



Insamling av geografisk information med UAV över området Stomsjö i Värnamo kommun

En effektiv arbetsmetod för kartering i 2D och 3D samt dokumentation av arbetsgång och kvalitetssäkring av geografisk information

Acquisition of geographical information over the Stomsjö area in Värnamo with aerial photography from UAV

An operative method for mapping in 2D and 3D and documentation of the process and the geographical information quality

Mikael Bauner

Fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap

Högskoleingenjörsprogrammet i lantmäteriteknik och geografisk IT

Examensarbete 22,5 hp

Handledare: Jan Haas

Examinator: Jan-Olov Andersson

Datum: 2017-05-29

Löpnummer: 2017:1

Förord

Detta examensarbete genomfördes under vårterminen 2017 och omfattade 22,5 högskolepoäng inom Högskoleingenjörsprogrammet i lantmäteriteknik och geografisk IT vid Karlstads universitet. Jag vill tacka Värnamo kommun som hjälpt till med insamling av data och kunskap inom området.

Jag vill tacka handledare Jan Haas och lärarna inom institutionen för miljö- och livsvetenskaper -och ämnet Geomatik vid Karlstads universitet som bidragit med kunskap, handledning och synpunkter på min uppsats.

Karlstad, maj 2017

Mikael Bauner

Abstract

In this project the area Stomsjö in Värnamo municipality was mapped using a Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Since 1972 Stomsjö landfill is a part of the municipality. The municipality's technical department needed a calculation and modelling of mass in a landfill, comprising an area of 15-hectares. The purpose of the project is to develop an effective mapping method in 2D and 3D with UAV data, and to document the process to ensure geographical information quality. The flight performed in the study constitutes a basis for further upcoming flights within the municipality.

The acquisition of geographical data was made at four different altitudes 50, 75, 100 and 120 meters using a DJI Phantom 4 quadcopter. Four 3D models, orthophotos and Digital Elevation Models (DEMs) were created with the software Agisoft PhotoScan. A total of 6 Ground Control Points (GCP) and a control surface on asphalt (5x5 points) were used for evaluation of the models accuracy. A comparison between measured GPS points and raster values from each flight were made on a control surface. The resolution for each generated orthophoto was less than 3 cm/pix. The resolution of the DEMs was less than 6 cm/pix.

Lantmäteriet (The Swedish Mapping, Cadastral and Land Registration Authority) conducted aerial photograph acquisition at 2 500 m altitude over the area in 2015. A comparison between altitude data from Lantmäteriet and altitude data from UAV was made through random points generation. The acquisition at 100 meters altitude showed the lowest deviation forms the data derived by Lantmäteriet. Volume and area measurements were performed at the southern part of the landfill. The selected area is about 34 300 m² in size and the volume amounts to 290 000 m³.

Keywords:

UAV, mapping accuracy, volume measurement, Stomsjö, landfill

Sammanfattning

I detta examensarbetsprojekt genomfördes en flygkartering över deponiområdet Stomsjö i Värnamo kommun, mha. en drönare, eller den i detta sammanhang mer använda benämningen UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Värnamo kommuns tekniska avdelning var i behov av beräkning av massor vid deponin, ett område på ca 15 hektar samt modellering av densamma. Den låga kostnaden för inköp av UAV och programvara motiverade kommunen att driva egen verksamhet jämfört med att köpa tjänsterna från konsulter. Projektets syfte är att utveckla en effektiv arbetsmetod för kartering i 2D och 3D med UAV samt att dokumentera arbetsgång och hur den geografiska informationen ska kvalitetssäkras och testas. Flygningen är den första och denna rapport ska utgöra ett underlag för kommande flygningar inom kommunen.

Insamling av geografisk information utfördes med quadrokoptern DJI Phantom 4 från fyra olika flyghöjder 50, 75, 100 och 120 meter. Fyra 3D-modeller, ortofoton och digitala höjddata (DEM) har tagits fram i programvaran Agisoft. Sammanlagt mättes 6 markstöd in över området samt en kontrollruta (5x5 punkter) på en hårdgjord asfaltsyta. Utifrån kontrollrutan gjordes en jämförelse mellan inmätta GPS-punkters höjdvärden mot rastervärden från respektive höjddata. Vid samtliga flygningar erhålls en upplösning (GSD) på mindre än 3 cm/pix i ortofoto. Upplösningen för samtliga höjddata var mindre än 6 cm/pix.

Lantmäteriet har under år 2015 genomfört flygfotografering på 2 500 m höjd över området. En jämförelse mellan Lantmäteriets höjddata mot höjddata genererad från UAV-flygfotograferingen gjordes genom en slumpmässig spridning av punkter på hårdgjorda ytor. Resultaten visar att 100 meters flygningen bäst överensstämmer mot Lantmäteriets data. Volym- och areaberäkning gjordes för den södra deponin. Det avgränsade områdets areal är ca 34 300 m² och volymen 290 000 m³.

Nyckelord:

UAV, mapping accuracy, volume measurement, Stomsjö, landfill

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Frågeställningar.....	1
2 Teori.....	2
2.1 Flygfotografering.....	2
2.2 Markstöd.....	3
2.3 Blocktriangulering.....	4
2.4 Fotogrammetri.....	5
2.5 Vädrets påverkan av bilddata kvaliteten.....	5
2.6 Unmanned Aircraft Systems (UAS).....	5
2.6.1 Positioneringssystem.....	6
2.6.2 Kontrollenhet.....	6
2.7 Höjdmodeller.....	7
2.7.1 Digital Elevation Model (DEM).....	7
2.7.2 Digital Surface Model (DSM).....	7
2.7.3 Digital Terrain Model (DTM).....	7
2.7.4 Triangulated Irregular Network (TIN).....	7
3 Metod.....	8
3.1 Planering.....	8
3.2 Flygning.....	9
3.3 Programvaror.....	11
3.3.1 Agisoft PhotoScan.....	12
3.3.2 ArcGIS 10.5.....	13
4 Resultat.....	14
4.1 Ortofoto.....	14
4.2 Höjdmodell.....	15
4.3 Mätosäkerhet.....	17
4.3.1 Markstöd.....	17
4.3.2 Kontrollruta.....	19
4.3.3 Lantmäteriets höjddata mot de olika flygningarnas höjddata.....	19
4.4 Volymberäkning.....	20
4.4.1 Area- och volymdifferens.....	21

5 Diskussion	22
6 Slutsats	23
Referenser	24
Bilaga 1 Inställningar arbetsprocess	25
Bilaga 2 Kartor	26
Bilaga 3 Kontrollpunkters höjder mot höjdvärden från flygningar	33

Ordlista

GIS - Geographical Information Systems
GPS - Global Positioning System
GNSS - Global Navigation Satellite System
INS - Inertial Navigation System
N-RTK - Network- Real Time Kinematic
UAS - Unmanned Aerial Systems
UAV - Unmanned Aerial Vehicle
RTH - Return To Home
GSD - Ground Sample Distance
DEM - Digital Elevation Model
DSM - Digital Surface Model
DTM - Digital Terrain Model
TIN - Triangulated Irregular Network
CTR - ConTRol zones
RMS - Root Mean Square
HMK - Handbok i Mät - och Kartfrågor

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Utvecklingen av nya insamlingsmetoder med hjälpmedel som drönare har möjliggjort kostnads-effektiva mätningar över platser som är svårtillgängliga för bemannade farkoster. Värnamo kommun har inskaffat en drönare eftersom tekniska avdelningen var i behov av volymeräkning av massor, för en deponi i området Stomsjö, samt modellering av densamma. Den i sammanhanget låga kostnaden för inköp av drönare och programvara samt tillstånd som krävs motiverade kommunen att driva egen verksamhet gentemot kostnaden att köpa tjänsterna utifrån (externt). Kommunen har även erhållit tillstånd och försäkring för flygning, samt ansökt om tillstånd för kameraövervakning med drönare hos länsstyrelsen. Kommunens geodataavdelning har till uppgift att tillgängliggöra systematiserad, standardiserad och kvalitetssäkrad geodata för kommunens verksamheter, nämnder och medborgare.

1.2 Syfte

Examensarbetsprojektets syfte är att utveckla en effektiv arbetsmetod för kartering i 2D och 3D från flygfoton tagna av UAV samt att dokumentera arbetsgång och hur den geografiska informationen ska kvalitetssäkras och testas. Flygningen över deponin är den första provflygningen och examensarbetets rapport ska utgöra ett underlag för kommande flygningar inom kommunen.

1.3 Frågeställningar

De kvalitetsaspekter som kommer att undersökas är, mätosäkerheten i ortofoto och DTM vid olika flyghöjder.

- Vad blir resultatet av flygstråken och de bilder som överlappar varandra vid de olika flygningarna?
- Vilken tid krävs för flygning, bildbearbetning och kartering med drönare, t.ex. framtagande av ortofoto, DTM?
- Hur påverkas 3D-modellen av olika väder/ljusförhållanden, t.ex. solvinkel, skuggor etc.?
- Vad blir arean och volymen för den södra deponin vid en kartering från olika flyghöjder?
- Var ska markstöd placeras för att uppnå bästa möjliga resultat samt minskad mätosäkerhet i plan- och höjddled?

2 Teori

Detta avsnitt redovisar bakgrund vid flygfotografering av Lantmäteriet. Litteraturstudien innehåller teorier om markstöd, blocktriangulering, fotogrammetri, UAV och höjdmodeller.

2.1 Flygfotografering

Flygfotografering för kartframställning utförs i huvudsak av Lantmäteriet. Lantmäteriets flygfotoverksamhet finansieras till en del med statsanslag men utförs i övrigt som uppdragsverksamhet enligt Boberg (1993). Analoga flygbilder finns lagrade i Lantmäteriets bildarkiv från slutet av 1920-talet fram till 2006. De historiska bilderna ger en möjlighet att se förändringar i landskapet. Den optimala perioden för flygfotografering är under våren mellan snösmältning och lövsprickning, då det är god insyn mot marken.

Digitala flygbilder finns rikstäckande med 0,5 m upplösning och för ca 44 % av landet finns även bilder med 0,25 m upplösning. Bilderna finns i formaten IR och RGB (Lantmäteriet, u.d.). Mellan åren 2006 och 2013 flygfotograferades omkring 130 tätorter med 0,25 m upplösning, vilket utgör ”Tätortsprogrammet”. Programmet innebär att orter som har en befolkning på mer än 10 000 invånare ska flygfotograferas. Flygfotograferingen sker på 2500 m höjd, vilket innebär 0,25 m upplösning i ortofoto. Standardosäkerheten är 0,25–0,30 meter i plan och 0,6–0,7 m i höjd, ortofotot levereras i det plana referenssystemet SWEREF 99 TM och i höjdsystemet RH 2000. Ajourhållning av flygfoton sker med 3-4 års intervall (Metria, u.d.). Det finns enligt Lantmäteriet (2014) tre standardnivåer för flygbilder i lod som behandlar kvalitet hos bilddata.

HMK Standardnivå 1 används främst vid dokumentation av byggande, infrastruktur, miljö, naturvård, risker, skogsbruk mm. Kraven för lägesosäkerhet är mellan meter- och decimeternivå. Den geometriska upplösningen är 0,5 meter eller bättre.

HMK Standardnivå 2 används för mätning och kartläggning av tätorter vid detaljplanering och dokumentation. Kraven för lägesosäkerhet är decimeternivå eller bättre. Den geometriska upplösningen är mellan 0,08–0,12 meter.

HMK Standardnivå 3 används vid projektinriktad mätning och kartläggning för projektering, byggande och förvaltning av bebyggelse, vägar och övrig infrastruktur samt för bygg och relationshandlingar. Kraven på lägesosäkerhet är på halvdecimeternivå eller bättre. Standardosäkerhet i plan och höjd räknas ut enligt följande formler (Formel 1 och 2).

$$Sp = \sqrt{S_N^2 + S_E^2} \quad (1) \quad S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - X)^2} \quad (2)$$

En sammanställning av HMK rekommendationer för standardnivåer visas i Tabell 1. Kvalitetsaspekter för bilddatainsamling med UAV är under utveckling (Lantmäteriet, 2014). Därmed används HMK standardnivåer 1–3 som mall i denna rapport.

Tabell 1. HMK standardnivåer för flygbilder i lod (Lantmäteriet, 2014).

Parametrar	HMK standardnivå 1	HMK standardnivå 2	HMK standardnivå 3
Geometrisk upplösning GSD (m) i bildens samtliga delar	0,50 – 0,20	0,12 – 0,08	≤ 0,05
Standardosäkerhet i plan (m) för tydligt identifierbart objekt i stereomodell	0,50 – 0,20	0,12 – 0,06	≤ 0,05
Standardosäkerhet i höjd (m) för tydligt identifierbart objekt i stereomodell	0,75 – 0,30	0,18 – 0,09	≤ 0,08
Övertäckning i/mellan stråk (%)	60/30		**
Bildkvalitet	≥2		≥1***
Solvinkel	≥30		
Fotograferingsperiod	Snöfri	Snö- och lövfri	*****

Medelavvikelsen är ett statistiskt mått på skillnaden mellan de inmätta punkterna (x) mot de kända koordinaterna ($x_{känd}$) genom antalet punkter, se formel 3.

$$Medelavvikelse = \sum \frac{(x - x_{känd})}{n} \quad (3)$$

Kvadratisk medelvärde visar mätningarnas spridning kring det kända värdet (Formel 4 och 5). Det kvadratiske medelvärdet och standardosäkerheten går mot liknande värde ju lägre medelavvikelsen är.

$$RMS_{Plan} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n DN_i^2 + \sum_{i=1}^n DE_i^2}{n}} \quad (4) \quad RMS_{Höjd} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n DH_i^2}{n}} \quad (5)$$

Flygfotografering utförs efter raka flygstråk med flertalet parallella stråk över området. Valet av stråkriktning har inverkan på bilddata kvaliteten.

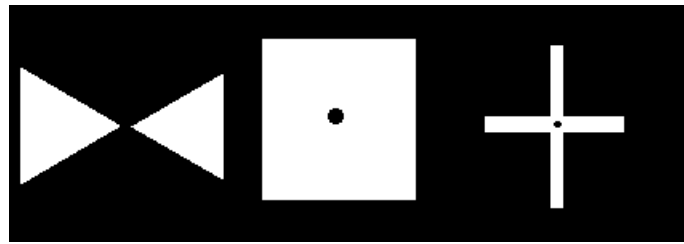
- Vid öst-västlig stråkriktning blir färgåtergivningen jämnare.
- Vid nord-sydlig stråkriktning erhålls fördelen med mindre varierande väderförhållanden samt påverkan av hotspot-effekter minimeras (Lantmäteriet, 2014). För närmare beskrivning av hotspot-effekter, se avsnitt 2.5.

I teorin räcker det med att halva bilden överlappar i flygstråket, men i praktiken används 60 % eller mera (Boberg, 1993).

2.2 Markstöd

Stödpunkter används för att knyta ihop bilder i en bildserie och för att (fotogrammetriskt) referera inmätta detaljers lägen till ett koordinatsystem. Det är lämpligt att använda ca 6 stödpunkter per

stereomodell för att en inpassning av modellen i markens koordinatsystem ska ske med kontroll. Antalet stödpunkter inom ett område är beroende av flygbildernas skala, dvs flyghöjden (Ottoson et al., 1993). Figur 1 visar exempel på tre typer av markstöd.

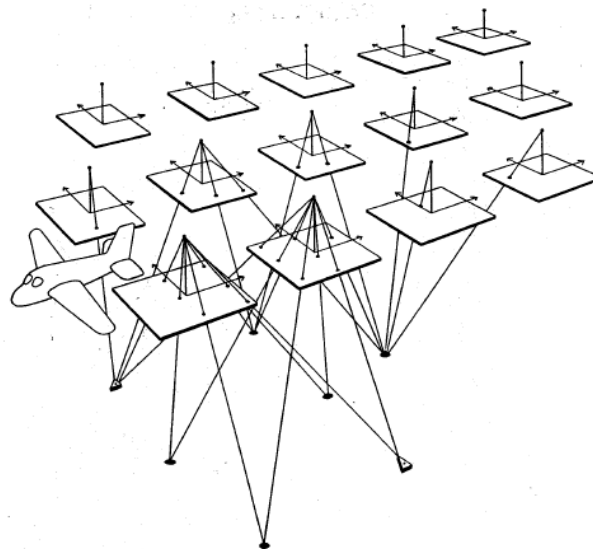


Figur 1. Markstöd för HMK Standardnivå 1,2 och 3 Lantmäteriet (2014).

2.3 Blocktriangulering

Vid orientering av flygbilder som är kopplade till ett koordinatsystem används en fotogrammetrisk metod som kallas blocktriangulering (Figur 2). Blocktriangulering är ett samlingsnamn för beräknings- och utjämningsmetoder. Det är en teknik som innebär att bildernas yttre orientering beräknas utifrån ett antal kända stödpunkter. Blocktriangulering kan betraktas som en kombinerad relativ och absolut orientering av flera modeller samtidigt. I praktiken har relativ och absolut orientering av flera modeller ersatts av blocktriangulering.

Utvecklingen inom området har resulterat i att det idag finns flera program anpassade till detta ändamål. En storskalig fotogrammetrisk kartläggning börjar ofta med en blocktriangulering som täcker kartläggningsområdet. På så sätt upptäcks fel i det geodetiska stödpunktsunderlaget. Därmed kan efterföljande stereokartering ske utan störande felsökning (Ekelund, 1993).



Figur 2. Blocktriangulering, trianglar vid markplan symboliserar kända stödpunkter, övriga är konnektionspunkter (Torlegård, 1999).

2.4 Fotogrammetri

Fotogrammetri betyder ”mätning i en fotografisk bild” och innebär bildmätning. Bildmätning kan utföras stereoskopiskt i en enkelbild, i bildpar eller i block med flera bilder. De avbildade objektens storlek, form och läge kan bestämmas ur mätningen, de tredimensionella lägeskoordinaterna beräknas utifrån bildernas olika riktningar, vilket tillsammans utgör en numerisk modell av objektet. Digital bildmatchning är en process för mönsterigenkänning, där block av flera bilder utnyttjas (Lantmäteriet et al, 2013).

Enligt (Rosnell et al., 2011) kan solens vinkel ha en påverkan på höjdmodeller som framställs genom fotogrammetri. Studien visade att skuggor har en effekt vid bildmatchningen. Punktmolnet blir tätare vid ytterkanter av skuggiga partier och i skuggpartier blir punktmolnet glesare.

2.5 Vädrets påverkan av bilddata kvaliteten

Det finns två typer av solljus som belyser jordytan, direkt ljus och diffust ljus. Direkt ljus innebär solljus utan påverkan och diffust ljus innebär solljus som reflekteras och sprids av partiklar och gaser i atmosfären innan det når marken. Ett solbelyst landskap ger högre detaljkontraster vilket förbättrar möjligheten att identifiera och kartera landskapsdetaljer i flygbilder. Skuggor ger värdefull information men i tät skogsmark och bebyggelse försämras möjligheten att se marken, och flygbilderna blir då lätt underexponerade. Flygfotografering bör undvikas vid skugglängder över 1,5 gånger föremålets längd. Ljusfördelningen varierar då kraftigt i bilden, terräng som ligger i riktning mot solen ligger i motljusposition. Motljusposition innebär att uppstickande föremål t.ex. träd och byggnader, vänder sin skuggsida mot flygkameran. Föremål i medljusposition avbildas ljusare då dess solbelysta sida dominerar. Centralt i medljuspositionen är bildens skuggfria fläck som kallas ”hot spot”. Där flygfarkosten själv kastar sin skugga över landskapet (Boberg, 1993).

Kamerans ISO-tal anger bildsensorns känslighet för ljus. Ju högre värdet är desto mer förstärks de elektriska signaler som kommer från bildsensorn, vilket innebär en högre brusnivå i bilden (Åkerblom, 2012). Rekommendationer vid en flygfotografering under svaga ljusförhållanden är att kompensera en längre slutartid med att öka ISO-talet. Problem som uppstår då är att bilder blir ”gryniga” vilket medför att programvaran letar efter gemensamma bildpunkter, vilket medför att felaktiga bildmatchningar kan uppstå.

2.6 Unmanned Aircraft Systems (UAS)

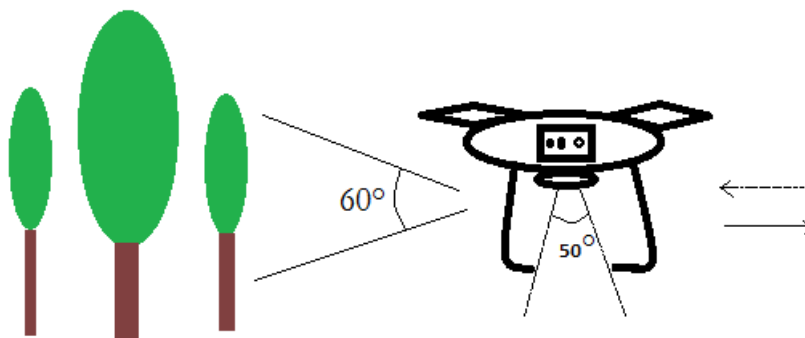
UAS är ett samlingsnamn för obemannade flygfarkostsystem som består av UAV, tillhörande teknik som kommunikationsutrustning, kamera, GNSS, INS och handkontroll. UAV är en obemannad flygfarkost (ibland även benämnd drönare). Det finns tre huvudtyper av UAV; kontrollstyrd, semiautonom eller autonom. Autonom betyder ”självstyrd” och innebär att UAV helt eller delvis (semi) inte kontrolleras av operatörer. Fördelen med fotogrammetriska mätningar med UAV är att det är kostnadseffektivt och möjliggör flygningar vid riskfyllda områden (Eisenbeiss, 2009), i områden med begränsad framkomlighet för bemannade flygfarkoster etc. I projektet används UAV DJI Phantom 4, teori och specifikationer om den följer nedan.

2.6.1 Positioneringssystem

DJI Phantom 4 använder två typer av positioneringssystem.

- GPS/GLONASS.
- DJI Vision Positioneringssystem.

DJI vision positioneringssystem är ett system som använder ultraljud och bilddata för drönarens positionering, med detta system blir flygningen mer precis och tillgängliggör flygningar i miljöer där det saknas GPS signal (DJI, 2016). Det finns även ett inbyggt system som kallas "Obstacle sensing system" vilket upptäcker och undviker föremål som kommer i dess väg, se Figur 3.



Figur 3. Obstacle sensing system (DJI, 2016).

2.6.2 Kontrollenhet

DJI Phantom 4 kan styras antingen via handkontroll eller från en mobil enhet. Funktionen som gör det möjligt att styra UAV från en mobil enhet kallas Tapfly. Det förutsätter att det inte är för mörkt (<300 lux) eller för ljusst (>10 000 lux). Det finns säkerhetsfunktioner ifall UAV behöver återvända till utgångspositionen som kallas "Return – To Home" (RTH). Det finns tre typer av RTH lägen:

- Smart RTH
- Low Battery RTH
- Failsafe RTH

Funktionen Smart RTH kallar tillbaka UAV till utgångspositionen genom en knapptryckning på RTH, alternativt i applikationen DJI Go. Vid Low battery RTH visas ett meddelande i applikationen (DJI GO) vilket varnar om låg batterinivå. UAV återgår då automatiskt till utgångspositionen om ingen åtgärd vidtas efter 10 sekunder. Processen kan avbrytas med tryck på RTH knappen på kontrollenheten. Failsafe RTH aktiveras automatiskt om signalen mellan UAV och kontrollenhet skulle gå förlorad i mer än tre sekunder (DJI, 2016).

2.7 Höjdmodeller

I avsnittet nedan följer en beskrivning av olika typer av höjdmodeller, dess egenskaper och tillämpningsområden.

2.7.1 Digital Elevation Model (DEM)

En digital höjdmodell är en beskrivning av markytan som är lagrad i ett regelbundet rutnät, DEM är ett samlingsnamn för DTM och DSM (Lantmäteriet et al., 2006).

2.7.2 Digital Surface Model (DSM)

En digital ytmodell representerar resultatet efter en flygburen mätning (flygfotografering/laserskanning). Ytmodellen genereras fram efter bildmatchning eller från obearbetade laserdata.

2.7.3 Digital Terrain Model (DTM)

En digital terrängmodell är en beskrivning av terrängen baserat på höjddata. Exempel på terrängmodeller är sluttningsskator, avrinningsmodeller och terrängskuggningar etc.

2.7.4 Triangulated Irregular Network (TIN)

TIN-modellen är en datastruktur som skapas genom triangulering mellan punkter. Fördelen med TIN-strukturen är att den kan representera en yta med få noder. Vilket gör det enkelt att kombinera olika typer av höjddata. Nackdelen med strukturen är att eventuella grova fel kan uppkomma. TIN-modeller används ofta vid interpolering från punktmoln till höjdkurvor/höjdmodeller i rasterformat. Den här datastrukturen har använts vid framtagande av höjdmodeller i detta projekt.

3 Metod

3.1 Planering

Stomsjö deponi är ett område på ca 15 hektar som ligger strax väster om Värnamo, se Figur 4. Den norra deponin har delvis sluttäckts i etapper med början 2003 och därmed ligger fokus på den södra deponin som inte har sluttäckts vid studiens påbörjande. Området består till stor del av deponerat avfall (hushålls- och industriavfall), sand, sten och skog. Deponering av avfall är avslutad på norra och södra deponin. Flygningen är uppdelad i olika etapper. Den första etappen är över den nuvarande formen på deponin, därefter kommer en grustäckt att täckas över området i samband med en andra flygning. Sista etappen är planerad då fiberduken är på plats.

Denna studie redogör för den första etappen. Innan en fotografering med UAV kan genomföras behövs ett flertal planeringsteg, bland annat ska markstöd placeras ut med en spridning över området. Under ett möte (8/3 2017) fattades ett beslut om att använda triangulära markeringar, då det syntes allra bäst på foton vid tidigare testflygfotograferingar. Det ska vara enkelt att identifiera stöden, därför bör markstöden ha starka kontrastfärger. Vid inmätning så mäts sammanlagt 6 markstöd in med GPS (nätverks-RTK), se Tabell 2 och Figur 5-7. Kolumnen 3D redogör för mätningarnas osäkerhet i 3 dimensioner (Tabell 2). Referenssystemen som används är SWEREF 99 13 30 i plan och RH 2000 i höjd.



Figur 4. Stomsjö deponi (Google maps, u.d.).

Tabell 2. Inmätning av markstöd, GPS Leica.

Punkt	Y/Öst	X/Norr	Höjd	3D	Typ	Markering
1	178836,2119	6339952,3581	184,1545	0,003	asfalt	spik
2	178676,5907	6339923,5365	182,5202	0,002	brunnsock	-
3	178608,0180	6339794,6726	180,9405	0,004	gräsyta	geo-sticka
4	178446,5011	6339948,6651	178,7785	0,003	gräsyta	geo-sticka
5	178530,0128	6340094,1330	182,4307	0,002	gräsyta	geo-sticka
6	178794,1195	6340035,3894	184,1776	0,002	stubbe	spik



Figur 5. Exempel på markstöd, punkt 6 vid en stubbe.



Figur 6. Inmätning av markstöd, punkt 1.



Figur 7. Ortofoto med placering av markstöd.



Figur 8. Kontrollruta.

En kontrollruta på 5x5 punkter mäts in på en hårdgjord yta (asfalt) i närheten av punkt 5 (Figur 8). Kontrollrutan är ett underlag för vidare jämförelser mellan inmätta punkter och höjdmoddellernas rastervärden.

3.2 Flygning

I detta projekt genomförs flygningar med quadcoptern DJI Phantom 4, se Figur 9. Den maximala flygtiden är 28 min/flygning. Dess kamera (FC6310) genererar högupplösta 4K videor upp till 120 bilder/sekund och 12 megapixel stillbilder (DJI, 2016). DJI Phantom 4 tillhör UAS-kategorin 1A, vilket innebär att den väger mindre än eller lika med 1500 g (1380 g) samt utvecklar en kinetisk energi på högst 150 J. Vid flygning med UAS gäller följande restriktioner enligt Transportstyrelsen (u.d).



Figur 9. DJI Phantom 4

- Flygning ska ske inom 120 meters höjd.
- Drönaren ska vara inom synhåll för drönarpiloten (max 500 meter).
- Särskilt tillstånd krävs vid flygningar inom kontrollzoner (CTR), gäller bland annat vid flygplatser, arenor etc.
- Förbud gäller vid restriktionsområden som nationalparker, fängelser och kärnkraftverk. (Transportstyrelsen, u.d.)

Vid flygningar används applikationerna DJI GO och Inflight datamapper. DJI Go för styrfunktioner och kamerainställningar samt Inflight datamapper vid ruttplanering. Flygstråk vid de olika flyghöjderna och dess flygförhållande visas i Tabell 3 och Figur 10.

Parametrar

Kameramodell: FC6310

Bildstorlek: 4864 x 3648

Färgsystem: RGB

Förkalibrerad: Nej

Brännvidd: 8,8 mm

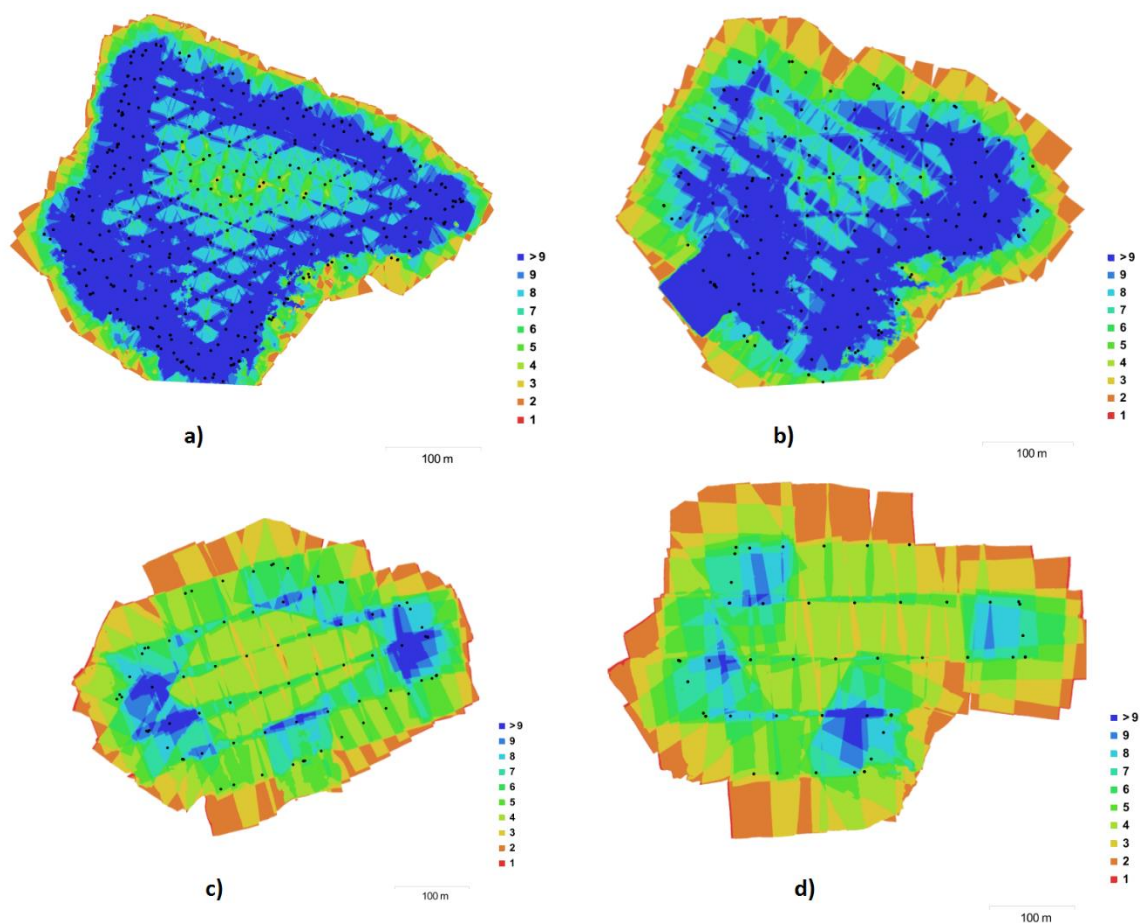
ISO: 200

Slutarhastighet: 1/640

Övertäckning: 70 % i flygriktningen och 70% mellan intilliggande stråk

Tabell 3. Flygförhållande.

Flyghöjd	Datum	Antal flygstråk	Flygtid	Väderlek
50 m	2017-03-20	17	20 min	sol/mulet
75 m	2017-03-20	10	17 min	regn/mulet
100 m	2017-04-18	6	5 min	sol
120 m	2017-04-18	5	4 min	sol



Figur 10. Flygstråk vid olika flyghöjder med antalet övertäckande flygbilder.
 Flyghöjd a) 50 m, b) 75 m, c) 100 m, d) 120 m.

Flygfoton är till stöd för att tolka vegetation, lutning, skuggor/solljus, topografi. Foton från flygningen används för att fotogrammetriskt skapa modeller som ligger till grund för volymbereäkning.

3.3 Programvaror

- Agisoft PhotoScan Professional (64 bit) version 1.2.6.2834
- ESRI ArcGIS version 10.5
- Microsoft Office Excel 2016

Beräkningar utförs i programvarorna Agisoft PhotoScan och ArcGIS samt Excel. Agisoft PhotoScan är utvecklat i Ryssland och är till för att fotogrammetriskt processa digitalbilder och generera spatial 3D- data. I programvaran ArcGIS går det att skapa och presentera geografiska data, analyser mm (utvecklat i USA av ESRI).

3.3.1 Agisoft PhotoScan

Bilder som fotograferats med drönaren importerar till en arbetsyta i Agisoft PhotoScan. Positionering och orientering av bilder sker i ett inbördes referenssystem utifrån dess överlappning. Det finns två typer av inställningar för att koppla ihop bilder vid en blockutjämnning. Om bildernas tidigare positioner är kända används *Reference* alternativt då tidigare positioner är okända används *Generic* (Agisoft a, u.d.). Optimering av kamerans bilder utförs för noggrannare bestämning av bildernas läge.

Ett punktmoln består av miljontals punkter med tredimensionella koordinater, det tas fram fotogrammetriskt utifrån de refererade bilderna. För att filtrera ut punktmolnets djup i bilderna finns fyra inställningar.

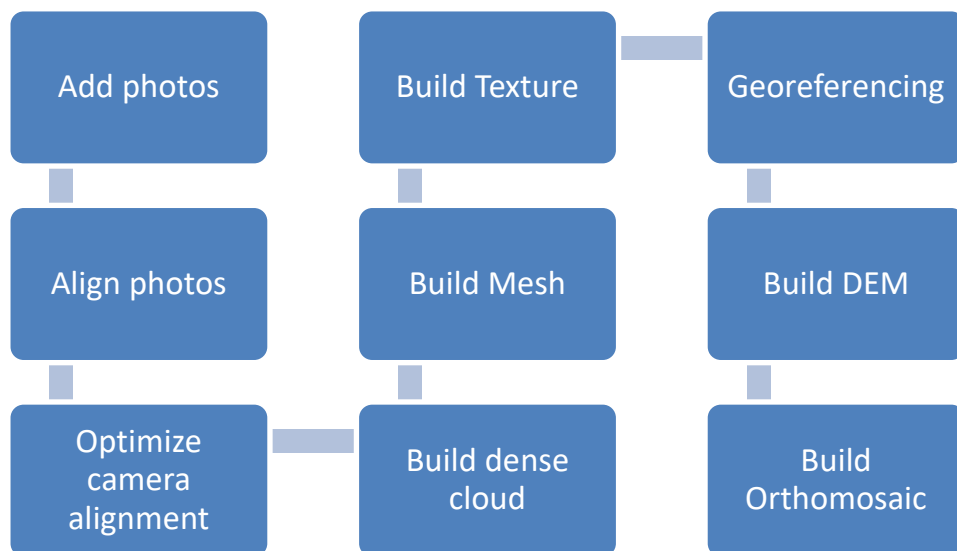
- *Mild* - om geometrin är komplex med små detaljer.
- *Aggressive* - om området inte innehåller komplexa detaljer.
- *Moderate* - läge som är mellan inställningarna Mild och Aggressive.
- *Disabled* - alternativ som inte rekommenderas, bidrar till ett brusigt punktmoln (Agisoft b, u.d.).

Från punkter ur punktmolnet skapas en TIN-modell genom interpolation, vilken används för att skapa 3D-modeller, antingen med inställningen *Arbitrary* eller *Height Field*.

- *Arbitrary* – används för modellering av närliggande objekt som statyer, byggnader m.m.
- *Height Field* – är optimalt för modellering av terrängytor.

TIN-modellen draperas därefter med ortofoton. Vid flygning är bilderna positionerade i WGS84 och måste därför transformeras till SWEREF 99 13 30 som är den lokala projektionszonen för området. De koordinater som mätts in med GPS för markstöden importerar till arbetsytan i form av en textfil och flaggor placeras ut i bilder för referering till markstöden. Dess standardosäkerhet *Marker Accuracy* sattes till 0,005 m efter rekommendationer från Agisoft (Agisoft a, u.d.) om noggrannheten för markstödens inmätta punkter är inom 2 cm. Därefter skapas höjdmodellen och ortofotomosaiken som sedan exporterar till TIF-format.

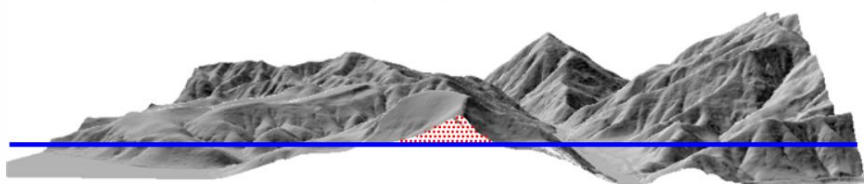
Inställningar för arbetsprocessen i Agisoft PhotoScan beskrivs i Figur 11 och Bilaga 1.



Figur 11. Agisoft PhotoScan arbetsprocess.

3.3.2 ArcGIS 10.5

Volym beräknas i ArcGIS 10.5 genom att digitalisera en polygon för ett område (shape-fil), i vilken rastren som skapas i Agisoft PhotoScan formas efter. Beräkning av volymen genomförs med verktyget *Surface volume* ovanför ett angivet referensplan (min-värdet för respektive DEM), se Figur 12.



Figur 12. Volymberäkning ArcGIS hjälp (Esri, u.d.)

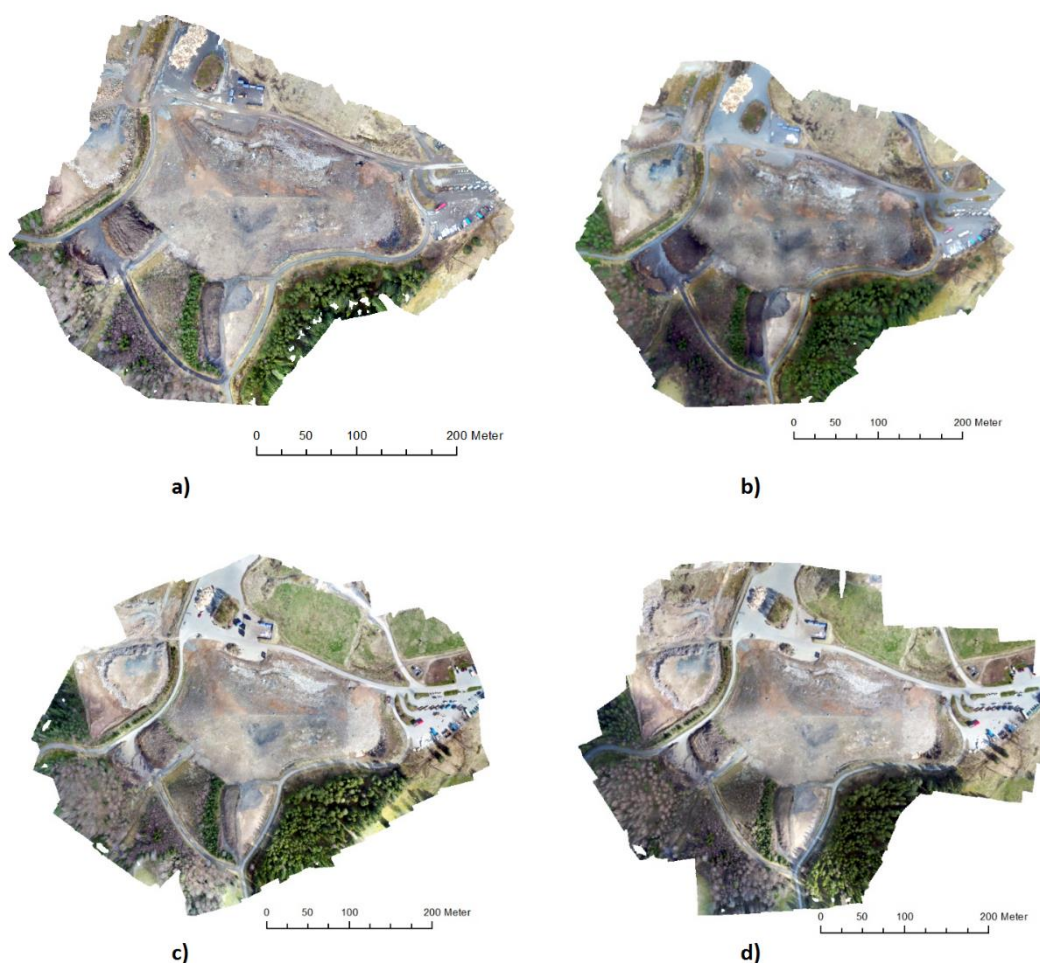
Det går även att beräkna area och volym i Agisoft PhotoScan med verktygen *Close holes*, *Measure area* och *Volume*. Fördelen med att importera rastren till ArcGIS 10.5 är att rastren går att klippa efter en polygon vilket gör det möjligt att jämföra de olika rastren. Eftersom höjdmodellerna skapats med bilder tagna två år senare än Lantmäteriets insamlade data från 2015 (Figur 14 och 16), är det även av intresse att räkna ut differensen mellan dessa (m³ och procent). I ArcGIS 10.5 genomfördes vidare analyser av data (lutning, lutningsriktningar, höjdkurvor) samt lagring av data och kvalitetskontroller. Dessutom skapas hydrologiska modelleringar över området, vilket är intressant för kommunens miljö/tekniska avdelning. Där ett användningsområde för placering av exempelvis vattentunnlar under vägar, kan analyseras utifrån kartan vattenflöden.

4 Resultat

Fyra 3D-modeller, ortofoton och DEM skapades i Agisoft PhotoScan (Tabell 4). I resultatet redovisas även markstödets mätosäkerhet i plan- och höjddled. Vidare analyser i ArcGIS visar resultatet av en jämförelse mellan inmätta punkter från kontrollrutan mot höjdvärden för respektive höjdmödel. Dessutom en jämförelse mellan flygningar från UAV mot Lantmäteriets insamlade höjddata. Resultatet innehåller även volymberäkning samt differens mellan area och volym mot Lantmäteriets data.

4.1 Ortofoto

Den geometriska upplösningen (GSD) för samtliga ortofoton är mindre än 3 cm/pix, vilket innebär att vid en flygning på max 120 m kan man urskilja ett objekt på 3 cm i ortofotot (Figur 13).



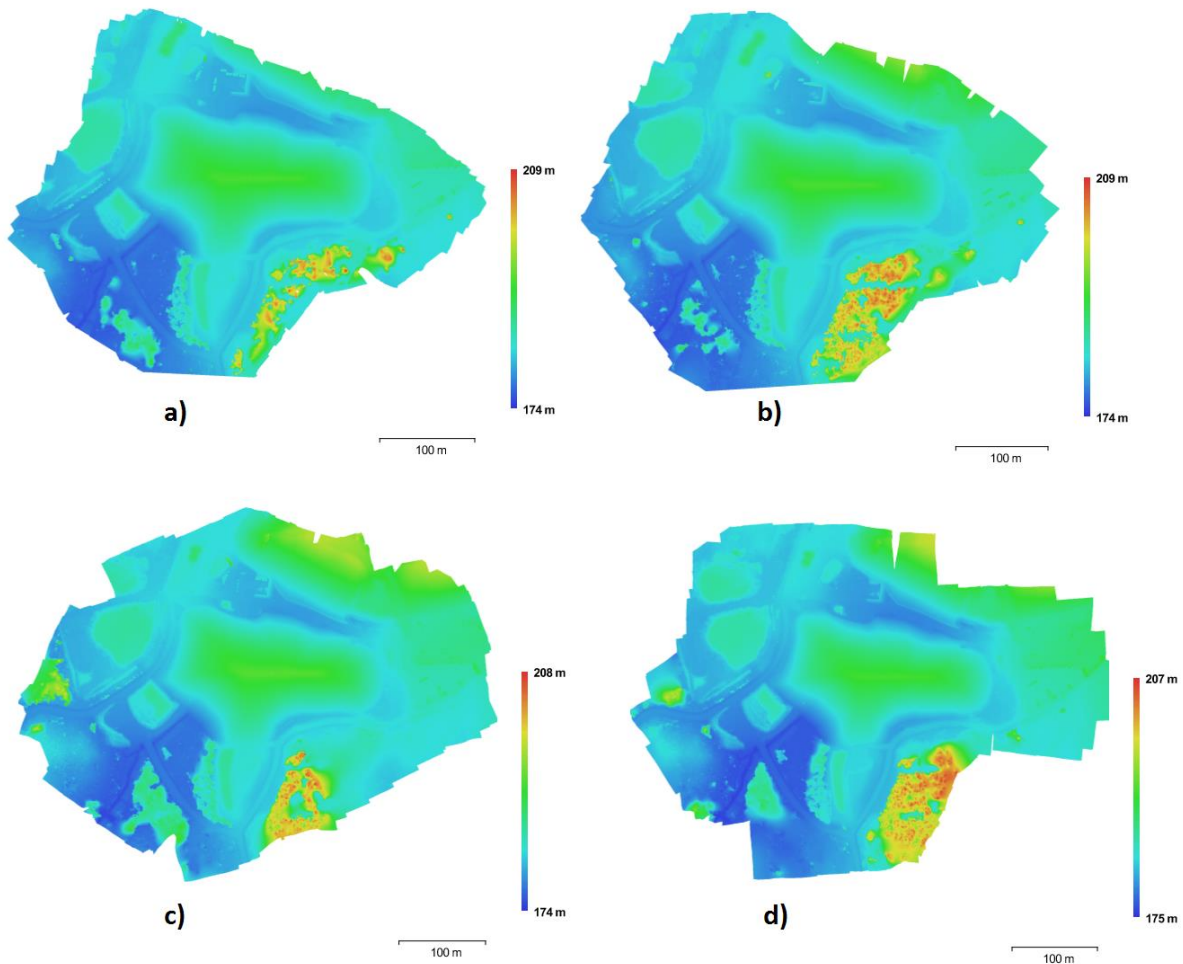
Figur 13. Ortofotomosaik från DJI Phantom 4 genererad i Agisoft PhotoScan.
Flyghöjd a) 50 m, b) 75 m, c) 100 m, d) 120 m.



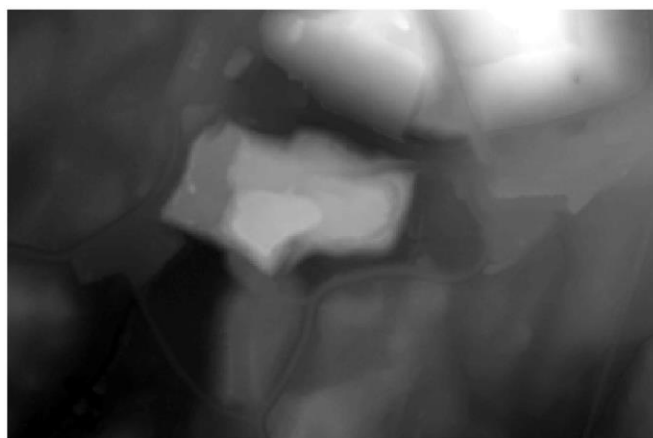
Figur 14. OrtoRbg025 från Lantmäteriet

4.2 Höjdmodell

Upplösningen för samtliga höjdmodeller är mindre än 6 cm/pix (Figur 15).



Figur 15. DEM från DJI Phantom 4 genererad i Agisoft PhotoScan
Flyghöjd a) 50 m, b) 75 m, c) 100 m, d) 120 m.



Figur 16. Höjddata Grid2+ från Lantmäteriet

Tabell 4. Resultat Ortofoto och DEM

Ortofoto						
Flyghöjd (m)	Antal bilder	Upplösning(cm/pixel)	Area (km ²)	Projektioner (antal)	Projektionsfel (pixel)	Gemensamma punkter mellan flygbilder (tie points)
50	407	1,24	0,118	11 693 707	0,699	3 651 161
75	208	1,88	0,144	4 964 064	0,797	1 429 443
100	77	2,43	0,157	2 329 252	0,568	846 796
120	48	2,92	0,159	1 290 987	0,584	478 196
Datotyp		Storlek	Bildformat (pixel)			
Ortofoto50m.tif		3,15 GB	405 36x31 224			
Ortofoto75m.tif		1,43 GB	27 701x21 998			
Ortofoto100m.tif		1,02 GB	22 757x18 030			
Ortofoto120m.tif		745 MB	19 228x14 451			
ortoRgb025_3006_6337611_437695.tif (Lantmäteriet)		9,94 MB	2292x1516			
DEM						
Flyghöjd (m)	Upplösning(cm/pixel)		Punkttäthet (punkter/m ²)			
50	2,49		1610			
75	3,76		709			
100	4,87		422			
120	5,84		293			
Datotyp		Storlek	Bildformat (pixel)			
DEM50.tif		719 MB	22 348x17 154			
DEM75.tif		395 MB	15 342x11 981			
DEM100.tif		265 MB	14 832x11 008			
DEM120.tif		186 MB	13 017x9755			
hojd2m3006_6337612_437696.tif (Lantmäteriet)		211,15 KB	286x189			

4.3 Mätosäkerhet

4.3.1 Markstöd

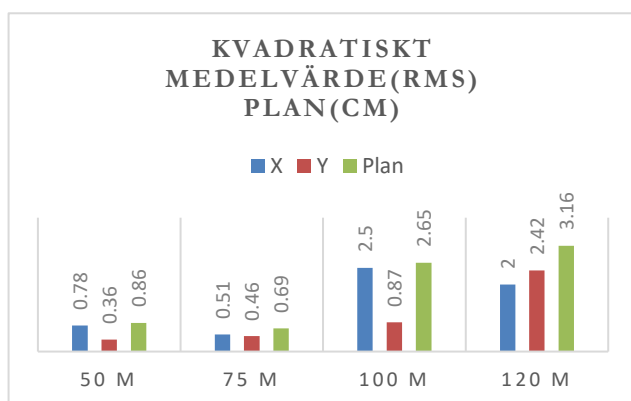
Det kvadratiska medelvärdet för markstöden i plan (XY) och höjd (z-led) beror främst på hur väl det går att identifiera markstöden i bilderna vid en blockutjämnning. Faktorer som spelar in är bland annat rörelseoskärpa eller skuggor/reflektioner i bilderna (Figur 17). I plan är det kvadratiska medelvärdet under 4 cm för samtliga punkter medan i höjd är differensen större, främst vid en flyghöjd på 120 m där värdet är större än 35 cm. Detta beror troligtvis på rörelseoskärpa i bilderna då det kan uppkomma fel vid bildpunktmatchningen (Tabell 5, Figur 18–19). Tabell 6–9 visar respektive skillnader i x-, y-, och z- led.



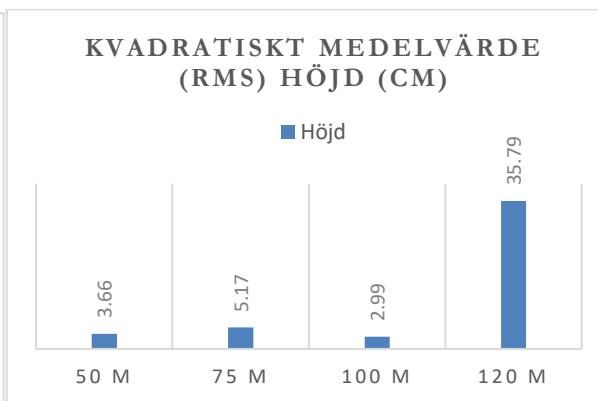
Figur 17. Tolkning av markstöd vid olika flyghöjder; 50, 75, 100 och 120 m.

Tabell 5. Mätosäkerhet för markstöden

Antal punkter	Flyghöjd (m)	Markstödens mätosäkerhet					
		x-led (cm)	y-led (cm)	z-led (cm)	XY (cm)	Total (cm)	Marker error (pixel)
6	50	0,7	0,3	3,6	0,8	3,7	0,1
	75	0,5	0,4	5,1	0,6	5,2	0,1
	100	2,5	0,8	2,9	2,6	4,0	0,3
	120	2,0	2,4	35,7	3,1	35,9	0,3



Figur 18. Diagram med kvadratisk medelvärde plan.



Figur 19. Diagram med kvadratisk medelvärde höjd.

Tabell 6. Markstöd vid en flyghöjd på 50 meter.

Punkt	Markstöd					
	x-led (cm)	y-led (cm)	z-led (cm)	Total (cm)	Marker error (pixel)	Projektioner (antal)
1	-1,2	-0,6	5,0	5,2	0,2	11
2	0,8	0,2	-2,9	3,0	0,06	11
3	0,02	0,2	-2,8	2,8	0,08	15
4	-0,1	-0,3	5,2	5,2	0,16	11
5	-0,4	0,03	-2,6	2,6	0,07	19
6	1,0	0,4	-1,8	2,1	0,09	7

Tabell 7. Markstöd vid en flyghöjd på 75 meter.

Punkt	Markstöd					
	x-led (cm)	y-led (cm)	z-led (cm)	Total (cm)	Marker error (pixel)	Projektioner (antal)
1	0,08	-0,2	6,1	6,1	0,2	8
2	-0,2	0,5	3,0	3,0	0,1	10
3	-0,5	-0,4	-6,6	6,7	0,1	9
4	0,6	0,2	5,9	5,9	0,2	8
5	-0,5	-0,7	-3,9	4,0	0,1	10
6	0,8	0,4	-4,3	4,4	0,1	8

Tabell 8. Markstöd vid en flyghöjd på 100 meter.

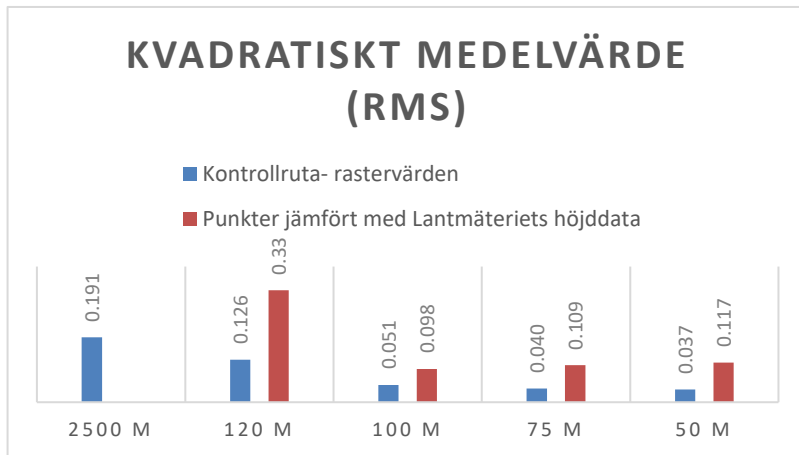
Punkt	Markstöd					
	x-led (cm)	y-led (cm)	z-led (cm)	Total (cm)	Marker error (pixel)	Projektioner (antal)
1	-1,5	0,9	0,5	1,9	0,1	5
2	1,7	0,2	3,3	3,7	0,09	5
3	-3,3	0,6	-3,6	4,9	0,3	3
4	3,04	-1,4	2,1	3,9	0,07	11
5	-2,71	-0,01	-4,8	5,6	0,4	3
6	2,1	-1,0	0,7	2,4	0,6	8

Tabell 9. Markstöd vid en flyghöjd på 120 meter.

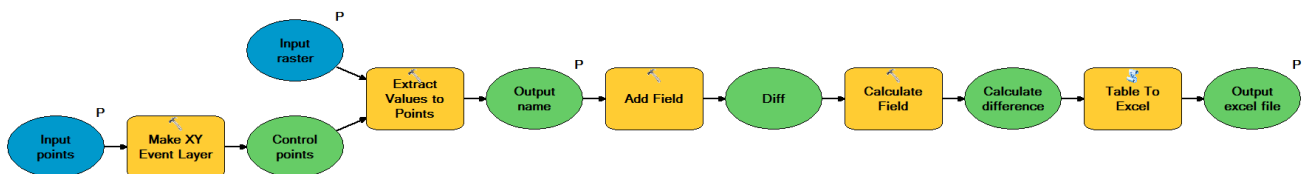
Punkt	Markstöd					
	x-led (cm)	y-led (cm)	z-led (cm)	Total (cm)	Marker error (pixel)	Projektioner (antal)
1	-1,8	1,9	58,3	58,4	0,07	4
2	2,2	3,1	-55,3	55,4	0,2	6
3	1,8	3,8	15,6	16,1	0,5	4
4	2,9	-1,4	21,2	21,5	0,2	7
5	-1,3	0,8	-6,9	7,1	0,3	7
6	1,6	1,8	21,7	21,9	0,4	6

4.3.2 Kontrollruta

Resultatet av beräkningen mellan höjd av enskilda kontrollpunkter (inmätta med GPS) mot höjdvärden från respektive höjdmodell visas i Bilaga 3. Det kvadratiska medelvärdet (RMS) anger hur stor spridningen mellan höjdmodellens värden i förhållande till kontrollrutans värden är. 50 meters flygningen har det lägsta kvadratiska medelvärdet på 0,037 m (Figur 20). Flödesschema visas i Figur 21.



Figur 20. Diagram med kvadratiskt medelvärde.



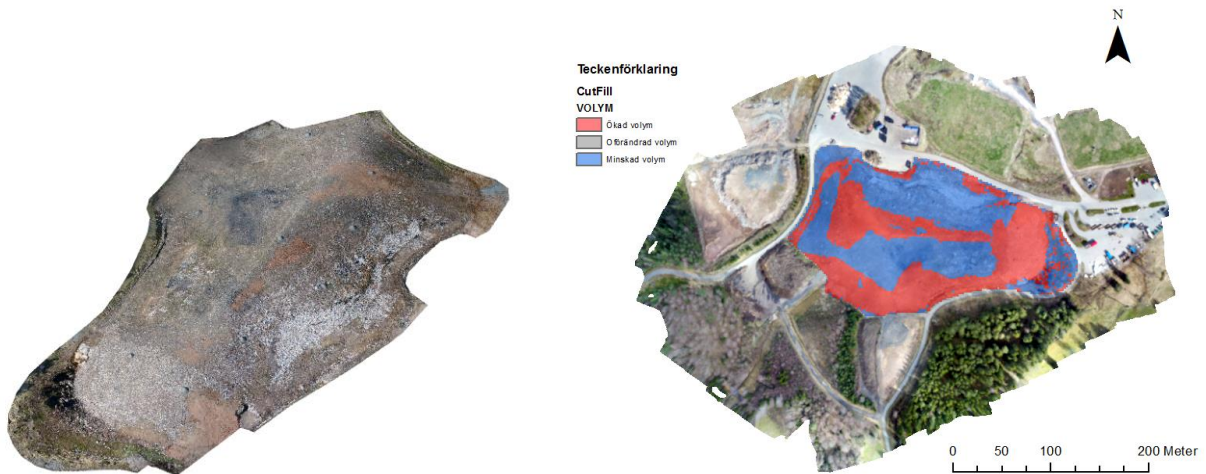
Figur 21. Flödesschema för att extrahera värden från raster till punkter.

4.3.3 Lantmäteriets höjddata mot de olika flygningarnas höjddata

En jämförelse gjordes dessutom mellan punkter (25 st.) med slumpmässigt spridning över området mot Lantmäteriets höjddata, se Tabell 10 och Figur 22. Den höjdmodell som sett över hela området bäst överensstämde med Lantmäteriets höjddata är 100 m-flygningen, som har ett kvadratiskt medelvärde på 0,098 m (Figur 20).

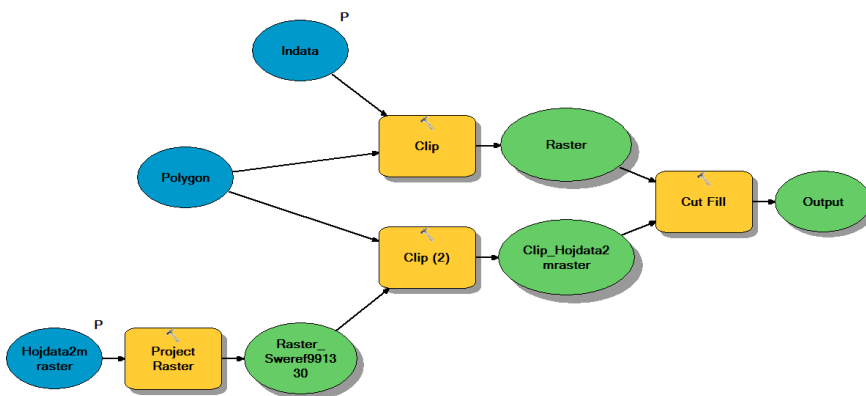
4.4.1 Area- och volymdifferens

En jämförelse mellan raster från 100 meters höjd (4,8x4,8 cm raster) och Lantmäteriets höjddata 2500 m (2x2 m raster) gjordes. För att se skillnaden mellan deponins volym från 2015 till idag (Figur 24). En yta skapades för att avgränsa de båda rasterytorna till enbart deponiområdet (Figur 23 a). En översiktsbild över vilka områden det skett en omfördelning av massor vid terrassering visas i Figur 23 b. I figuren ger det röda området en indikation på ökning av massor 22 787 m³ (0,78 %), det gråa området oförändrade områden och det blåa området minskning av massor 25 568 m³(0,87 %).



Figur 23 a. Volym höjdmödel (100 m flygning).

23 b. Volymdifferens vid Cut and fill operation.



Figur 24. Flödesschema för Cut and fill operationen.

Eftersom rastren har olika cellstorlek ger det en viss felkälla. Ett alternativ vore att ändra cellstorleken (resample) för 100 meters flygningen till 2x2 m. Däremot skulle det innebära en förvanskning av rastret, så det alternativet valdes bort.

5 Diskussion

Flygfotografering genomfördes från fyra olika flyghöjder. Ett flertal faktorer som påverkar det resultat som fås vid flygfotografering för kartering med UAV, som t.ex storlek, form samt placering på markstöd. Antalet stödpunkter har dock ingen större påverkan på höjdosäkerheten. Resultatet visar att det kvadratiska medelvärdet är högre i höjd än plan för markstödens mätosäkerhet. Resultatet av osäkerheten för markstöden beror på vilken typ av inställning som genomförs i programvaran Agisoft Photoscan. Vid flyghöjden på 120 meter påverkas höjdosäkerheten betydligt då mätosäkerheten i z-led är över 35 cm. Yttre förhållanden som vid exempelvis kraftiga vindbyar försämrar bildkvaliteten och medför rörelseoskärpa i bilden.

Generellt sett blir noggrannheten bättre vid lägre flyghöjder, men då krävs det fler bilder för att täcka karteringsområdet. Bilderna får högre upplösning men pga. yttre förhållanden kan noggrannheten variera pga. skuggor/reflektioner/rörelseoskärpa i bilderna. Om flygning sker på lägre höjder behövs fler bilder vilket medför att databehandlingen tar längre tid och det krävs mer av datorns kapacitet, dess grafikkort och RAM-minne. Vid fler bilder syns markstöden oftare vilket gör det lättare att orientera bilderna. Vid områden med branta lutningar fås ett sämre resultat vid flygning på högre höjd eftersom det blir en skevhet mellan bilderna. Vid kartering av framförallt vegetation exempelvis träd blir det högre differenser i höjd eftersom punktmolnet kan träffa olika ytor, vilket gör att TIN modellen blir glesare efter interpolation.

Även andra typer av analyser är intressanta för kommunen, t.ex. vattenflöden och markfuktighetsförhållanden har tagits fram, se Bilaga 2. Kartan med vattenflöden visar vilka riktningar vattnet har i terrängen på ett överskådligt sätt. Utifrån en flygbildstolkning stämmer den väl överens med verkligheten. Ett annat användningsområde för denna karta är vid korsningar mellan väg och vatten så kan placering av vattentunnel enkelt bestämmas. Ett topografiskt index har tagits fram i denna studie för att tolka fuktigheten i markerna kring deponin på ett effektivt sätt.

6 Slutsats

Det är en effektiv metod att samla in ortofoton och höjdmodeller med hjälp av UAV. Resultatet visar att inom 120 m flyghöjd, som är högsta tillåtna höjd enligt Transportstyrelsen. Så är den geometriska upplösningen (GSD) för ortofoto mindre än 3 cm/pix. Upplösning för höjdmodellerna är under 6 cm/pix med en punktäthet från 293 punkter/m² (120 m) till 1610 punkter/m² (50 m).

Den tid som åtgår vid flygning med DJI Phantom 4 är max 28 min/flygning. Tiden för bildbearbetning beror på vilken kvalitet som efterfrågas för 3D-modeller. Från 3 timmar och uppåt för detaljrika modeller. Utifrån litteraturstudier visar det att skuggor har en påverkan på 3D-modeller. Skuggor har en effekt vid bildmatchningen. Punktmolnet blir tätare vid ytterkanter av skuggiga partier och i skuggpartier blir punktmolnet glesare. Vid placering av markstöd ska de placeras med en väl spridning över området med en rekommendation på minst 6 st. markstöd per stereomodell.

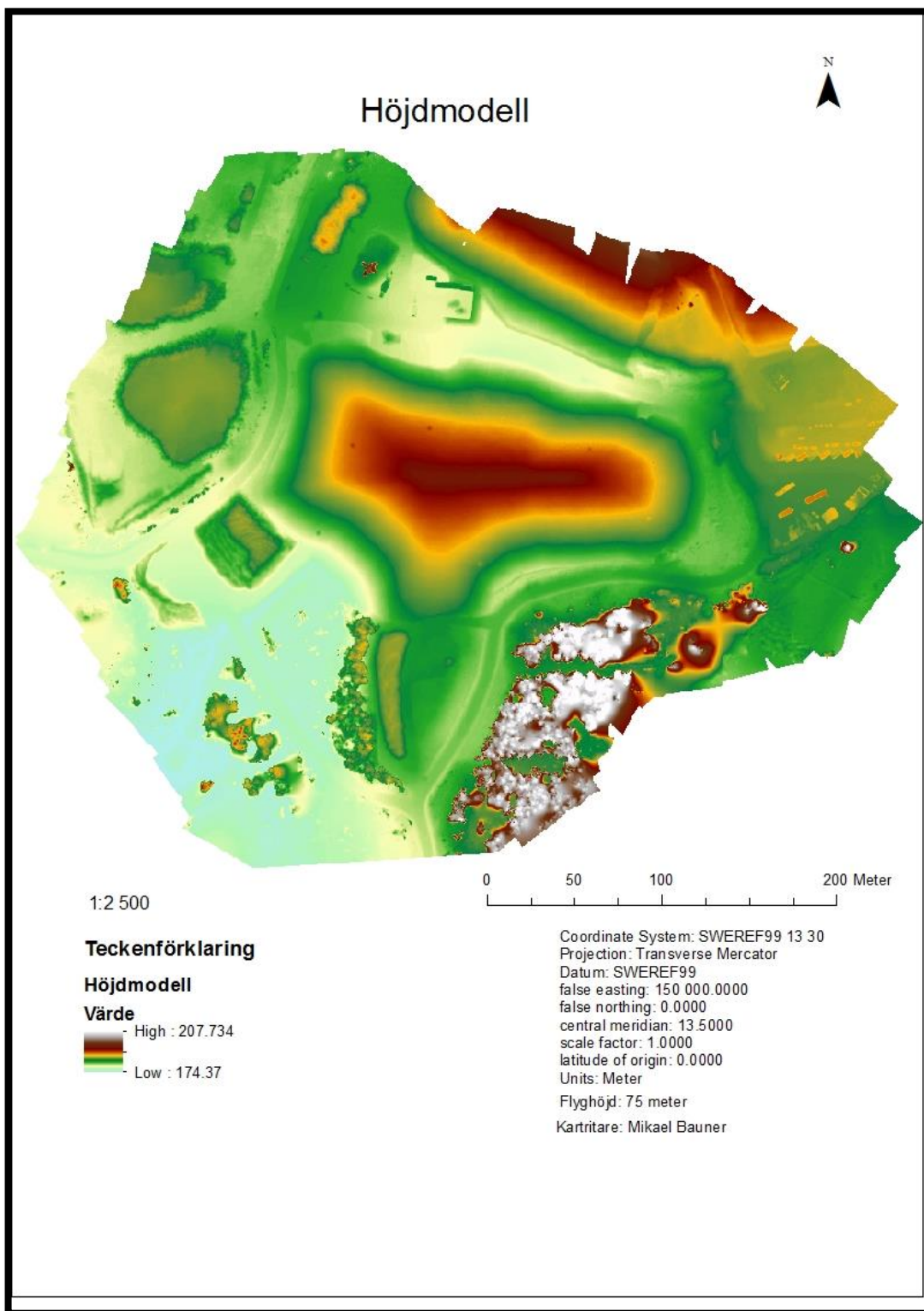
Byggnader har inte ingått i denna studie. Framtida studier av byggnader kommer att ske med liknande teknik som använts i denna studie, även tillämpning av snedbilder kan bli aktuellt för mer detaljerade stadsmodeller. En jämförelse mellan andra typer av UAV skulle även kunna genomföras.

Referenser

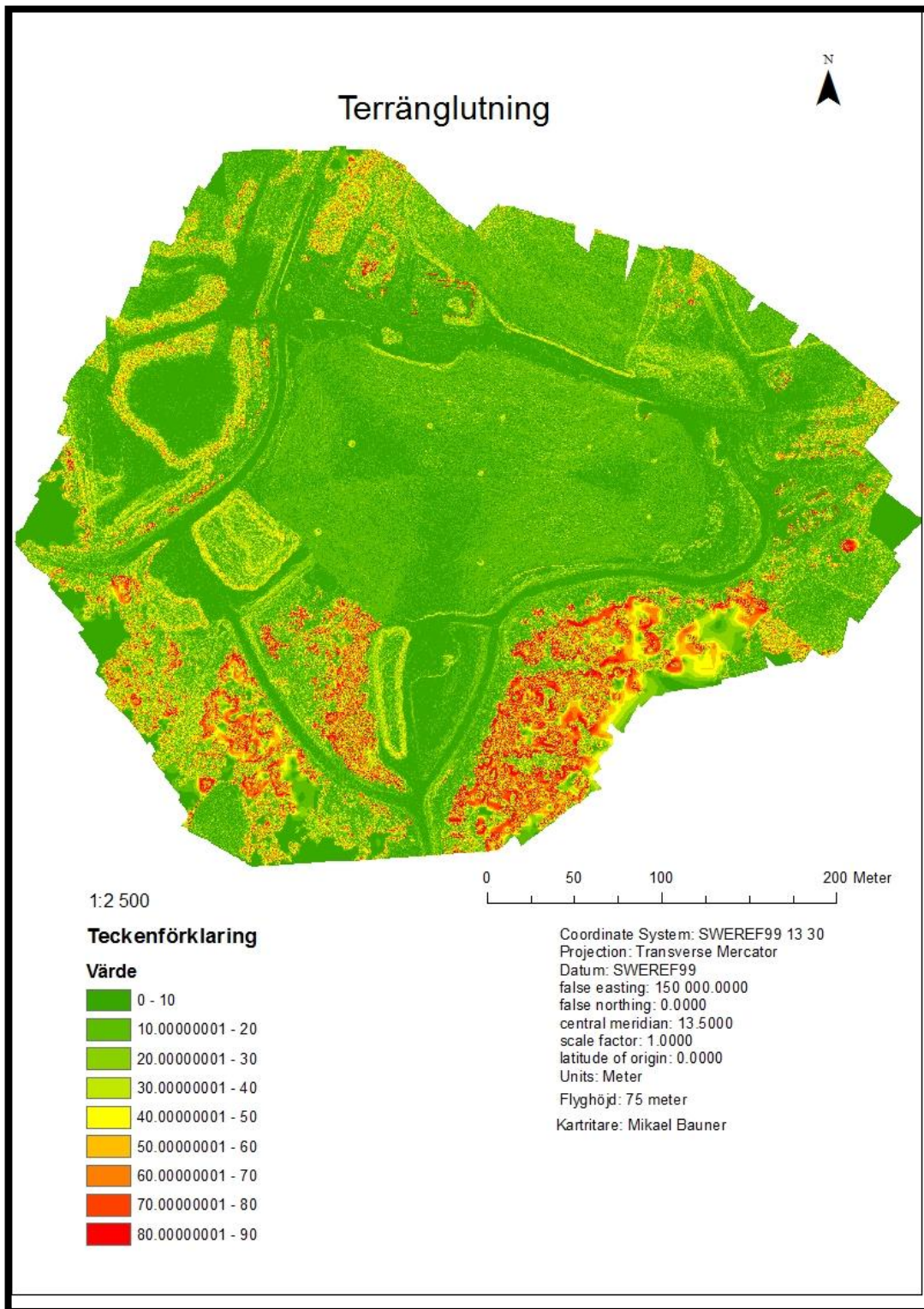
- Agisoft a. (u.d.). *Orthophoto and DEM Generation (with GCPs)*. Hämtat från Agisoft : <http://www.agisoft.com/index.php?id=31>
- Agisoft b. (u.d.). *Agisoft Photoscan User Manual Professional Edition, Versio 1.0.0*. Hämtat från Agisoft: http://downloads.agisoft.ru/pdf/photoscan-pro_1_0_0_en.pdf
- Boberg, A. (1993). *Flygbildsteknik och Fjärranalys*. Jönköping: Skogstyrelsen.
- DJI. (2016). *Phantom 4 User Manual*. Hämtat från Dji.com: https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4/en/Phantom_4_User_Manual_en_v1.0.pdf
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV Photogrammetry*. Zurich: University of Technology Dresden .
- Ekelund, L. (1993). *Flygbildsteknik och Fjärranalys*. Jönköping: Skogstyrelsen.
- Esri. (u.d.). *Arcgis.com*. Hämtat från <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/surface-volume.htm>
- Google maps. (u.d.).
- Lantmäteriet. (2014). *HMK Bilddata*. Luleå: Lantmäteriet.
- Lantmäteriet. (2015). *HMK Geodatakvalitet*. Gävle: Lantmäteriet.
- Lantmäteriet. (u.d.). *Digitala flygbilder*. Hämtat från Lantmäteriet: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Flyg--och-satellitbilder/Flygbilder/Digitala-flygbilder/>
- Lantmäteriet et al. (2006). *En ny svensk höjdmmodell - Laserskanning, Testprojekt Falun*. Gävle: Lantmäteriet.
- Lantmäteriet et al. (2013). *Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik*. Lantmäteriet.
- Metria. (u.d.). *Ortofoton över tätort- information på detaljnivå*. Hämtat från Metria: <http://metria.se/Vara-erbjudanden/Kartor-och-bilder/Metria-som-geodataleverantör/Flyg--och-satellitbilder/Flygbilder-och-ortofoton/GSD-Ortofoto-Tatort/>
- Ottoson et al., L. (1993). *Flygbildsteknik och Fjärranalys*. Jönköping: Skogstyrelsen.
- Rosnell et al. (2011). *On geometric processing of multi-temporal Image Data collected by light uav systems*. Masala,Finland: Finnish Geodetic Institute.
- Torlegård, K. (1999). *Analytisk fotogrammetri och dess felteori*. Stockholm: Kungliga tekniska högskolan.
- Transportstyrelsen. (u.d.). *Obemannade luftfartyg-UAS*. Hämtat från Transportstyrelsen: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/Luftfart/Luftfartyg-och-luftvardighet/Obemannade-luftfartyg-UAS/>
- Värnamo kommun. (2004). *Avfallsplan för Värnamo kommun*. Värnamo: Värnamo kommun.
- Åkerblom, J. (2012). *Fotogrammetriska mätningar med hjälp av digitala bilder tagna från UAV-flygplan*. Vasa: Novia university.

Bilaga 1 Inställningar arbetsprocess

Agisoft PhotoScan	
Align photos	
General	
Accuracy	High
Pair preselection	Generic
Advanced	
Key point Limit	125 000
Tie point limit	0
Optimize Camera Alignment	
General	Fit f, cx, cy, k1, k2, k3, p1, p2
Build Dense Cloud	
General	
Quality	High
Depth filtering	Agressive
Build Mesh	
General	
Surface type	Height field
Source data	Dense cloud
Face count	High
Advanced	
Interpolation	Enable (default)
Point classes : All	
Build Texture	
Mapping mode	Ortophoto
Blending mode	Mosaic(default)
Texture size	4096
Build DEM	
Source data	Dense Cloud
Interpolation	Enabled (Default)
Point classes : All	
Build Orthomosaic	
Projection	Geografic
Surface	Mesh
Close holes	
Level	100 %
Measure Area and Volume	

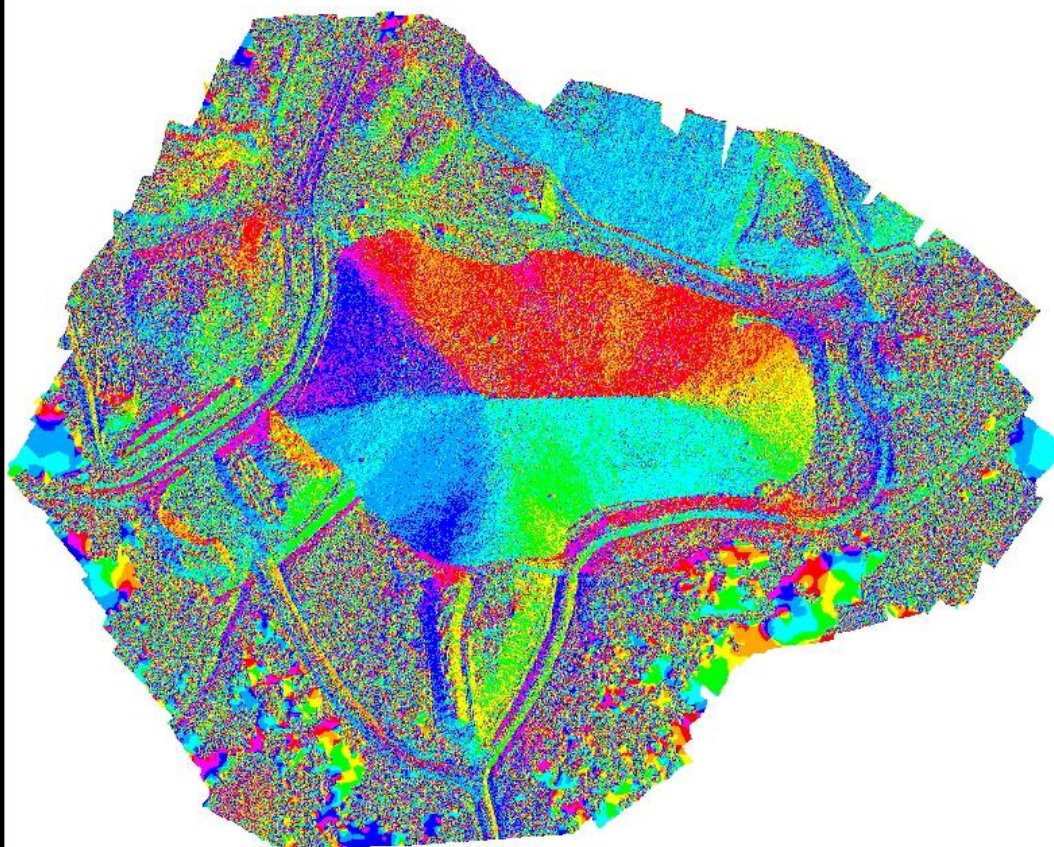


I kartan visas en terrängmodell över Stomsjö deponi vid en flyghöjd på 75 meter. Den här modellen ligger till grund för de analyser som utförts i ArcGIS respektive SAGA nedan.



I kartan ovan visas terränglutningar.

Terränglutning riktningar



1:2 500

Teckenförklaring

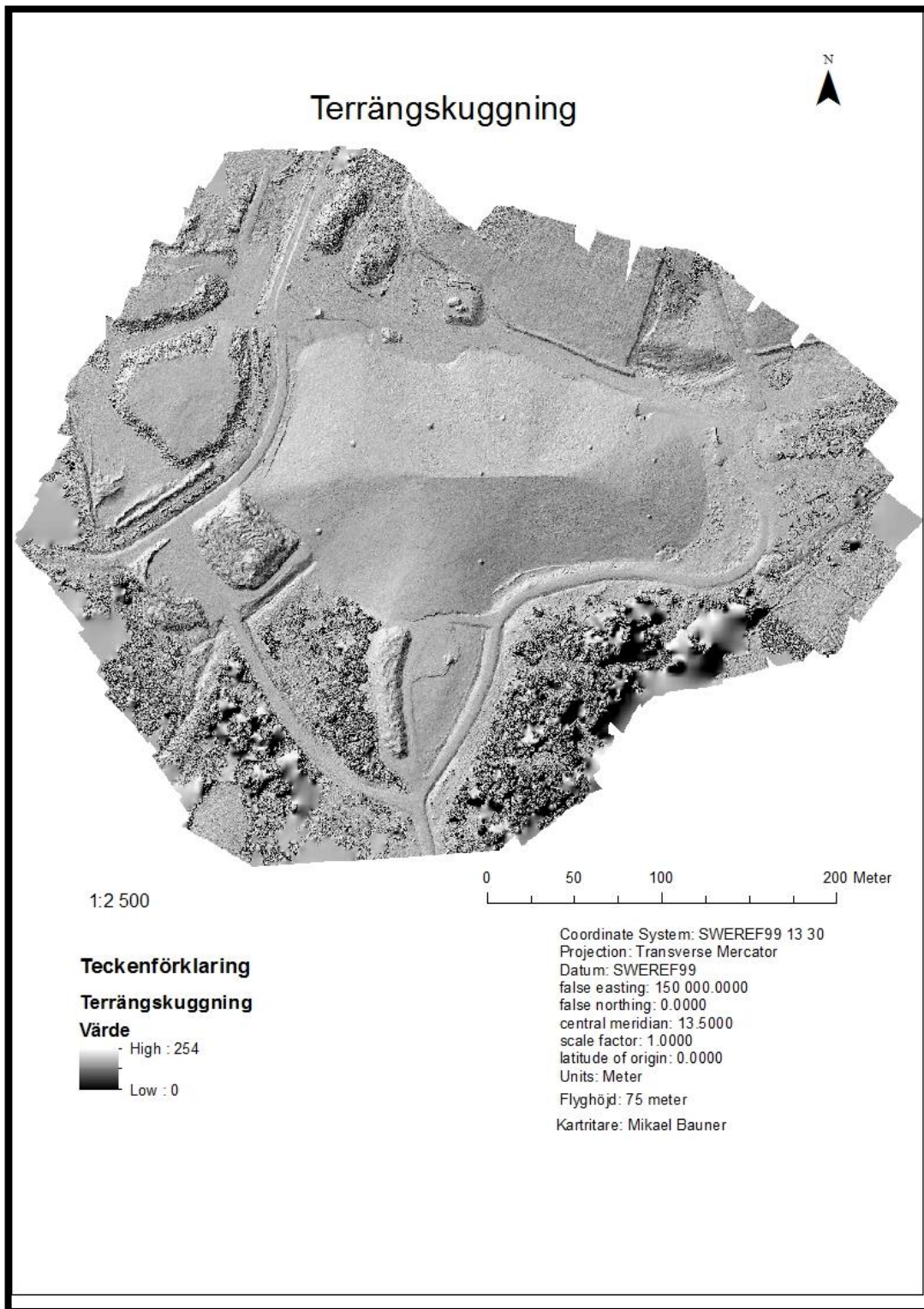
Värde

Plant (-1)
Norr (0-22.5)
Nordöst (22.5-67.5)
Öst (67.5-112.5)
Sydöst (112.5-157.5)
Syd (157.5-202.5)
Sydväst (202.5-247.5)
Väst (247.5-292.5)
Nordväst (292.5-337.5)
Norr (337.5-360)

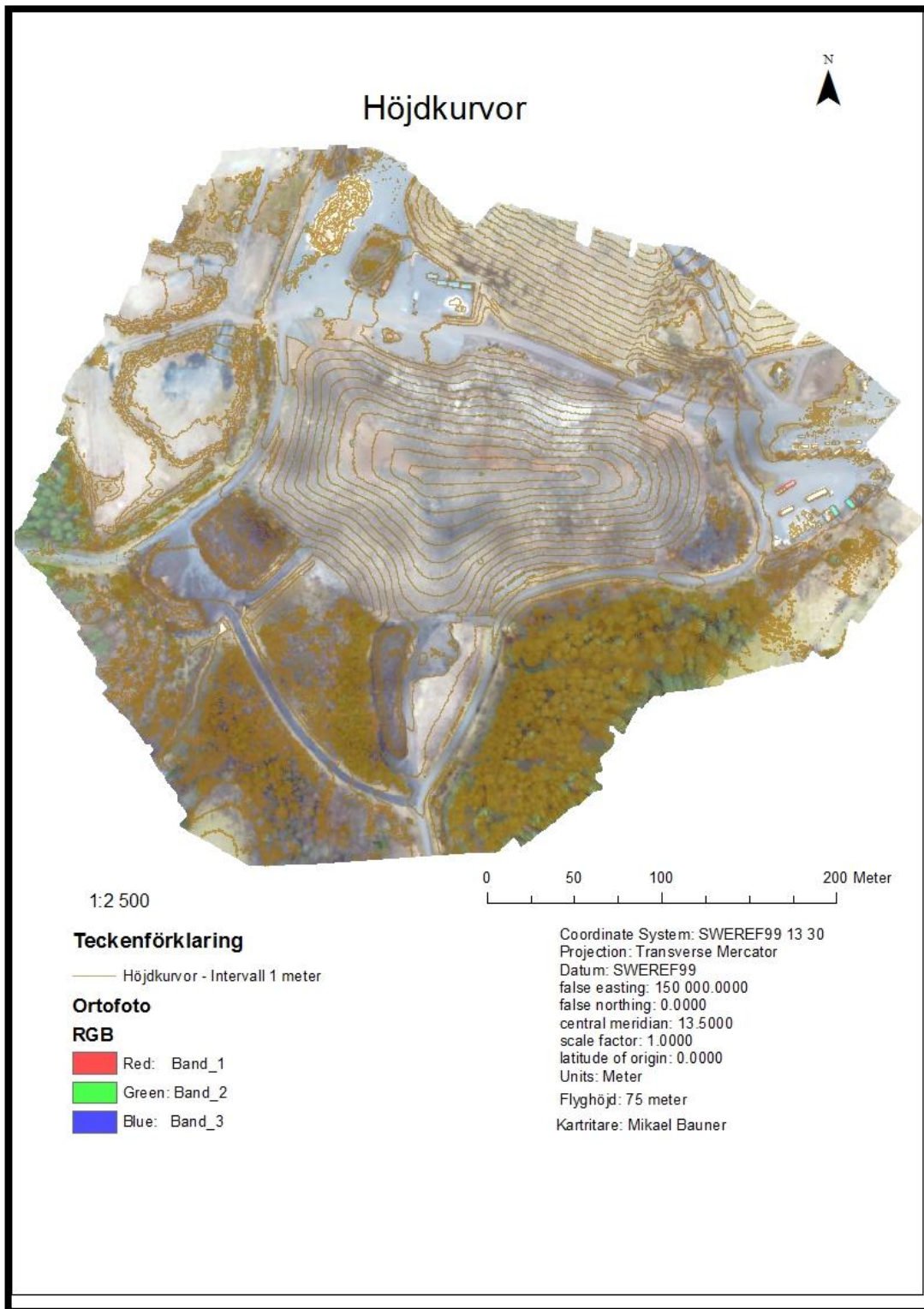
0 50 100 200 Meter

Coordinate System: SWEREF99 13 30
Projection: Transverse Mercator
Datum: SWEREF99
false easting: 150 000.0000
false northing: 0.0000
central meridian: 13 5000
scale factor: 1.0000
latitude of origin: 0.0000
Units: Meter
Flyghöjd: 75 meter
Kartritäre: Mikael Bauner

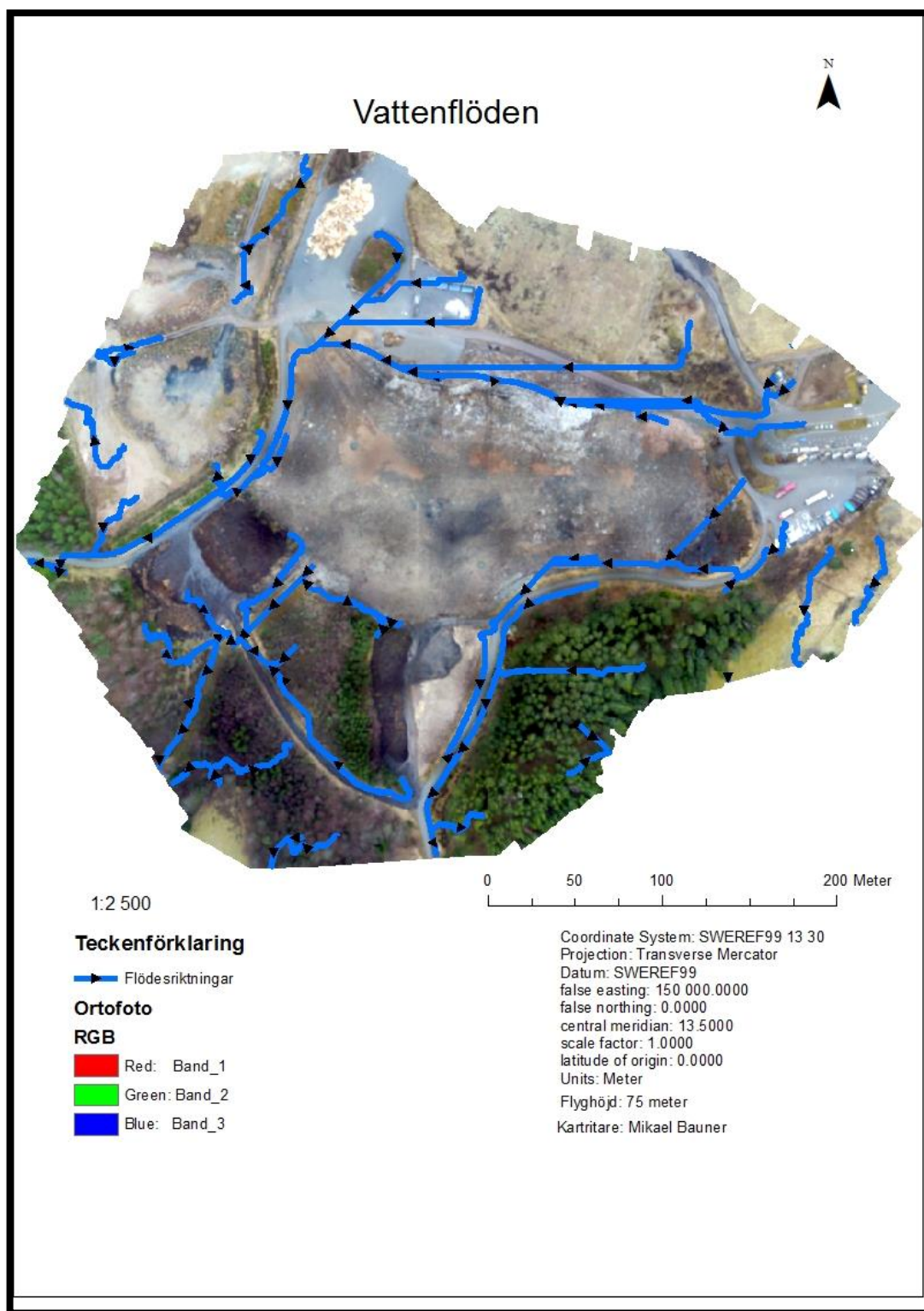
I kartan ovan visas väderstreck/ riktningar för terrängens lutningar.



I kartan ovan visas en terrängskuggning som är en representation av solens relativa position vid skuggning av bilden.

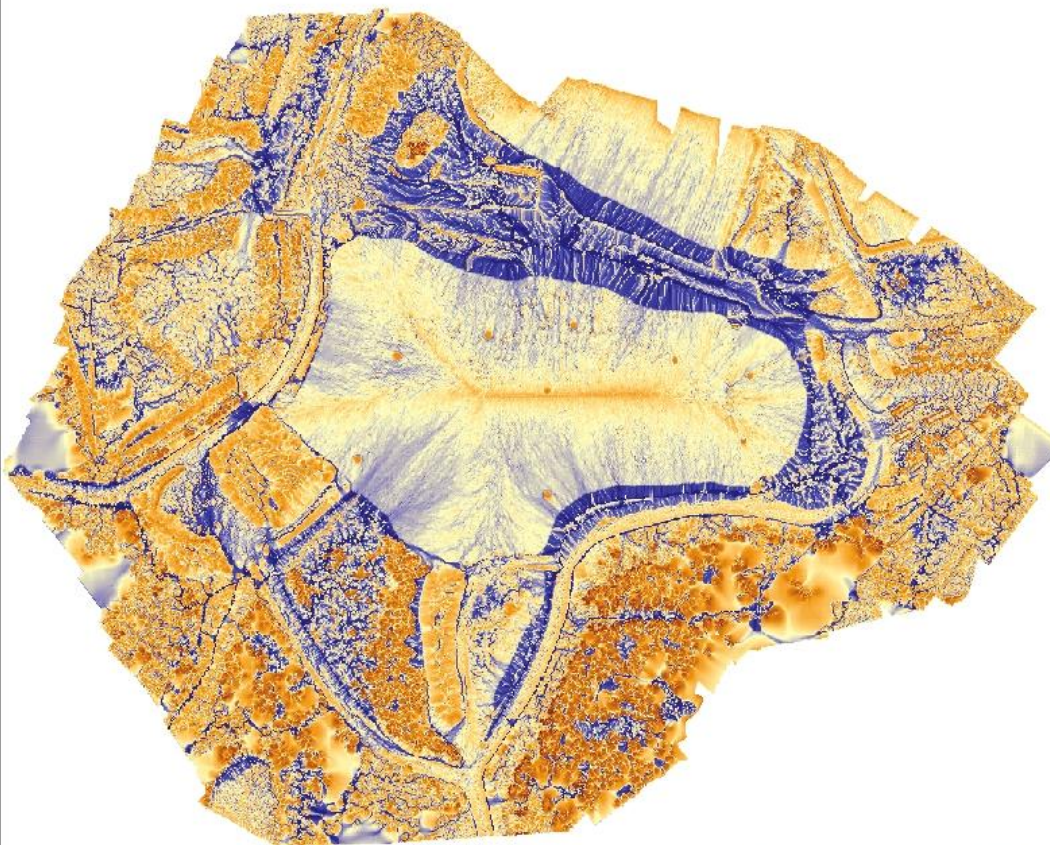


I kartan ovan visas höjdkurvor med ett intervall på 1 meter mellan linjerna.

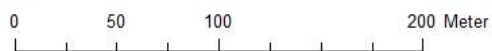


I kartan ovan visas vattenflöden och dess riktningar.

TWI - Topografiskt fuktighetsindex



1:2 500



Teckenförklaring

Fuktighetsindex

Value



Coordinate System: SWEREF99 13 30
Projection: Transverse Mercator
Datum: SWEREF99
false easting: 150 000.0000
false northing: 0.0000
central meridian: 13 5000
scale factor: 1.0000
latitude of origin: 0.0000
Units: Meter
Flyghöjd: 75 meter
Kartritäre: Mikael Bauner

I kartan ovan visas markfuktigheten, en modell som är baserad på terrängmodellens lutningar och flöden(SAGA).

Bilaga 3 Kontrollpunkters höjder mot höjdvärden från flygningar

Flyghöjd 50 meter

PunktID	N	E	Z	Typ	3D	Rastervärde	ΔH (meter)
10	6340091.196	178533.529	182.992	7MarkH	0.001	182.9430237	0.049
11	6340091.002	178534.023	182.987	7MarkH	0.002	182.9505768	0.036
12	6340090.896	178534.492	182.989	7MarkH	0.003	182.9467621	0.042
13	6340090.739	178534.98	182.996	7MarkH	0.004	182.94841	0.048
14	6340090.568	178535.457	183.001	7MarkH	0.004	182.9502869	0.051
15	6340091.016	178535.6	182.997	7MarkH	0.002	182.9524078	0.045
16	6340091.204	178535.105	183.003	7MarkH	0.002	182.9594421	0.044
17	6340091.319	178534.665	182.996	7MarkH	0.003	182.9558868	0.040
18	6340091.461	178534.196	182.987	7MarkH	0.003	182.9473724	0.040
19	6340091.628	178533.693	182.98	7MarkH	0.004	182.9492493	0.031
20	6340092.098	178533.875	182.991	7MarkH	0.004	182.9528046	0.038
21	6340091.936	178534.349	182.996	7MarkH	0.002	182.9585114	0.037
22	6340091.792	178534.827	182.996	7MarkH	0.002	182.9582672	0.038
23	6340091.67	178535.281	182.998	7MarkH	0.001	182.956604	0.041
24	6340091.488	178535.757	182.999	7MarkH	0.004	182.9616241	0.037
25	6340091.971	178535.892	183.003	7MarkH	0.002	182.9695129	0.033
26	6340092.16	178535.434	182.991	7MarkH	0.002	182.9680328	0.023
27	6340092.272	178534.979	182.982	7MarkH	0.002	182.9712524	0.011
28	6340092.399	178534.493	182.985	7MarkH	0.003	182.9610291	0.024
29	6340092.56	178534.036	182.989	7MarkH	0.002	182.9602661	0.029
30	6340093.08	178534.156	182.994	7MarkH	0.001	182.9629822	0.031
31	6340092.89	178534.641	183.002	7MarkH	0.001	182.9618225	0.040
32	6340092.75	178535.118	182.994	7MarkH	0.001	182.9767151	0.017
33	6340092.585	178535.584	183.008	7MarkH	0.002	182.9700317	0.038
34	6340092.432	178536.063	183.01	7MarkH	0.002	182.9724731	0.038
						Medelavvikelse	0.036
						Min	0.011
						Max	0.051
						Kvadratisk medelvärde (RMS)	0.037

Flyghöjd 75 meter

PunktID	N	E	Z	Typ	3D	Rastervärde	ΔH (meter)
10	6340091.196	178533.529	182.992	7MarkH	0.001	182.9453735	0.047
11	6340091.002	178534.023	182.987	7MarkH	0.002	182.9583588	0.029
12	6340090.896	178534.492	182.989	7MarkH	0.003	182.9309845	0.058
13	6340090.739	178534.98	182.996	7MarkH	0.004	182.961319	0.035
14	6340090.568	178535.457	183.001	7MarkH	0.004	182.9418335	0.059
15	6340091.016	178535.6	182.997	7MarkH	0.002	182.9354248	0.062
16	6340091.204	178535.105	183.003	7MarkH	0.002	182.960144	0.043
17	6340091.319	178534.665	182.996	7MarkH	0.003	182.9338684	0.062
18	6340091.461	178534.196	182.987	7MarkH	0.003	182.9419098	0.045
19	6340091.628	178533.693	182.98	7MarkH	0.004	182.9361115	0.044
20	6340092.098	178533.875	182.991	7MarkH	0.004	182.9617157	0.029
21	6340091.936	178534.349	182.996	7MarkH	0.002	182.9700165	0.026
22	6340091.792	178534.827	182.996	7MarkH	0.002	182.9604492	0.036
23	6340091.67	178535.281	182.998	7MarkH	0.001	182.9736786	0.024
24	6340091.488	178535.757	182.999	7MarkH	0.004	182.9567719	0.042
25	6340091.971	178535.892	183.003	7MarkH	0.002	182.9745636	0.028
26	6340092.16	178535.434	182.991	7MarkH	0.002	182.9516144	0.039
27	6340092.272	178534.979	182.982	7MarkH	0.002	182.9616699	0.020
28	6340092.399	178534.493	182.985	7MarkH	0.003	182.9780884	0.007
29	6340092.56	178534.036	182.989	7MarkH	0.002	182.964798	0.024
30	6340093.08	178534.156	182.994	7MarkH	0.001	182.9697113	0.024
31	6340092.89	178534.641	183.002	7MarkH	0.001	182.9589233	0.043
32	6340092.75	178535.118	182.994	7MarkH	0.001	182.9785919	0.015
33	6340092.585	178535.584	183.008	7MarkH	0.002	182.9606018	0.047
34	6340092.432	178536.063	183.01	7MarkH	0.002	182.9681549	0.042
						Medelavvikelse	0.037
						Min	0.007
						Max	0.062
						Kvadratisk medelvärde (RMS)	0.040

Flyghöjd 100 meter

PunktID	N	E	Z	Typ	3D	Rastervärde	ΔH (meter)
10	6340091.196	178533.529	182.992	7MarkH	0.001	182.9220123	0.070
11	6340091.002	178534.023	182.987	7MarkH	0.002	182.9320526	0.055
12	6340090.896	178534.492	182.989	7MarkH	0.003	182.920929	0.068
13	6340090.739	178534.98	182.996	7MarkH	0.004	182.9433289	0.053
14	6340090.568	178535.457	183.001	7MarkH	0.004	182.9396515	0.061
15	6340091.016	178535.6	182.997	7MarkH	0.002	182.9366608	0.060
16	6340091.204	178535.105	183.003	7MarkH	0.002	182.9640961	0.039
17	6340091.319	178534.665	182.996	7MarkH	0.003	182.963501	0.032
18	6340091.461	178534.196	182.987	7MarkH	0.003	182.9299164	0.057
19	6340091.628	178533.693	182.98	7MarkH	0.004	182.916626	0.063
20	6340092.098	178533.875	182.991	7MarkH	0.004	182.9103699	0.081
21	6340091.936	178534.349	182.996	7MarkH	0.002	182.9589386	0.037
22	6340091.792	178534.827	182.996	7MarkH	0.002	182.9475555	0.048
23	6340091.67	178535.281	182.998	7MarkH	0.001	182.9686584	0.029
24	6340091.488	178535.757	182.999	7MarkH	0.004	182.9432373	0.056
25	6340091.971	178535.892	183.003	7MarkH	0.002	182.9511108	0.052
26	6340092.16	178535.434	182.991	7MarkH	0.002	182.9524078	0.039
27	6340092.272	178534.979	182.982	7MarkH	0.002	182.9763184	0.006
28	6340092.399	178534.493	182.985	7MarkH	0.003	182.9673615	0.018
29	6340092.56	178534.036	182.989	7MarkH	0.002	182.9421234	0.047
30	6340093.08	178534.156	182.994	7MarkH	0.001	182.9514923	0.043
31	6340092.89	178534.641	183.002	7MarkH	0.001	182.9636688	0.038
32	6340092.75	178535.118	182.994	7MarkH	0.001	182.9723969	0.022
33	6340092.585	178535.584	183.008	7MarkH	0.002	182.9482574	0.060
34	6340092.432	178536.063	183.01	7MarkH	0.002	182.9457245	0.064
						Medelavvikelse	0.048
						Min	0.006
						Max	0.081
						Kvadratisk medelvärde (RMS)	0.051

Flyghöjd 120 meter

PunktID	N	E	Z	Typ	3D	Rastervärde	ΔH (meter)
10	6340091	178533.5	182.992	7MarkH	0.001	182.8142548	0.178
11	6340091	178534	182.987	7MarkH	0.002	182.8276367	0.159
12	6340091	178534.5	182.989	7MarkH	0.003	182.8588867	0.130
13	6340091	178535	182.996	7MarkH	0.004	182.8295288	0.166
14	6340091	178535.5	183.001	7MarkH	0.004	182.849411	0.152
15	6340091	178535.6	182.997	7MarkH	0.002	182.8747711	0.122
16	6340091	178535.1	183.003	7MarkH	0.002	182.8538818	0.149
17	6340091	178534.7	182.996	7MarkH	0.003	182.8509216	0.145
18	6340091	178534.2	182.987	7MarkH	0.003	182.8559723	0.131
19	6340092	178533.7	182.98	7MarkH	0.004	182.9185486	0.061
20	6340092	178533.9	182.991	7MarkH	0.004	182.9011993	0.090
21	6340092	178534.3	182.996	7MarkH	0.002	182.8826599	0.113
22	6340092	178534.8	182.996	7MarkH	0.002	182.8482361	0.148
23	6340092	178535.3	182.998	7MarkH	0.001	182.8694763	0.129
24	6340091	178535.8	182.999	7MarkH	0.004	182.8896942	0.109
25	6340092	178535.9	183.003	7MarkH	0.002	182.8894043	0.114
26	6340092	178535.4	182.991	7MarkH	0.002	182.8655396	0.125
27	6340092	178535	182.982	7MarkH	0.002	182.8939514	0.088
28	6340092	178534.5	182.985	7MarkH	0.003	182.8817291	0.103
29	6340093	178534	182.989	7MarkH	0.002	182.8854065	0.104
30	6340093	178534.2	182.994	7MarkH	0.001	182.8717346	0.122
31	6340093	178534.6	183.002	7MarkH	0.001	182.878891	0.123
32	6340093	178535.1	182.994	7MarkH	0.001	182.8921661	0.102
33	6340093	178535.6	183.008	7MarkH	0.002	182.9027557	0.105
34	6340092	178536.1	183.01	7MarkH	0.002	182.9051361	0.105
						Medelavvikelse	0.123
						Min	0.061
						Max	0.178
						Kvadratisk medelvärde (RMS)	0.126

Lantmäteriets flygdata, flyghöjd 2500 meter

PunktID	N	E	Z	Typ	3D	Rastervärde	ΔH (meter)
10	6340091.196	178533.529	182.992	7MarkH	0.001	182.7400055	0.252
11	6340091.002	178534.023	182.987	7MarkH	0.002	182.7400055	0.247
12	6340090.896	178534.492	182.989	7MarkH	0.003	182.8000031	0.189
13	6340090.739	178534.98	182.996	7MarkH	0.004	182.8000031	0.196
14	6340090.568	178535.457	183.001	7MarkH	0.004	182.9799957	0.021
15	6340091.016	178535.6	182.997	7MarkH	0.002	183.0200043	-0.023
16	6340091.204	178535.105	183.003	7MarkH	0.002	183.0200043	-0.017
17	6340091.319	178534.665	182.996	7MarkH	0.003	182.7400055	0.256
18	6340091.461	178534.196	182.987	7MarkH	0.003	182.7400055	0.247
19	6340091.628	178533.693	182.98	7MarkH	0.004	182.7400055	0.240
20	6340092.098	178533.875	182.991	7MarkH	0.004	182.7400055	0.251
21	6340091.936	178534.349	182.996	7MarkH	0.002	182.7400055	0.256
22	6340091.792	178534.827	182.996	7MarkH	0.002	182.7400055	0.256
23	6340091.67	178535.281	182.998	7MarkH	0.001	183.0200043	-0.022
24	6340091.488	178535.757	182.999	7MarkH	0.004	183.0200043	-0.021
25	6340091.971	178535.892	183.003	7MarkH	0.002	183.0200043	-0.017
26	6340092.16	178535.434	182.991	7MarkH	0.002	183.0200043	-0.029
27	6340092.272	178534.979	182.982	7MarkH	0.002	182.7400055	0.242
28	6340092.399	178534.493	182.985	7MarkH	0.003	182.7400055	0.245
29	6340092.56	178534.036	182.989	7MarkH	0.002	182.7400055	0.249
30	6340093.08	178534.156	182.994	7MarkH	0.001	182.6999969	0.294
31	6340092.89	178534.641	183.002	7MarkH	0.001	182.7400055	0.262
32	6340092.75	178535.118	182.994	7MarkH	0.001	183.0200043	-0.026
33	6340092.585	178535.584	183.008	7MarkH	0.002	183.0200043	-0.012
34	6340092.432	178536.063	183.01	7MarkH	0.002	183.0200043	-0.010
						Medelavvikelse	0.141
						Min	-0.029
						Max	0.294
						Kvadratisk medelvärde (RMS)	0.191