

# AVOKALLION KARTOITUS KONEOHJAUKSELLA

Nuutti Hakala

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Nuutti Hakala	Vuosi	2019
<b>Ohjaaja</b>	Timo Karppinen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Lapin ammattikorkeakoulu		
<b>Työn nimi</b>	Avokallion kartoitus koneohjauksella		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	29		

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kertoa avokallion kartoituksen mahdollisuudesta koneohjausjärjestelmällä. Opinnäytetyö on suunnattu pääsääntöisesti kairinkonekuljettajille, jotta he voivat hyödyntää aihetta työelämässä. Tarkoituksena ei ollut laatia täsmällistä ohjetta avokallion kartoittamiseen, vaan antaa tietoa avokallion kartoittamisesta koneohjausjärjestelmällä.

Opinnäytetyössä on käyty läpi satelliittipaikannuksen perusteet, yleisesti koneohjausjärjestelmän toiminta sekä avokallion kartoittamisen perusteet mittahenkilön näkökulmasta. Opinnäytetyö sisältää massanlaskennan ja kolmioinnin työvaiheet.

Opinnäytetyön pohjana käytettiin hyväksi omakohtaisia kokemuksia kartoittamisesta, internet-materiaaleja, koneohjauksesta tehtyjä opinnäytetöitä sekä yhden laitevalmistajan haastattelua. Avokallion kartoituksesta koneohjausjärjestelmällä on tehty verrattain vähän aiempaa tutkimusta, joten opinnäytetyöni on hyödyllinen.

Avainsanat

koneohjaus, avokallio, maanmittaus

Technology, Communication and Transport  
Degree Programme of Land Surveying  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Nuutti Hakala	Year	2019
<b>Supervisor</b>	Timo Karppinen		
<b>Commissioned by</b>	Lapland University of Applied Sciences		
<b>Subject of thesis</b>	Surveying Outcrops With 3D Machine Control		
<b>Number of pages</b>	29		

---

The purpose of this thesis was to discuss the opportunity to use the 3D machine control to survey an outcrop. The thesis is aimed at excavator drivers to be utilized in their work. The objective was not to create detailed instructions for surveying an outcrop, but to provide information about surveying an outcrop with the 3D machine control.

This thesis discussed the basics of satellite positioning, the 3D machine control in general and the survey of an outcrop from the land survey's point of view. The thesis also included mass calculation and triangulation phases.

Information was gathered in many ways. Previous theses, the Internet, an interview of a device manufacturer as well as the author's own experience in surveying were used as the material for this thesis. This thesis is very useful for the field of land surveying, since outcrop surveying with the 3D machine control has not been studied much previously.

Key words

3D machine control system, outcrops, land surveying

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT .....	7
3 SATELIITTIPAIKANNUS .....	9
3.1 Perusmittaustavat .....	9
3.2 Verkko-RTK-mittaus.....	10
4 KONEOHJAUS .....	12
4.1 Koneohjaus yleisesti .....	12
4.2 Kartoitusmittaus koneohjauksella .....	13
5 PERINTEINEN AVOKALLION KARTOITUS .....	15
5.1 Yleisesti avokallion kartoituksesta .....	15
5.2 Avokallion kartoitus kartoituspisteillä .....	17
5.3 Avokallion kartoitus viivoilla .....	17
6 KOLMIOINTI JA MASSANLASKU .....	19
6.1 Kolmiointi .....	19
6.2 Mahdolliset virheet kolmioinnissa .....	20
6.3 Massanlaskenta .....	21
6.4 Piste- ja viivakartoituksen vertailu .....	22
7 AVOKALLION KARTOITUS OHJE KONEOHJAUKSELLE .....	24
8 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	26
LÄHTEET.....	28

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

3D-Win	Mittausdatan käsittelyyn tarkoitettu Windows-ohjelmisto
GNSS	Global Navigate Satellite System. Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
Novatron	Suomalainen koneohjausjärjestelmänvalmistaja
RTK	Real Time Kniematic- Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus.
Trimnet	Geotrimin ylläpitämä valtakunnallinen VRS-tukiasema-verkkopalvelu.

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä koneohjauksella toimiville kaivinkoneille ohje avokallion kartoitukseen. Koneohjauksen yleistymisen johdosta mittahenkilön ei välttämättä tarvitse kartoittaa avokalliota ennen louhintaa. Koneohjauksella toimiva kaivinkone pystyy kartoittamaan kallion toteuma- tai kartoitusmittauksilla. Se lisää työturvallisuutta huomattavasti, sillä avokalliot ovat yleensä liukkaita.

Opinnäytetyön aihe syntyi kesällä, jolloin yritys, jossa suoritin harjoittelua, sai toimeksiannon laskea uudestaan avokallion louhinnan massat läheiseltä työmaalta. Kun katsoimme lähtömateriaalia, huomasimme kartoituksen puutteellisuuden. Yhteydenoton jälkeen saimme kuulla, että kaivinkonekuljettaja oli kartoittanut koneohjausjärjestelmällä avokallion. Tästä syntyi idea laatia ohjaava ohje avokallion kartoitukseen koneohjausjärjestelmällä.

Opinnäytetyön tavoitteena on lisätä koneohjauskuljettajille tietoa avokallion kartoituksesta. Lisäksi he saavat opinnäytetyöstä perusteet, kuinka massanlaskut toteutetaan, mikä auttaa heitä ymmärtämään koko kokonaisuutta avokallioiden kartoituksesta. Tällöin heidän on helpompi toimia, kun he ymmärtävät kokonaiskuvan.

Opinnäytetyössä käydään läpi yleisellä tasolla satelliittipaikannukseen perustava 3D-koneohjaus ja perinteinen avokallion kartoitus mittahenkilön toimesta satelliittipaikannuksella. Koneohjausta käsitellään vain kaivinkoneiden osalta, sillä lähtökohtaisesti kaivinkone on paras vaihtoehto avokallion kartoitukseen. Koneohjausjärjestelmänä tässä opinnäytetyössä toimii Novatron. Toteumamittauksien tai kartoitusmittauksien kolmiointi sekä massanlaskeminen käydään läpi yleisellä tasolla. Kolmiointissa käytetään 3D-Win-ohjelmaa. Massanlaskenta suoritetaan yhdistä mallit -menetelmää käyttäen.

## 2 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

Koneohjauksella kartoituksesta löytyy hyvin vähän tietoa eri lähteistä, jonka vuoksi ohjeelle oli tarvetta. Ohjeen ei ole tarkoitus opastaa tarkasti, vaan antaa tietoa aiheesta sekä lisätä ymmärrystä. Tarkan ohjeen laatimisen esteenä ovat eri yrityksiä sekä työmaiden erilaiset kartoitusmenetelmät ja halutut tarkkuudet.

Koneohjaus tuo paljon säästöjä työmailla, mikä puolestaan edistävää koneohjauksen yleistymistä. Lisäksi koneohjauksen etuina ovat työturvallisuuden parantuminen. (Rasanen 2018, 20.) Pelkästään edellä mainittujen seikkojen vuoksi, uskon koneohjauksen yleistävän entisestään tulevaisuudessa.

Avokalliosta täytyy poistaa pintamaa-aineksista ennen louhintaa. Pintamaan poiston suorittaa yleisesti kaivinkone. Koska avokallion päälliset ovat yleensä epätasaisia, kaivinkone pystyy parhaiten poistamaan pintamaan avokalliosta. Jos pintamaan poiston suorittaa kaivinkone, jossa on koneohjausjärjestelmä, se pystyy kartoittamaan avokallion kuorinnan yhteydessä. Tämä toimenpide säästäisi aikaa, koska mittahenkilön ei tarvitse odottaa, koska avokallio on poistettu ylimääräisestä maa-aineksesta. Myös louhijan ei tarvitse odottaa mittahenkilöä, vaan hän pääsee aloittamaan työnsä heti, kun kaivinkonekuljettaja on saanut kartoituksen ja kuorinnan valmiiksi.

Avokalliot ovat pintamaan poiston jälkeen liukkaita, koska avokallion päälle jää soraa. Sora vähentää huomattavasti kitkaa avokallion päällä. Soran lisäksi myös vesisade heikentää huomattavasti kitkaa avokalliolla. Lisäksi avokalliot voivat loppua jyrkänteeseen, jolloin jyrkänteen reunalla työskentelyssä on aina oltava erityisen huolellinen. Avokallion kartoitukseen mittahenkilön toimesta liittyy monia työturvallisuusriskejä.

Nykyisillä koneohjausjärjestelmillä voidaan jo kartoittaa avokalliota. Kartoituksen suorittaa yleisesti vielä mittahenkilö, sillä koneohjausjärjestelmän käytöstä puuttuu tietotaitoa, miten sitä voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Koneohjausjärjestelmät ovat nykyaikaa, sillä niiden vuoksi työmailta ovat hävinneet

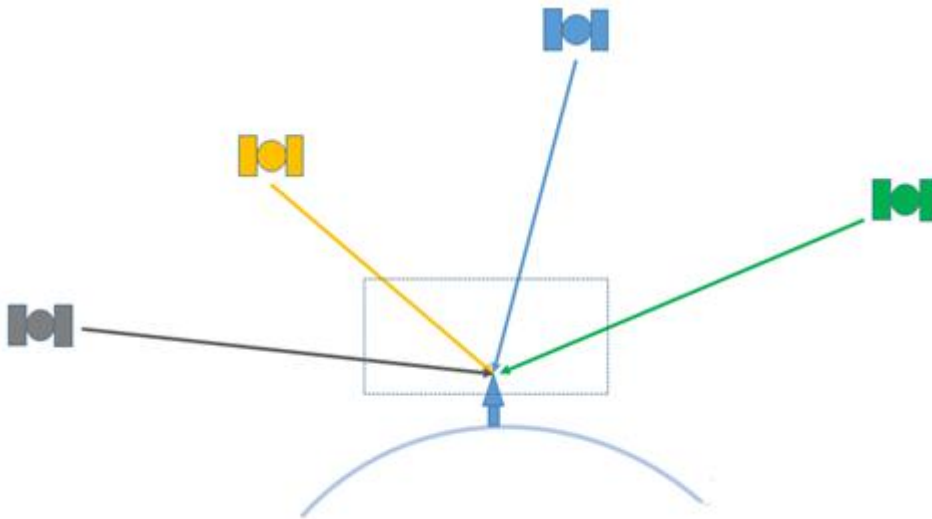
kokonaan korkokepit. Toivon, että opinnäytetyöstä syntyneen ohjeen avulla pystytään entistä paremmin hyödyntämään koneohjausta sekä sen tuomia mahdollisuuksia.



### 3 SATELIITTIPAIKANNUS

#### 3.1 Perusmittaustavat

Satelliittipaikannus perustuu maapalloa kiertävien paikannussatelliittien lähettämiin signaaleihin, joiden perusteella etäisyys mitataan vähintään neljään satelliittiin. Kun tiedetään mittaus hetkellä satelliittien sijainti, voidaan laskea käyttäjän oma sijainti. Kuviossa 1 on havainnollistava kuva satelliittipaikannuksesta. (Laurila 2012, 291.)



Kuvio 1. Satelliittien avulla lasketaan sijainti (MML 2018)

Satelliittipaikannuksessa käytetään pääsääntöisesti kolmea eri mittaustapaa. Kolme yleisintä mittaustapaa ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus ja vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus. (Laurila 2012, 293.)

Absoluuttinen paikannus on yleisin, sillä se soveltuu hyvin harrastekäyttöön. Esimerkiksi autojen navigointisovellukset toimivat absoluuttisella paikannuksella. Menetelmässä käytetään vähintään kolmen eri satelliitin signaalin kuluaikaa C/A-koodin avulla hyödyntäen signaalin viivytystekniikkaa. Mittauksessa käytössä olevien kellojen tulee olla tarkkoja, sillä paikannuksessa mitataan signaalin kuluaikaa. Absoluuttisella paikannuksella päästään 10 metrin paikannustarkkuuteen.

Differentiaalinen paikannus perustuu absoluuttisen paikannuksen tavoin C/A-koodin etäisyyksien mittaukseen. Lisäksi siinä hyödynnetään tunnetulla pisteellä sijaitsevaa tukiasemaa. Differentiaalisessa paikannuksessa päästään viiden metrin sijainti tarkkuuteen, sillä tukiasema korjaa mittauksen systemaattisia virheitä. (Laurila 2012, 293–299.)

Vaihehavaintoihin perustuvaa suhteellista mittausta käytetään koneohjauksen mittaus- ja kartoitustekniikan tehtävissä. Kyseinen menetelmä sopii hyvin ammatilliseen käyttöön tarkkuutensa ansiosta. Etäisyyden mittauksen havaintosuurena on kantoaalto. Paikantavan vastaanottimen sijainti määritetään vertailuvastaanottimen suhteen. Suhteellisella mittauksella saavutetaan paras paikannustarkkuus ja mahdolliset virheet ovat yleensä viiden millimetrin sisällä. (Laurila 2012, 301–302.)

### 3.2 Verkko-RTK-mittaus

RTK-mittaus (Real Time Kinematic) eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaus on perinteinen mittauksessa käytettävä satelliittipaikannukseen perustuva menetelmä. Koneohjauksessa sitä voidaan muun muassa käyttää kaivinkoneen kauhansijainnin määrittämiseen. RTK-mittauksessa tarvitaan tukiasema, joka sijaitsee tunnetulla pisteellä. Tukiasema lähettää korjausdataa kaivinkonetta paikantavalle vastaanottimille. Mittaustyyllillä päästään senttimetrin tarkkuuteen, minkä takia sitä käytetään koneohjauksessa. (Laurila 2012, 319.)

Verkko-RTK on taloudellisempi vaihtoehto RTK-mittaukselle. Kyseisellä menetelmällä ei tarvita erillistä tukiasemaa, vaan korjausdata saadaan tukiasemaverkosta. Korjausdata saadaan vastaanottimille mobiiliverkon välityksellä. Esimerkiksi Geotrim ja Leica tarjoavat kaupallisia tukiasemaverkkoa. Geotrimin palvelulla Trimnet on 101 asemaa, jotka näkyvät kuviossa 2. Leican vastaavassa Smartnetissa on tarjolla alle 100 tukiasemaa. (Poutanen 2017.)



Kuvio 2. Trimnetin tarjoama tukiasemaverkko (Trimble 2018)

Verkko-RTK-menetelmällä päästään optimiolosuhteissa alle kolmen senttimetrin tarkkuuteen. Verkko-RTK:ta käyttäessä on tarkistettava mittausperustan yhteensopivuus työmaalla, sillä verkko-RTK:n tarkkuus vaihtelee ympäri Suomea. (Mulari 2018.)

## 4 KONEOHJAUS

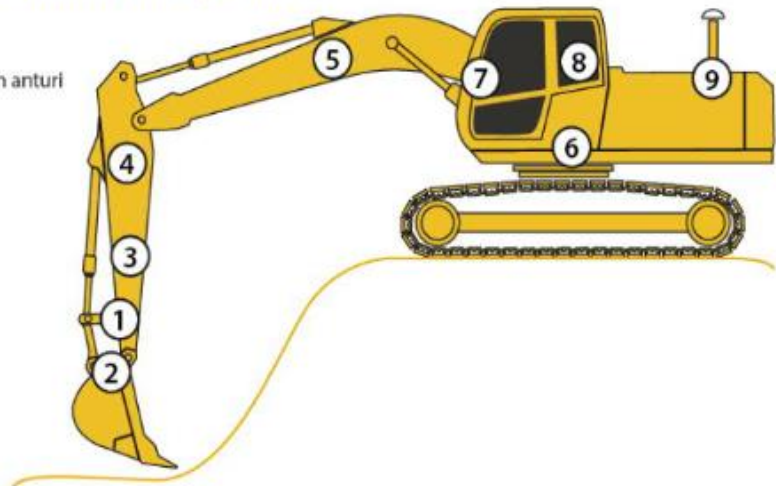
### 4.1 Koneohjaus yleisesti

Koneohjaus on kehitetty kaivinkonekuljettajan apuvälineeksi. Se tehostaa huomattavasti kaivinkoneenkuljettajan työtä, sillä 3D-koneohjaurjärjestelmästä kuljettajalla on tiedossa kaivinkoneen kauhan sijainti- sekä korkeustieto. Tämän takia kuljettaja ei tarvitse maastoon erikseen mittahenkilön tekemiä merkintöjä, hän vaan pystyy itsenäiseen työskentelyyn. Itsenäisen työskentelyn mahdollistaa koneohjausjärjestelmän näyttöyksikössä näkyvä koneohjausmalli. Koneohjausmallissa on esimerkiksi kaivettavan kohdan haluttu kaivuusyvyys.

3D-koneohjausjärjestelmässä kaivinkoneessa koostuu satelliittipaikannusjärjestelmästä, tietokoneesta, tietokoneen näytöstä sekä antureista jotka mittaavat kauhan paikan. Kuviossa 3 on koneohjausjärjestelmän kaikki komponentit. (Novatron Oy 2018a.)

#### Koneohjausjärjestelmän komponentit

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



Kuvio 3. Koneohjausjärjestelmän osat (Novatron Oy 2018b)

Kaivinkoneessa olevat GNSS-antennit ja vastaanottimet paikantavat kaivinkoneen sijainnin. Kaivinkoneen puomissa olevat anturit laskevat kauhan sijainnin

määrätyllä tavalla ja rungossa olevat anturit laskevat kaivinkoneen pyörimisakseliin. Ohjaamon näyttöyksikköön kaivinkoneenkuljettaja saa tiedon kauhan sekä kaivinkoneenkoneen liikkeistä ja sijainnista reaaliaikaisesti.

Kaivinkoneissa satelliittipaikannus on yleisin käytetty paikannusmenetelmä, sillä paikannuksen tarkkuus riittää maarakennustöiden vaatimuksiin. Järjestelmän heikkous on paikannussignaalin kulkema pitkä matka, joten se on herkkä erinäisille häiriöille. Esimerkiksi puuston muodostama katve sekä korkeat rakennukset heikentävät paikannussignaaleja. Häiriöiden välttämiseksi voidaan työmaan läheisyyteen perustaa erillinen tukiasema. Tukiasema lähettää korjaussignaalia, jonka avulla kaivinkoneen tarkka sijainti voidaan määrittää. Korjaussignaalia lähetetään kaivinkoneeseen joko radiolla, internetin tai GSM-verkon (Global System for Mobile Communications) avulla. Jotta tukiasemalla saadaan paras mahdollinen tarkkuus, se tulisi sijoittaa esteettömälle näkymälle etelän puoleiselle satelliittitaivaalle. Yleensä eteläisellä taivaalla sijaitsee juuri paikannussatelliitit. (Kivinen 2016, 35–37.)

Kaivinkoneen jokainen kauha tulee kalibroida erikseen koneohjausjärjestelmään, jotta voidaan saada tarkin mahdollinen sijaintitieto. Mittaustarkkuuden ylläpitämiseksi on hyvä tehdä aika ajoin uudelleen kauhan kalibrointi, sillä kauhan huulelevy voi kulua työskentelyn aikana. Kaivinkonekuljettajan on valittava koneohjausjärjestelmästä oikea kauha, joka hänellä on käytössä. Viikoittain on hyvä käydä työmaalla olevalla kalibrointipisteellä tarkistamassa kaivinkoneen koordinaatit. Kalibrointipisteelle mittahenkilö on käynyt mittaamassa tarkan sijainnin, johon kaivinkonekuljettaja vertaa koneohjausjärjestelmän sijaintia. (Mulari 2018.)

#### 4.2 Kartoitusmittaus koneohjauksella

Koneohjausjärjestelmä Novatronissa kaivinkoneenkuljettajan on mahdollista suorittaa kartoitusmittauksia. Mittauksia tehdessä kaivinkoneen kuljettajan on pidettävä kauha liikkumattomana haluttua pintaa vasten. Lisäksi kuljettajan pitää ottaa huomioon, mikä kauhanmittaus piste on valittuna. Mittapistepiste voi olla kauhan molemmat reunat tai sitten kauhan keskikohta. Mikäli mittapistepiste on valittu väärin,

tulee kartoitusmittauksiin xy-tasoihin joko puolesta kauhasta kokonaiseen kauhaan oleva virhe. Tyypillinen pistetiheys muokkautuu avokallion muotojen mukaan.

Tämänhetkisillä markkinoilla ei ole vielä koneohjausjärjestelmää, jossa pystyisi kartoittamaan viivojen avulla. Tästä johtuen kartoitusmittauksien tekeminen koneohjauksella on vielä hankalaa. Koska koneohjausjärjestelmällä kartoitettu avokallio joudutaan editoimaan, jotta saadaan lisättyä kartoitukseen viivat. Viivojen avulla avokallio kolmioituu oikein. Landnovan seuraava versio tulee sisältämään viivan kartoitusominaisuuden, jolloin sillä voidaan kartoittaa suoraan viivoja, mikä saa aikaan sen, että editointia ei tulla enää tarvitsemaan. (Mulari 2018.)

Kartoituspisteen tallentaminen onnistuu, kun kaivinkoneen kuljettaja painaa koneohjausjärjestelmän näytöstä ”Sijainnin tallennus”. Lisäksi kaivinkonekuljettajan kartoitusta helpottamiseksi on mahdollista asentaa kaivinkoneen hallintakahvoihin ”Tallenna kartoituspiste”, joka näkyy kuviossa 4. Pikatoimintojen ansiosta kaivinkoneen kuljettajan ei tarvitse irrottaa otettaan hallintakahvoista, vaan kartoittaminen onnistuu helposti kaivamisen ohessa. (Mulari 2018.)



Kuvio 4. Hallintakahvoihin esimerkki ohjelmoitavista pikatoiminnot (Novatron Oy 2018c)

## 5 PERINTEINEN AVOKALLION KARTOITUS

### 5.1 Yleisesti avokallion kartoituksesta

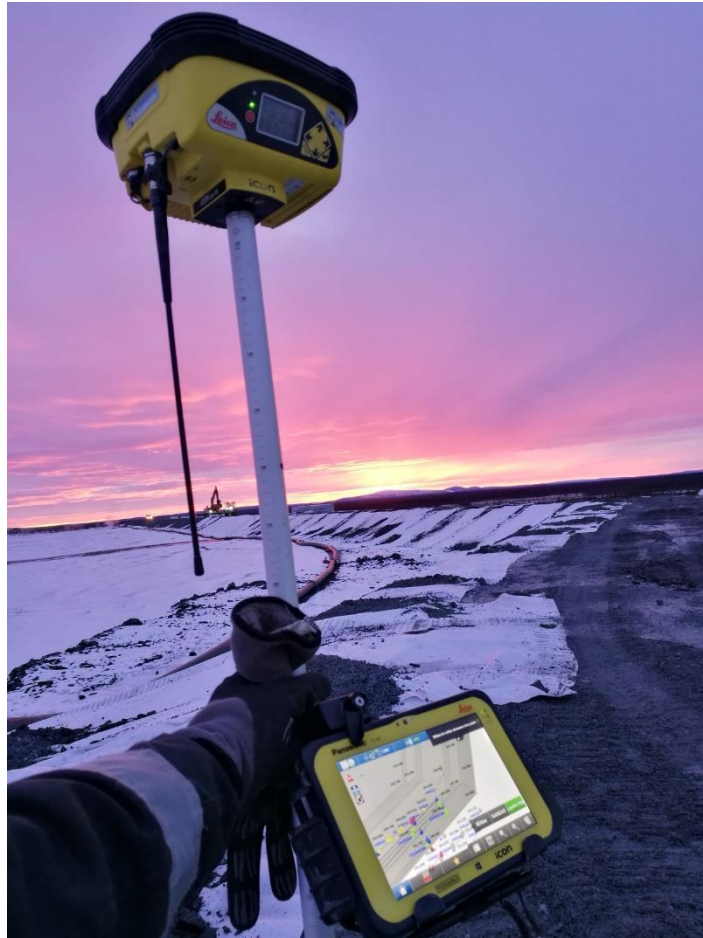
Perinteisellä avokallion kartoituksella tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä mittahenkilön tekemää kartoitusta. Yleisesti avokallion voi kartoittaa GNSS-mittauksella. Avokallion kartoitus onnistuu myös takymetreillä, mutta silloin avokallion täytyy olla tyhjä työkoneista, jotta koje näkee esteittä koko avokallion.

Avokallion kartoituksessa tulee ottaa huomioon myös avokallion muoto, koska se määrittelee, kuinka lähemmäs tulee ottaa kartoituspisteitä. Kartoituksessa tärkeintä on saada avokallion muoto oikeana digitaaliseen muotoon. Kartoittaessa on otettava huomioon, miten 3D-Win tulee kolmioimaan kartoitetut pisteet.

Ennen kartoituksen alkua mittahenkilö tarkistaa, millä kaistalla avokallio sijaistee ja asettaa maastotietokoneeseen oikeat asetukset kaistan mukaan. Korkeusmallina käytetään N2000. Kartoituksessa mittahenkilö mittaa kartoituspisteitä avokallion päältä. Kartoituspisteet tallennetaan heti oikealla koodilla. Yleisesti avokallion kartoituksessa käytetään Liikenneviraston laatimaa koodilistaa.

Kartoittaessa maastotietokoneeseen on syötetty käytettävän GNSS-sauvan pituus. Pituus voidaan ilmoittaa sauvan kärjestä GNSS-vastaanottimen pohjaan tai vaihtoehtoisesti sauvan kärjestä GNSS-vastaanottimen pikalukon alaosaan. Ennen mittausta on muistettava tarkistaa mittanauhaa käyttäen kartoitussauvan pi-

tuus. Pituuden tarkistus mittauksella suljetaan kärjen kuluman aiheuttama korkeusvirhe mittauksiin. Kuviossa 5 on GNSS-vastaanotin, kartoitussauva sekä maastotietokone.



Kuvio 5. Mittahenkilön avokallion kartoituslaitteet (Isometsä 2018)

Kartoituspisteitä ottaessa on pidettävä GNSS-vastaanotin paikallaan pisteen tallennuksen aikana. Lisäksi sauvassa oleva tasaimen kupla pitää olla keskellä mittauksen ajan. Kuplan pitäminen keskellä pitää sauvan pystysuorassa. Jos sauva ei ole pystysuorassa, aiheuttaa se virheen mitattuun pisteeseen.

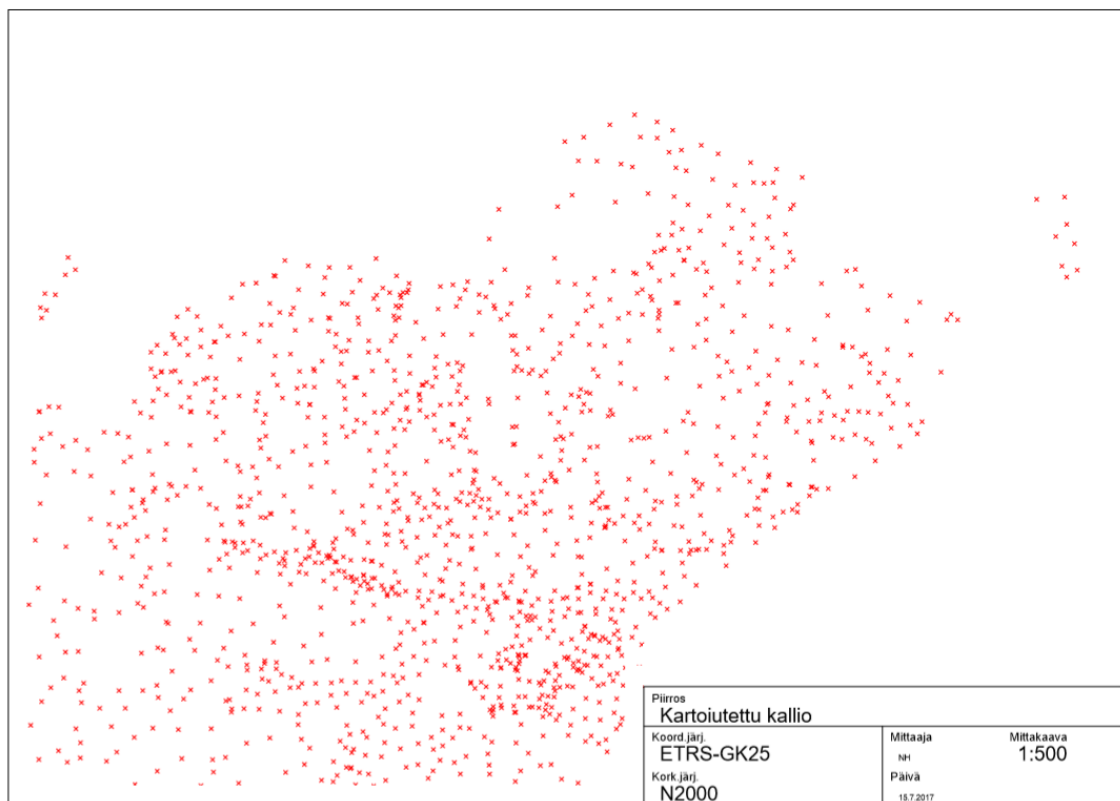
Avokallion kartoituksessa kartoituspisteiden tallennusväli riippuu avokallion muodoista. Esimerkiksi jos avokallion päällä on kohta, joka on tasainen, niin tällöin riittää, että tasaisen alueiden reunoilta otetaan kartoituspisteet. Mikäli avokalliossa on korkeuseroja, pitää kartoituspisteet ottaa luiskan ala- ja yläpäästä. Mahdollisuuksien mukaan kartoituspisteet voi ottaa myös keskeltä luiskaa.



Kartoittaessa avokalliota tulee olla järjestelmällinen, jotta kaikki avokallion osat tulee kartoitettua. Liian suuri työnopeus kartoittaessa aiheuttaa työturvallisuus riskin ja voi huonontaa huomattavasti kartoituksen tarkkuutta.

## 5.2 Avokallion kartoitus kartoituspisteillä

Kartoituksen voi suorittaa käyttämällä kartoituspistemenetelmää. Menetelmässä tallennetaan vain kartoituspisteitä avokalliosta. Mittaaja tallentaa avokallion erikohdista kartoituspisteen. Lopputuotteena on hieman sekavalta näyttävä kartoitus. Kuvio 6 on valmis avokallion kartoitus. Avokallion kartoitusta käytetään kallion massanlaskuun.

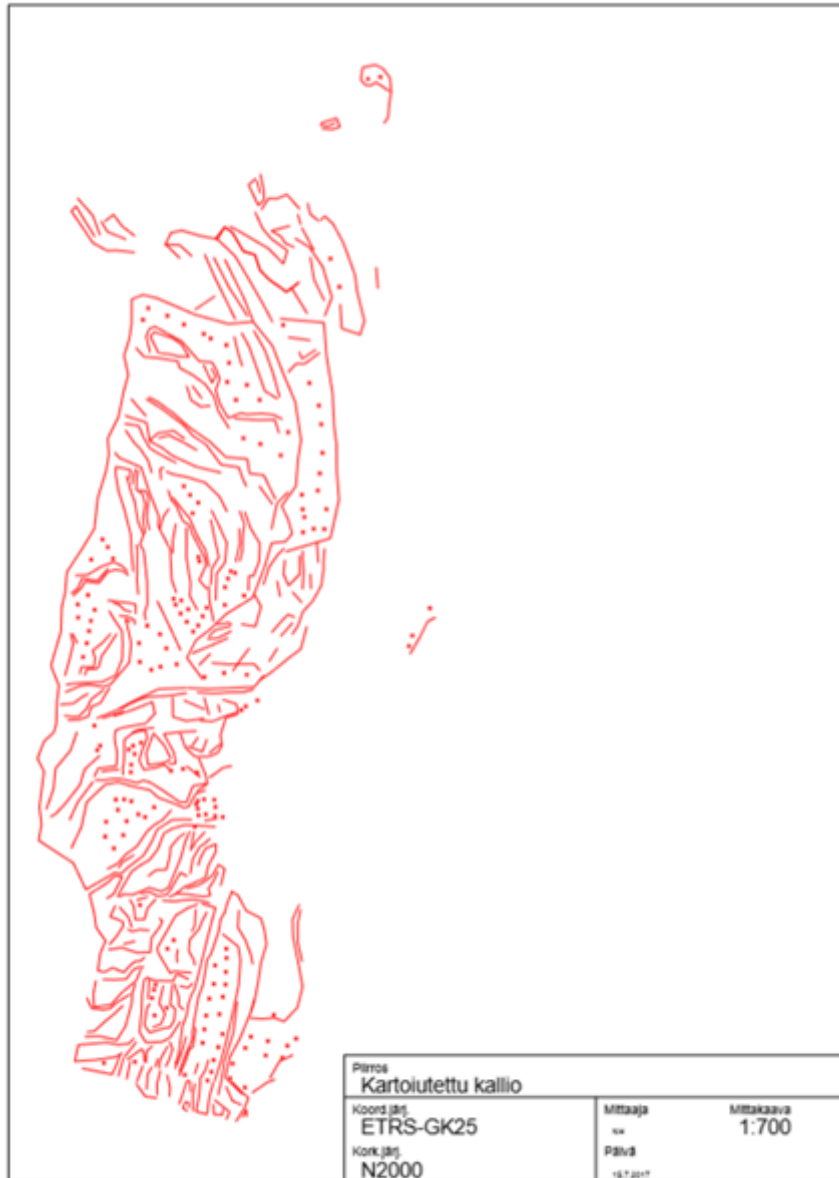


Kuviossa 6. Esimerkki pisteillä kartoituksesta

## 5.3 Avokallion kartoitus viivoilla

Avokallion voi kartoittaa myös viivojen avulla. Viivoilla kartoituksessa avokalliosta otetaan viiva- sekä pistehavaintoja. Viivoja otetaan kallion eri muotojen mukaan, jolloin esimerkiksi avokalliossa olevan luonnollisen luiskan koko yläpää voidaan kartoittaa samalla viivalla. Lopputuotteena viivoilla kartoituksessa on selkeämpi kartoitus. Kuviossa 7 on kartoitettu viivojen avulla saman avokallion eri osa kuin

pistekartoitus esimerkissä. Viivoilla kartoittaessa jokaisen eri viivan viivanumerona pitää olla eri numero. Kartoittaessa pitää muistaa vaihtaa viivanumeroa, kun aloittaa kartoittamaan eri kohtaa. Viivojen avulla pystyy kartoittamaan esimerkiksi avokalliossa olevan pystysuoran luiskan. Tällöin pystysuoran luiskan ylä- ja alapäistä otetaan luiskan levyiset viivakartoitukset. Viivojen avulla kolmiointi onnistuu parhaiten vaikeista kohdista.

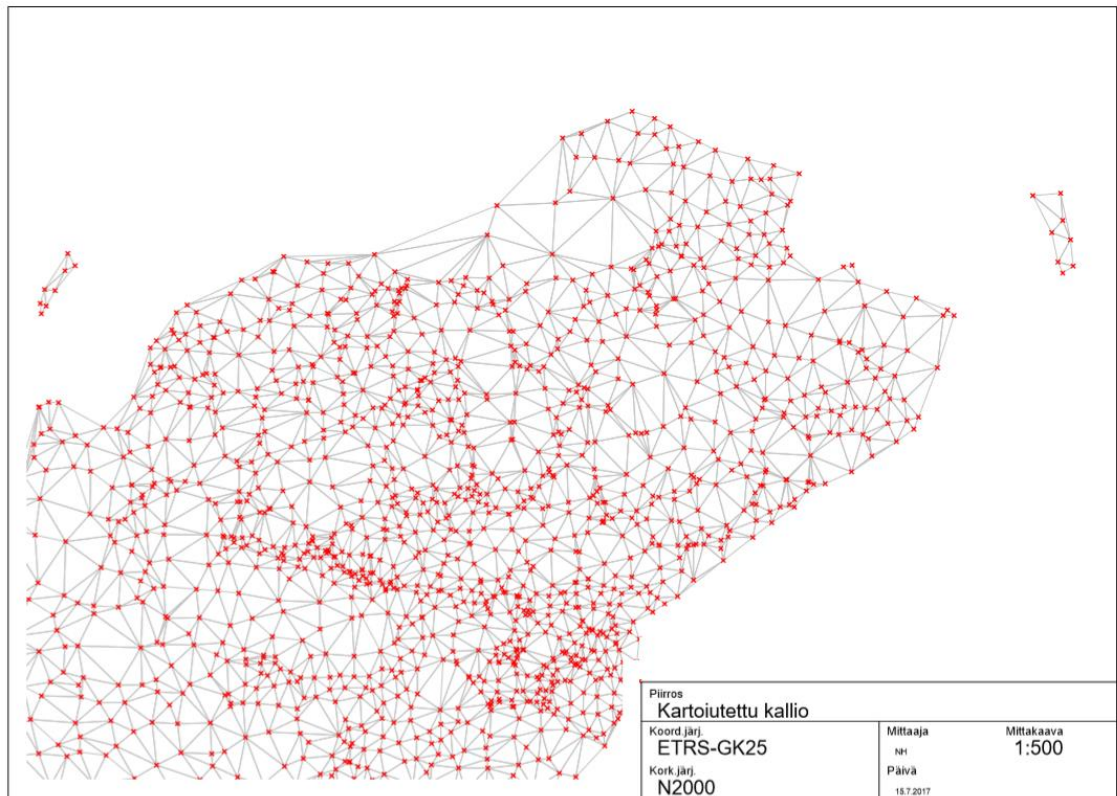


Kuvio 7. Esimerkki viivoilla kartoituksesta

## 6 KOLMIOINTI JA MASSANLASKU

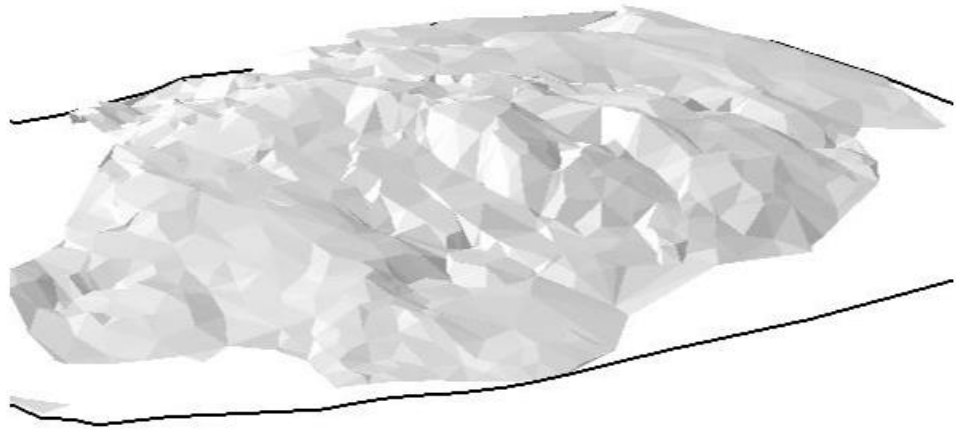
### 6.1 Kolmiointi

Kolmioinnissa 3D-Win pääsääntöisesti yhdistää kolme lähintä pistettä. Ohjelma pyrkii muodostamaan ensisijaisesti tasasivuisia kolmioita. Kun kartoitetut pisteet on kolmioitu, aletaan sitä kutsua maastomalliksi. Kartoituksen voi ottaa pisteiden lisäksi myös viivoina. 3D-Win ei koskaan kolmioi taiteviivojen yli, vaan viivasta tehdään kolmion sivu. Koska viivoista ei kolmioida yli, on niillä hyvä kartoittaa korkeuserojen kohdat. Kuviossa 8 on kolmioitu avokallion kartoitus eli maastomalli.



Kuviossa 8. Esimerkki kolmioidusta avokallion kartoituksesta

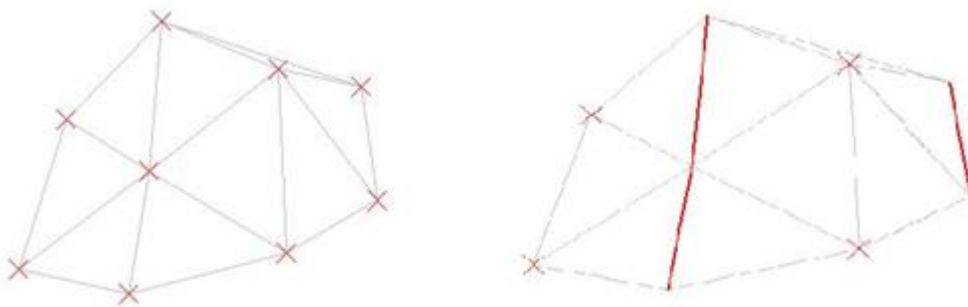
Kolmioinnin jälkeen kolmioverkkoa voi katsoa 3D-näkymästä, josta voi arvioida onko avokallion kolmiointi onnistunut. Selvät kolmiointi virheet pystyvät huomaamaan helposti 3D-näkymässä, jos itse on käynyt kartoittamassa kallion. Kuviossa 9 on edellisen kuvion pohjalta tehdyn kolmioinnin 3D-näkymässä.



Kuvio 9. Maastomalli 3D-näkymässä

## 6.2 Mahdolliset virheet kolmioinnissa

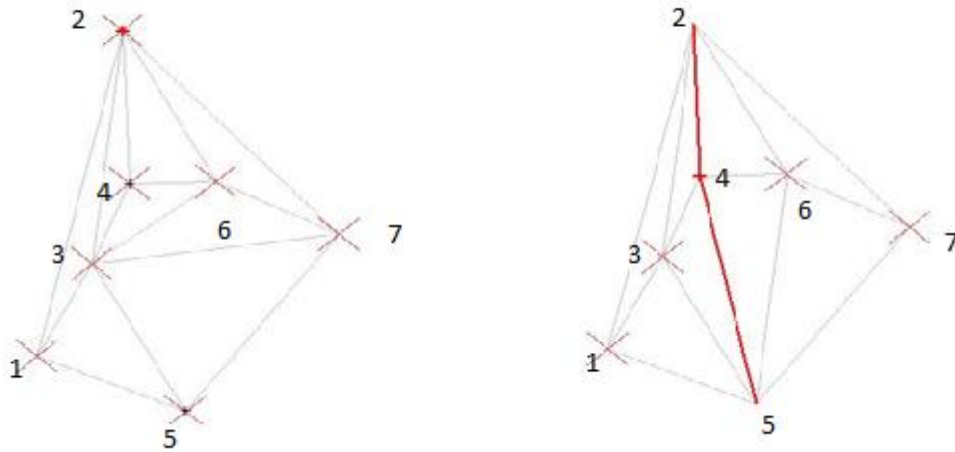
Kuviossa 10 on havainnollistava esimerkki viivojen ja pisteiden kolmioinnista. Huomioitavaa on kuinka molemmissa maastomalleista kolmiot ovat saman näköiset, vaikkakin lähtöaineistossa on hieman eroa.



Kuvio 10. Kartoitetuista avokalliosta tehdyn maastomallin kohdat

Tässä esimerkissä tarkastellaan viivoilla kartoittamisen hyötyä. Kuviossa 10 on kaksi samasta alueesta otettua maastomallia, jotka eroavat toisistaan. Pisteillä kartoitettu alue on kolmioitunut erilaiseksi, kuin viivoilla kartoitettu. Kuviossa 11 esimerkissä viivoilla kartoitettu on oikean avokallion muotoinen. Pisteillä kartoitetun alueen kolmiointi on mennyt väärin, koska piste numero kolme on liian lähellä

piste numero neljää. Välttääkseen väärin kolmioinnin pistekartoituksella olisi pitänyt ottaa kartoituspisteitä enemmän piste neljän ja viiden välille, jolloin kolmioinnista olisi tullut samanlaiset. Viivakartoituksella päästään tarkkaan lopputulokseen vähemmällä kartoituspisteillä.

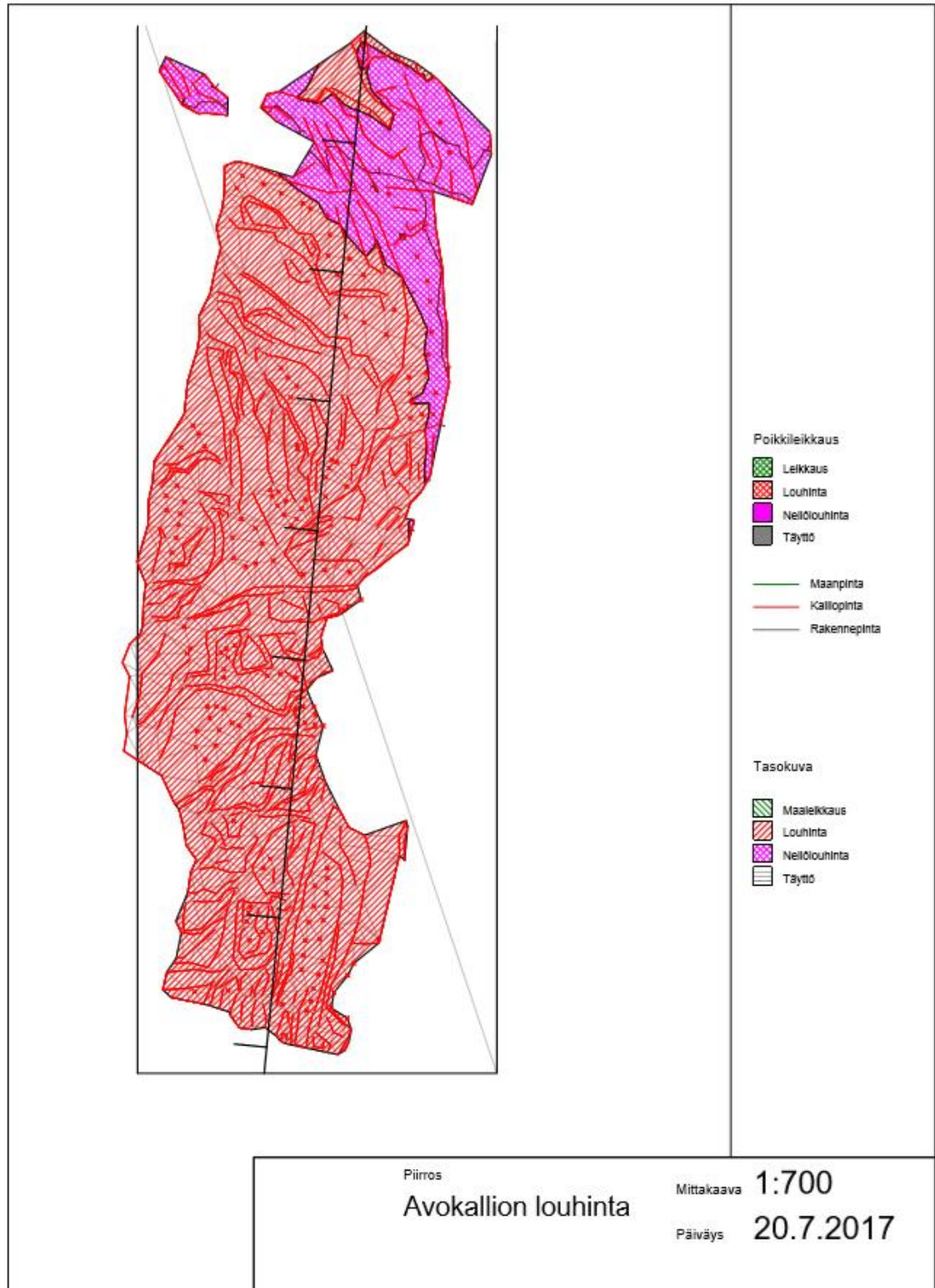


Kuvio 11. Kartoitustyylistä johtuvat erot kolmioinnissa

### 6.3 Massanlaskenta

Massanlaskennan tarkoituksena on saada selville halutun alueen tilavuus. Tilavuus ilmoitetaan useimmiten kuutioina ( $m^3$ ). Massanlaskentaa käytetään esimerkiksi avokallion tilavuuden laskentaan. Alueen todellinen tilavuus saadaan selville, kun massanlaskennan tulosta kerrotaan laskennallisilla maa-aines tilavuuskertoimilla. (Pikkupirtti 2013, 31.)

Tilavuuden laskentaohjelmistoja on olemassa erilaisia, mutta kaikkia ohjelmistoja yhdistää kuitenkin niiden peruseriaate. Ohjelmistojen peruseriaate on vertailla kolmioituja geometrisiä kuvioita keskenään ja sen perusteella saada selvitettyä alueen kuutiotilavuus. Tilavuuden laskentaan tarvitaan kaksi erillistä kolmioverkkoa (tai neliöverkkoja). Toinen kolmioverkkoista on kartoitettu ja toinen voi olla vertailutaso. Jos louhintatasoja on monta, niin massanlaskemisen kannalta helppointa on kartoittaa avokallio louhinnan jälkeen uudelleen. Tilavuuden laskemisessa ohjelmat vertailevat erillisiä kolmioverkkoja. Näin selvitetään laskennallisesti alueen tilavuus. (Pikkupirtti 2013, 36.) Kuviossa 12 on vertailtu kahta erillistä kolmioverkkoa, joiden perusteella on laskettu avokallion tilavuus.



Kuvio 12. Avokallion massanlaskenta yhdistä mallit -menetelmää käyttäen

#### 6.4 Piste- ja viivakartoituksen vertailu

Valitettavasti pienistä resursseista johtuen, samaa avokalliota ei ollut mahdollista kartoittaa kahdella eri kartoitustyyliillä. Vertailussa oli pohja-aineistona viivoilla

kartoitettu avokallio. Aineistosta tehtiin kaksi erilaista kolmiointia. Ensimmäisessä kolmioinnissa pidettiin aineisto koskemattomana. Toiseen kolmiointiin hajotettiin kartoitusviivat, joten kolmioinnissa oli vain pistekartoitusaineisto. Lopputuloksena oli kaksi erilaista kartoitusta samasta avokallion kohdasta.

Vertailussa suoritettiin massanlaskenta molemmille kolmioinneille. Laskennassa laskettiin erikseen yhdistä mallit menetelmää käyttäen eropinnat ja massat vakiotasoon nähden. Vakiotason korkeus oli nolla. Taulukossa 1 on tutkimuksen tulokset.

Taulukko 1. Yhdistä mallit -menetelmän massanlaskenta

	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Tilavuus (m <sup>3</sup> )
Viiva kartoitus	5431.06	248560,44
Piste kartoitus	5431.06	248553,96
<b>Erotus</b>	<b>0</b>	<b>6,48</b>

Tutkimuksessa huomioitavaa on ero, joka syntyi kartoitustyylielle, mutta kyseessä ei ole suuri ero kahdelle erilaiselle tyylille. Tilavuudessa syntyvä ero johtuu kolmioinnista, koska kolmiointi ei kolmioi viivojen yli. Pistekartoituksessa tällaista ei kuitenkaan käynyt.

## 7 AVOKALLION KARTOITUS OHJE KONEOHJAUKSELLE

Avokallion kartoituksessa tärkeintä on saada avokallio muodot säilymään kolmiointiin. Kartoituksessa on ajateltava, miten kolmioverkko muodostuu kartoituspisteistä.

Ennen avokallion kartoitukseen ryhtymistä, täytyy kalibrointi pisteellä käydä tarkistamassa koneohjausjärjestelmän sijainnin tarkkuus. Koneohjausjärjestelmän koordinaattijärjestelmä täytyy asetta oikeaan koordinaatistoon. Novatron koneohjausjärjestelmässä, voi tarvittaessa tehdä korjauksia sijaintitietoihin, jos ne poikkeavat kalibrointipisteen arvoista. Lisäksi kartoituksen tilaajalta on tarkistettava, mitkä ovat työmaan mittausperustan tarkkuusvaatimukset. Kartoitusta ennen pitää tarkistaa päästäänkö työmaan tarkkuusvaatimuksiin.

Avokalliota kartoittaessa koneohjausjärjestelmällä tärkeintä on pitää kauha liikumattomana kartoituspistettä ottaessa, jotta kartoituspisteet ovat varmasti avokallion kohtia. Lisäksi mittapisteen täytyy olla oikeassa paikassa, jotta saadaan paras mahdollinen kartoitus. Avokalliota kartoittaessa paras tapa, on käyttää mittapisteenä toista kauhan kulmaa. Kauhan kulmalla saa riittävällä tarkkuudella tallennettua kartoituspisteitä ja kauhan kulman saa asetettua hyvin avokallion erilaisiin kohtiin. Kauhan kääntäjän avulla kauhan saa taivutettua myös vaikeimpiin avokallion kohtiin.

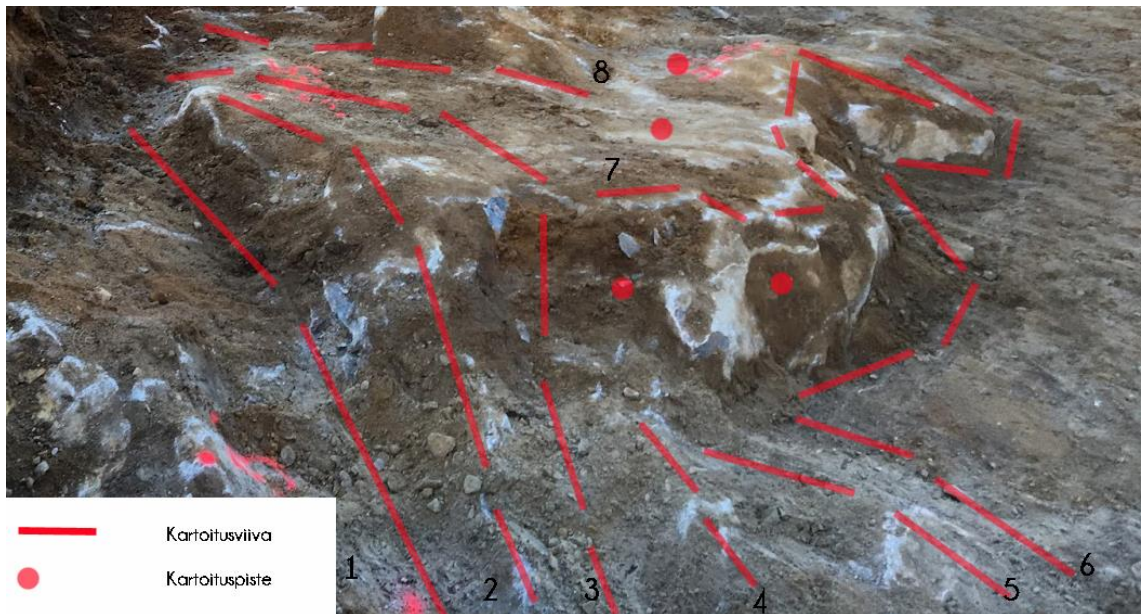
Pistetiheys avokallion kartoittamisessa vaihtelee työmaiden välillä. Siihen on myös vaikea määritellä vakiota, sillä avokallion muodot vaikuttavat olennaisesti pistetiheyteen. Yleisenä ohjeena on hyvä pitää kahden-kolmen metrin piste-etäisyyttä tasaisilla avokallion kohdilla. Kuviossa 13 kartoituspisteet on otettu tarvittavalla etäisyydellä toisistaan, jotta avokallio kolmioituu oikein.



Kuvio 13. Avokallion kartoituspisteet pintamaan poiston jälkeen



Avokallion tasaiset kohdat voivat jopa olla helpompi kartoittaa pisteillä kuin viivoilla. Viivojen avulla kartoittaessa voidaan olla varmoja, että kartoituksen jälkeen saadaan vastaava maastomalli avokalliosta. Tästä syystä viivojen avulla on hyvä kartoittaa avokallion vaikeammat kohdat. Vaikeimmilla kohdilla tarkoitetaan avokallion epäsäännöllisiä muotoja sekä luiskia, joissa on suuri korkeusero lyhyellä matkalla. Kuviossa 14 on avokalliota kartoitettu viivoilla ja pisteillä parhaan lopputuloksen saamiseksi.



Kuvio 14. Vaikean avokallion kohdan kartoittaminen

Jos louhinta suoritetaan koko avokallion alueelta samaan korkoon, pitää kartoittaa vain se osa avokalliosta, jota louhitaan. Samaa korkoa louhimisen jälkeen ei tarvitse kartoittaa uudelleen, vaan massanlaskennan pystyy suorittamaan kartoituksen perusteella, kun tiedetään louhintakorko.

Louhinta voidaan myös suorittaa eri korkoon esimerkiksi, jos rakennettava tie menee vain puoliksi avokallion kohdalta. Kun louhinta on suoritettu eri korkoon, niin massanlaskennan kannalta on helpointa kartoittaa tilanne uudelleen. Uudelleen kartoituksessa avokalliosta louhitut lohkat tulee siirtää pois, jotta kartoituspisteet saadaan otettua jäljelle jääneestä avokalliosta.

## 8 YHTEENVETO JA POHDINTA

Koneohjausjärjestelmän avokallion kartoitusmahdollisuudet on huomioitu vasta-lähiäikoina. Uskon kaivinkoneenkuljettajan pystyvän muutaman kartoituksen jäl-keen samankaltaiseen kartoitukseen kuin mittahenkilö, jonka vuoksi en näe es-tettä miksei koneohjausjärjestelmällä kartoittaminen tulisi yleistymään.

Paras tapa saada opetettua koneohjausjärjestelmällä kartoitusta, on kartoittaa sama avokallio sekä mittahenkilön toimesta että koneohjausjärjestelmän avulla. Tällöin valmiita kartoituksia voidaan vertailla yhdessä kaivinkonekuljettajan sekä mittahenkilön kanssa. Jos kartoituksissa on tullut huomattavia eroja, ne voidaan käydä mittahenkilön kanssa läpi, jolloin yhdessä voidaan pohtia, mistä mahdolli-nen virhe on tullut ja miten se estetään kartoittamisessa. Toinen mahdollinen kou-lutustapa on mittahenkilön sekä kaivinkonekuljettajan yhdessä toteuttama avo-kallion kartoitus. Jotta koneohjausjärjestelmällä kartoittamisesta voidaan saada tulevaisuudessa luotettavaa, vaati se edellä mainitun kaltaista yhteistyötä mitta-henkilön sekä kaivinkonekuljettajan kanssa.

Opinnäytetyössä kerrottiin jo viivoilla kartoittamisesta, vaikka kyseinen mahdolli-suus on vasta tulossa. Viivoilla kartoittaminen tulee parantamaan kartoitusten pe-rusteella tehtyä maastomallin oikeellisuutta. Itse koen, että viivoilla kartoittamisen puute on ollut juuri koneohjausjärjestelmällä kartoittamisen esteenä.

Massanlaskenta perustuu pelkästään kartoitukseen, joten kartoittamisen perus-teella tehdyn maastomallin tulee olla avokallion muotoinen. Viivoja apuna käyttä-essä kartoittamisessa estetään maastomallin väärin kolmiointi. Massanlasken-nan suorittaja voi joutua laskemaan avokallion massat ilman, että on nähnyt avo-kalliota luonnossa. Hän ei pysty esimerkiksi maastomallia katsellessa vertaa-maan kartoituksen paikkansa pitävyyttä, koska ei ole nähnyt avokalliota luon-nossa, mutta tähän ongelmaan voidaan törmätä myös mittahenkilön kartoituk-sissa. Ongelman välttämiseksi on pyrittävä kartoitettavaan mahdollisimman tar-kasti.

Mielestäni suurin hyöty koneohjausjärjestelmällä kartoituksesta saadaan työtur-vallisuuden parantumisessa. Mittahenkilön ei tarvitse kartoitella liukkaalla avokal-liolla muiden työkonoiden keskellä, vaan kartoituksen suorittaa kaivinkone. UAV-

laitteilla avokallion kartoitus on hankalaa, sillä avokallion tulee olla tyhjä työko-  
neista. Lisäksi huonolla säällä suurena riskinä on, että silloin ei välttämättä saada  
riittävän tarkkaa kartoitusta avokalliosta. Ajallisesti avokallion kartoitus on nope-  
ampi tehdä kaivinkoneella kuin UAV-laitteilla, sillä lennon valmistelemiseen me-  
nee aikaa.

Koneohjausjärjestelmä antaa mahtavan mahdollisuuden avokallioiden kartoituk-  
seen, mutta sen saaminen toimimaan käytännössä ei toimi sormia napsautta-  
malla. Uuden oppiminen vie aina oman aikansa. Uskon, että viiden vuoden sisällä  
avokallioita kartoitetaan pääsääntöisesti koneohjausjärjestelmällä.

## LÄHTEET

Geotrin Oy 2018. Trimnet VRS. Viitattu 28.11.2018 <https://www.geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs>.

Kivinen, T. 2016. Tietomallit ja koneohjaus kuntatekniikan rakentamisessa. Aalto yliopisto. Diplomityö.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Jyväskylä. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3.

Maanmittauslaitos 2018. Paikannuspalvelujen periaate. Viitattu 1.12.2018 <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/paikannuspalvelu/paikannuspalvelun-periaate>.

Maastomalliohje. Versio 6.2. Vantaa. 3D-system Oy. Viitattu 04.12.2018. [http://www.3d-system.fi/ruubikcms/download.php?f=3d-win\\_maastomalliohje\\_62.pdf](http://www.3d-system.fi/ruubikcms/download.php?f=3d-win_maastomalliohje_62.pdf).

Mitta Oy 2018. 3D-koneohjauspalvelut. Viitattu 29.11.2018. <http://www.mitta.fi/palvelut/mittauspalvelut/3d-koneohjauspalvelut/>.

Mulari, K. 2018. Kysymyksiä Xsite 3D pro:sta Opinnäytetyöhön. Sähköposti nuutti.hakala@edu.lapinamk.fi 2.12.2018. Tulostettu 10.12.2018.

Novatron Oy 2018a. Mitä on koneohjaus. Viitattu 29.11.2018 <https://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>.

- 2018b. Xsite® PRO 3D. Viitattu 28.11.2018. <https://novatron.fi/koneohjaus/kaivinkoneisiin/xsite-pro-edistynyt-3d/>.

- 2018c. Uusi ohjelmistopäivitys Xsite® PRO-koneohjausjärjestelmään. Tutustu uusiin ominaisuuksiin! Viitattu 28.11.2018. <https://novatron.fi/uusi-ohjelmistopäivitys-xsite-pro-koneohjausjarjestelmaan-tutustu-uusiin-ominaisuuksiin>.

Pikkupirtti, N. 2013. Maa-laserkeilaimen käyttö maa-aines-alueilla suoritettavissa mittauksissa. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Poutanen, M. 2017. GPS-paikanmääritys. Helsinki. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa.

Putkonen, S. 2017. 3D-tietomallit suunnittelupöydältä työmaakoneisiin. Viitattu 1.12.2018. <http://www.maanmittauslaitos.fi/tietoa-maanmittauslaitoksesta/ajankohtaista/lehdet-ja-julkaisut/positio-lehti/lehdet/positio-8>.

Rahko, S. 2015. Miehittämättömien lentojärjestelmien (UAS) soveltuminen masanlaskentaan. Lapin AMK. Opinnäytetyö.

Rasanen, V. 2018. 3D-koneohjaus kaivinkoneenkuljettajan näkökulmasta. Saimaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Toivonen, T. & Ylikoski, J. 2013. Verkko-RTK-mittaus. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinöörityö.