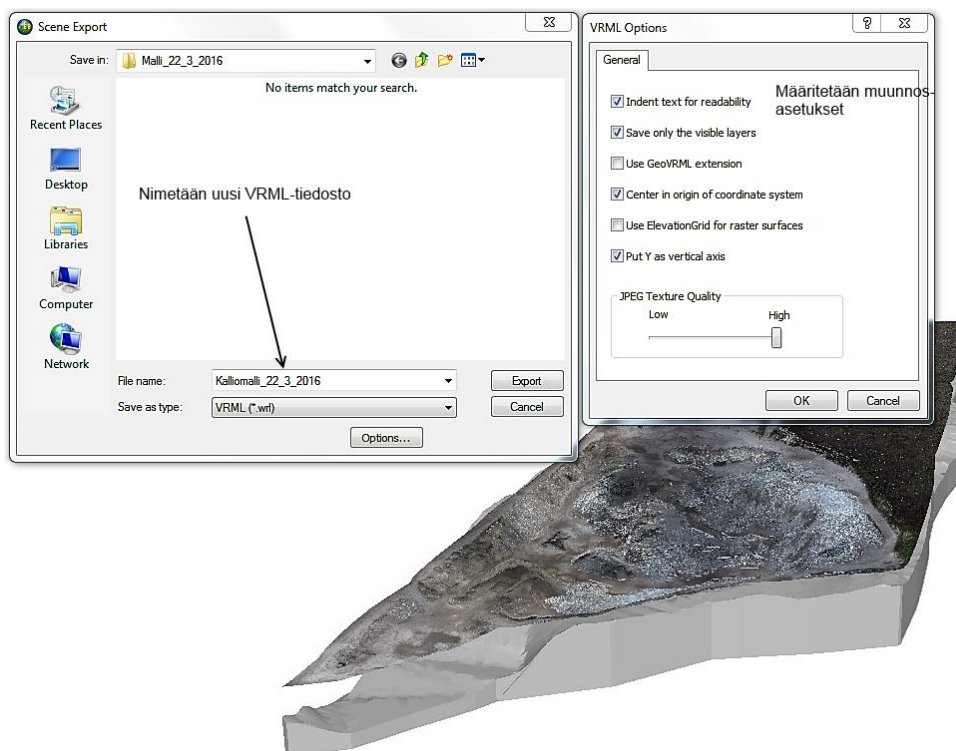
6.8 Virtuaalimalli

3D Analystilla luotu maaperämalleja pystyttiin esittämään 3D-muodossa lähinnä vain ArcScenen käyttöliittymässä. Kolmiulotteinen malli on parhaimmillaan silloin, kun mallia tarkasteleva pystyy itse interaktiivisesti katsomaan ja kääntelemään sitä. 3D-maaperämallin esittämistä ja jakamista varten kokeiltiin mallin muuntamista 3D PDF:ksi. Tarkoituksena oli, että malli voitaisiin jakaa PDF-tiedostona ja että siitä voitaisiin tarkastella haluttuja ominaisuuksia ja tietoja helposti.

6.8.1 VRML-muunnos

Jotta malli saatiin muunnettua FME:llä 3D PDF:ksi, siitä tehtiin ensin VRML-tiedosto. VRML on kolmiulotteisen datan esittämiseen sopiva tekstimuotoinen tiedostoformaatti.

Maaperämalli muunnettiin VRML-tiedostoksi ArcScenessä ”Export Scene” -toiminnolla (kuva 35).



Kuva 35. Mallin muuntaminen VRML-formaattiin ArcScenessä.

Kuvan 33 muunnosasetuksilla VRML-tiedosto saatiin sellaiseen muotoon, että sen muunnos FME:llä Adobe 3D PDF:ksi onnistui. GeoVRML-asetuksen käyttö muunnoksessa toimii vain UTM- tai WGS84-pohjaisten aineistojen kanssa.

VRML-muunnoksen asetuksilla voidaan vaikuttaa seuraaviin asioihin:

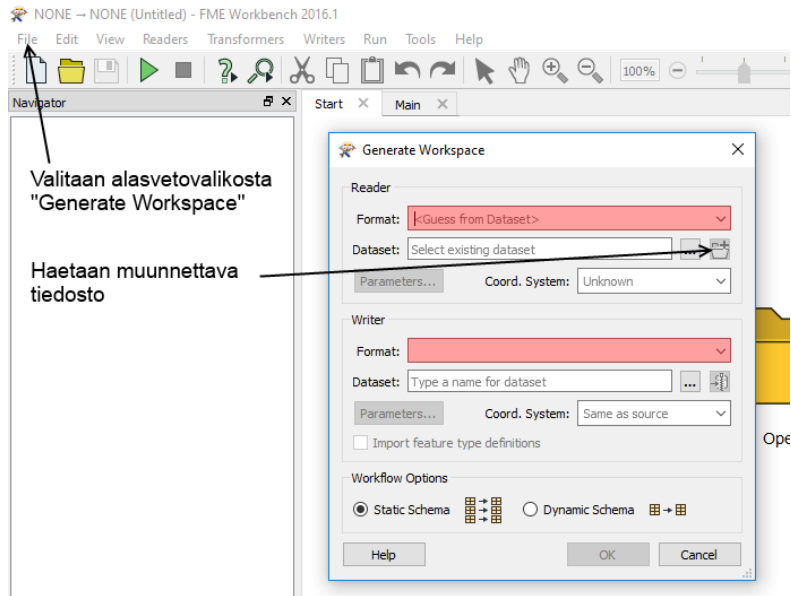
1. Indent text for readability: Kun asetus on valittu, sisentyvät tekstit automaattisesti VRML-tiedostossa. Asetuksen valitseminen helpottaa tiedoston tarkastelua tekstieditorilla.
2. Save only the visible layers: Kun asetus on valittu, tulevat VRML-tiedostoon mukaan vain ne tasonäkymät, jotka on ArcScenessä sillä hetkellä valittu näkyviksi.
3. Center in origin of coordinate system: Kun asetus on valittu, malli siirtyy keskele koordinaatiston origo, eli nollapistettä.

4. Use ElevationGrid for raster surfaces: Korkeusruudukon käyttö rasteripinnoille. Kun asetus on valittu, kasvaa lopullinen tiedostokoko jonkin verran. Asetuksen jättäminen päälle ei näyttäisi vaikuttavan 3D PDF:ään muilla tavoin.
5. Put Y as vertical axis: Kun asetus on valittu, asettuu Y-akseli pystysuuntaiseksi koordinaattiakseliksi.
6. JPEG Texture Quality: Liukusäätimen avulla voidaan määrittää kuvien laatu.

Muunnoksen tekemiseen kokeiltiin erilaisia asetuksia, tarkoituksena löytää keino muuntaa maaperämalli koordinaattitiedot sisältävänä 3D PDF:ksi. Useiden eri kokeilujen jälkeen saatiin VRML-tiedostosta muunnettua mallille koordinaattitiedot sisältävä 3D PDF. Lopputuotteessa kuitenkin ilmeni suuria ongelmia 3D-objektien piirtymisen kanssa. Kun 3D PDF:ssä esimerkiksi zoomattiin lähelle rajapintoja, katosi osa tekstuureista, mikä teki kuvan katselusta vaikeaa. Kuvan esitysongelmat saatiin korjattua siirtämällä malli keskelle koordinaatiston origoa, eli käyttämällä asetusta "Center in origin of coordinate system". Tämä tarkoitti kuitenkin sitä, ettei 3D PDF:stä saataisi enää ulos käytökelpoisia x- ja y-koordinaatteja. Mallin sisäiset metrimääräiset korkeussuhteet kuitenkin säilyivät. Maaperämallin oleminen oikeassa koordinaattijärjestelmässä ei ollut kovinkaan tärkeää, sillä mallin tarkastelussa tuskin tultaisiin käyttämään tai tarvitsemaan tarkkoja tasosijainteja. Tärkeintä oli, että mallista pystyttäisiin tarkastelemaan rajapintojen ja maanpinnan välisiä korkeuseroja.

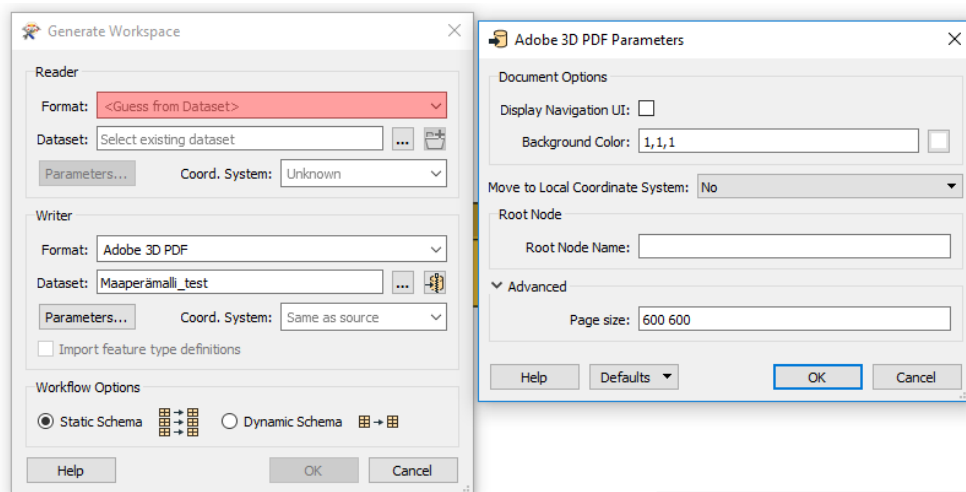
6.8.2 3D PDF -muunnos

VRML-tiedoston muunnos 3D PDF:ksi tehtiin käyttämällä FME Workbench -sovellusta. Aluksi FME Workbenchiin luotiin uusi työtila valitsemalla "Generate Workspace" (kuva 36). Uuteen työtilaan määritellään muunnoksen luku- ja kirjoitusasetukset ("Reader" ja "Writer"). Lukuasetuksiin haettiin ensin muunnettava VRML-tiedosto kohtaan "Dataset", minkä jälkeen ohjelma tunnistaa muunnettavan tiedoston formaatin. VRML-formaattia ei siis tarvinnut erikseen valita. Koska muunnettava VRML-tiedosto ei ollut todellisessa koordinaatistossa, ei luku- tai kirjoitusasetuksissa tarvinnut asettaa käytettävää koordinaatistoa.



Kuva 36. Uuden työtilan luonti FME Workbenchissä.

Muunnoksen kirjoitusasetuksiin vaihdettiin formaatiksi "Adobe 3D PDF" sekä määritettiin kohtaan "Dataset" uuden tiedoston tallennussijainti ja tiedostonimi. Lisäksi kohdasta "Parameters" voitiin määrittää 3D PDF-tiedoston taustaväri, navigointinäkymän näyttäminen sekä sivukoko (kuva 37). Parametriasetuksissa voidaan myös päättää, siirretäänkö aineisto paikalliseen koordinaatistoon ("Move to Local Coordinate System"). Tämä asetus tulee jättää pois päältä, sillä jos asetus on päällä, ei muunnettu 3D PDF toista sisältöä ollenkaan.

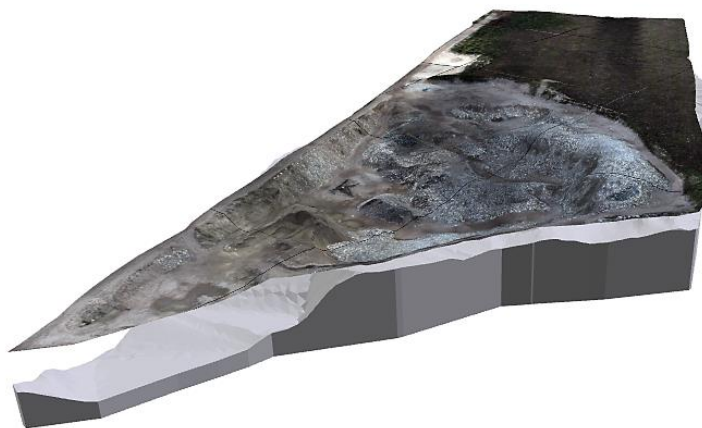


Kuva 37. Työtilan muunnosasetuksien määrittäminen FME Workbenchissä.

Kun muunnosasetukset oli määritetty, hyväksyttiin uusi työtila painamalla ok. Muunnoksen käynnistämisen myötä saatiin VRML-tiedosto muunnettua 3D PDF -muotoon. 3D PDF -virtuaalimalliin otettiin esitettäväksi ArcScenessä luotu blokkimalli kallionpinnasta sekä ortoilmakuva asetettuna maanpinnan korkeusmallin päälle. ArcScenessä mallin osille määritetyt visuaaliset tehosteet, kuten esimerkiksi värit tai tekstuurit, säilyvät muunnoksessa.

6.8.3 3D PDF maaperämallin katselualustana

3D PDF -tiedostoja pystytään tarkastelemaan Adobe Readerillä. Tässä opinnäytetyössä testattiin Adobe Readerin versiota 9. Adobe Reader on PDF-tiedostojen katseluohjelma, jonka voi ladata ilmaiseksi Adoben internetsivuilta. Koska katselualusta on ilmainen, on virtuaalimalli helposti jaettavissa ja tarkasteltavissa kenen tahansa käyttäjän toimesta. Normaalista PDF-tiedostosta poiketen, kun 3D PDF avataan, ilmestyy Adobe Readeriin 3D-katseluikkuna (kuva 38). Tiedostoa voidaan tarkastella joko kokonäyttötilassa tai normaalina sivunäkymänä. 3D-mallia voidaan hiirellä liikuttaa ja käänellä näytöllä. Muihin toimintoihin lukeutuu muun muassa eri osien piilottaminen tai näyttäminen, mallin valaistuksen säätäminen, 3D-mittausten tekeminen ja 3D-kommenttien lisääminen.



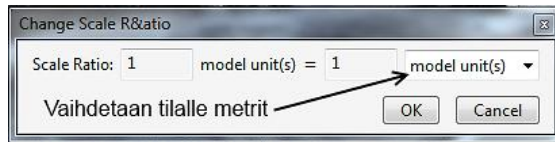
Kuva 38. Virtuaalimalli Adobe Readerin 3D-ikkunassa.

Kuvaan 38 on numeroitu hyödyllisimmät 3D-ikkunan toiminnot:

1. mallin kääntäminen
2. mallin kiertäminen
3. mallin panorointi
4. 3D-mittaustyökalu
5. 3D-kommenttien lisääminen
6. mallin projisointitavan muuttaminen (perspektiiviprojektio tai ortografinen projektiio)
7. mallinmuodostustilan muuttaminen (voidaan esimerkiksi muuttaa malli läpinäkyväksi)
8. mallin valaistuksen muuttaminen
9. 3D-ikkunan taustavärin muuttaminen
10. poikkileikkauksen käyttöönotto.

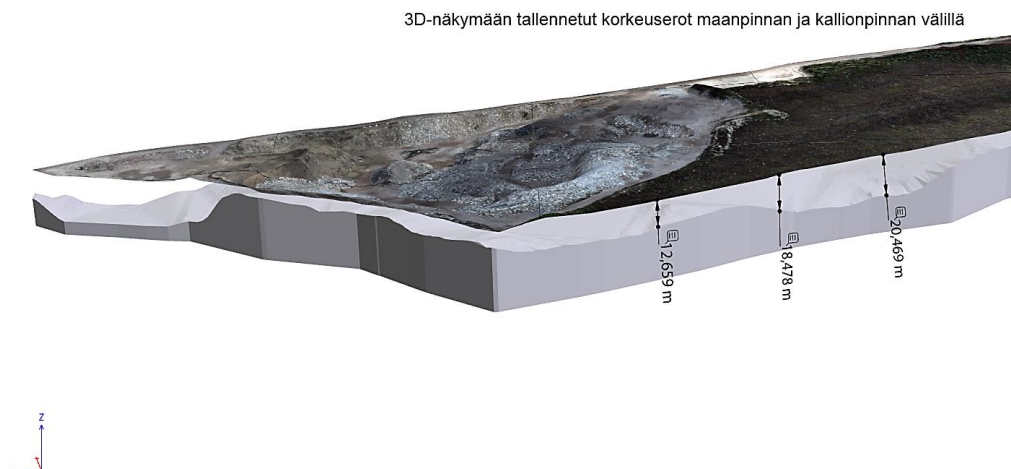
Jotta mallista pystyttiin mittaamaan rajapintojen ja maanpinnan välisiä korkeuseroja, tuli tiedoston mittausasetuksissa kertoa käytettävä malliyksikkö. Tämä tapahtuu käyn-

nistämällä mittaustoiminto. Toiminto pyytää aluksi asettamaan halutut malliyksiköt. Malliyksiköt voidaan vaihtaa painamalla ensin hiiren toisella painikkeella ja sitten valitsemalla ”Define Model Units”. Koska mallinnettu aineisto oli metrisessä yksikköjärjestelmässä, vaihdetaan pudotusvalikosta yksiköksi metrit (kuva 39).



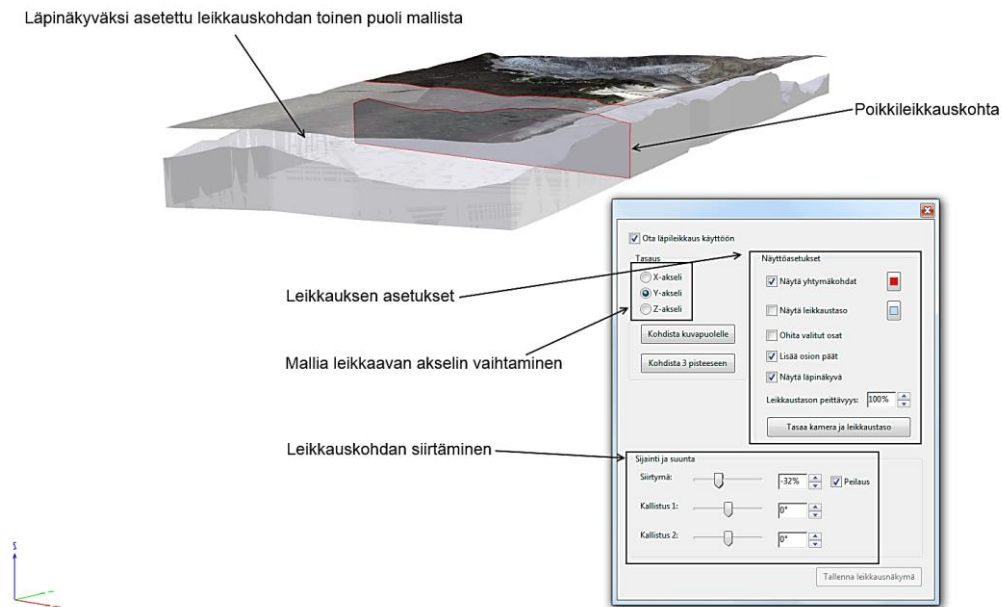
Kuva 39. Malliyksikön määrittäminen 3D PDF:lle Adobe Readerissä.

Kun mittayksikkö oli asetettu, voitiin mittaustoimintoa käyttää etäisyyksien mittaamiseen mallista. Mittaustyökalulla tartutaan mihin tahansa kahteen pisteeseen tai viivan mallissa ja toiminto näyttää niiden välisen etäisyyden. Mitattu lukema voidaan myös tallentaa näkymään hyväksymällä mittaus hiiren vasemmalla painikkeella (kuva 40).



Kuva 40. Mittaustulosten esittäminen Adobe Readerin 3D-ikkunassa.

3D-näkymään saatiin myös leikkausnäkyvä, jolloin päästiin tarkastelemaan rajapinnan sijaintia suhteessa maanpintaan mallin sisältä (kuva 41). Leikkauskohdan sijaintia voidaan vapaasti muuttaa leikkauksen asetuksista.



Kuva 41. 3D PDF -maaperämallin leikkausnäkö Adobe Readersissä.

3D-malliin tehdyt muutokset, kuten kirjoitetut 3D-kommentit tai 3D-mittaustulokset voidaan tallentaa tiedostoon näkymiksi. Kun tiedosto seuraavan kerran avataan, saadaan aikaisemmin tehdyt muokkaukset näkyviin hakemalla tallennettu näkö.

7 Yhteenveto

Maaperätietojen mallintamista hyödynnetään maa-ainestoiminnassa vielä melko vähän. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli esimerkkitapauksen avulla tuoda esille, miten maa-ainesalueen maaperätietoja voitaisiin mallintaa ja esittää. Maaperätietojen hankintaan on olemassa useita eri menetelmiä, jotka soveltuvat eri käyttökohteisiin ja joilla saadaan tuotettua erilaisia aineistoja. Laadultaan ja kattavuudeltaan puutteellisesta aineistosta ei kannata tehdä mallinnusta. Jos maa-ainesalueelta on esimerkiksi hankittu tutkimustietona vain muutamia kairauspisteitä, ei maaperämallista välttämättä saada tehtyä tarkoituksenmukaista. Jos tutkimustietoa on riittävän paljon saatavilla, voidaan maaperämallinnuksella päästä informaationvälillä kattavammalle tasolle kuin esimerkiksi leikkauspiirroksilla. Kolmiulotteisessa maaperämallissa voidaan parhaassa tapauksessa esittää maa-ainesalueen maaperän rakenne jatkuvana pintamallina, josta on helppo havainnoida maanalaisten rajapintojen keskinäisiä suhteita.

Kun maaperämallia lähdetään tekemään, tulee perehtyä maaperätutkimuksen taustatietoihin. Tähän kuuluu hankkeen taustan selvittäminen, aineiston luotettavuuden varmistaminen referenssitiedoilla sekä mittausraporttien tutkiminen. On esitettävä kysymys: Mitä maaperämallilta halutaan? Onko sen tarkoituksena olla vain informatiivinen kuvaus alueen maaperästä vai tuleeko se sisältämään tarkkaa tietoa? Mallinnuksella saavutettava tarkkuustaso määräytyy jo pitkälti sen mukaan, minkä tasoista lähtöaineisto on. Jos pisteaineisto on harvaa, puutteellista tai epätarkkaa, vaikuttaa se maaperämallin laatuun heikentävästi. Jos aikomuksena on tehdä uusi maaperätutkimus ja sen pohjalta maaperämalli, olisi hyvä miettiä eri vaihtoehtoja käytettäväksi tutkimusmenetelmäksi. Jos maaperätutkimuksesta halutaan tehdä maaperämalli, tulee tutkimusmenetelmä valita sen mukaan, että saadaan tuotettua mallinnukseen sopiva aineisto, niin tarkkuuden kuin kattavuudenkin osalta.

Tässä opinnäytetyössä esitellyssä esimerkkimallinnuksessa käytetyt aineistot oli hankittu useista eri lähteistä. Hollolan Orinmäen sora-alueen maatutka-aineisto oli mitattu vuonna 2005. Sen muuntamiseen N2000-korkeusjärjestelmään käytettiin vuoden 2009 laserkeilausaineistoa ja sora-alueen nykytilannetta kuvaava maanpintamalli tehtiin vuoden 2014 UAV-kartoitusaineistosta. Koska mallinnukseen käytettiin aineistoja näin suuren aikajakson väliltä ja koska maa-ainesten oton vaikutuksesta sora-alueen maanpinnanmuodot olivat vuosien saatossa muuttuneet, oli odotettavissa että eri aineistojen yhteensovittamisessa saattaisi ilmetä ongelmia. Tämä kävi ilmi esimerkiksi, kun huomattiin, että kallionpinta oli maatutkaluotausaineistossa tulkittu sora-alueen nykytilan mukaista pohjatasoa korkeammalle. Sora-alueelle tehtyjen kartoitusten ja maastokäyntien perusteella oli kuitenkin selvää, että kallionpinta ei todellisuudessa ollut niin korkealla. Virheet maatutka-aineistossa johtuivat luultavasti kallion pinnan virheellisestä tulkinnasta, tosin myös luotauslinjojen kartoitustarkkuudella saattoi olla heikentävä vaikutus aineiston luotettavuuteen. Maatutkaluotauslinjojen kartoitukseen oli käytetty heikko tarkkuuksista käsigsps-laitetta. Esimerkkikohteelta tehtävälle maaperämallille ei opinnäytetyön alkuvaiheessa asetettu rajattuja tarkkuusvaatimuksia, vaan mallinnusta lähdettiin tekemään lähtöaineistojen salliman mallin tarkkuustason mukaan. Jotta esimerkkikohteen maaperämallia voitaisiin jatkossa hyödyntää hyvällä tarkkuudella, tulisi sen tietoja tarkentaa sitä mukaa, kun ottotoiminta sora-alueella etenee ja todellinen tilanne maanpinnan alla paljastuu.

Maaperätietojen mallintaminen osoittautui haastavaksi, sillä mallintamiseen ei ollut olemassa valmiita suomenkielisiä ohjeita. Esimerkkikohteen mallinnuksessa käytetyt

tietokonesovellukset valikoituivat työssä käytettäväksi aikaisempien käyttökokemusten ja opinnäytetyötä edeltävien taustaselvityksien perusteella. Aikaisempien käyttökokemusten perusteella tiedettiin, että 3D-Win soveltui erittäin hyvin mittausaineistojen käsittelyyn, mikä osoittautui todeksi myös esimerkkimallinnuksen kohdalla. 3D-Winillä saatiin helposti muun muassa poistettua karkeat virheet mittausaineistoista sekä tehtyä kolmioidut pintamallit maaperän rajapinnoista. 3D-Win ei kuitenkaan sovellu kovin hyvin mallien ja aineistojen esittämiseen, joten työssä päätettiin käyttää myös tarkoitukseen sopivaa paikkatietosovellusta. Tähän valittiin käytettäväksi ArcGIS-paikkatietojärjestelmä sekä sen sovelluslaajennus 3D Analyst. 3D Analystilla saatiin 3D-Winillä tehdyt pintamallit mallinnettua ja esitettyä yhdessä sora-alueen maanpintamallin kanssa.

3D Analystin käytön suurin haaste oli käyttöliittymän kankeus. Ohjelmasta oli varsin vaikea löytää halutut työkalut mallintamiseen ja niiden käyttöohjeet olivat usein vajaat tai todella lyhyesti ilmaistu. Myös tiedostokooltaan suurien aineistojen mallintaminen osoittautui haastavaksi, sillä osa sovelluksen työkaluista prosessoivat aineistot todella hitaasti. Ongelmalliseksi osoittautui myös sovelluksella tehtyjen tietokantojen tallentaminen ja muuntaminen eri tiedostoformaateihin. Työssä käytetystä 3D Analystin sovellusversiosta ei löytynyt keinoa muuntaa mallinnettuja aineistoja esimerkiksi CAD-sovelluksissa toimivaan tiedostomuotoon, vaan tehdyt tietokannat pystyttiin avaamaan vain ArcGIS-sovelluksissa. 3D Analystilla saatiin kuitenkin tehtyä varsin hyviä ja kuvaavia esityksiä sora-alueen maaperästä ja sen rakenteesta. Esimerkiksi yhdistelmämalli, jossa eri rajapinnat koottiin samaan kuvaan blokkimalleiksi ja asetettiin päällekkäin, osoittautui varsin hyväksi maaperämallin esittämistavaksi. Siitä voitiin helposti havainnoida sora-alueelta tulkitut rajapinnat sekä niiden keskinäiset korkeussuhteet.

Jotta ArcGIS 3D Analystilla tehdyt mallinnukset saatiin helpommin jaettavaan tiedostomuotoon, päätettiin työssä kokeilla 3D PDF -tiedostoformaattia. 3D Analystilla maaperämalleja pystyttiin helposti tarkastelemaan ja kääntelemään tietokoneen ruudulla interaktiivisesti ja tämä sama käyttökokemus haluttiin viedä myös jaettavaan tiedostomuotoon. Koska 3D Analystilla tehdyt mallinnukset oli mahdollista muuntaa sovelluksen sisällä VRML-formaattiin, pystyttiin muunnos 3D PDF:ksi tekemään tiedonsiirto- ja konversiosovellus FME:tä käyttäen. FME:llä pystytään tekemään formaattimuunnoksia useiden eri tiedostomuotojen välillä ja muunnos VRML-tiedostosta 3D PDF -muotoon oli yksi niistä.

FME:llä tuotettu 3D PDF -virtuaalimalli osoittautui hyväksi tavaksi maaperämallin esittämiseen ja jakamiseen. Koska mallin katseluun riittää se, että käytössä on PDF-tiedostojen katseluun tarkoitettu ilmaisohjelma Adobe Reader, voidaan maaperämalli käytännössä jakaa ilman lisäkustannuksia. Adobe Readerin 3D-ikkunassa maaperämallia voidaan käännellä ja liikuttaa suhteellisen helposti, tosin käyttökokemuksena se ei täysin vastaa mallin tarkastelua varsinaisessa paikkatieto- tai suunnitteluovelluksessa. Mallin liikuttamiseen täytyy erikseen valita käytettävä tapa, oli se sitten mallin kääntäminen vaaka-akselin ympäri tai siirtäminen näytöllä. Tämä poikkeaa useimmista suunnitteluohjelmistoista, joissa aineistoja pystytään liikuttelemaan tietokoneen ruudulla usein vain käyttämällä hiiren eri painikkeita. 3D PDF -tiedostosta pystyttiin mittaamaan etäisyyksiä maaperämallin eri kohteiden väliltä sekä tarkastelemaan mitä mallin sisällä tapahtuu poikkileikkauksien avulla. Näistä toiminnoista voisi olla hyötyä esimerkiksi, kun sora-alueella maa-ainestenotto etenee ja halutaan tietää, millä syvyydellä kallionpinta arviolta on seuraavaksi otettavalla alueella. Näin voitaisiin arvioida etukäteen missä syvyydessä on odotettavissa, että kallionpinta tulee vastaan. Jos maaperäaineisto olisi todella kattavaa ja se sisältäisi esimerkiksi useita eri materiaalirajapintoja, voitaisiin etäisyyden mittaamisella arvioida tuotantoa varten tietyn materiaalin etäisyys nykyiseen ottamiskohtaan tai että mistä kohtaa pitäisi maa-ainesta seuraavaksi kaivaa, jotta saataisiin haluttua materiaalia. Yhdessä poikkileikkausnäkyä ja etäisyysmittausta käyttäen voitaisiin 3D PDF -maaperämallia hyödyntää siis varsin monipuolisesti alueen käytön suunnittelussa.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyössä tehdyillä mallinnuksilla saatiin aikaiseksi melko hyviä ja visuaalisia esityksiä esimerkkikohteen maaperästä. 3D Analystilla saadaan tuotettua tarkoitusta palvelevia mallinnuksia maaperästä kuvien ja jaettavien 3D-mallien kautta. 3D Analystista tulostettuja kuvia voitaisiin hyödyntää esimerkiksi ottamissuunnitelmaselostuksissa ja 3D PDF -maaperämalleja maa-ainesalueiden työmaapäälliköiden toimesta alueiden käytön suunnittelussa. Kolmiulotteinen maaperätiedon mallintaminen ja esittäminen ei tosiasiaassa varmasti korvaa perinteisten leikkauskuvien käyttöä, mutta jos suunnitelmakohtena on esimerkiksi hyvin merkityksellinen maa-ainesalue, voisi tämänkaltaisesta mallinnuksesta olla hyötyä lisäinformaation lähteenä, niin maa-aineslupaprosessiin kuin alueen käytön suunnitteluunkin.

Lähteet

- 1 Lappalainen Kari. 2016. Maa-ainespäällikkö, Destia Oy. Keskustelut keväällä 2016.
- 2 Maa-ainelaki. 24.7.1981/555.
- 3 Maa-ainesten ottamiseen liittyvä ilmoitus ja luvat. 2015. Verkkodokumentti. Julkaistu 30.4.2013. Päivitetty 30.10.2015. <http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Maaainesten_ottamiseen_liittyva_ilmoitus_ja_luvat>. Luettu 16.5.2016.
- 4 Valtioneuvoston asetus maa-ainesten ottamisesta. 926/2005.
- 5 Maa-ainesten ottamissuunnitelma ja ympäristölupahakemus Orinmäen sora-alue, Hollola. 2016. Destia Oy.
- 6 Rantamäki, Martti. Jääskeläinen, Raimo. Tammirinne, Markku. 2006. Geotekniikka – OTA 464. Helsinki: Otatieto.
- 7 Jääskeläinen, Raimo. 2009. Geotekniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka.
- 8 Pohjatutkimusmerkinnät. 2005. Verkkodokumentti. Suomen geoteknillinen yhdistys. <<file:///C:/Users/rantala/Downloads/Pohjatutkimusmerkinn%C3%A4t2005.pdf>>. Haettu 15.8.2016.
- 9 Maatutkaluotaus. Etelä-Savon kiviaineshuollon turvaaminen. Verkkodokumentti. Geologian tutkimuskeskus. <<http://projects.gtk.fi/esakihu/tutkimus/maatutkaluotaus.html>>. Luettu 15.8.2016.
- 10 Geofysikaaliset tutkimusmenetelmät. 1993. Suomen geoteknillinen yhdistys. Helsinki: Rakennustieto.
- 11 Seismiset luotaukset ja muut maastomittaukset. 2015. Verkkodokumentti. Geologian tutkimuskeskus. <<http://www.gtk.fi/asiantuntijapalvelut/maankaytto/kiviaines/maastomittaukset/>>. Luettu 15.8.2016.
- 12 Maastotietojen hankinta. Tiesuunnittelun laatujärjestelmä. 2002. Verkkodokumentti. Tiehallinto. <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/maastot_hank.pdf>. Luettu 19.4.2016.
- 13 Rantanen, Taina. Patjas, Esa. Arkima, Olli. 2006. Tarjouspyyntövaiheen pohjatutkimusten ja tierakenteiden selvitysten määrän ja laadun optimointi ST -

- urakoissa. Verkkodokumentti. Tiehallinto.
<<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3201023-stop.pdf>>. Luettu 19.4.2016.
- 14 Janhunen, Niko ym. 2015. Yleiset inframallivaatimukset, osa 4, Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa. Verkkodokumentti. Sito Oy.
<http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA4_Mallinnus_hankkeen_eri_vaiheissa_V_1_0.pdf>. Luettu 20.4.2016.
- 15 Kadunsuunnittelun inframalliohje. 2014. Verkkodokumentti. Helsingin kaupungin rakennusvirasto.
<http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/ohjeet/katusuunnittelu_inframalliohje.pdf>. Luettu 21.4.2016.
- 16 Niskanen, Jari. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015, osa 1, Tietomallipohjainen hanke. Verkkodokumentti. WSP Finland Oy. <http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf>. Luettu 20.4.2016.
- 17 Liukas, Juha. Virtanen, Juuso. 2015. Yleiset inframallivaatimukset, osa 3, Lähtötiedot. Verkkodokumentti. Sito Oy. <http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA3_Lahtotiedot_V_1_0.pdf>. Luettu 20.4.2016.
- 18 Liukas, Juha. Kemppainen, Liisa. 2015. Yleiset inframallivaatimukset, osa 2, Yleiset mallinnusvaatimukset. Verkkodokumentti, Sito Oy. <http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf>. Luettu 20.4.2016.
- 19 Virtanen, Juuso. 2012. InfraBIM tietomallivaatimukset ja –ohjeet, osa 2, Lähtötietomalli. Luonnos. Verkkodokumentti. Sito Oy.
<http://www.rts.fi/infrabim/infrabim_uusi/mallinnusohjeita/12_08_24_InfraBIM_Mallinnusvaatimukset_osa2_LUONNOS.pdf>. Luettu 21.4.2016.
- 20 Törmäystarkastelu. 2012. Verkkodokumentti.
<http://help.novapoint.com/doku.php?id=fi:np:virtual_map:menu:viewer:clash>. Luettu 16.5.2016.
- 21 Pollari, Risto. 2005. Maatutkaluotaus Hälvälässä suunnitellulla soranottoalueella 7.6.2005. Geo-Work Oy.

