

Mätning av bergsyta med totalstation, terrester laserskanning och UAS-baserade system

En jämförelse av volymberäkningsresultat, tidsåtgång och
kostnader

Elliot Ahlskog

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Lantmäteriteknik

Vasa 2024

EXAMENSARBETE

Författare: Elliot Ahlskog

Utbildning och ort: Ingenjör (YH) Lantmäteriteknik, Vasa

Handledare: Sem Timmerbacka

Titel: Mätning av bergsyta med totalstation, terrester laserskanning och UAS-baserade system

Datum: 28.5.2024

Sidantal: 34

Abstrakt

Detta examensarbete undersökte skillnader i beräknad volym, tidsåtgång och kostnader mellan konventionell mätning med totalstation, terrester laserskanning, flygburen laserskanning samt flygburen fotogrammetri. Analysen gjordes som en volymberäkning för ett bergsområde.

Analysen utfördes på ett område vid Stormossen som tidigare använts som grustag. På området byggdes fixpunkter som användes för inmätning av stödpunkter för den terrestra laserskanningen och markstödpunkter för drönarflygningarna. För projektet användes två olika drönare. Från de fotogrammetriska mätningarna skapades två olika punktmoln från vardera drönaren. Totalt användes sju olika modeller i jämförelsen.

Resultatet presenterar skillnader i volym, tidsåtgång och kostnad för samtliga metoder. Den terrestra laserskanningen användes som referens i denna undersökning. De flygburna metoderna har förhållandevis lika volym jämfört med den terrestra laserskanningen. Den konventionella mätningen med totalstation har den största skillnaden i volym jämfört med de övriga metoderna. Skillnader i tidsåtgång beror på mängden inmätta punkter vilket syns tydligt i de större molnen. Terrester laserskanning är den klart dyraste metoden medan övriga metoder är förhållandevis jämna i pris.

Språk: svenska

Nyckelord: volymberäkning, laserskanning, drönare, terrängmodell

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Elliot Ahlskog

Koulutus ja paikkakunta: Insinööri (AMK) Maanmittaustekniikka, Vaasa

Ohjaaja: Sem Timmerbacka

Nimike: Takymetrimittauksella, maalaserkeilauksella ja UAS-järjestelmillä mitattu kalliopinta

Päivämäärä: 28.5.2024

Sivumäärä: 34

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö tutki eroja tilavuudessa, ajankäytössä ja kustannuksissa takymetrillä tehtävän perinteisen menetelmän, maalaserkeilauksen, ilmasta tehtävän laserkeilauksen sekä ilmasta tehtävän fotogrammetrian välillä. Analyysi tehtiin tilavuuslaskelmana kallioalueelle.

Analyysi suoritettiin Stormossenin alueella, jota oli aiemmin käytetty soranottoalueena. Alueelle rakennettiin kiintopisteitä, joita käytettiin maalaserkeilauksen tukipisteiden ja drone-lennätysten tukipisteiden mittaamiseen. Projektissa käytettiin kahta eri dronea. Molempien lennokkien kuvista luotiin kaksi eri pistepilveä eri prosessointiparametreilla. Tutkimuksessa käytettiin yhteensä seitsemää eri maastomallia kalliopinnasta.

Tulokset esittävät erot tilavuudessa, ajankäytössä ja kustannuksissa kaikille menetelmille. Maalaserkeilausta käytettiin tutkimuksessa vertailukohtana. Ilmasta tehtävillä menetelmillä saadaan lähes samanlainen tilavuus kuin maanlaserkeilauksella. Takymetrimittauksella saatiin suurin tilavuusero, verrattaessa muihin menetelmiin. Ero ajankäytössä riippuu mitattujen pisteiden määrästä, mikä näkyy selvästi suuremmissa pistepilvissä. Maalaserkeilaus on selvästi kallein menetelmä, muiden menetelmien ollessa hinnaltaan lähes samalla tasolla.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: tilavuuslaskenta, laserkeilaus, drone, maastomalli

BACHELOR'S THESIS

Author: Elliot Ahlskog

Degree Programme: Bachelor of Engineering, Land Surveying, Vaasa

Supervisor: Sem Timmerbacka

Title: Surveying of a Bedrock Area with Total Station, Terrestrial Laser Scanning, and UAS-based Systems

Date: 28.5.2024

Number of pages: 34

Abstract

This thesis investigated the differences in volumes, time consumption, and costs between a conventional measurement with a total station, terrestrial laser scanning, airborne laser scanning, and airborne photogrammetry. The analysis was conducted as a volume calculation for a bedrock area.

The analysis was performed in an area at Stormossen, which had previously been used as a gravel pit. Control points were built in the area and used for surveying support points for the terrestrial laser scanning and ground control points for the drones. Two different drones were used for the project. From the photogrammetric measurements, two different point clouds with different parameters were created from each drone. A total of seven different models were used in the comparison.

The results present differences in volume, time consumption, and cost for all methods. Terrestrial laser scanning was used as a reference. The airborne methods have very similar volume compared to terrestrial laser scanning. The conventional measurement with the total station has the largest volume difference compared to the other methods. Differences in time consumption depend on the number of measured points, which is clearly visible in the larger point clouds. Terrestrial laser scanning is the most expensive method, while the other methods are relatively similar in price.

Language: swedish

Key words: volume calculation, laserscanning, drone, terrain model

Innehållsförteckning

1.1	Uppdragsgivare	1
1.2	Syfte och mål.....	2
1.3	Metoder	2
1.4	Avgränsningar.....	2
1.5	Tidigare undersökningar om ämnet.....	3
2	Totalstation.....	3
3	Terresterskanning	4
3.1	Stödpunkter	6
4	Unmanned Aerial System (UAS).....	7
4.1	Regleringar för UAS	8
4.2	Markstödpunkter för UAS	9
4.3	Flygburen Fotogrammetri.....	10
4.4	Flygburen Laserskanning.....	10
5	Projektets Mätutrustning.....	11
5.1	Totalstation	11
5.2	Terresterskanner.....	12
5.3	Drönare.....	12
5.3.1	Fotogrammetrisk kamera	14
5.3.2	Laserskanner	14
6	Undersökningens område.....	15
6.1	Utförandet av terrängmätningen.....	16
6.2	Utförandet av terrester laserskanner	17
6.3	Utförandet med UAS.....	17
6.3.1	Markstödpunkter	17
6.3.2	Fotogrammetriska mätningen	18
6.3.3	Laserskanning	18
7	Jämförelse.....	19
7.1	Resultat.....	20
7.2	Terrester Laserskanning.....	21
7.3	Fotogrammetri med UAS	22
7.4	Laserskanning med UAS.....	25
7.5	Totalstation	27
8	Tidsåtgång.....	29
9	Kostnad	30
10	Lämplighet för projektet.....	32
11	Diskussion	33

12	Källförteckning.....	35
----	----------------------	----

1. Inledning

Nya tekniska lösningar samt större tillgänglighet på marknaden har gett ett bredare utbud av inmätningsskanninger av områden eller objekt. Unmanned Aerial System (UAS), eller drönare med sina olika nyttolaster har sett ett klart uppsving de senaste åren. Olika företag kan erbjuda olika inmätningsskanninger för samma projekt, vilket väcker frågorna om vilken mätmetod ger bäst kvalitet samt vilken metod som är mest kostnadseffektiv.

Samtliga mätmetoder har sina fördelar och nackdelar. Användning av drönare och terresterskanning är snabba och effektiva mätmetoder men förlitar sig på markstödpunkter för att uppnå höga noggrannheter, vilket ökar tidsåtgången. Användning av totalstation kräver inga markstödpunkter för att uppnå hög noggrannhet men tidsåtgången är betydligt större än de tidigare nämnda mätmetoderna. Samtliga mätmetoder kräver ändå fixpunkter för att placeras i koordinatsystem.

Detta examensarbete kommer att studera skillnaderna i resultaten från terrängmätning med totalstation, terresterskanning, flygburen fotogrammetri och flygburen laserskanning. Samtidigt följs de respektive mätmetodernas tidsåtgång och kostnad, under samtliga mättningsförfaranden upp.

1.1 Uppdragsgivare

Uppdragsgivaren för examensarbetet är Mitta Oy. Mitta-koncernen grundades år 1989 i Finland, och fungerar idag som en marknadsledare inom mätkonsulttjänster för infrastruktursektorn i både Finland och Sverige. Mittas affärsområden är mätning, geoteknik samt miljö- och laboratorietjänster. Företaget är kraftigt expanderande och har idag över 600 anställda. Utöver Finland och Sverige görs även uppdrag i andra europeiska länder och Nordamerika. (Mitta Oy, 2024).

1.2 Syfte och mål

Syftet med undersökningen var att jämföra de olika mätmetoderna med varandra. I undersökningen användes två olika versioner av punktmolnen från de fotogrammetriska mätningarna att användas. Bearbetning av punktmoln är tidskrävande processer, och bearbetningen påverkar slutresultatet. Från de insamlade materialen framställs teoretiska terrängmodeller med hjälp av 3D-Win programmets triangulerings funktion. Terrängmodellerna från samtliga mätmetoder jämförs mot en teoretisk plan yta på -20 meter. Jämförelsen ger ut en volym för vardera mätmetoder, vilket sedan kan jämföras sinsemellan.

Med undersökningen vill vi studera skillnaderna i volymläsningsresultat, tidsåtgång och kostnad mellan de olika mätmetoderna. Utgående från dessa jämförelser tar vi reda på vilken mätmetod som är lämpligast att använda för projektet som utförs i detta examensarbete. Förväntningarna är att de flygburna mätmetoderna är de med minst tidsåtgång.

1.3 Metoder

Examensarbetet består av en teoretisk del och en praktisk del. Den teoretiska delen grundar sig på personlig kommunikation, lagar, handböcker och facklitteratur. Den praktiska delen omfattar fyra olika mättningsförfaranden på en bergsyta. Mätmetoderna i projektet är terrängmätning med totalstation, terrester laserskanner, flygburen fotogrammetri och flygburen laserskanning. I projektet användes två olika drönare, DJI Mavic 3e och DJI Matrice M300 RTK. För den konventionella mätningen med totalstation användes en Leica TS 15 3' och för den terrestra laserskanningen användes en Leica ScanStation P20.

1.4 Avgränsningar

Examensarbetet innehåller tre olika kartläggningsmetoder: terrängmätning med totalstation, terrester laserskanning och drönare med nyttolast. Drönarflygningen är den kartläggningsmetod som studeras mest. Området som används för projektet är avgränsat

till ett mindre bergsområde. Resultatet presenteras i form av skillnader i noggrannhet av en volymberäkning för samtliga mätmetoder, samt en kostnadsbild för de olika mätmetoderna. Examensarbetet kommer inte att ta upp behandling av rådata till ett färdigt punktmoln eller de olika program som används för kartläggning.

1.5 Tidigare undersökningar om ämnet

I en tidigare studie undersöktes skillnader i volymberäkningar mellan totalstation och terrester laserskanner. Studien tog plats i en öppen kolgruva, och objekten för undersökningen var utgrävd kol samt spillmaterial. Syftet var att undersöka noggrannheten på terresterskannern, i och med att det traditionellt används en totalstation för inmätningarna. Resultatet av undersökningen visade att terresterskannern hade en medelavvikelse på 1% och felmarginalen för ytan var 6 cm på en 95 % konfidensnivå. Det konstaterades att totalstationen ger mer noggranna resultat i enskilda punkter, medan terresterskannern ger mera detaljer på öppna områden. (Keawaram & Dumrongchai, 2017).

En tidigare jämförelse mellan UAS och totalstation har gjorts för att jämföra skillnader i osäkerheten mellan de två mätmetoderna. Samtidigt undersökte man tidsåtgång, kostnad och säkerheten. Osäkerheten för UAS-mätningen var tillfredsställande, det noterades dock att en ytmodell för hela området försvårades på grund av vegetation. Efter undersökningen konstaterade man att användningen av UAS var 3 timmar snabbare och nästan hälften billigare. Säkerhetsmässigt är användningen av drönare nästan helt bundet till själva drönaren och dess operatör, medan användningen av totalstation påverkas av yttre faktorer på området. (El Meouche, Hijazi, Poncet, & Abunemeh, 2016).

2 Totalstation

Totalstationen är ett vinkelmätningssinstrument integrerat med en elektronisk distansmätningssenhet. Integrationen ger mätinstrumentet möjlighet att mäta horisontala-

och vertikala vinklar, samtidigt som den mäter lutande avstånd. Funktionerna ökar effektiviteten och sänker tidsåtgången. Totalstationen har många användningsområden och används idag i hög grad inom terrängmätningar, infrabyggande och på byggplatser. (Lemmens, 2016)

De moderna totalstationerna är väl utrustade med funktioner som lutningskorrigerings genom två axlade inklinometrar, automatisk identifiering och spårning av mål, GNSS-positionering samt översikts- och teleskopkameror. (Wagner, 2015).

Vid terrängmätning använder de flesta totalstationerna specialbyggda glasprisman vid mätförfarandet. En typisk totalstation kan mäta längder upp till 1500 m med en noggrannhet kring $1.5 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$ (parts per million). Ett prisma är en typ av reflektor som fungerar som måltavla för distansmätning. (Metricop, 2022).

3 Terresterskanning

Laserskanning är en detaljerad mätmetod som på ett snabbt och omfattande sätt samlar in tusentals eller till och med miljontals punkter med x-, y- och z-koordinater. Laserskannern mäter in en tredimensionell vy som bildar ett så kallat punktmoln. Laserskannern gör det möjligt att mäta in objekt utan vidröring, vilket ger stora fördelar vid inmätning av svåråtkomliga eller farliga områden. Terrester laserskanning är ett utmärkt komplement till traditionella mätningar inom bygg- och infrastrukturbranschen. (Cronvall, Kråknäs, & Turkka, 2012, s. 10).

Laserskannerns mättningsförfarande sker genom att elektromagnetisk energi i form av en laserstråle emitteras med hjälp av en roterande spegel mot objektet som skall mätas. Den emitterade laserstrålen reflekteras från objektets yta tillbaka till skannern var den registreras. Skannern beräknar tidsåtgången för laserstrålen att färdas fram och tillbaka och kan därmed bestämma avståndet till objektet. (Reschetiuk, 2017, s. 10).

Samtidigt som skannern beräknar tidsåtgången för laserstrålen att reflekteras, registreras laserstrålens utgångsvinklar i horisontal- och vertikalläge. Med hjälp av utgångsvinklarna och avståndet beräknas punktens koordinater enligt ekvationen i figuren nedan (Figur 1).

Baserat på styrkan av retursignalerna från punkterna registrerar skannern också ett intensitetsvärde på den mätta punkten. (Cronvall, Kråknäs, & Turkka, 2012, ss. 10,11).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos \varphi \cos \theta \\ r \sin \varphi \cos \theta \\ r \sin \theta \end{bmatrix}$$

Figur 1. Beräkning av 3D-koordinater med hjälp av sträckor och vinklar. (Reschetiuk, 2017, s. 11).

Objekt som skannas är ofta stora och komplexa, och laserskannern kan endast mäta de punkter som är synliga från dess nuvarande position. För att få med hela objektet krävs att utföra flera skanningar från olika positioner. Det inmätta punktmolnet behöver sedan fogas ihop till ett gemensamt punktmoln. Ofta sker även en georeferering till ett geodetiskt referenssystem. (Reschetiuk, 2017, s. 16).

De flesta laserskannerns har idag en inbyggd kamera som tar fotografier på omgivningen under skanningen. Med hjälp av fotografierna får man en tydligare bild av det skannade objektet. Fotografierna hjälper även till med färgsättningen av punktmolnet. (Cronvall, Kråknäs, & Turkka, 2012, s. 11).

Faktorer som kan påverka noggrannheten vid laserskanning är både tekniska och omgivningsrelaterade. De tekniska faktorerna beror huvudsakligen på tillkortakommanden hos laserskannerns komponenter. Kalibrering av instrumentet med jämna mellanrum rekommenderas. Yttre faktorer som påverkar noggrannheten är vind, damm eller nederbörd. Regndroppar eller snöflingor kan reflektera skannerns laserstrålar och registreras som punkter. Dessa punkter uppstår som en form av "brus" i punktmolnet. Laserskannerns mätosäkerhet kan även påverkas av det inmätta objektet, i och med inmätningen av objektet bygger på reflektans. Avståndet till objektet, infallsvinklar och objektets material är alla faktorer som kan påverka resultatet. (Reschetiuk, 2017, s. Kap 3).

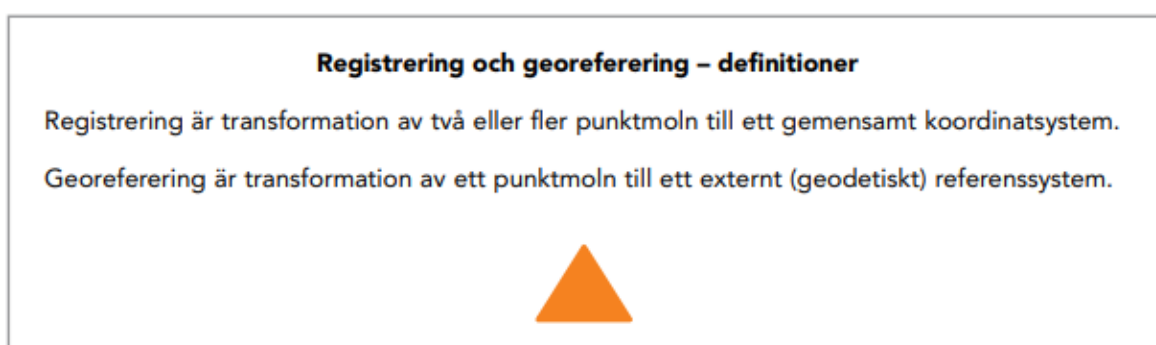
Fördelen med terrester laserskanner över punktbaserade mätningstekniker så som totalstation och GNSS är att laserskannern mäter betydligt snabbare, flera tusen punkter per sekund, med en likvärdig osäkerhet som en totalstation. Laserskannern behöver inga reflektorer (prismor) för att utföra mätningar, utan den emitterade laserstrålen reflekteras direkt från det mätta objektets yta. Den snabba och noggranna datainsamlingen möjliggör att projektet utförs snabbare och mera kostnadseffektivt. (Reschetiuk, 2017, s. 26).

3.1 Stödpunkter

Vid terrester laserskanning kan ett område eller objekt i princip aldrig täckas med en enda skanning. Vanligtvis krävs tiotals skanningar, och vid större och mer komplexa projekt kan det vara nödvändigt med hundratals skanningar. Alla skanningar behöver sedan slås ihop till ett heltäckande punktmoln, vilket görs genom en procedur som kallas registrering. (Reschetiuk, 2017, s. 92).

Varje ny uppställning av skannern ger den en ny position och orientering. De punktmoln som skapas från de olika uppställningarna ligger därför i olika koordinatsystem. Registrering innebär därmed att man transformerar flera punktmoln till ett gemensamt koordinatsystem, till exempel det koordinatsystem som uppstod i den första skanningen. Resultatet blir att man får ett gemensamt koordinatsystem för hela det sammansatta punktmolnet. (Reschetiuk, 2017, s. 93).

Registrering av punktmolnen binder dem ihop till ett gemensamt, för skannern, internt koordinatsystem, men det ger ingen koppling till den fysiska verkligheten. För att koppla punktmolnet till jordytan behöver punktmolnet transformeras till ett externt referenssystem genom ett antal kända punkter, vanligtvis inmätta med GNSS eller totalstation. Processen kallas för georeferering. (Reschetiuk, 2017, s. 94).



Figur 2. Definitioner av begreppen Registrering och Georeferering. (Reschetiuk, 2017, s. 93).

Vid bestämning av transformationsparametrarna krävs det att man har ett antal kända punkter som har en överlappning mellan de olika skanningarna. Vid georeferering kallas

dessas punkter för stödpunkter, och de mäts in med en GNSS-baserad mätmetod eller totalstation. (Reschetiuk, 2017, s. 97).

Stödpunkternas uppgift för georefereringen är att genom inpassning beräkna skannerns position och orientering i det externa referenssystemet. Detta möjliggör sedan att alla inskannade punkter kan transformeras till det externa systemet, vilket ger oss ett fullständigt punktmoln som kan kopplas till jordytan. (Reschetiuk, 2017, s. 98).

För att uppnå så låg osäkerhet som möjligt för registreringen kan stödpunkterna signaleras med speciella signaler som ofta går att skaffa från de som tillverkar laserskanningsutrustning. Signalerna kan ha olika storlekar och former men principen är den samma, att ge ett tydligt centrum som skannern kan uppfatta. (Reschetiuk, 2017, s. 100).

Signalerna ska vara utspridda och med höjddifferens i och med att de kopplas till ett triangelnät. Triangelnätet bygger på vektorer, och differenserna i vektorerna, både i höjd och plan, ger en högre noggrannhet. Vid mättningsförfarandet bör minst tre signaler synas från olika håll vid varje skanning. (Personlig kommunikation med anställd vid Mitta den 17 Januari 2024).

4 Unmanned Aerial System, UAS

Tack vare framgången inom teknologin befattande UAS, har drönaren revolutionerat många olika områden, så som topografisk kartläggning, agrikultur, infrastruktur och inom räddningsväsendet. Det automatiska flygläget har gett möjligheten för icke-professionella användare möjligheten att använda drönare, vilket lett till en ökning av användning inom olika områden. (Perera & Nalani, 2022).

Förminskning av sensorer, förbättrad batteriteknik samt tillgången till förmånliga men samtidigt avancerade drönare har skapat nya möjligheter för olika typer av miljöanalyser. Drönaren ger möjligheten till detaljerade flygbilder tagna på nära håll. Med hjälp av multi-view stereopsis, en form av datorseende, kombinerat med fotogrammetriska bilder tagna från drönare kan man producera täta punktmoln. Drönarbaserad fotografering ger den

spatiala och temporala upplösning som krävs för kartläggning och övervakning av naturliga landskap. (Harwin & Lucieer, 2012).

Inom topografisk kartläggning är drönaren framstående, i och med att många av de moderna och förmånliga drönarna med inbyggda optiska nyttolaster kan producera ortobilder och DEM (Digital Elevation Model), på centimeter nivå i x-, y och z-led, som tidigare krävde väldigt dyra mätningstekniker. (Perera & Nalani, 2022).

Den stora nackdelen med användning av drönare vid fotogrammetriska mätningar är dess oförmåga att se genom vegetation, vilket leder till en icke-fullständig topografisk kartläggning. Som komplement till drönaren används traditionella kartläggningsmetoder så som en totalstation för att kartlägga områden under vegetationen. Möjliga lösningar är användning av LiDAR, en form av avståndsmätning med ljusdetektion, eller att använda sig av oblique fotografering som gör att bilderna inte tas rakt uppifrån utan med en vinkel från sidan. (Perera & Nalani, 2022).

4.1 Regleringar för UAS

För att få använda drönare inom EU-området krävs att vissa regler och bestämmelser följs. Reglerna och bestämmelserna upprätthålls av Europeiska unionens flygsäkerhetsbyrå EASA. Reglerna fungerar som en grundläggande princip för säker användning av obemannade luftfarkoster inom Europa (EU Regulations 2019/947, 2019/945). (EASA, 2024).

Reglerna bygger på ett riskbaserat synsätt och åtskiljer därför inte mellan drönare som används för fritidsverksamhet och drönare som används vid kommersiell verksamhet. Reglerna tar hänsyn till drönarens vikt och specifikationer, samt verksamhet som drönaren ämnar utföra. (EASA, 2024).

För alla finländska drönaranvändare finns en skyldighet att registrera sig i registret för drönaroperatörer, något som tidigare endast krävdes av professionella operatörer. Undantag finns för användare av drönare utan kamera och en vikt på under 250 g, eller drönare som klassas som leksak. Alla övriga drönaroperatörer bör registrera sig. (Traficom, 2024).

Operatörens registreringsnummer som fås vid registreringen ska fästas på sidan av drönaren som operatören ämnar använda. Samtidigt ska ett certifikat för fjärrpilotskompetens alltid finnas med i elektronisk form, eller pappersversion då operatören använder en drönare. (Traficom, 2024).

4.2 Markstödspunkter för UAS

Markstödspunkter används vid bearbetning av den inmätta modellen för att placera och skala rätt till ett koordinatsystem. Markstödspunkterna mäts in med totalstation och anses därför vara precisa i och med att de är minst en storleksordning mer exakt än beräknade 3D-modeller. (Lundström, 2020, s. 5).

Då drönaren tar bilder kommer koordinaterna för markstödspunkterna automatiskt att sparas som en egenskap hos bilden. Det innebär att drönaren automatiskt erhåller positionsdata för markstödspunkten vid fotografering. Förskjutningen mellan kamerans sensorcentrum och drönarens GNSS-mottagare kompenseras automatiskt så att geotaggen bestäms på bildens plats, och inte på drönarens GNSS-mottagare. (Lundström, 2020, ss. 5,6).

Vid placering av markstödspunkterna behövs en tillräcklig mängd markstöd för att öka på precisionen. Fler markstöd innebär en högre noggrannhet, men tidsåtgången och kostnaden ökar därefter. En vanlig praxis är att placera markstöd i de yttre kanterna av området, och något markstöd i mitten av området. (Lundström, 2020, s. 6).

Användningen av markstöd vid mätning av terrängmodeller för planering av vägar och järnvägar är även reglerat av Traficom, som ställer krav på att markstödens skalla mäts in med statisk GNSS-mätning eller med totalstation. Det får heller inte vara mer än 500 m mellan markstödspunkterna. (Liikennevirasto, 2017, s. 22).

4.3 Flygburen fotogrammetri

Fotogrammetri eller bildmätning, betyder mätning i fotografisk bild. Fotogrammetri är ett sätt att kunna bestämma läge, form och storlek på fotograferade objekt. Mätningarna kan utföras i enskilda bilder, bildpar eller i band av många bilder. (Boberg, 2021, s. 181).

Bilderna som uppfångas visar objektet från olika riktningar. Från mätningarna kan sedan tredimensionella lägeskoordinater beräknas för objektet. Sammanställningen av koordinaterna bildar tillsammans en numerisk modell av objektet. (Boberg, 2021, s. 181).

Flygfotogrammetri utförs genom raka flygstråk över området. Flygstråken planeras på ett sådant sätt så att en viss överlappning sker av bilderna. Fotograferingen bildar ett block av bilder som sedan utvärderas med hjälp av stereoskopisk mätning eller bildmatchning. (Boberg, 2021, s. 181).

Fotogrammetrin har många användningsområden i både större och mindre skala. Typiska användningsområden är kartor som fungerar som underlag för kommunal detalj- och infrastrukturplanering. Andra vanliga produkter är ortofoton och höjdmodeller som kan användas inom projektering eller som del i geografiska informationssystem. (Boberg, 2021, s. 182).

4.4 Flygburen laserskanning

Flygburen laserskanning följer samma princip som terrester laserskanning, förutom att laserskanningssystemet tillsammans med ett positioneringssystem monteras på ett flygplan, en helikopter eller en drönare. Flygburen laserskanning används för större områden medan terresterskanning fokuseras på specifika objekt. (Olsson, Rost, & Reschetiuk, 2021, s. 253).

Vid flygburen laserskanning är det inte enbart marken som reflekterar den utsända laserpulsen, utan även objekt som vegetation, byggnader och trädkronor ger reflektioner. Det är vanligt att en och samma puls reflekteras mot fler än en punkt. Vanligen registreras reflektionerna av laserskannern som individuella pulser. Vid höjdmodeller är endast de punkter som ligger på markytan intressanta, och därför görs någon form av klassificering

eller filtrering för att dela upp de infångade punkterna. (Olsson, Rost, & Reschetiuk, 2021, s. 253).

Fördelen med laserskanning är att det baserar sig på en aktiv sensor, som själv sänder ut energi i form av elektromagnetisk strålning, vilket gör att inget dagsljus behövs. Fotogrammetriska kameror är passiva sensorer som mäter den elektromagnetiska strålningen som reflekteras via markytan från solen. Fotogrammetri är därför beroende av solljuset medan laserskanning fungerar även i mörker. (Olsson, Rost, & Reschetiuk, 2021, s. 254).

Flygburen laserskanning har varit till stor användning för upprättande av nationella höjdmodeller, beräkningar inom skogsindustrin, projektering av vindkraftverk och vid skapandet av 3D-modeller inom kommuner. Även mindre områden skannas för att till exempel användas som projekteringsunderlag eller massaberäkningar vid dagbrott. (Olsson, Rost, & Reschetiuk, 2021, s. 260).

5 Projektets mätutrustning

I detta kapitel presenteras den mätutrustning som använts i undersökningen.

5.1 Totalstation

I denna undersökning användes Mitta Oy:s Leica TS 15 3' totalstation. Totalstationen användes för terrängmätningen, inmätning av markstödpunkter för drönare samt inmätning av stödpunkter för terresterskannern. Totalstationen användes tillsammans med ett prisma.

Leica TS 15 är en robotisk totalstation med inbyggd kamera. Detta innebär att totalstationen erbjuder funktioner för dynamisk spårning av prisma samtidigt som den kan ta bilder för ökad produktivitet. Totalstationen har en vinkelnoggrannhet på 1 mgon med 68% konfidensgrad och har en fyrdubbel axelkompensering. I prisma läge erhålls en noggrannhet på 1mm+1.5ppm på ett ensamt prisma upp till 3500 m i standardläge. På alla

ytter uppnår man en noggrannhet på $2\text{ mm} + 2\text{ ppm}$ på 1000 m avstånd. (Califf Surveying, u.d.; Totalstaions.co, u.d.).

5.2 Terresterskanner

I denna undersökning användes Mitta Oy's Leica ScanStation P20 terresterskanner. ScanStation P20 är en kombination av time-of-flight avståndsmätning och modern Waveform Digitising (WFD) teknologi. Detta ger skannern möjlighet att mäta upp till en miljon punkter per sekund på ett avstånd upp till 120 m. ScanStation P20 har ett horisontalt synfält på 360 grader, och ett vertikalt synfält på 270 grader. Skannern opererar på våglängderna 808 nm (nanometer) och 658 nm. Skannern har en positionsosäkerhet på 3 mm vid 50 m, och 6 mm vid 100 m. ScanStation P20 har även en inbyggd kamera som automatiskt tar bilder under skanningen. (Leica Geosystems).

5.3 Drönare

I denna undersökning användes två olika drönare, DJI Mavic 3E som är en mindre drönare användes för den fotogrammetriska mätning, och DJI Matrice M300 RTK, en större drönare som användes för både flygburen laserskanning och fotogrammetrisk mätning.

DJI Mavic 3E (Figur 3) är en liten och lätt drönare avsedd för såväl kommersiellt bruk som hobbybruk. Drönaren väger 915 g utan batterier eller extra tillägg. Batterierna som följer med är litiumpolymerbatterier av typen LiPo 4S 5000 mAh, och ger drönaren en flygtid på 45 minuter vid optimala förhållanden. Flygtiden påverkas kraftigt av rådande väderförhållanden och tilläggsutrustning. Drönaren har ett inbyggt RTK-system som erbjuder centimeter noggrannhetsnivå. Drönaren har en inbyggd 4/3 CMOS 20 MP kamera med både en elektronisk och mekanisk slutare, som minskar på suddigheten av bilderna. (DJI, u.d.b).



Figur 3. DJI Mavic 3E (DJI, u.d.a).

DJI Matrice 300 RTK (Figur 4) är en betydligt större drönare som väger cirka 3,6 kg utan batterier, och 6,3 kg med två batterier. Batterierna är litumpolymerbatterier av typen LiPo 12S 5935mAH och ger drönaren en teoretisk maximal flygtid på 55 minuter vid optimala förhållanden. Flygtiden påverkas kraftigt av rådande väderförhållanden och tilläggsutrustning. Drönaren stöder en funktion som kallas hot swap, vilket innebär att användaren kan byta ut ett batteri i taget, och på så vis förlänga batteritiden och fortsätta mätningen utan längre avbrott. Den stora fördelen med Matrice 300 RTK, är dess många nyttolaster som kan användas. Upp till tre olika nyttolaster så som, laserskanner, värmekamera eller tredje parts utrustning kan användas samtidigt, vilket effektiviserar tidsåtgången för drönaren. (DJI, u.d.c).



Figur 4. DJI Matrice 300 RTK (Voosestore, u.d.).

5.3.1 Fotogrammetrisk kamera

DJI Zenmuse P1 är en fotogrammetrisk kamera ämnad för drönaren DJI Matrice 300 RTK. Kameran är en 45 megapixels, IP4X klassad helbildssensor med valmöjligheter på 24, 35 och 50 millimeters objektiv. Kameran fästs till drönaren med en 3-axlad stabiliserande gimbal, en slags kamerahållare som stabiliserar kameran, och stöder smart oblique fotografering. Kameran fotograferar var 0,7 sekund och med fulladdade batterier och optimala väderförhållanden kan användaren täcka ett område på upp till tre kvadratkilometer på en flygning. Smart oblique funktionen ger kameran möjlighet att automatiskt vända sig i olika vinklar, vilket ger bilder på objektet från olika riktningar. Detta resulterar i högklassiga tredimensionella bilder. Kameran har en noggrannhet på 3 cm i vertikalled och 5 cm i horisontalled utan användning av markstödpunkter. (DJI, 2024a)

5.3.2 Laserskanner

DJI Zenmuse L1 är en nyttolast för drönaren DJI Matrice 300 RTK. Den integrerar ett Lidar system, en RGB (röd, grön, blå) kamera och en hög precisions IMU (Inertial Measurement Unit), som är en elektronisk sensor som mäter acceleration och ger både position och

vinkelhastighet i tre dimensioner. Lidar-sensorn har kapaciteten att fånga upp 240 000 punkter per sekund och har förmågan att uppta tre ekosignaler från de utsända pulserna. RGB kameran tar bilder under skanningen och ger färg åt punktmolnet, vilket i sin tur underlättar vid identifiering av objekt i det färdiga punktmolnet. Laserskannern är IP54 klassad, och skall med fulladdade batterier klara av att kartlägga ett område på två kvadratkilometer under en flygning. (DJI, 2024b).

6 Undersökningens område

Området som använts i undersökningen befinner sig på Stormossens område cirka 10 kilometer norr om Vasa. Se översiktsbild i figuren nedan. Objektet är ett cirka 300 kvadratmeter stort område och består huvudsakligen av berg och grus. Objektet har tidigare fungerat som grustag. På platsen planeras en ny anläggning för Stormossens verksamhet. Området har tidigare blivit inmätt, men inga färdigt byggda utgångspunkter finns på platsen.



Figur 5. Översiktsbild på området. Objektet som använts markerat med en röd fyrkant. (Paikkatietoikkuna, u.d.).

6.1 Utförandet av terrängmätningen

Terrängmätningen med totalstation utfördes den 10 januari 2024. Terrängmätningen utfördes av en anställd på Mitta Oy, som använde sig av en Leica TS 15 3' totalstation. Innan terrängmätningen påbörjades, byggdes två fixpunkter på området med hjälp av GNSS-RTK. Fixpunkterna användes som utgångspunkter för samtliga mätningar. Fixpunkterna mättes in genom fri station i två kikarlägen med totalstation och koordinaternas fel utjämnades med hjälp av totalstationen.

På området samlades totalt 409 punkter in med totalstation. En linje drogs mellan de yttersta punkterna för att forma en beräkningslinje för området. I och med att de fotogrammetriska bilderna och laserskanningarna automatiskt upptar ett större område, gjordes beräkningslinjen från terrängmätningssdan. Vidare drogs linjer mellan punkter innanför området för att upprätta strukturer på området i analysen. Linjedragningen utfördes i 3D-win och visas i figuren nedan.

Vid terrängmätning med totalstation försöker man uppnå raka brytlinjer och jämna mellanrum mellan punkterna. Detta görs för att få mindre trianglar vid skapandet av en terrängmodell genom funktionen triangulering.



Figur 6. Brytlinjer skapade från punkterna insamlade med totalstation

6.2 Utförandet av terrester laserskanner

Den terrestra laserskanningen utfördes den 10 januari 2024. Skanningen utfördes av en anställd på Mitta Oy, som använde sig av en Leica ScanStation P20. För mätningen användes fyra signaler utspridda på området, med differens i höjder. Plankoordinater och höjd från utgångspunkterna till signalerna bestämdes med hjälp av en totalstation. Inmätningen av signalerna skedde med fri station i två kikarlägen. Inmätningen av signalerna görs för att kontrollera noggrannheten hos stödpunkterna.

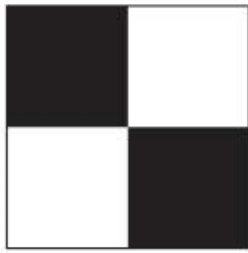
Skanningen utfördes genom att använda sig av fri station med skannern, med minst tre synliga signaler. Totalt användes fem skanningsstationer. Signalerna används för att kontrollera den inbördes noggrannheten för stödpunkterna samt för att underlätta registreringen av punktmolnet.

6.3 Utförandet med UAS

Vid genomförandet av flygningarna användes Mitta Oy's DJI Mavic 3E, och DJI Matrice 300 RTK drönare. Till DJI Matrice 300 RTK drönaren användes även Mitta Oy's laserskanningsenhet DJI Zenmuse L1 samt fotogrammetriska kameran DJI Zenmuse P1. Drönarna opererades av en anställd på Mitta. Området befinner sig inom UAS-flygområde D, vilket sätter ett krav på en maximal flyghöjd på 120 meter. Utöver kravet på flyghöjd finns inga andra begränsningar på området.

6.3.1 Markstödpunkter

I undersökningen användes tre markstödpunkter för både den fotogrammetriska mätningen och den flygburna laserskanningen. Markstöden bestod av stora plattor, 75 x 75 cm, med två vita rutor, och två svarta rutor. (Figur 7) Markstöden placerades med differens i höjd för att öka på vinklarna mellan vektorerna. Markstöden mättes in med totalstation i två kikarlägen för att öka på tillförlitligheten på höjden. Markstöden registreras automatiskt av drönarna som sedan numreras. Koordinaterna för markstöden kan sedan föras in med hjälp av numreringen.



Figur 7. Markstödsplatta (Vision Aerial, u.d.)

6.3.2 Fotogrammetriska mätningen

Insamlingen av det flygburna materialet inleddes med de fotogrammetriska mätningarna. Den mindre drönaren, DJI Mavic 3E, gjordes startklar och använde sig av automatiska inställningar. Flygstråken planerades i den handhållna enheten med hjälp av programmet DJI Pilot. Flyghöjden var 75 m ovanför schaktets botten, för att ha tillräckligt med höjd från de byggnader som befann sig på marknivån vid sidan av schaktet. Överlappningen var 85 % både längs med flygstråken och i sidled. Den huvudsakliga orsaken till en så stor överlappning var att få drönaren att flyga långsammare. DJI Mavic 3E klarar av att flyga autonomt, vilket innebär att den sköter sig själv efter att inställningarna gjorts.

Efter den mindre drönaren hade samlat sin data och återvänt, gjordes DJI Matrice 300 RTK drönaren startklar och kalibrerades. För kamerainställningarna gjordes en justering med överexponering, i och med att bilderna från DJI Mavic 3E blev onödigt mörka i och med att det var mulet. Flygstråken planerades igen i DJI Pilot, med flyghöjden 75 m ovanför schaktets botten, och en överlappning på 80 % längs flygstråken och i sidled. DJI Matrice 300 RTK, flygs också autonomt.

6.3.3 Laserskanning

Då den fotogrammetriska insamlingen med DJI Matrice 300 RTK var klar, byttes nyttolasten ut till laserskanningsenheten DJI Zenmuse L1. Laserskanningsenheten har en uppvärmningstid på fem minuter. Medan laserskanningsenheten värmdes upp planerades flygstråken i DJI Pilot. Flyghöjden hölls på 75 m, och överlappningen blev 65 % i sidled. Laserskanningsenheten klarar sig med mindre överlappning i och med det lilla området, men överlappningen höjdes för att få två flygstråk i stället för ett enda flygstråk.

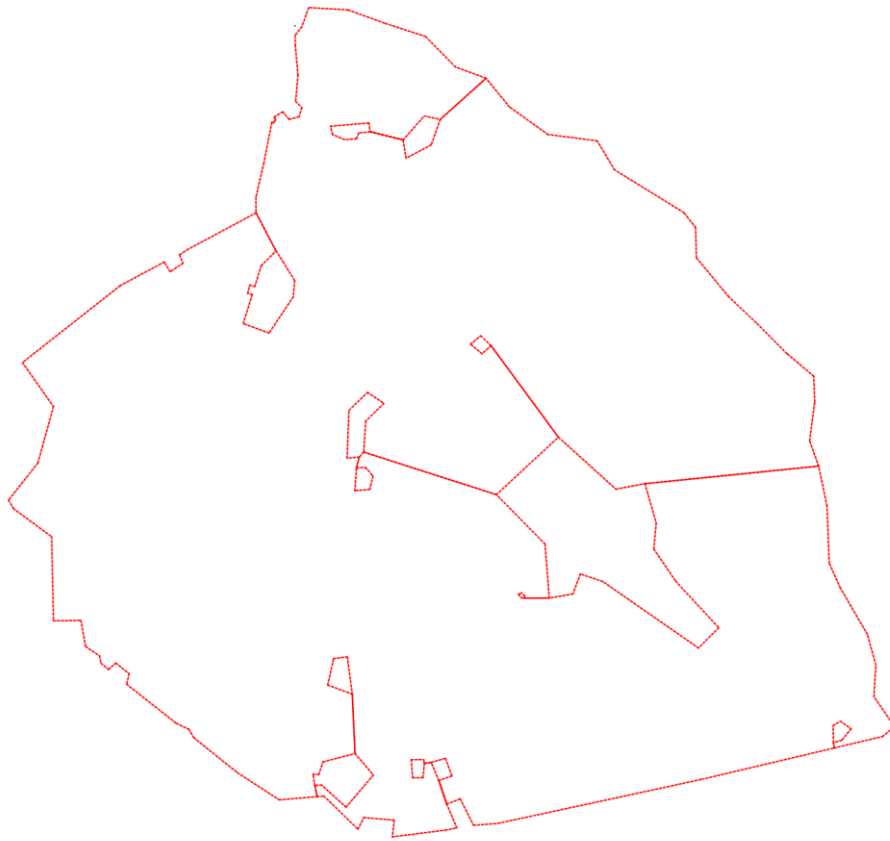
7 Jämförelse

Jämförelsen baserar sig på sju olika punktmoln insamlade med de olika mätmetoderna. Insamlingsmetoderna för projektet är konventionell mätning med totalstation, terrester laserskanning, flygburen fotogrammetri och flygburen laserskanning. De fotogrammetriska mätningarna har samlats in med två olika drönare, och för de två drönarnas fotogrammetriska mätdata har två olika versioner producerats. Slutprodukterna från de fotogrammetriska mätningarna består alltså av totalt fyra punktmoln.

Bearbetningen från rådata till punktmoln har skötts av anställda på Mitta Oy. De olika bearbetningarna för de fotogrammetriska punktmolnen bygger på olika nivåer, som ändrar upplösningen, punkttätheten och minskar brus i de färdiga produkterna. Från både DJI Mavic 3E och DJI Matrice 300 RTK producerades ett punktmoln i nivå 2, medium, och ett punktmoln i nivå 4, lowest. Nivåerna lowest och medium är automatiska nivåer som finns tillgängliga i programmet Agisoft Metashape, som användes för bearbetningen av punktmolnen

Bearbetning av punktmoln är en tidskrävande process men en nödvändig sådan för att uppnå högre noggrannhet. Den fundamentala delen med bearbetningen är att minska på eventuellt brus som uppstår i bilderna. De olika nivåerna som nämndes tidigare är automatiska inställningar som minskar på manuellt arbete.

Jämförelsen av punktmolnen utfördes i programmet 3D-win genom att skapa digitala terrängmodeller av punktmolnen genom att använda trianguleringsfunktionen. Det skapades även en modifierad beräkningsgräns för att ta bort en del områden var störningar förekommer, så som en grävmaskin som fanns i ett av punktmolnen. (Figur 8). Terrängmodellerna jämförs sedan mot en konstant platt yta på -20 m, var efter 3D-win producerar en textruta med information om yta och volym för den jämförda modellen. Informationen förs över till en Excel tabell där skillnader i volymen kan analyseras.



Figur 8. Beräkningslinje skapad i 3D-Win

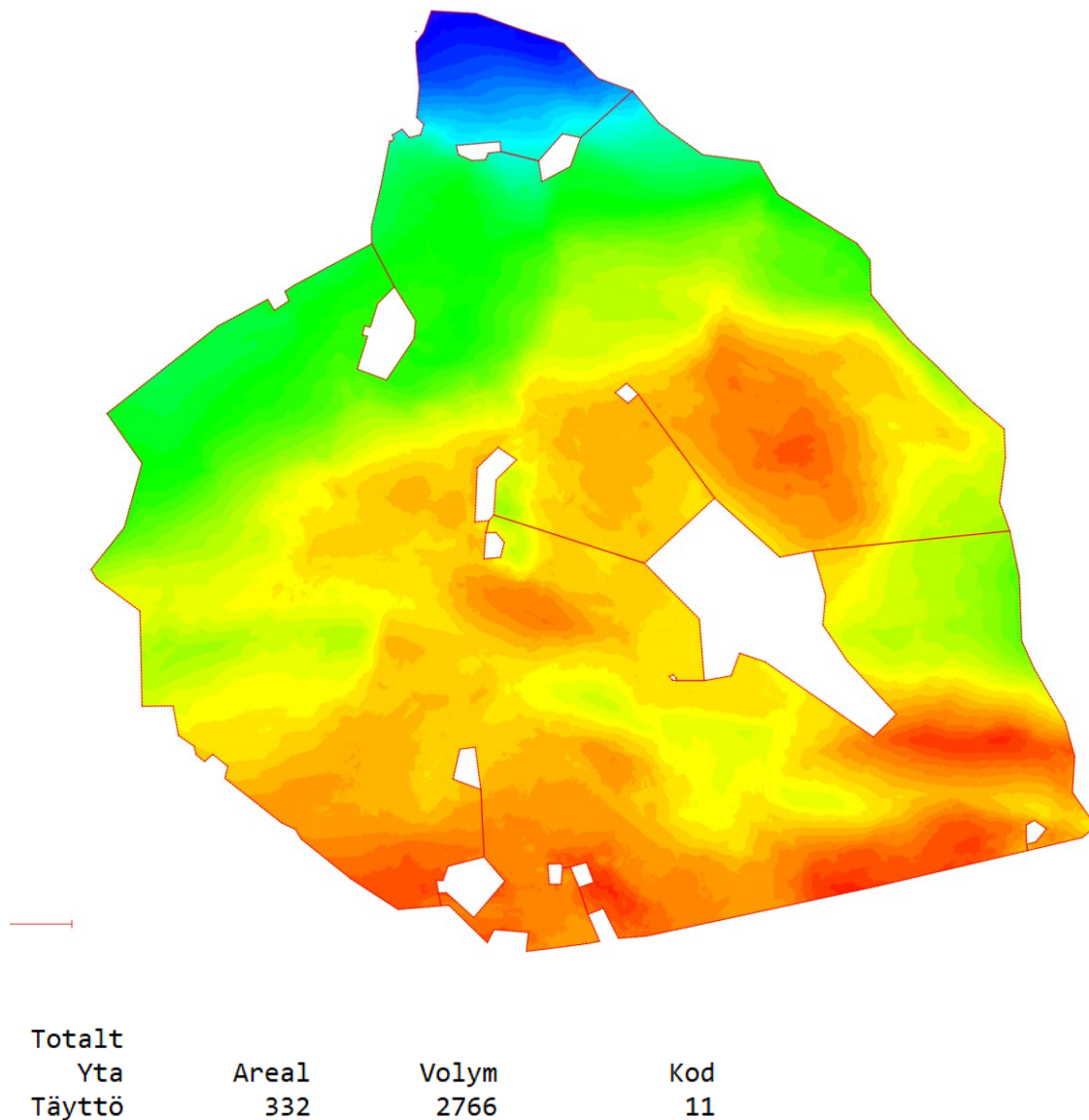
7.1 Resultat

I följande avsnitt presenteras resultaten från jämförelsen för de olika mätmetoderna. Resultaten presenteras i form av skärmlipp tagna från 3D-win. Skärmlipp presenterar ytorna som producerats med 3D-wins funktion, kombinera modeller. Ytorna är färglagda enligt höjdskala. Skärmlippet för den terrestra laserskanningen är endast modellen som producerats utifrån materialet, medan övriga skärmlipp är en jämförelsemodell mellan den terrestra laserskanningen och övriga metoder. Vidare presenteras skärmlipp från informationen som produceras i textformat från samma funktion. Textrutan ger oss information om volymen för modellen jämfört med den konstanta nivån på -20 meter.

För jämförelse av tidsåtgång och jämförelsepris produceras stapeldiagram i Excel som visualiserar skillnaderna. Slutligen kombineras samtliga jämförelser för att kunna dra en slutsats om vilken metod som var lämpligast för projektet i undersökningen.

7.2 Terrester laserskanning

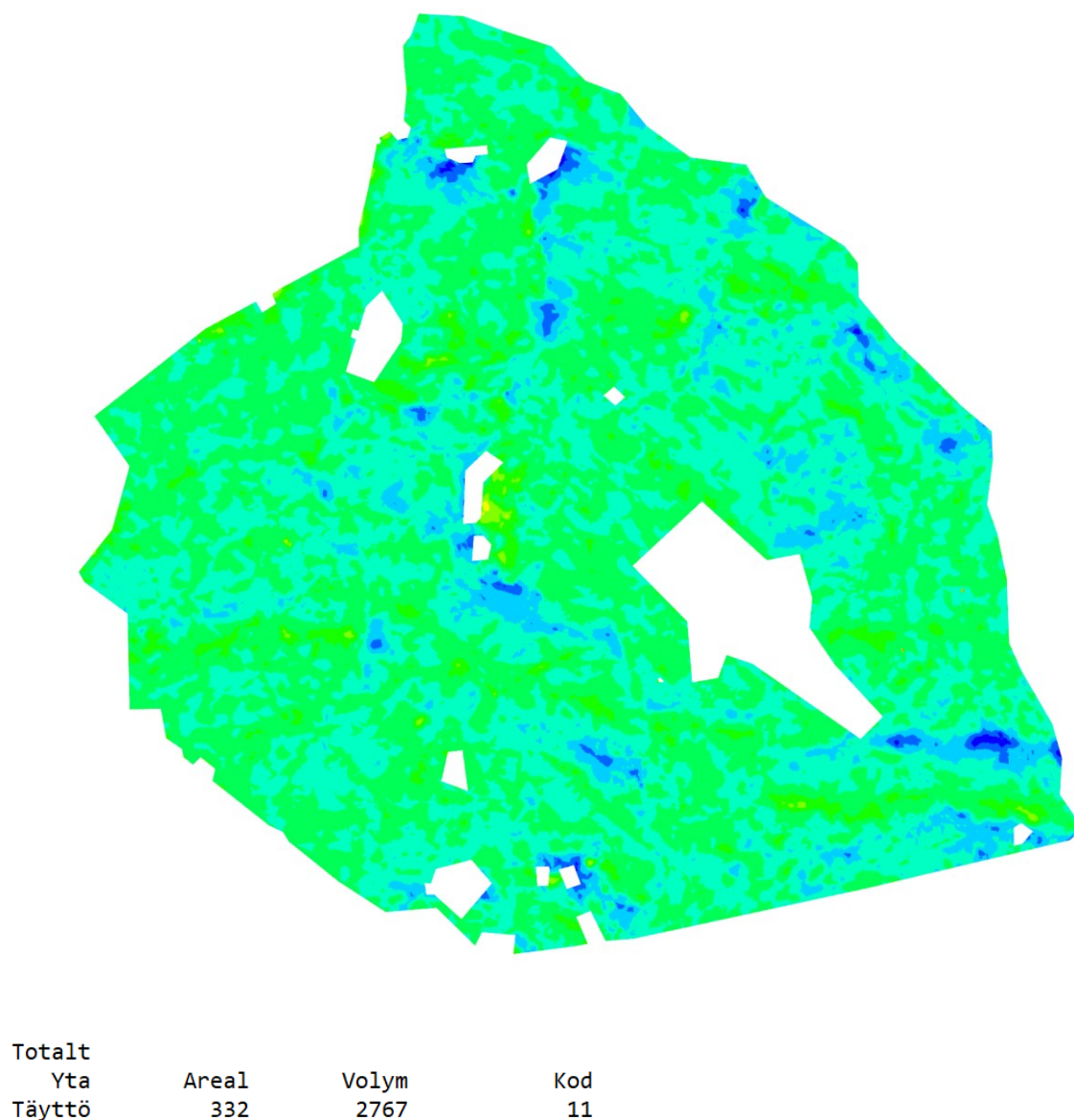
Det terresterskannade punktmolnet ger en totalvolym på 2766 och ligger på samma nivå som M3E Lowest, alltså en kubik under resterande fotopunktmoln. Utöver det finns inga större skillnader mellan terresterskanning och de flygburna fotogrammetriska mätningarna. Det terresterskannade punktmolnet är något lägre än den flygburna laserskanningen med en skillnad på tre kubikmeter.



Figur 9. Terresterskanning.

7.3 Fotogrammetri med UAS

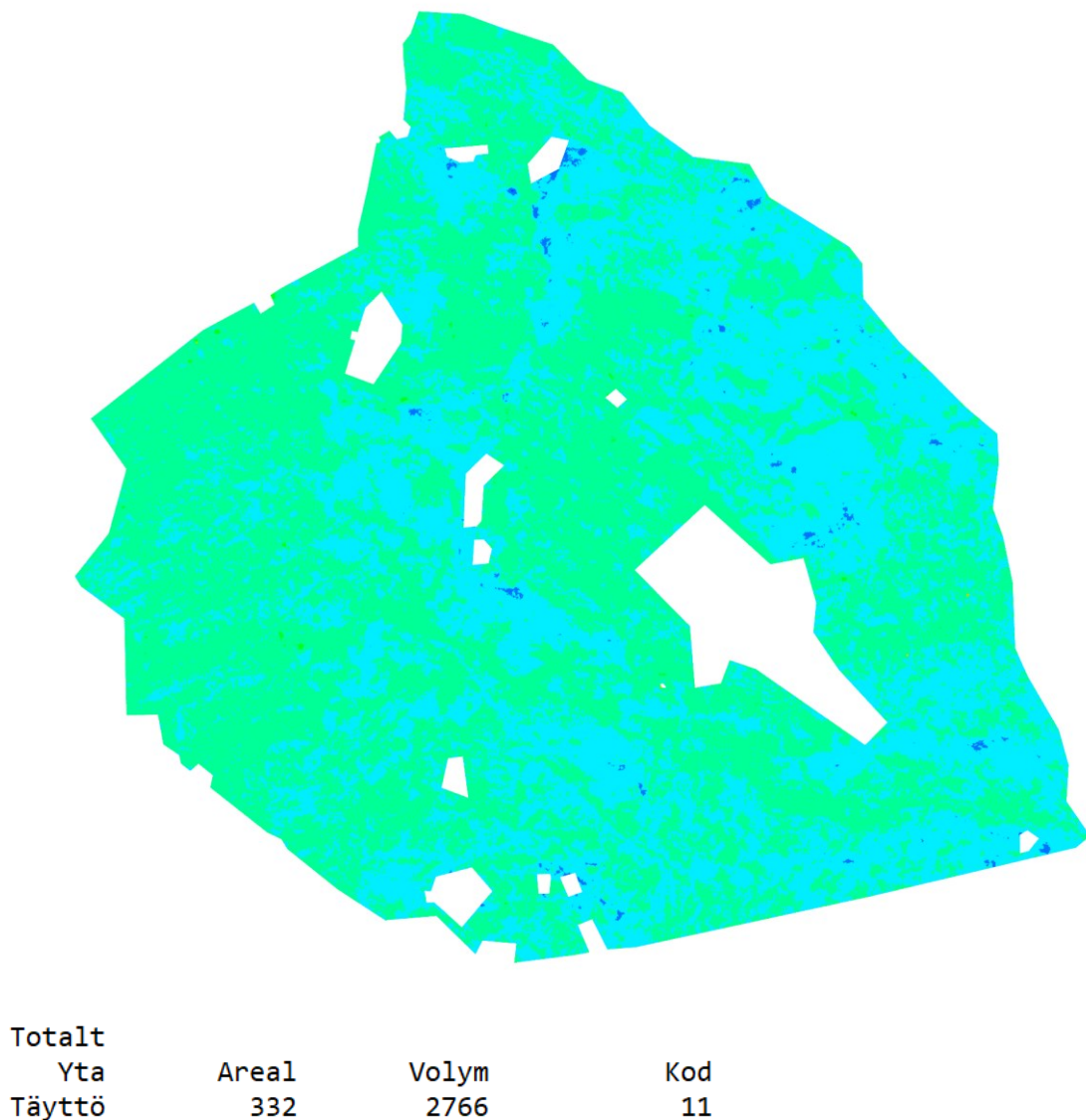
Från de fotogrammetriska punktmolnen kan vi konstatera att det inte finns några större skillnader i volymen beräknad i kubikmeter. Modellen från M3E Lowest utskiljer sig med en kubikmeter mindre i volym från resterande fotopunktmoln.



Figur 10. M3E Lowest.

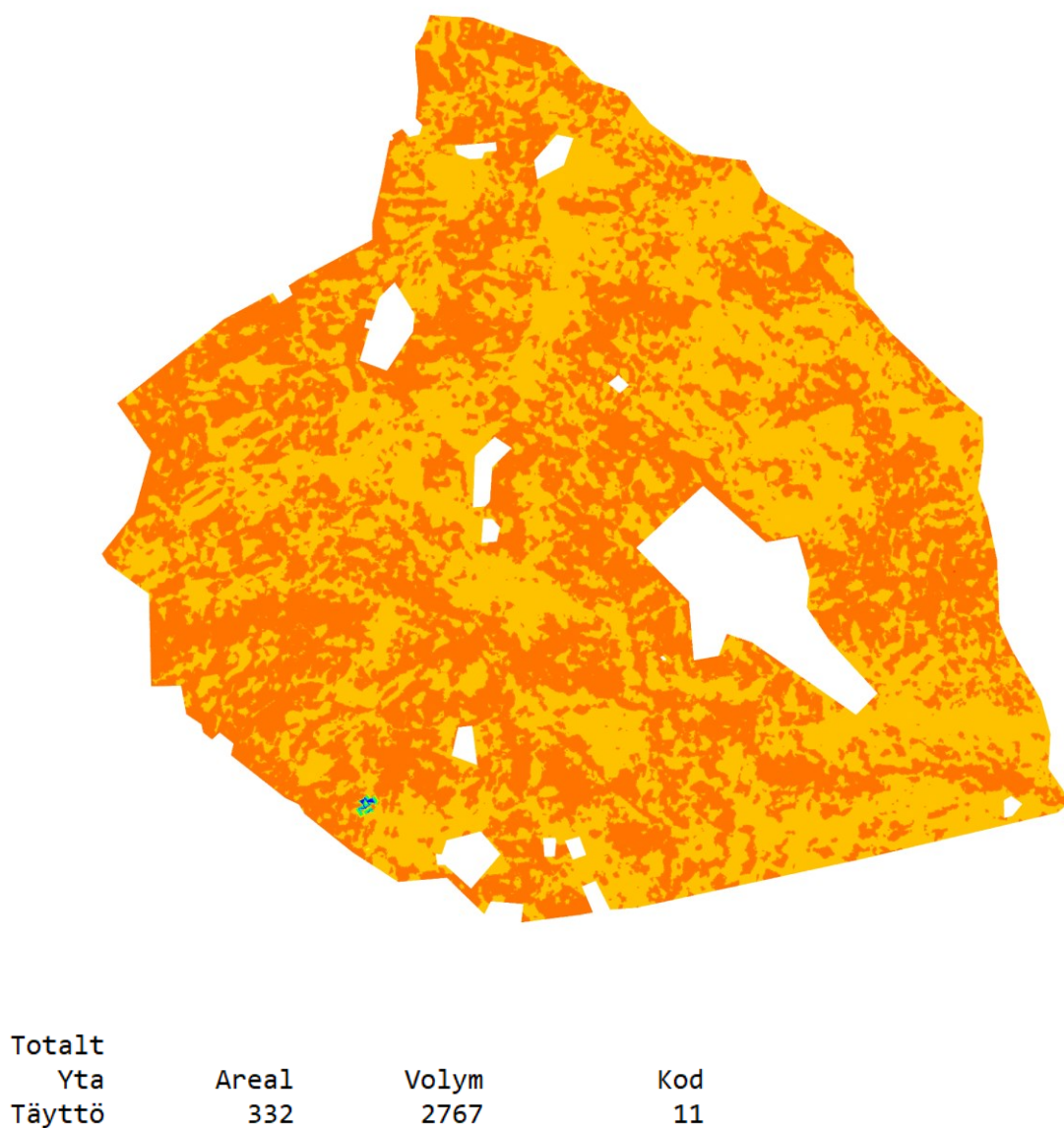
Utifrån figur 10 kan vi se skillnaderna mellan modellen från det terresterskannade molnet och modellen från M3E Lowest. De blåa områdena visar var modellen från terresterskanningen är lägre än M3E Lowest, medan de gröna områdena visar var terresterskanningen är högre än M3E Lowest. Utifrån bilden ser vi att de olika modellerna ligger på relativt jämn nivå, utöver en del blåa områden var terresterskanningen är något lägre.

Vi ser tydliga skillnader vid de urklippta områdena högst upp, och någon form av grop nere till höger på bilden.



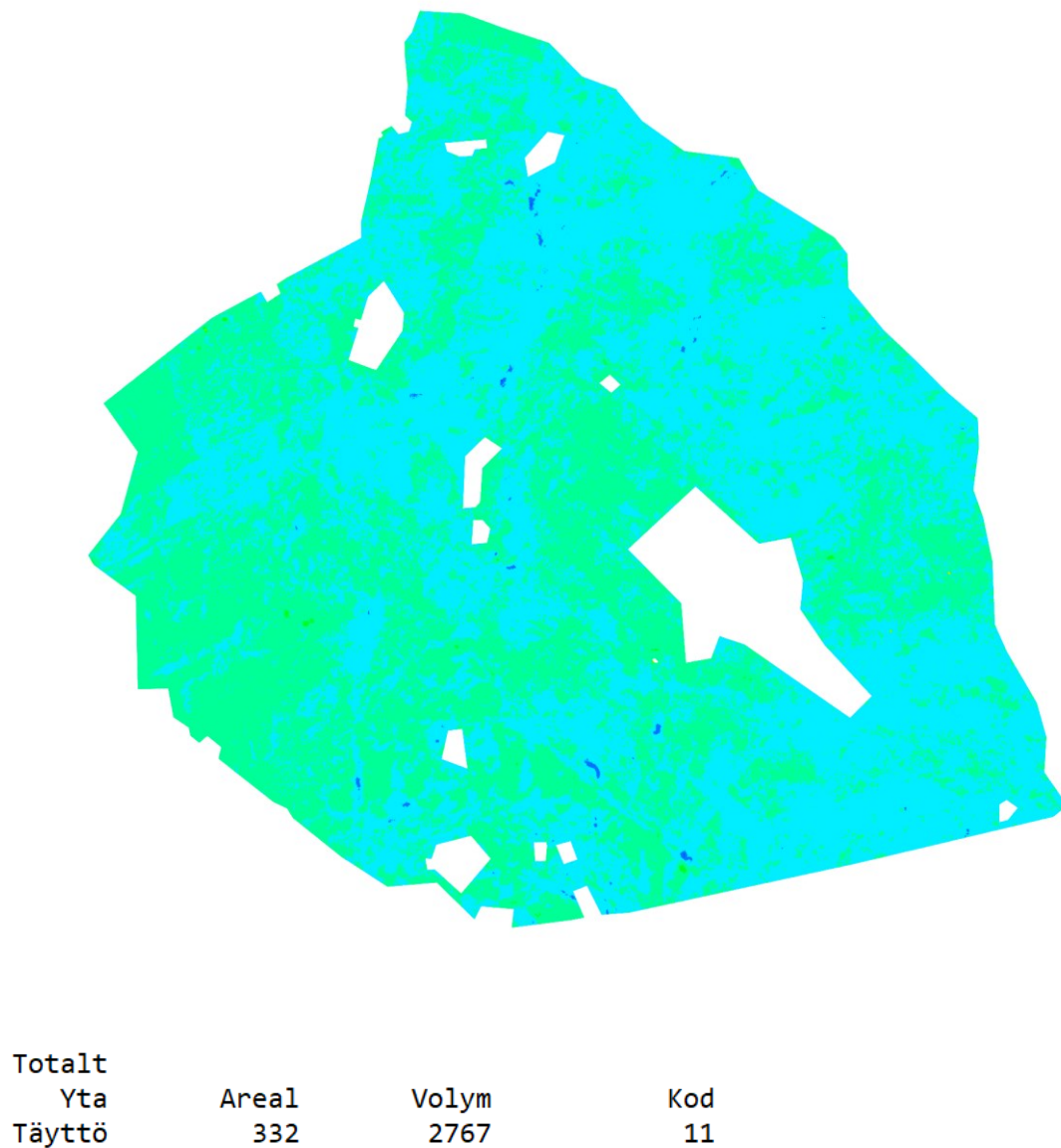
Figur 11. M3E Medium.

Modellen från M3E Medium är den som mest liknar den terresterskannade modellen. De har samma totalvolym på 2766 kubikmeter. Genom att se på figur 11 ser vi att det inte finns stora variationer mellan modellerna. Vi kan se en del små områden med en mörkare blå färg som visar områden var den terresterskannade modellen är något lägre än den fotogrammetriska modellen.



Figur 12. M300 Lowest.

M300 Lowest har en kubikmeter större volym än den terresterskannade modellen, vilket betyder att den ligger något högre. Genom att se på figur 12 ser vi att de högre områdena representeras av färgen orange. Vi kan också se att någon form av störning har förekommit i det nedre vänstra hörnet.

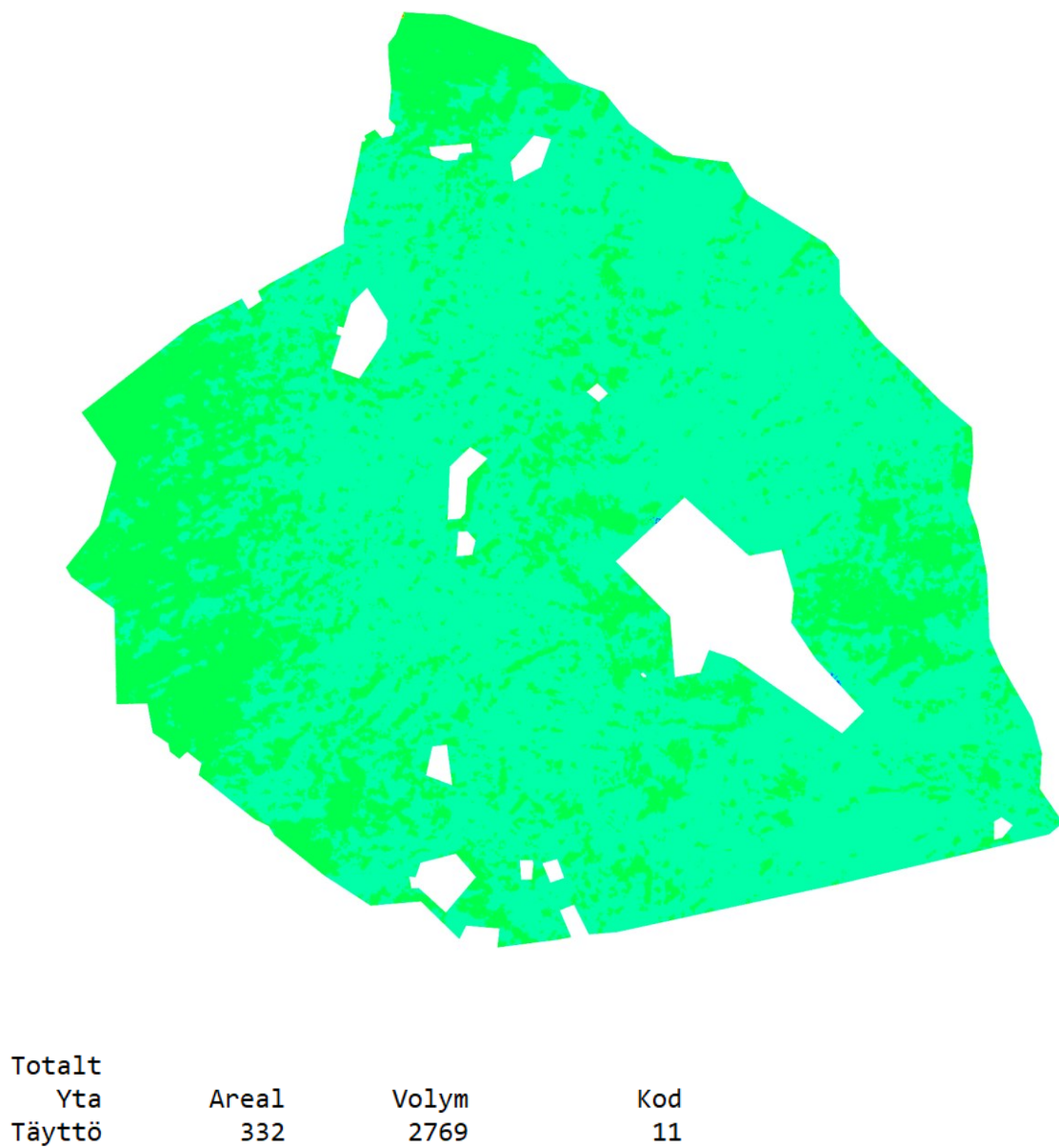


Figur 13. M300 Medium.

Modellen från M300 Medium hade en kubikmeter större volym än den terresterskannade modellen. De högre områdena presenteras med grön färg. Genom att studera figur 13 kan vi se att den vänstra sidan och mitten är de områden som haft störst skillnad i höjd mellan modellerna.

7.4 Laserskanning med UAS

Det laserskannade punktmolnet befinner sig lite ovanför de fotogrammetriska molnen. Jämförelsen visar att det laserskannade har en volym på två kubikmeter mer än medeltalet från de fotogrammetriska molnen.

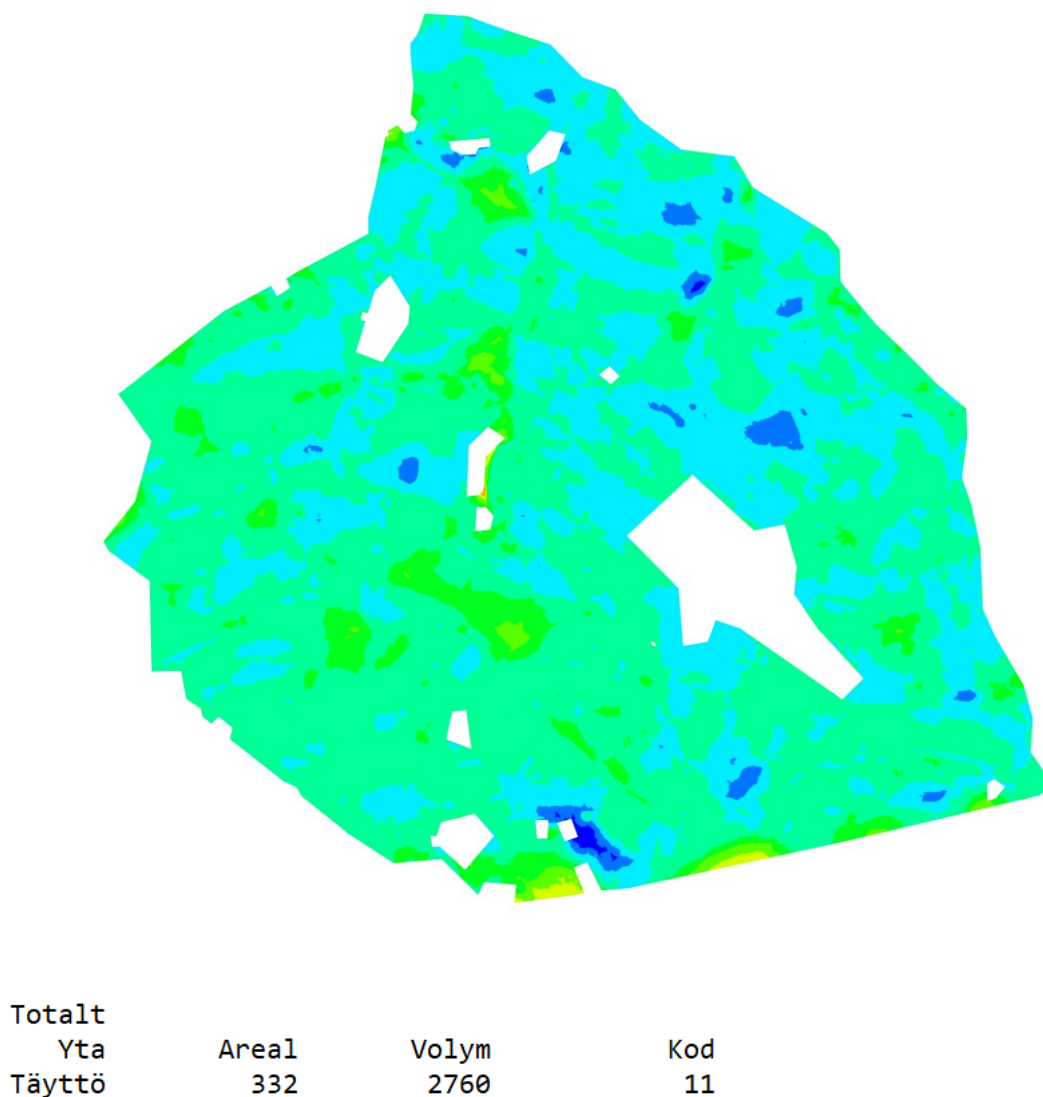


Figur 14. M300 Lidar.

Från figur 14 kan vi avläsa att den vänstra sidan och högst upp på modellen är områden som varit klart högre för den flygburna laserskanningen jämfört med den terrestra laserskanningen. Det finns inget område var den flygburna laserskanningen var lägre än den terrestra laserskanningen.

7.5 Totalstation

Resultatet från mätningen med totalstationen är det resultat som skiljer sig mest från de övriga mätmetoderna. Volymen skiljer sig med sju kubikmeter från medeltalet på de fotogrammetriska metoderna, och nio kubikmeter mindre än den flygburna laserskanningen. Brytlinjerna är betydligt rakare och detta syns även i skärmklippet från modellen. Det är även viktigt att ta i beaktande att resultatet från terrängmätning med totalstation kan variera kraftigt, beroende på personen som utför mätningen. Mätningar med drönare har mindre variationer i och med att flygningen sker mestadels automatiskt. Den största faktorn är att få med hela området vid planeringen av flygrutten, medan mätning med totalstation är mestadels manuellt arbete, där den som mäter själv tar besluten var, och hur punkterna skall mätas in.



Figur 15. Totalstation.

Från figur 15 kan vi avläsa skillnaderna mellan modellen från totalstationen och modellen från terrester laserskanning. Vi kan se att det är fler, och större områden som visar skillnader än de övriga metoderna. Nere på bilden kan vi se två områden i gult som visar var modellen från totalstation är högre än modellen från terrester laserskanning. Vi ser även större områden i en mörkare blå färg som visar var totalstations modellen är lägre.

För jämförelse av volymläkningen användes terresterskanningen som en slags referens. Från de övriga mätmetoderna analyseras volymen i form av volymskillnad i kubikmeter från terresterskanningens material. Från tabellen (Figur 16) kan vi avläsa skillnaderna för volymen i kubikmeter från terresterskanningens volym.

Tabell 1. Volymtabell ur Excel.

	Volym (2760)	Volymskillnad	Mätta punkter
Terresterskanning	6		865 050
M3E Medium	6		144 951
M3E Lowest	7	1	7 871
M300 Medium	7	1	426 538
M300 Lowest	7	1	23 743
M300 Lidar	9	2	161 907
Totalstation	0	-6	409

Ur tabell 1 kan vi avläsa att M3E Medium har samma volym som terresterskanningen, och de övriga fotogrammetriska produkterna ligger något högre, och ger därför en kubikmeter mer i volym.

Den flygburna laserskanningen ligger ytterligare något högre än de fotogrammetriska modellerna och har en volymskillnad på två kubikmeter från terresterskanningen.

Den konventionella mätningen med totalstation har den största volymskillnaden till terresterskanningen av de övriga mätmetoderna. Mätningen har en volymskillnad på minus sex kubikmeter, och ligger alltså något under terresterskanningen.

8 Tidsåtgång

För att studera lämpligheten mellan de olika mätmetoderna är det viktigt att beakta tidsåtgången för samtliga mätmetoder. Flygning med drönare är betydligt snabbare än mätning med totalstation, men har i sin tur en längre tidsåtgång vid bearbetning av materialet. Vid beräkningen av tidsåtgången beaktades inte tid för förflyttning av rådata från mätinstrument till dator, i och med att det inte påverkar kostnaden.

Samtliga inmätningar med drönare tog ca en timme per insamlat material. Tidsåtgången innehåller uppstart av takymeter som användes för att mäta in markstödspunkterna, signaleringen, planering av flygrutt samt själva flygningen.

För båda fotopunktmolnen med nivån Lowest krävdes ca 30 minuter manuellt datorarbete. Processeringen för vardera punktmolnen tog två timmar. Total tidsåtgång för arbetet blev 3,5 timme.

Fotopunktmolnen med nivån Medium krävde ca 45 minuters manuellt datorarbete. Processeringen av punktmolnen med nivån Medium har en större tidsåtgång. Processeringen för M3E Medium materialet tog fyra timmar, medan processeringen av materialet för M300 Medium tog sju timmar. Total tidsåtgång för M3E Medium blev 5 timmar och 45 minuter. Total tidsåtgång för M300 Medium blev 8 timmar och 45 minuter.

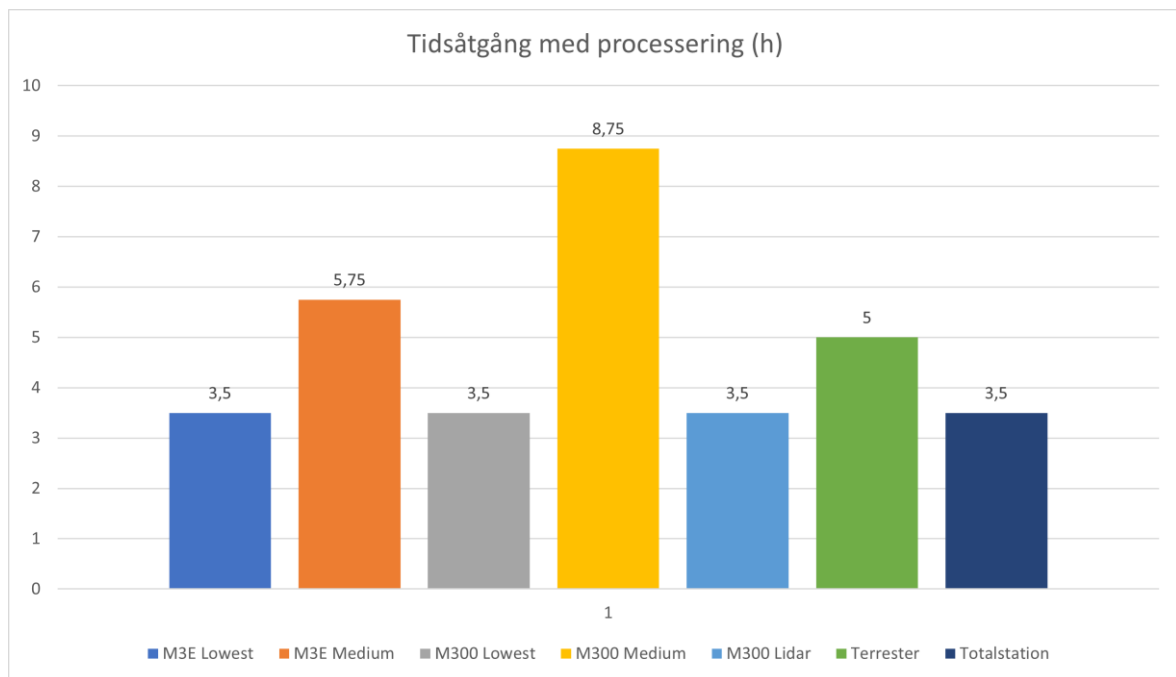
Punktmolnet från den flygburna laserskanningen krävde ca 30 minuter manuellt datorarbete. Processeringen av materialet tog två timmar. Total tidsåtgång för arbetet blev 3,5 timme.

Inmätningen med terrester laserskanner tog totalt ca 2,5 timme. Inräknat i tidsåtgången är uppstart av totalstationen som användes för inmätning av signaler, signaleringen och själva skanningen. Manuell bearbetning av punktmolnet tog ca 2 timmar, och processeringen tog 30 minuter. Total tidsåtgång för arbetet blev 5 timmar.

Terrängmätningen med totalstation tog ca två timmar. Inräknat i tidsåtgången är uppstart av totalstationen och själva inmätningen på området. Bearbetningen av de inmätta punkterna tog en 1,5 timme. Total tidsåtgång för arbetet blev 3,5 timme.

Beroende på avståndet till arbetsplatsen kan det färdiga materialet från samtliga mätmetoder, utom M300 Medium, levereras till kunden redan samma dag. I och med en

längre processeringstid för M300 Medium kan det färdiga materialet levereras till kunden tidigast följande dag.



Figur 16. Stapeldiagram för tidsåtgången.

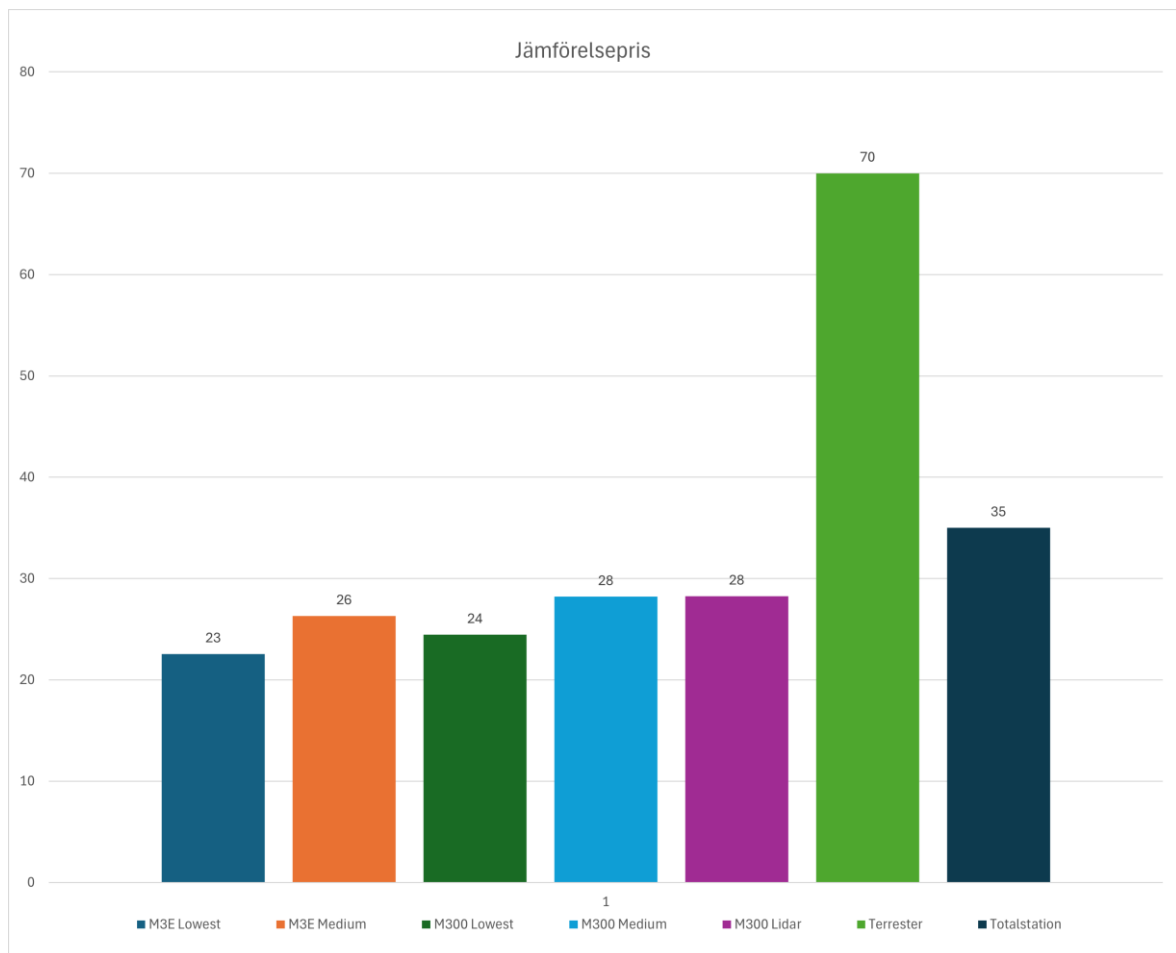
9 Kostnad

Kostnaden för de enskilda mätmetoderna presenteras som ett jämförelsepris. Jämförelsepriset används för att inte använda Mitta Oy's egna priser. Priserna är beräknade i förhållande till verkliga priser. I beräkningen av totalpriset används samma tidsmoment från mättningsförfaranden som används i en verklig fakturering. Olika tilläggspriser som allmänt förekommer i offerter, så som kilometerersättning eller matpeng tas inte i beaktande i beräkningen. Priset representerar kostnaden för utförande av mätningen samt bearbetning till färdig produkt. Processering av punktmoln är inget som faktureras och beaktas därför inte i kostnadsberäkningen.

De individuella prissättningarna för mätmetoderna baserar sig på alla de redskapen som används vid mättningsförfarandet, samt den kunskapsnivå och behörighet som krävs för utförande av arbetet.

De individuella prissättningarna för editering baserar sig på mängder av data som behandlas och osäkerhet som kan framstå vid editeringen av ett visst material. Som

exempel är mängden data som editeras med punktmoln betydligt större än mängden data som framkommer vid mätning med totalstation.



Figur 17. Stapeldiagram för jämförelsepriser.

Utifrån stapeldiagrammet i figur 17 kan vi avläsa att samtliga mätningar med drönare ligger förhållandevis nära varandra vad gäller kostnad. Modellerna med nivån lowest är de billigare varianterna, medan modellerna med nivån medium och modellen från flygburen laserskanning är något dyrare.

Den konventionella mätningen med totalstation är ca 30% dyrare än de flygburna metoderna. Anmärkningsvärt från jämförelsepriserna är terresterskanningen som är mer än dubbelt dyrare än de flygburna metoderna.

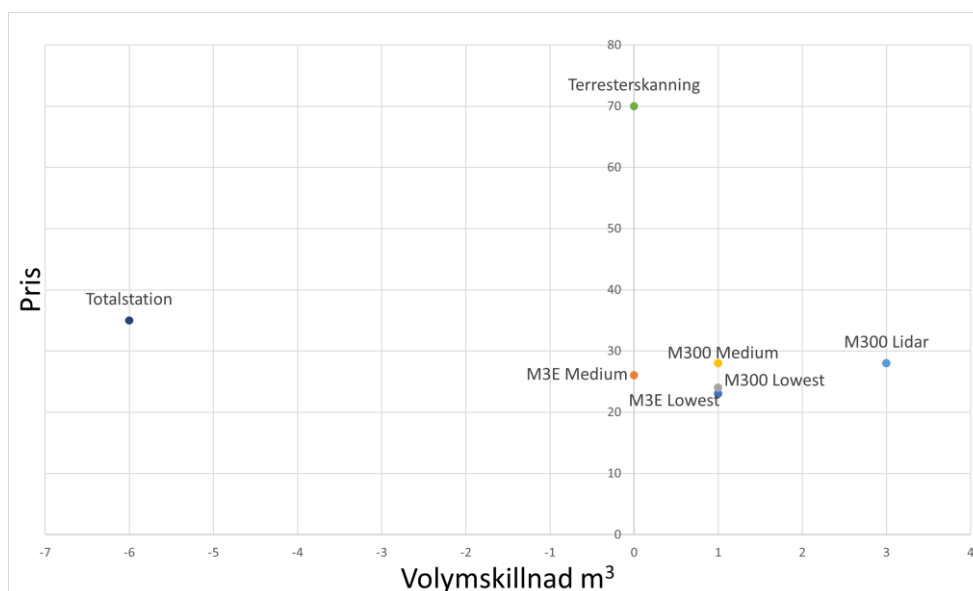
10 Lämplighet för projektet

Vi jämförande av lämpligheten för de olika mätmetoderna ser vi närmare på två faktorer, kostnaden och volymberäkningsresultatet. I och med att priset baseras till stor del på tidsåtgången, används inte tiden som en egen faktor.

Tabell 2. Rangordning av mätmetoderna i volymskillnad och pris.

	Volym (2760)	Volymskillnad			Pris
Terresterskanning	6			M3E Lowest	23
M3E Medium	6			M300 Lowest	24
M3E Lowest	7	1		M3E Medium	26
M300 Medium	7	1		M300 Medium	28
M300 Lowest	7	1		M300 Lidar	28
M300 Lidar	9	2		Totalstation	35
Totalstation	0	-6		Terresterskanning	70

Mätmetoderna rangordnas i två olika tabeller, volym och kostnad. Utifrån tabellerna produceras en graf som sammanställer priset och volymberäkningsresultatet för de enskilda mätmetoderna. Utifrån diagrammet kan det avläsas vilken metod som är mest lämplig för projektet. Terresterskanningen placeras som noll på skalan för volym, för att avläsa volymskillnaderna.



Figur 18. Lämplighetsgraf från Excel.

Utifrån grafen (Figur 18) kan vi avläsa att samtliga flygningar befinner sig väldigt nära varandra. Den flygburna laserskanningen avskiljer sig något i volymskillnad från övriga

flygningar. Totalstationen skiljer sig mest i volymskillnad från övriga metoder, medan terresterskanningen skiljer sig avsevärt i prisskillnad.

Grafen stöder de förväntningar om att drönarflygningen skulle vara den metod som har minst tidsåtgång, vilket inverkar på priset. Resultatet för drönarflygningarnas volymberäkning var över förväntan.

För projektet i fråga vore det mest lämpligt att använda drönaren DJI Mavic 3E. Materialet från drönaren, med klassen medium, var den enda mätmetoden som uppnådde samma resultat i volym som terresterskannern. Materialet från samma drönare, med klassen lowest, var det billigaste alternativet samtidigt som volymen endast skiljer med en kubikmeter.

11 Diskussion

Grunden för arbetet var att ta reda på och konkret kunna påvisa resultat som stöder de uppfattningar man tidigare haft om de olika mätmetoderna. Förväntningarna för arbetet var att drönaren är den snabbaste mätmetoden, terresterskanningen är den dyraste men även den mest verklighetstroga metoden, och totalstationen är en snabb och välbeprövad mätmetod.

Som resultat presenterades tidsåtgången, volymberäkningsresultatet och kostnaden för de olika mätmetoderna. För att sammanfatta en helhet för de tre olika jämförelserna gjordes en slutsats om vilken mätmetod som lämpades bäst för projektet som användes för undersökningen. Resultatet stämde bra överens med de förväntningar som fanns från tidigare.

Arbetets syfte, mål och tillvägagångssätt har ändrats flera gånger under undersökningens gång. Vartefter projektet framskred, konstaterades vid flera tillfällen att det finns väldigt många faktorer som påverkar resultatet. Därmed påverkas även perspektivet för hur man ser på vad som utreds, och vad det slutgiltiga målet egentligen är.

Nämnvärda faktorer som spelade en stor roll i undersökningen är till exempel att endast ett område användes. Planen för användning av två områden fanns i startgruperna, men

den tidiga snön som kom under hösten satte stopp för de planerade mätningarna. Ett helt nytt område som skulle bearbetas under vintern blev det område som användes i undersökningen. Området var en pågående arbetsplats vilket ledde till att materialen som framställdes fick modifieras, i och med att det på ett av molnen fanns avbildad en grävmaskin mitt i materialet. Utöver detta fanns små områden med snö vilket kan påverka resultatet.

Den konventionella mätningen har en stor osäkerhetsfaktor i och med att materialet som framställs är starkt beroende av vem som utför inmätningen, och hur området ser ut. Som exempel kan man jämföra med en fotogrammetrisk mätning med drönare. Drönarflygningen ger förhållandevis samma resultat oberoende vem som är ansvarig för flygningen, i och med att mätningen till största dels sker autonomt. Mätning med totalstation kommer att ge ett annorlunda resultat i princip varje gång, ifall personen som utför mätningen inte är den samma.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att undersökningen var lyckad. De förväntningar som fanns innan undersökningen kunde bekräftas med de resultat som presenterats. Utöver det är det av största vikt att förstå att resultatet från undersökningen endast kan tillämpas i detta projekt. Resultatet går inte att generaliseras för alla typer av mätningar. Då faktorer som objekt, storlek och struktur ändras för vad som skall mätas behöver resultaten från denna undersökning inte stämma överens med vilken metod som är lämpligast för andra projekt.

Under undersökningens gång väcktes nästan fler frågor än det vi ämnade att svara på. Det här leder till möjligheter för vidare forskning i ämnet.

Centrala frågor som uppstod var:

Kommer vi få samma resultat på ett annat område?

Har strukturen en inverkan på volymskillnaderna som uppkommer mellan mätmetoderna?

Totalstationen är klart snabbare än drönare på ett mycket litet område, var går gränsen då det blir lönsamt att använda drönaren?

Hur ser skillnaderna ut på ett betydligt större område?

12 Källförteckning

- Boberg, A. (2021). *Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik*. Hämtat från <https://www.lantmateriet.se/globalassets/om-lantmateriet/var-samverkan-med-andra/hmk/kurskompendium/kompendium20211014.pdf>
- Califf Surveying. (u.d.). Hämtat från Califf Surveying: <https://califfsurveying.com/product/leica-viva-ts15>
- Cronvall, T., Kråknäs, P., & Turkka, T. (2012). *Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa*. Hämtat från https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121138/lts_2012-41_978-952-255-193-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- DJI. (2024a). Hämtat från <https://enterprise.dji.com/zenmuse-p1>
- DJI. (2024b). Hämtat från <https://enterprise.dji.com/zenmuse-l1>
- DJI. (u.d.a). Hämtat från <https://enterprise.dji.com/mavic-3-enterprise>
- DJI. (u.d.b). Hämtat från <https://enterprise.dji.com/mavic-3-enterprise/specs>
- DJI. (u.d.c). Hämtat från <https://enterprise.dji.com/matrice-300/specs>
- DJI. (u.d.d). Hämtat från <https://enterprise.dji.com/matrice-300>
- EASA. (2024). Hämtat från <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/rules-standards>
- El Meouche, R., Hijazi, I., Poncet, P. A., & Abunemeh, M. (2016). *isprs-archives*. Hämtat från <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-2-W2/107/2016/isprs-archives-XLII-2-W2-107-2016.pdf>
- Geosystems, L. (2014). Hämtat från https://globalsurvey.co.nz/wp-content/uploads/2014/11/Leica_ScanStation_P20_BRO_en.pdf
- Harwin, S., & Lucieer, A. (2012). *Assessin the Accuracy of Georeferenced Point Clouds Produced via Multi-View Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery*. Hämtat från <https://www.mdpi.com/2072-4292/4/6/1573>
- Keawaram, B., & Dumrongchai, P. (2017). Comparison of Surveying with Terrestrial Laser Scanner and Total Station for Volume Determination of Overburden and Coal Excavations in Large Open-Pit mine. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*.
- Leica Geosystems. (u.d.). Hämtat från <https://www.studiotecnicocalvario.it/examples/pdf/P20.pdf>
- Lemmens, M. (2016). *Total Stations: the Surveyor's Workhorse*. Hämtat från <https://www.gim-international.com/content/article/total-stations-the-surveyor-s-workhorse>
- Liikennevirasto. (2017). *Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot Mittausohje*. Hämtat från https://ava.vaylapilvi.fi/ava/julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf

- Lundström, N. (den 26 Juni 2020). Hämtat från <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1465540/FULLTEXT01.pdf>
- Metricop. (2022). *Which Types of Prisms are Used in Land Surveying?*. Hämtat från <https://metricop.com/blogs/land-surveying/which-prisms-are-used-in-land-surveying>
- Mitta Oy. (2024). Hämtat från <https://mitta.fi/sv/om-foretaget/>
- Olsson, P., Rost, H., & Reschetiuk, Y. (2021). *Geodetisk och fotogrammetrisk mätning och beräkningsteknik*. Hämtat från <https://www.lantmateriet.se/globalassets/om-lantmateriet/var-samverkan-med-andra/hmk/kurskompendium/kompendium20211014.pdf>
- Paikkatietoikkuna. (u.d.).
- Perera, G., & Nalani, H. (2022). *UAV's For a Complete Topographic Survey*. Hämtat från <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLIII-B2-2022/441/2022/isprs-archives-XLIII-B2-2022-441-2022.pdf>
- (u.d.). Personlig kommunikation med anställd vid Mitta den 17 Januari 2024.
- Reschetiuk, Y. (2017). *Terrester Laserskanning*. Hämtat från <https://bookboon.com/premium/books/terrester-laserskanning>
- Totalstaions.co. (u.d.). *Totalstaions.co*. Hämtat från <https://totalstations.co/leica-viva-ts15-imaging-total-station/>
- Traficom. (2024). Hämtat från <https://www.droneinfo.fi/sv/registreringen-och-teoriprovet>
- Vision Aerial. (u.d.). Hämtat från <https://visionaerial.com/how-to-use-ground-control-points-to-improve-drone-survey-accuracy/>
- Voosestore. (u.d.). Hämtat från <https://www.voosestore.com/fi/dji-matrice-300-rtk>
- Wagner, A. (2015). *A New Approach for Geo-Monitoring Using Modern Total Stations and RGB+D Images*. Hämtat från https://www.researchgate.net/profile/Andreas-Wagner-3/publication/288835842_A_new_approach_for_geo-monitoring_using_modern_total_stations_and_RGB_D_images/links/5694d59808ae425c6897621c/A-new-approach-for-geo-monitoring-using-modern-total-stations-and-RGB