

Flygfotografering vid Juvuln, Tibrandshögen och Odensala

– en metodstudie för användning av drönare
i kulturmiljövård och arkeologi

Karl-Johan Olofsson



RAPPORT – JAMTLI 2022:1
ISSN 1654-2045

Utgivning och distribution:
Jamtli
Box 709
831 28 Östersund
Tel. 063 - 15 01 00

© Jamtli 2022

Redigering och layout av framsida: Lena Ljungkvist
Bilder: Karl-Johan Olofsson

Jamtli medger spridning av dokumentationsmaterialet med Creative Commons-licensen
CC BY, undantaget Lantmäteriets kartor samt annat upphovsrättsskyddat material.

Länsstyrelsens diarienummer: 436-7645-2020

ISSN 1654-2045

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
Bakgrund.....	1
Syfte	1
Frågeställning	2
Projektets genomförande och resultat.....	2
Inledande tester och utprovning av metod	2
Flygningar vid Juvuln	9
Dokumentation av Tibrandshögen	15
Flygningarna i Odensala	20
Slutsatser	23
Sammanställning av utrustning och mjukvaror	24
Nyttiga länkar för vidare läsning.....	24

Sammanfattning

Tanken med detta projekt var från början att dokumentera lämningar på stränder. Efter ett haveri med drönaren fick planerna ändras till att bli ett mera allmänt projekt för dokumentation av lämningar. Det har visat sig att metoden är mycket användbar för dokumentation av lämningar med en storlek av cirka 1 meter och större. Metoden Jamtli använt innefattar skapandet av georefererad ortomosaik, fotogrammetri och skapandet av 3D-modeller.

Bakgrund

Drönare (UAV) har kommit att bli ett användbart verktyg inom flera områden där det är nödvändigt att snabbt kunna dokumentera stora ytor. Ett exempel är skogsbruket där drönare används till att dokumentera skogliga åtgärder. Ett annat exempel är jordbruket där de används för att inspektera grödor. Drönare har även använts till att lokalisera skogsbränder samt att dokumentera skadorna efter bränderna. Att använda drönare är ett effektivt sätt att snabbt få kunskap om tillståndet i ett område.

Jamtli vill utveckla metoder för att kunna använda drönare i kulturmiljövården. I detta projekt är syftet att snabbt och enkelt kunna finna fornlämningar genom att fotografera stora ytor med drönare och sedan analysera fotografierna. Att finna fornlämningar i skogsmark med denna teknik bedöms som mycket svår men i andra miljöer borde den vara användbar.

Ett förslag på miljö där fornlämningar borde framträda bra på flygfoto är i vattenmagasin med lågt vattenstånd. Ett av vattenmagasinen i Jämtlands län är Juvuln i Åre kommun. Vid lågvatten är stora ytor, som vanligtvis är överdämda, synliga. En del av stränderna kring Juvuln ingår i 2021 års revideringsinventeringsområde.

Området fornminnesinventerades första gången 1975 och i området vid och i närheten av Juvuln hittades då bland annat stenåldersboplatser, skogsgravfält, slaggförekomster och fångstgropar. Vid korttidsregleringen av Juvuln 1978 utfördes en inventering av området under sommaren 1979. Runt sjön, på strandplanet och i anslutning till detta, hittades bland annat stenåldersboplatser, skärvtensförekomster, fångstgropar, och fyndplatser. Utöver detta finns det muntliga uppgifter på stenringar, härdar och annat som idag ska vara överdämda.

Jamtli beviljades bidrag till detta projekt av Länsstyrelsen i Jämtlands län, dnr. 436-7645-2020.

Syfte

Syftet med projektet var att med hjälp av drönare fotografera utvalda delar av stränderna vid Juvuln vid lågvatten för att eventuellt finna flera platser med förhistoriska lämningar. Lämningstyper så som härdar, hyddbottnar, gravar och kanske även skärvtsten borde gå att återfinna med denna metod. Syftet var även att kunna utvärdera denna metod jämfört med traditionell inventering av stränder med avseende på tidsåtgång, effektivitet och resultat. Oftast är det kort om tid att utföra en inspektion av stränder eftersom vattennivån snabbt kan stiga.

På grund av olyckliga omständigheter fick det ursprungliga syftet justeras till att gälla användandet av drönare även vid andra arkeologiska arbeten.

Frågeställning

Är inventering med drönare en metod som fungerar eller är traditionell inventering att föredra? På vilket sätt kan drönare användas i andra arbeten rörande arkeologi eller kulturmiljövård? Vilken data och information kan produceras av flygbilder tagna med drönare?

Projektets genomförande och resultat

Inledande tester och utprovning av metod

Eftersom ingen erfarenhet fanns på Jamtli att dokumentera lämningar med drönare var det nödvändigt att göra en del experiment innan fältdokumentationen kunde påbörjas. De första funderingarna var om det skulle filmas alternativt fotograferas. Fördelen med film är att det är relativt enkelt att skicka upp drönaren och filma av ett område. Problemet är efterarbetet. Den som analyserar filmen måste vara mycket alert och vaksam på det som dyker upp i filmen. Om eventuella lämningar upptäcks på filmen visar det inte exakt vart lämningarna är belägna, vilket skapar osäkerhet. En film är inte koordinatsatt och är det då ett stort område som dokumenterats måste arbete läggas på att försöka finna platserna på en karta vilket kan skapa oprecisa lägesangivelser. Vidare kan inte en film användas för skapande av 3D-modeller. Eftersom allt inventeringsarbete utförs med GIS, där användning av ortofoton är det vanliga, föll det sig naturligt att gå vidare med fotografering. Flygbilder från drönaren är koordinatsatta vilket gör att eventuella lämningars lägen hamnar rätt i GIS. Nästa steg var att prova ut olika mjukvaror.

De krav som ställdes på drönarens mjukvara från början var att det skulle gå att planera in drönarens flygstråk eller fotoområde innan flygningen. Det finns ett flertal sådana program och det första som provades var PrecisionFlight for DJI Drones. Det visade sig vara väldigt lättanvänt och det gick enkelt att skapa en rutt för flygfotografering. Vid testande av detta program kom önskemålet om att kunna skapa rutter utifrån shp-filer. Detta program kunde inte det utan rutterna skapades direkt på plats i surfplattan genom att rita upp ett område med fingret på skärmen. Bakgrundskartan i programmet är Google maps vilket har en ganska låg upplösning och därmed dålig precision. Områdena blev ganska grova och oprecisa till sin utbredning med detta förfarande.

Nästa program som testades var DroneDeploy - Mapping for DJI. Detta program har fördelen att kunna importera shp-filer via en plugin. Genom denna funktion kunde flygfotograferingsområdet planeras i ArcMap och med betydligt bättre bakgrundskartor från Lantmäteriet.

Arbetsgången blev således att området skapades i GIS och shp-filerna laddades sedan upp i DroneDeploys molntjänst. I den webbaserade molntjänsten går det sedan ställa in olika parametrar så som flyghöjd, kamera, startpunkter, etcetera. DroneDeploys molntjänst synkas sedan till fältsurfplattan.

När valet av applikation var gjort och arbetsgången utredd uppstod ett antal andra frågor. Vad är möjligt att se på en flygbild? Vilken flyghöjd är lämplig med tanke på kamerans upplösning? Hur många bilder är det optimala för att få en acceptabel tidsåtgång vid efterbearbetningen men samtidigt behålla kvalitet? Hur stora områden går att fotografera utan att behöva byta batterier?

Jamtis drönare är en DJI Inspire 2 som är utrustad med kameran Zenmuse X4S. Kameran har en 1 tums sensor med 20 Mpixel upplösning, samt en fast monterad optik med 24 mm brännvidd (motsvarande 35 mm kamera). En viktig parameter vid flygfotografering är GSD (ground sample distance/upplösning per pixel). Ett lägre GSD ger en högre upplösning vilket ger en bättre bild.

Tabell 1.

Låg GSD	Hög GSD
Hög noggrannhet	Låg noggrannhet
Lägre flyghöjd	Högre flyghöjd
Längre flygtid	Kortare flygtid
Mera data att efterbearbeta	Mindre data att efterbearbeta

GSD är direkt relaterat till antalet pixlar i en enda bild. Med en högupplöst 42 Mpixel-sensor går det att flyga 1,5 gånger högre och den täcker 1,5 gånger mer mark samtidigt som en 20 Mpixel-sensor flyger med samma GSD-inställning. Eller med andra ord, en högupplöst 42 Mpixel-sensor på samma flyghöjd som en 20 Mpixel-sensor innebär att det blir en betydligt lägre GSD, vilket resulterar i en mera högupplöst bild.

I programmet DroneDeploy - Mapping for DJI går det kontrollera GSD (fig.1). De flesta flygningarna i projektet har gjorts med 1,0 cm/px. Det finns även onlinekalkylatorer för att beräkna GSD, exempelvis <https://www.propelleraero.com/gsd-calculator/>. Där går det att välja drönarmodell/kamera och flyghöjd för att se vilken GSD det blir. En bra och ganska enkel guide för den som vill sätta sig in i flygfotografering med drönare finns här: https://www.wildlabs.net/sites/default/files/community/files/drones_for_gis_-_best_practice_v2.0.pdf.



Figur 1. Inställningar i DroneDeploy - Mapping for DJI.

Eftersom ambitionen var att i bästa fall kunna finna skärvsten med denna metod kunde inte flyghöjden vara för hög. I Italien har försök gjorts med drönare för att hitta keramik i plöjda åkrar. Där valdes flyghöjden till 3 meter: "After several tests a height of 3 m above ground was selected, which was considered sufficient to clearly identify ceramics on the field." (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440319301001>). Det stod snart klart att en sådan låg flyghöjd på strandplan skulle medföra problem. Dels skulle buskar och annan vegetation ställa till det, dels anades att det skulle bli en orimlig mängd bilder.

Ett första försök gjordes över åkermark. Området var ca 4000 m² stort och flyghöjden valdes till 10 meter. Denna flygning visade direkt på problemet med störande vegetation. Eftersom drönaren är utrustad med sensorer för att förhindra den från att flyga in i objekt stannade den i närheten av åkerkanten där låga träd och buskar var belägna. Drönaren fick flygas tillbaka manuellt till startpunkten. Ett annat problem som uppdagades vid denna flygning var att batterierna i drönaren räckte precis för att göra denna flygning. Förvisso flyger drönaren tillbaka till startpunkten om batterinivån blir för låg och det går att byta batterier för att sedan återuppta flygningen och fotograferingen där den slutade med automatik. Dock är det ett onödigt moment som bör undvikas.

Flygningen på 10 meter resulterade i 357 bilder som sedan skulle monteras ihop till en georefererad ortomosaik. Eftersom vana finns att arbeta i ArcGisPro valdes detta program för uppgiften. Efterbearbetningen av de 357 bilderna tog ungefär 4 timmar. Tidsåtgången för efterbearbetningen är beroende av vilken hårdvara datorn har. I detta fall användes en Dell Precision 3551 laptop med processorn I7-10750H CPU @ 2.60GHz och 16,0 GB arbetsminne. De faktorer som påverkar tiden för efterbearbetning beror således på antalet bilder och vilken dator som används. I detta fall genomfördes flygningen på för låg höjd vilket resulterade i stor förbrukning av batterier, extremt många bilder som tar lång tid att efterbearbeta.

Nästa försök gjordes i samma område och med samma storlek, ca 4000 m², men flyghöjden ändrades till 20 meter. Antalet bilder blev 107 och det var ingen fara att batterierna inte skulle räcka till. Efterbearbetningen tog 1 timme i stället för 4 timmar. Figur 2 visar hela testområdet i skala 1:1000 (GIS på skärm). Originalbilden är på 462 MB och är för stor för att kunna visas här.

Drönarens GPS använder sig av WGS 84 och för att få in ortofotot i rikets nät, SWEREF 99 TM, behövs ortofotots referenssystem transformeras. WGS 84 och SWEREF 99 avviker 7-8 dm från varandra. För många GPS-tillämpningar kan WGS 84 och SWEREF 99 betraktas som samma sak. Dock kan problem uppstå i GIS-programmet om inte samma referenssystem används vilket gör transformering nödvändig. Den nedre delen av drönarflygbilden (fig. 2) visar hur väl landsvägen ansluter till Lantmäteriets ortofoto. För bästa upplösning och kvalitet ska ortofotomosaiken betraktas i ett GIS-program.



Figur 2. Översiktsbild. Flyghöjd 20 meter över testområdet. Ortomosaiken från drönaren är mitt i bilden och lagt ovanpå ett ortofoto från Lantmäteriet. Skala 1: 1000 i GIS på skärm.



Figur 3. Detaljbild från samma bild som ovan. Betongplattorna i bilden är 35x35 cm i verkligheten och får samma mått när mätning sker i GIS. Norr om stenplattorna, den pixliga delen, är Lantmäteriets ortofoto. Skala 1:25 i GIS på skärm.

Figur 3 visar tydligt skillnaden i upplösning jämfört med Lantmäteriets ortofoto med en upplösning av 0,4 meter jämfört med ortomosaikens 1,0 cm/px.

När testet på flyghöjd 20 meter var gjort och ortomosaiken var analyserad började en förståelse för vad som var möjligt eller omöjligt att identifiera från bilden att växa fram. Att hitta boplatser bestående av skärvsten och avslag med denna utrustning skulle inte fungera. För det krävs en kamera med högre upplösning. Däremot visade sig själva metoden fungera bra. Betongplattorna i figur 3 gav en hint om vilka lämningar som skulle vara möjliga att identifiera.

Ett test gjordes även med flyghöjden 40 meter vilket resulterade i 50 bilder på samma yta. Efterarbetet i ArcGisPro gick en aning snabbare men kvalitén på bilderna blev lite sämre. Om ambitionen är att kunna identifiera lämningar större än ca 2 meter kan flyghöjden 40 meter vara ett alternativ.

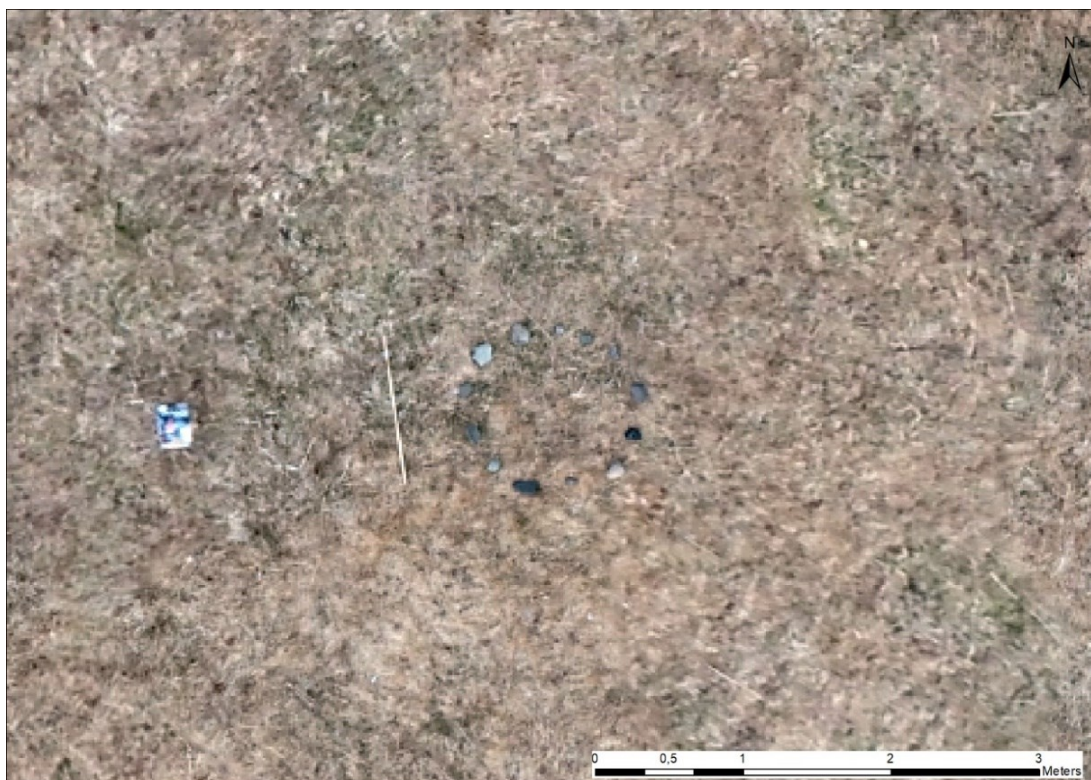
Nästa steg i testerna var att försöka finna ut vilka lämningar som var möjliga att identifiera. Eller med andra ord, hur små kan lämningarna vara för att det med säkerhet går att identifiera dem i ortomosaiken? Redan innan dessa tester stod det klart att skärvsten och avslag inte skulle gå att identifiera utifrån flygbilder med den nuvarande utrustningen. Vid excerperingen av Juvulns stränder framkom en sedan tidigare registrerad lämning med uppgifter om stencirklar på strandplanet. Stencirklarna var beskrivna med en ganska stor diameter och borde därför vara lätta att upptäcka i en ortomosaik. En annan tanke var att det kunde finnas överdämda härdar på strandplanen. Dessa har vanligen en storlek på ca 1 meter. För att testa hur en lämning kan se ut på en ortomosaik skapad med flyghöjden 20 meter och med GSD 1.0 cm/px konstruerades en stencirkel med 1 meter i diameter på åkern. En tumstock placerades invid stencirkeln för att kunna kontrollera skalriktigheten (fig. 5 och 6).

Andra tankar som kommit under de första experimenten var om bildernas format och programvaror för efterbearbetning. Drönaren sparar bilder i både JPG och DNG. Vid de första testerna hade endast JPG-bilderna använts för efterbearbetning. DNG är Adobes RAW-format och innehåller mycket mera information än en JPG-bild. Det borde med andra ord bli en bättre bild som slutresultat om DNG användes. Nu visade det sig att ArcGisPro inte hanterar detta filformat i skapandet av ortomosaik. Ett program som kan hantera DNG och skapa ortomosaik är Agisoft Metashape. Inför försöket att fotografera den konstruerade stencirkeln bestämdes att försök med efterbearbetningen skulle göras både i ArcGisPro med JPG-foton och i Agisoft Metashape med DNG-foton för att se om det var skillnad i kvalitet mellan de olika filformaten.

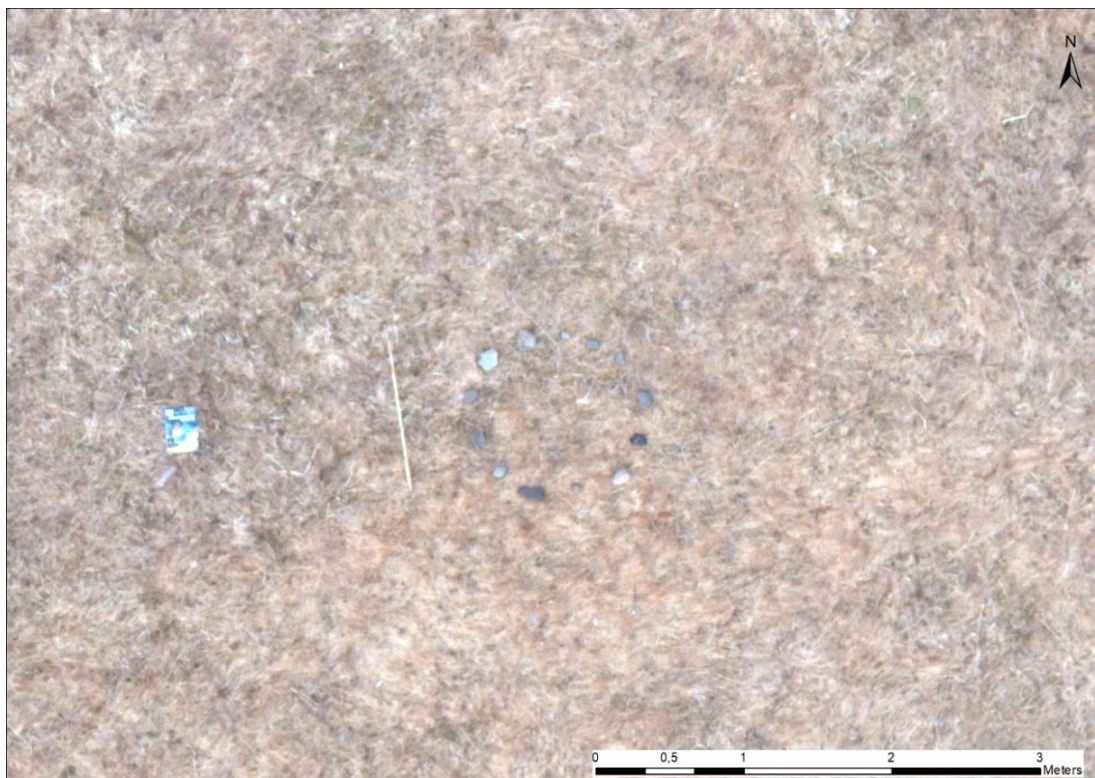
Det totala området där stencirkeln var belägen minskades ner från 4000 m² till 3600 m². Detta för att få ett färre antal bilder och därmed snabba upp efterbearbetningen. DNG är som sagts ovan ett format som innehåller mycket mera information. Som en jämförelse kan nämnas att när en JPG-bild är 8,18 MB stor är motsvarande bild i DNG 38,3 MB.



Figur 4. Översikt över området med stencirkel. Flyghöjd 20 meter. Skala 1:1000 i GIS på skärm.



Figur 5. Stencirkel 1 meter i diam. JPG-bilder bearbetade i ArcGisPro. Flyghöjd 20 meter. Skala 1:25 i GIS på skärm.



Figur 6. Stencirkel 1 meter i diam. DNG-bilder bearbetade i Agisoft Metashape. Flyghöjd 20 meter. Skala 1:25 i GIS på skärm.

Figur 5 och 6 är skapade från samma flygning. Båda bilderna är exporterade i TIF-format från respektive programvara. Figur 6 ger en tydligare bild av stencirkeln men det är inga problem att se den i figur 5. Problemet med figur 6 är att ortomosaiken blir extremt stor, 823 MB, och att tiden för efterbearbetningen blir avsevärt längre. Oromosaiken i figur 5 är 110 MB.

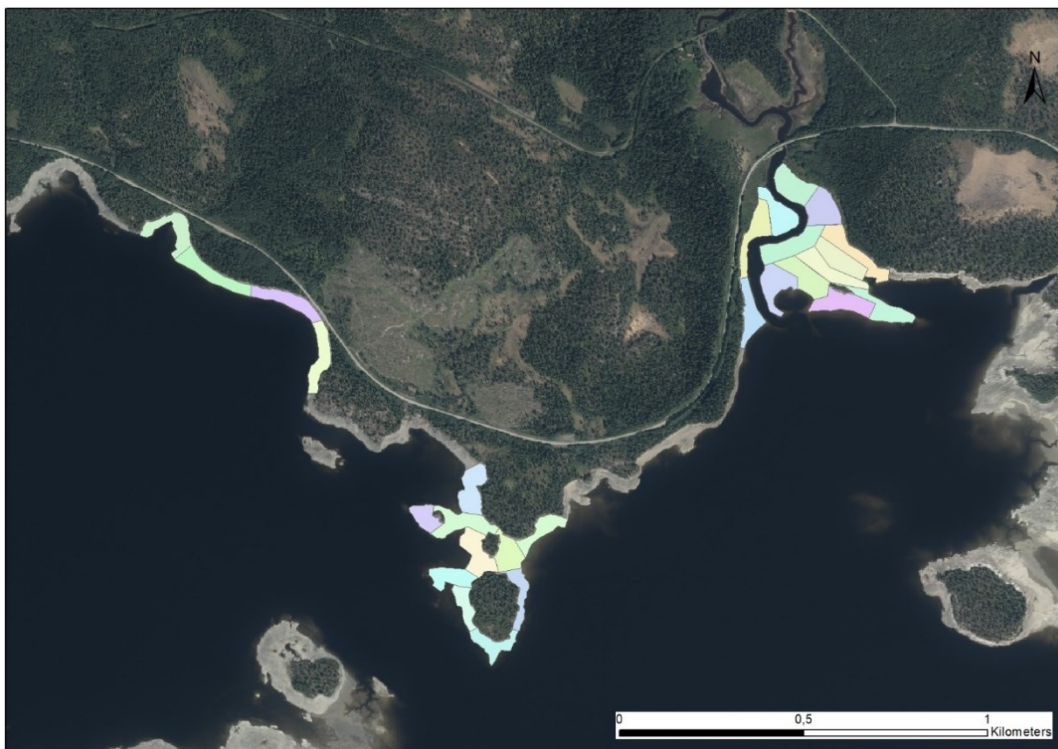
Testet visade att lämningar med en storlek på 1 meter lätt går att identifiera med ruttplanerad drönarfotografering på 20 meters flyghöjd och den utrustning Jamtli har för närvarande. DNG-bilder och Agisoft Metashape skulle kunna gå använda om hårdvaran i datorn som används vid efterbearbetningen vore kraftfullare. Planen var att i fält kunna efterbearbeta bilderna på plats för att sedan kontrollera lämningarna till fots. Detta är inte realistiskt om DNG-bilder och Agisoft Metashape används. Det går åt en hel arbetsdag bara för efterbearbetningen. Fortsättningsvis valdes det att arbetas med ArcGisPro och JPG-bilder trots sämre kvalitet.

Som nämns ovan gjordes stencirkeln på plan gräsbevuxen åkermark vilken gör att den är väldigt enkel att identifiera. Går det lika bra att identifiera en liknande lämning på ett stenigt strandplan? Tanken var nu att bygga en stencirkel i samma storlek, men i en grusgrop full med andra stenar, för att simulera ett strandplan. Tyvärr räckte inte tiden till för detta experiment. Det började bli tid att åka till Juvuln och skarpt läge.

Flygningar vid Juvuln

Ett problem med vattenmagasin är att veta när vattennivån är som lägst. Den 12 juni 2020 inventerade Jamtli första gången vid Juvuln. Magasinet var då fullt och i princip inga strandplan var synliga. Vis av denna erfarenhet kontaktades lokalbefolkning och regleringsföretaget på våren 2021. Nu är det ju inte bara nivån på vattenytan som påverkar synligheten av eventuella lämningar på strandplanen. Strandplanen måste även vara fria från snö och is. Efter information om vatten och is från våra kontakter bestämdes flygningen till den 17 maj. Det visade sig att vattennivån i Juvuln var extremt låg och inte mycket snö och is fanns kvar på stränderna.

Inför fältarbete valdes 3 områden med 27 delområden ut för flygfotografering vid Juvulns stränder. Urvalet grundade sig på tidigare registreringar och erfarenheter på var lämningar oftast är belägna. Områdena skapades som shape-filer i ArcMap för att sedan exporterats till DroneDeploy - Mapping for DJI. Via DroneDeploys molntjänst synkroniserades fältplattan. Shapefilerna gjordes i WGS84 för att passa drönarens GPS. Som underlag för att skapa shape-filerna användes Lantmäteriets ortofoto där strandplanen framträdde tydligt (fig. 7). Områdenas storlek var ungefär mellan 5000 m² och 7500 m². Det är ungefär den storleken på områden som en omgång batterier räcker vid flyghöjden 20 meter.



Figur 7. Översikt över de tre valda huvudområdena och de 27 valda delområdena i olika färger.

Ett portabelt elverk samt extra batterier till drönaren skulle garantera att det skulle vara möjligt att i princip flyga oavbrutet under en arbetsdag. Efter den första flygningen byttes batterierna och de urladdade sattes direkt på laddning. Det fanns även en tanke om att föra över bilderna från drönarens minneskort och lägga in dem i laptoppen på plats för att kunna starta efterbearbetningen så fort som möjligt. Detta kom inte att göras.

Områdena döptes till F1 till F27 och mapparna med bilderna döptes på samma sätt för att hålla ordning på vilka områden bilderna var tagna i. Den första flygfotograferingen utfördes i område F2 som var 7645 m² stort och i område F3 som var 6529 m² stort. Antalet bilder som producerades i område F2 var 408 och i område F3 blev det 356 bilder.



Figur 8. Område F2 och F3 avgränsat med orange respektive blå polygon. Polygon med röd avgränsning är L1947:8307, fornlämningsliknande bildning.

I område F2 och det österut liggande området F3 är L1947:8307, fornlämningsliknande bildning belägen. Enligt tidigare dokumentation skulle den fornlämningsliknande bildningen bestå av sex runda stenkretsar, 1,5–4 meter i diameter.

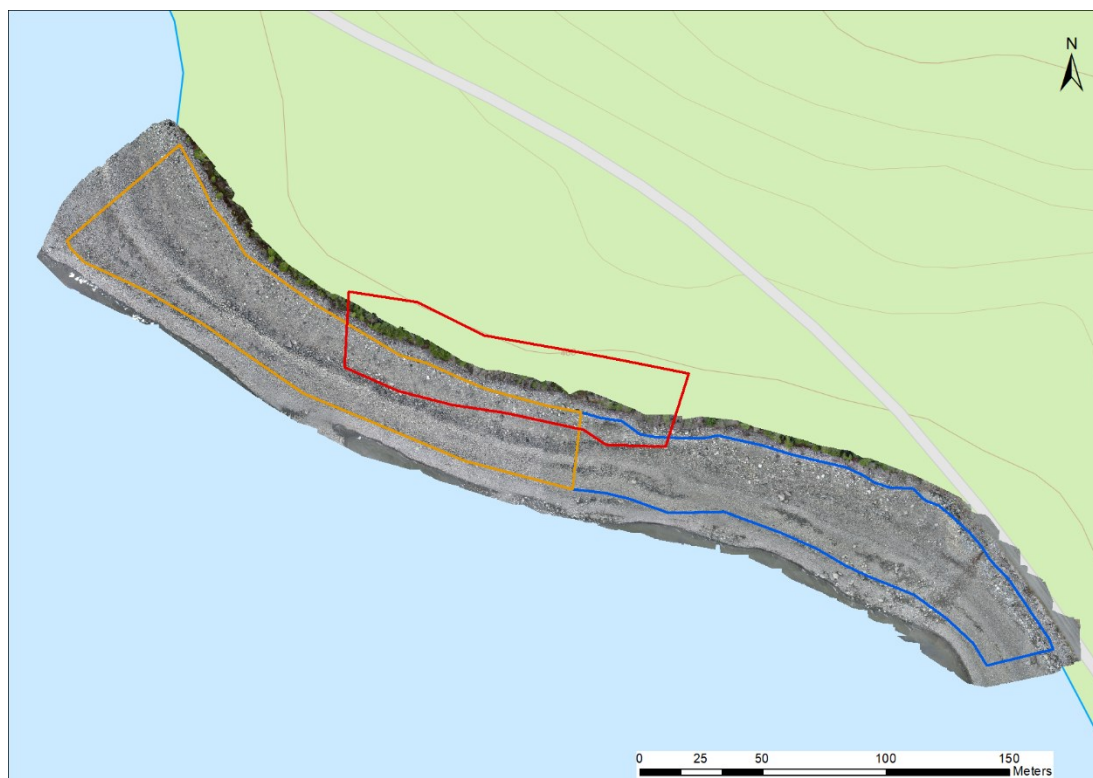


Figur 9. Drönaren över Juvulns stränder.

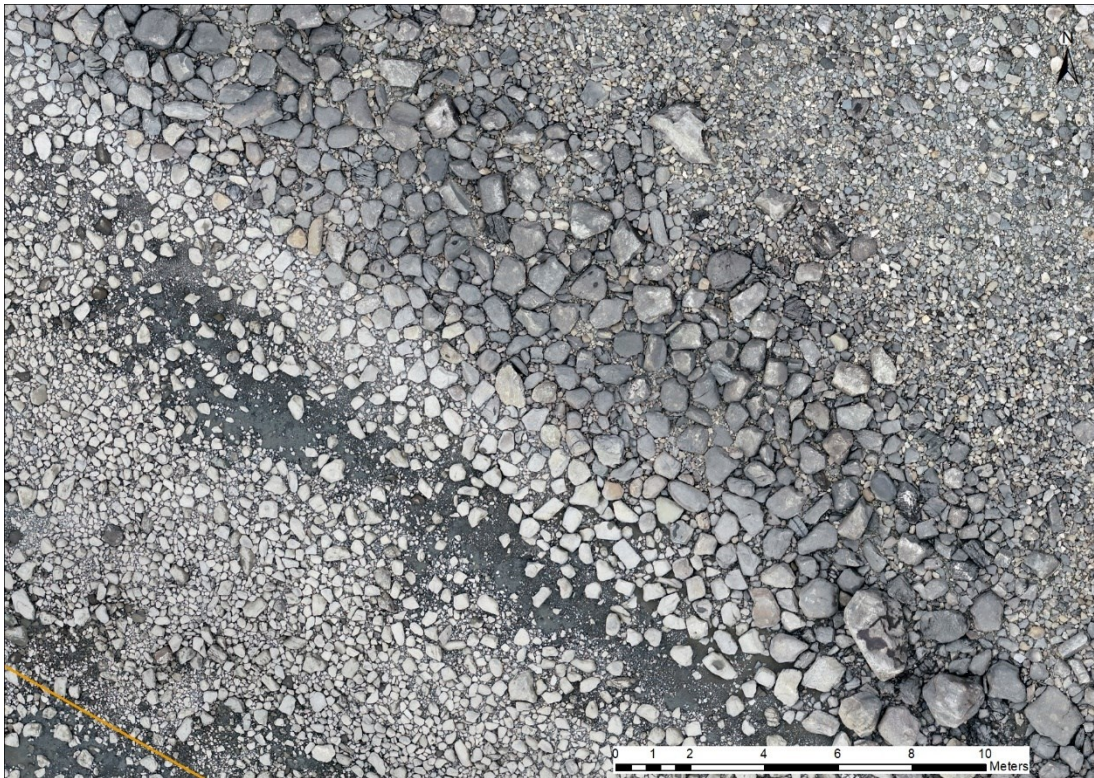
När dessa två områdena var färdigfotograferade gjordes en test med efterbearbetning på plats, det vill säga montera alla bilderna till en ortomosaik. Nu kom det att visa sig att ArcGisPro behöver åtkomst till Internet för att kunna utföra vissa processer i efterbearbetningen. Vid georefereringen använder ArcGisPro LIDAR-data från Esri-online. Försök gjordes med att använda mobiltelefonen och Hot-spot kopplad till datorn, men bandbredden var alldeles för låg vilket resulterade i att efterbearbetningen kraschade. En eventuell lösning på detta problem skulle kunna vara att använda lokala LIDAR-data på datorn vilket gör det möjligt att arbeta utan Internet. Detta har emellertid inte provats.

Nu fick hela arbetsgången tänkas om. Den ursprungliga tanken var att kunna kontrollera flygbilderna direkt på plats genom fältbesök på strandplanen. Ett alternativ som övervägdes var att åka in på kontoret och efterbearbeta bilderna där. Detta alternativ valdes bort på grund av att det skulle ta för lång tid att göra det. Juvulns stränder var framme men för hur lång tid skulle de vara det? Eftersom strandplanen vid Juvuln ändå skulle inventeras i den pågående revideringsinventeringen blev valet att inventera område F2 och F3 innan tillgång på ortomosaiken. Det skulle ändå gå att jämföra vad som är möjligt att identifiera på strandplanen med respektive metod.

Område F2 och F3 inventerades extra noga. Båda områdena gick över tre gånger. Av de sex runda stenkretsar som skulle finnas där återfanns ingen vilket även sedermera bekräftades av ortomosaiken.



Figur 10. Översikt över ortomosaik område F2 (orange) och F3 (blå). L1947:8307 är markerad med röd polygon. Enligt beskrivningen ska L1947:8307 vara belägen på strandplanet. Den äldre inprickningen är således något felinprickad.

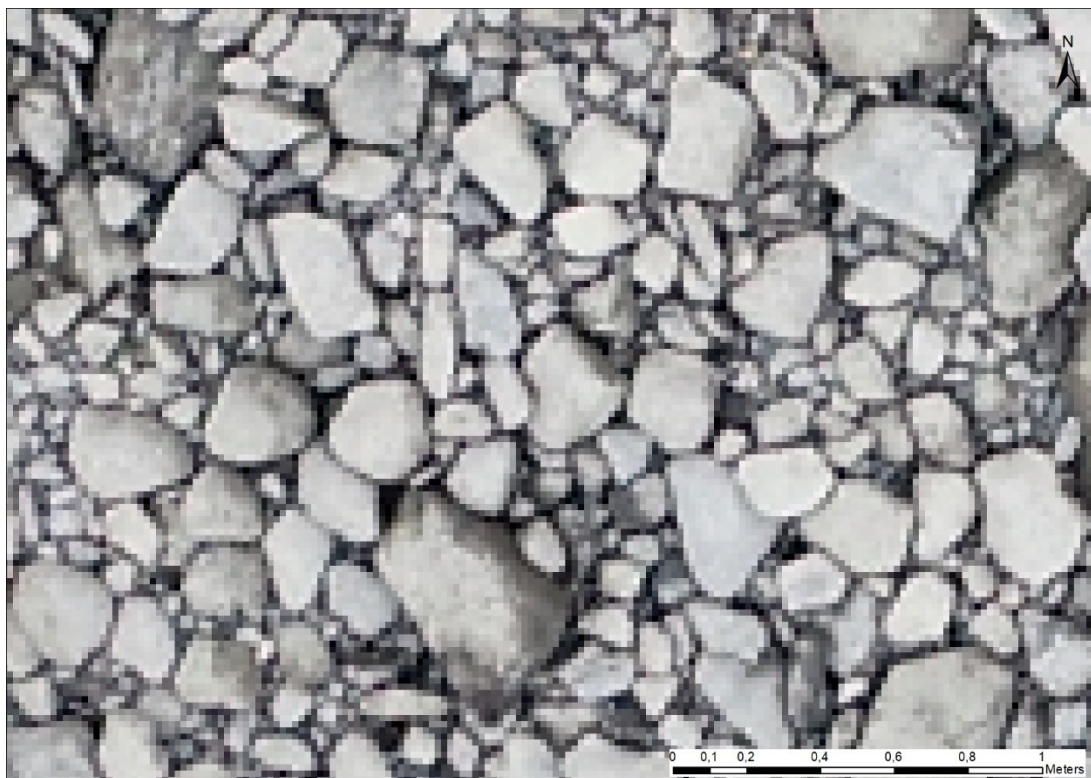


Figur 11. Del av strandplanet i skala 1:100 i GIS på skärm.



Figur 12. Strandplanet i skala 1:30 i GIS på skärm. Den i mitten belägna stenen är ca 2 meter stor.

Som sagts ovan är bilderna i denna rapport är bilderna i något lägre upplösning än när de analyseras i GIS. Vid en närmare inzoomning i GIS än ca 1:25 börjar bilderna bli för pixliga och det blir svårt att urskilja detaljer i bilden.



Figur 13. Strandplanet i skala 1:10 i GIS på skärm.

Det var olyckligt att inga stenkretsar eller andra lämningar kunde återfinnas i detta område, varken vid traditionell inventering eller vid analys av ortomosaiken.

Ett nytt område valdes ut för fotografering. Området var döpt till F15 och i området var sedan tidigare registrerad en boplats med fynd av skärvsten, L1947:7660. Område F15 var 6062 m² stort och antalet bilder blev 255.

Vid den efterföljande traditionella inventeringen av strandplanet påträffades i den södra delen av området sporadiskt med skärvsten och i norra delen påträffades sparsamt med skärvsten. Förväntningarna på att skärvstenen skulle kunna gå att identifiera i ortomosaiken var låga på grund av vad föregående tester visat. Resultatet blev det förväntade, inga skärvstenar kunde iakttagas i ortomosaiken och inga andra lämningar kunde upptäckas.



Figur 14. Översikt över område F15. Gul polygon är flygområdet. Röd polygon är den sedan tidigare registrerade L1947:7660, skärvstensförekomst och blå polygon är L1947:7660 efter revidering.

Nästa område att fotograferas var område F16 som var beläget direkt norr om F15. Området var 7041 m² stort och genererade 203 bilder. Vid automatiserad ruttflygning och även vid manuell flygning måste drönaroperatören ge ett kommando för att drönaren ska kunna landa. När drönaren kom tillbaka mot landningsplatsen i detta uppdrag hovrade den en kort stund för att sedan i rask fart sänka sig mot marken utan att landningskommando hade getts. Startplats och landningsplats är normalt de samma. I detta fall hade landningsplatsen förskjutits ca 15 meter och där stod en bil parkerad. Resultatet blev att två av drönarens propellrar splittrades mot bilens sida och att den arm som håller den ena av drönarens fyra motorer gick av. Orsaken till haveriet är ännu inte helt klarlagt men en delförklaring kan vara att handkontrollen flyttades mot bilen efter start och att drönaren felaktigt antog att det var den nya landningsplatsen. Varför drönaren landade utan landningskommando är ännu oklart.



Figur 15. Skador på drönaren efter haveri.

Haveriet satte stopp för fortsatt flygning vid Juvuln och resten av stränderna inventerades med att gå över dem. Eftersom drönaren även används i andra projekt på Jamtli var det viktigt att ta reda på omfattningen av skadorna så att rätt reservdelar kunde beställas för att om möjligt kunna flyga igen. Därför gjordes en primitiv lagning av skadorna och en testflygning gjordes där även kamerans funktionalitet provades. Vid denna testflygning visade det sig att det endast var armen med motorfästet som behövde beställas. Drönaren lagades efter några veckor och kunde sedan flygas igen. Men vid denna tidpunkt var vattenmagasinet fullt och inga strandplan var synliga.

Som ovan nämnt funderade inte efterbearbetningen utan Internet. All efterbearbetning av flygbilderna fick göras på kontoret på en stationär workstation med en Intel(R) Xeon(R) CPU E31270 @ 3.40GHz och 32,0 GB arbetsminne. Denna dator har många år på nacken men gjorde ändå att skapandet av ortomosaiken gick något snabbare än när laptoppen var uppkopplad mot nätet och kunde användas.



Figur 16. Testflygning med provisorisk lagning bestående av buntband och ståltråd.

Eftersom flygningarna vid Juvuln fick ett abrupt slut i och med haveriet funderades det på om det skulle gå använda drönaren i något annat projekt. Ett sådant projekt dök upp sent på hösten. Jamtli utförde en inventering av flottningslämningar utefter Sölvbacka strömmar och i ett mindre område vid Ljunghålet beläget mellan sjöarna Över-Grucken och Ytter-Grucken. Tidigare flygfotograferingar hade visat att lämningar större än 1 meter var möjliga att se utan problem i ortomosaiken. Flottningslämningar är oftast betydligt större än så. Efter avslutad inventering var tanken att fotodokumentera de båda områdena med drönaren. Tyvärr kom det snö den dagen som flygningen var planerad och någon sådan flygning kunde inte genomföras.

Dokumentation av Tibrandshögen

Nästa tillfälle som dök upp och där en drönare kunde vara användbar var en skadedokumentation av Tibrandshögen. Vid skapandet av ortomosaiken för strandplanen skapas även en DSM (digital surface model). DSM är en höjdmodell som innehåller höjden av terrängen såväl som ovanjordiska företeelser som till exempel byggnader och

vegetation. Vid analys av strandplan är DSM av ringa värde men för stora lämningar med stora variationer i höjd kan DSM vara användbart för analys. DTM (digital terrain model) är ett annat mycket användbart verktyg för analys. DTM skiljer sig från DSM genom att endast visa markytan. DTM används ibland som en synonym till DEM (digital elevation model). Det är exempelvis DEM (DTM) som används för skapandet av hillshade (terrängskuggbilder) när syftet är att leta fångstgropar eller kolbottnar i ett LIDAR-punktmoln. Det är då önskvärt att enbart se marken utan störande vegetation.

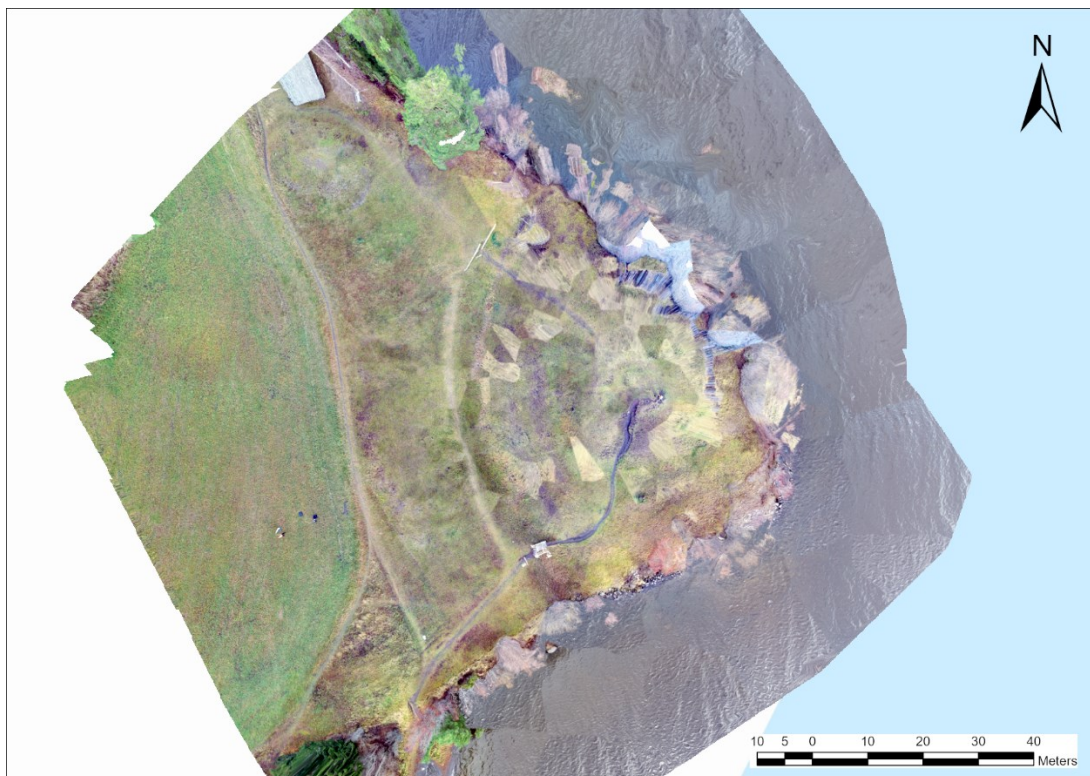
I detta fall, med fotografering med drönare, skapas inget LIDAR och ingen DTM utan resultatet blir en fotogrammetrisk bild som är en DSM.

Inför flygningen över Tibrandshögen skapades flygrutten som vanligt i DroneDeploy - Mapping for DJI. Flyghöjden valdes till 35 meter och med en GSD på 1 cm/px. Eftersom det även finns en inställning i DroneDeploy för enhanced 3D valdes den inställningen. Enhanced 3D betyder att drönaren flyger i ett rutnät i stället för raka linjer. Det skulle sedermera visa sig vara fel inställning.



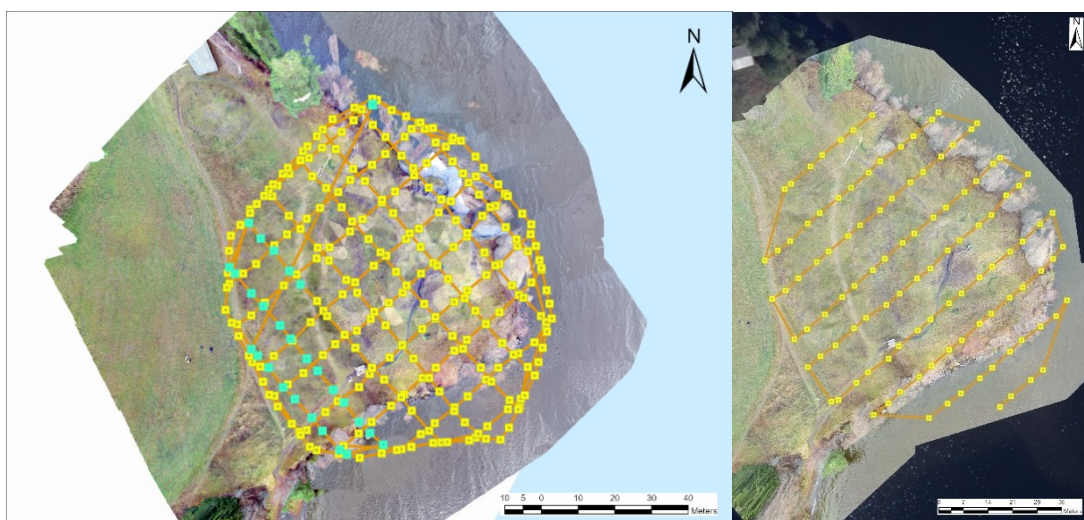
Figur 17. Till vänster är en ruttplanering utan 3D, till höger är en ruttplanering med enhanced 3D.

Området var 10 000 m² och antalet bilder blev 292. Vid skapandet av ortomosaiken utifrån de 292 bilderna blev resultatet märkligt. Eftersom samma yta var fotograferad från olika håll blev orofotot väldigt rörigt.

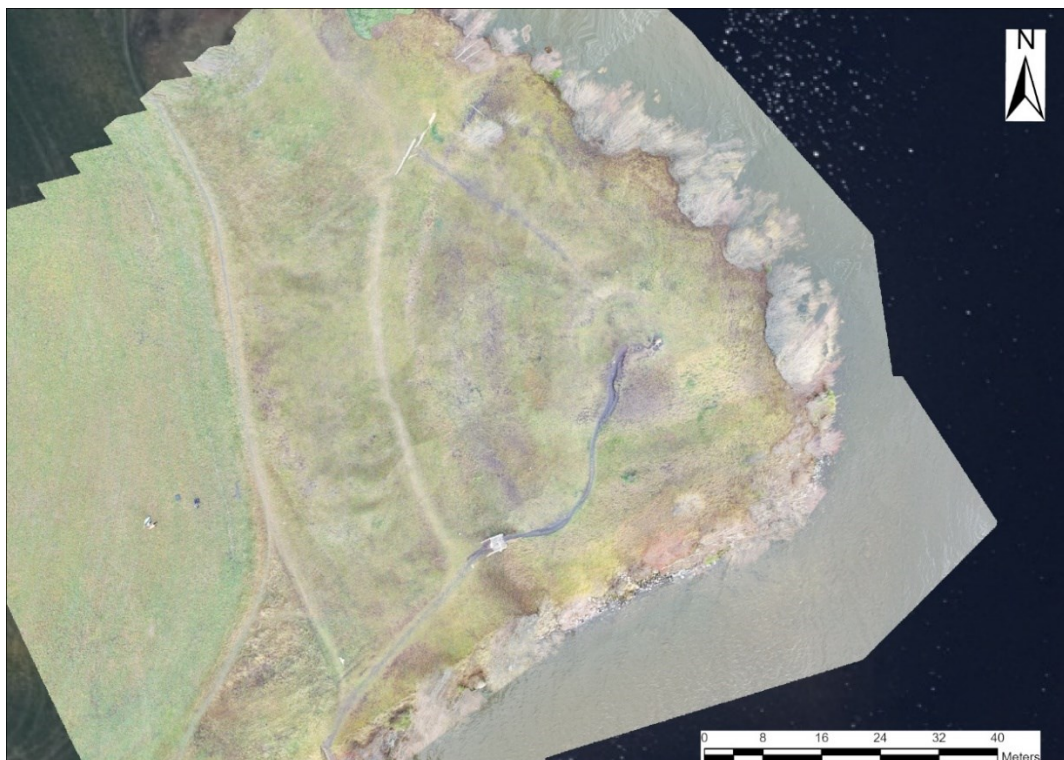


Figur 18. Ortomosaik utifrån 292 bilder. De märkliga och omotiverade fälten som syns i bilden kommer sig av att enhanced 3D användes vid flygningen.

DroneDeploy - Mapping for DJI har en molntjänst som det går att abonnera på för efterbearbetning av bilderna. Jamtli har inget sådant abonnemang utan efterbearbetningen sker lokalt. Hade bilderna skickats till DroneDeploy kanske resultatet blivit något annat. Efter lite funderande och laborerade stod det klart att ArcGisPro inte kunde hantera bilder gjorda med enhanced 3D. Eftersom informationen om flygningen och de olika fotopunkterna är inbakade i bilderna (metadata) var det ganska enkelt att plocka bort de onödiga bilderna utan att behöva göra en ny flygning.

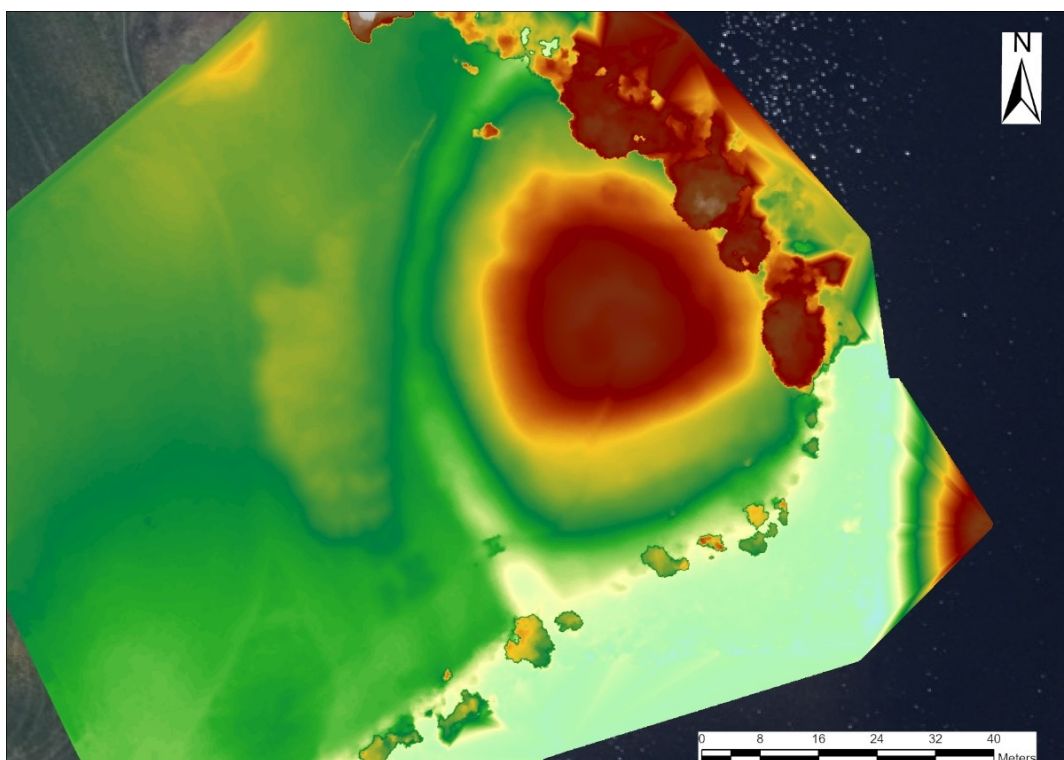


Figur 18. Till vänster är 292 fotopunkter, med gul färg (vissa som är markerade är blåa), orange linjer är flygrutten. Till höger har extrabilderna för enhanced 3D plockats bort.



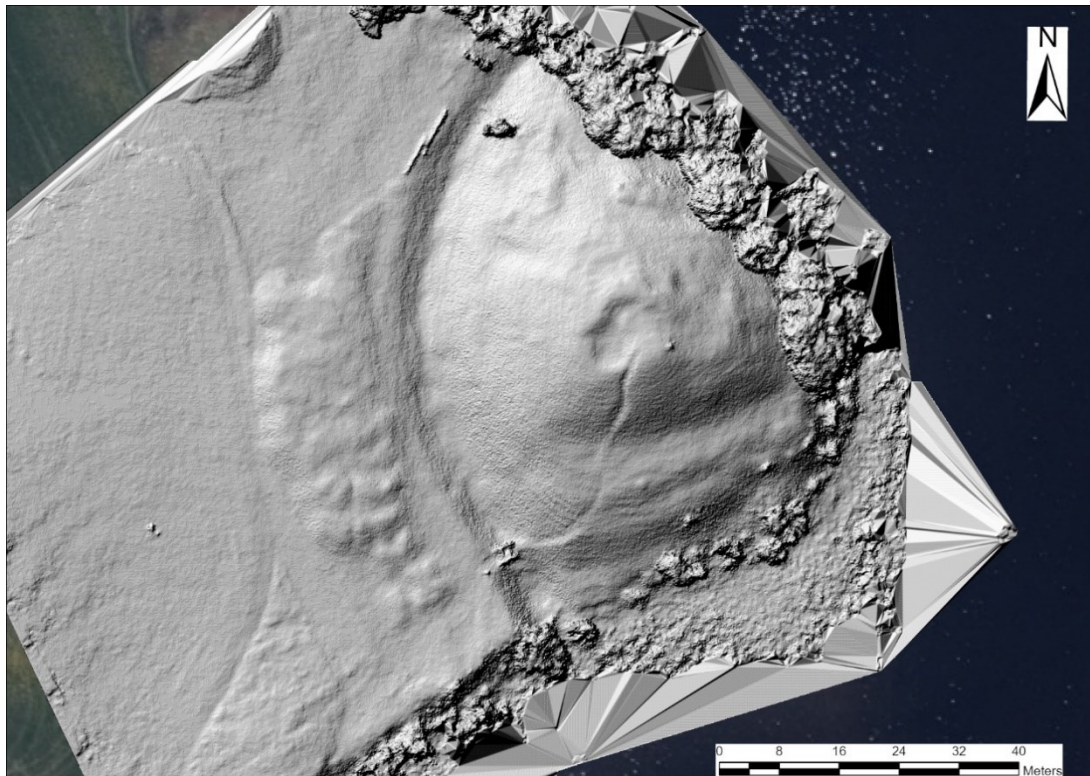
Figur 20. Ortomosaik skapad med 110 bilder utan enhanced 3D.

Ortomosaiken i figur 20 är betydligt bättre än figur 18. När en korrekt ortomosaik var skapad startade försöken med fotogrammetri (DSM). Varje bild som tas med drönaren har information om läge och höjd vilket gör det möjligt att skapa 3D bilder. En ren DSM bild ger inte mycket information annat än vad som är högre eller lägre mark.



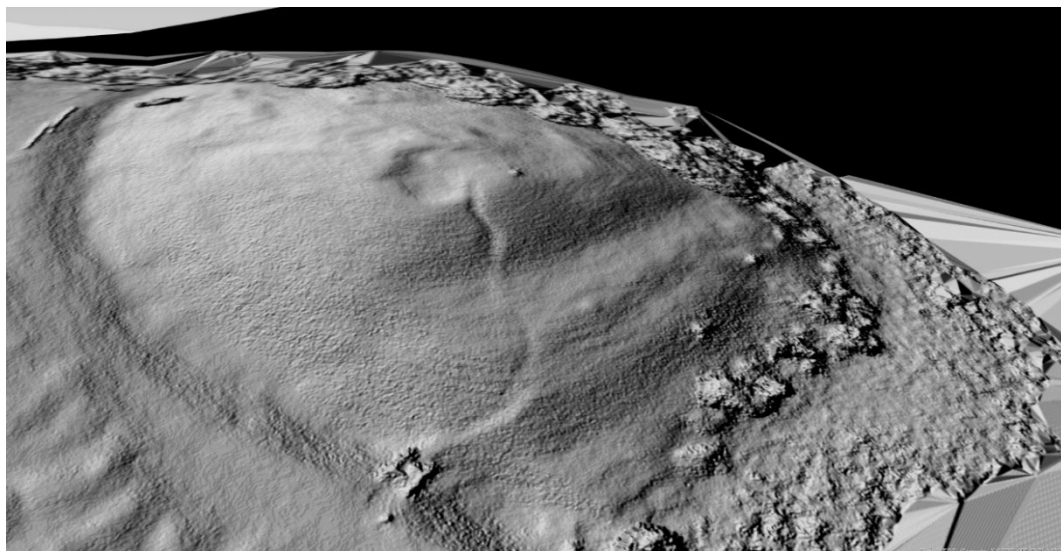
Figur 21. DSM över Tibrandshögen. Ljusgrön färg är lågt liggande terräng och mörkbrun färg är högre belägen terräng eller träd.

Figur 21 ger inte mycket information men DSM kan göras om till en hillshadebild i ArcGisPro.



Figur 22. Tibrandsholm i 2D hillshade.

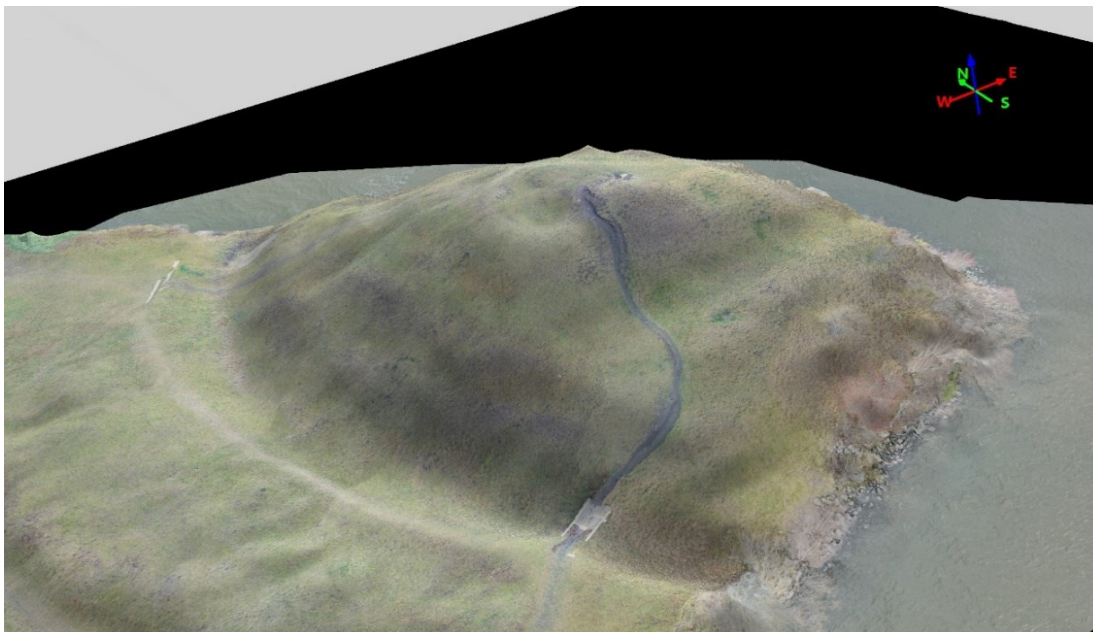
I figur 22 syns det tydligt att bilden bygger på en DSM. Hade det varit en DTM skulle träden inte synas. I fotogrammetribilder är vegetation och allt annat på markytan med till skillnad från LIDAR där det går att filtrera bort träd och annat och få en helt ren markyta. Men det finns en genväg till att kunna skapa en DTM. Mer om det nedan.



Figur 23. Samma foto som figur 22 men i 3D.

I en rapport är det svårt att kunna göra 3D-bilder rättvisa. I GIS går det vända och vrida på bilden och se lämningen från olika väderstreck och vinklar.

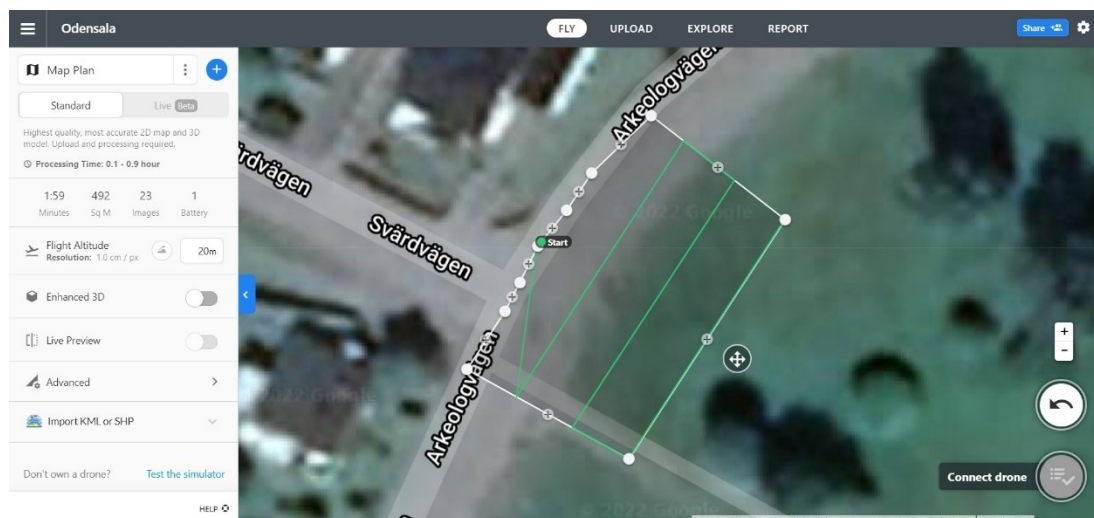
Som ovan nämnts går det även att göra en DTM av ortomosaiken. Jamtli har tillgång till Lantmäteriets LIDAR-data. LIDAR-data läses in i programmet Quick Terrain Modeler som en DTM. DTM-bilden draperas sedan med den ovan skapade ortomosaiken och resultatet blir som i figur 24.



Figur 24. Lantmäteriets LIDAR-data omvandlat till DTM och draperat med ortomosaiken från drönarflygningen.

Flygningarna i Odensala

Nästa tillfälle som gavs för fotografering med drönare var när den märkliga stenhögen i Odensala skulle undersökas. Här gjordes fyra flygningar. Två när lämningen var avtorvad och framrensad och två när lämningen var snittad. Som vid tidigare flygningar användes DroneDeploy och ArcGisPro vid förarbetet.



Figur 25. Inställningarna i DroneDeploy.

Planen var att först flygfotografera lämningen med 20 meters flyghöjd och med ruttplanering för att sedan lodfotografera lämningen manuellt från en lägre höjd. Bilderna från den lägre flyghöjden skulle sedan utgöra underlag för ritning.

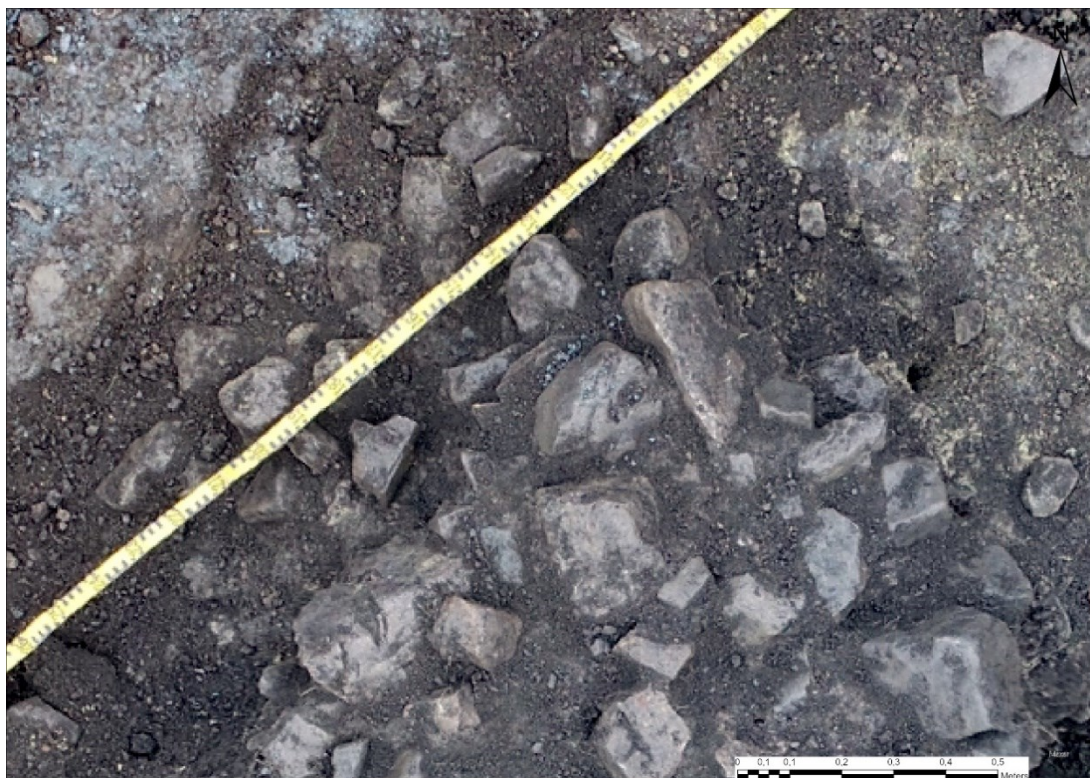


Figur 26. Flygområdets utbredning. Flyghöjd 20 meter. Skala 1:150 i GIS på skärm.



Figur 26. Samma bild som ovan, flyghöjd 20 meter, men i skala 1:30 i GIS på skärm.

I figur 26 börjar bilden bli oskarp. För att fånga upp detaljer fotograferades lämningen manuellt på en flyghöjd av ca 5–6 meter.



Figur 27. En del av lämningen. Flyghöjd 5–6 meter. Skala 1:5 i GIS på skärm.

Figur 27 visar ett utsnitt från ortomosaik som är sammansatt av fyra bilder och som är manuellt tagna med drönaren. Bilden är inte helt korrekt georefererad och över hela bilden kan förskjutningen vara 10 cm. Ett troligt fel som gjordes vid fotograferingen var att alla bilderna togs på ungefär samma ställe. Detta skapar ett problem för ArcGisPro vid georefereringen. Ett annat problem är att de enskilda bilderna är skarpare. Figur 28 visar en ej georefererad bild med flyghöjd 5–6 meter med en kraftigare inzoomning än figur 27. I den bilden syns det tydligt siffermarkeringar på lattan. För att undvika detta problem bör även närfotograferingen ske med ruttplanering och med ett större antal bilder vilka överlappar varandra från olika håll. Georefererade ortomosaikbilder i SWEREF 99 TM är nödvändiga för vidare arbete i GIS. Skall däremot bilden enbart användas som illustration behövs ingen ruttplanering.

Ett sätt för att minska skalfel i bilden hade varit att använda fotokryss utlagda på marken med uppmätta avstånd mellan dem och på så sätt kunnat kontrollera och justera bilden efter georefereringen. Denna metod åtgärdar dock inte avvikelser från rikets nät, SWEREF 99 TM. För att både få en helt skalriktig bild och som dessutom ligger rätt i rikets nät behövs inmätning av kontrollpunkter med RTK. I ArcGisPro finns möjligheten att läsa in GCP-filer (Ground Control Points) vid skapandet av ortomosaiken. Denna metod har inte testats av Jamtli. I fallet med stenhögen i Odensala fungerade bilderna gott och väl för att göra en digital ritning.



Figur 28. Utsnitt av ej bearbetad och rektifierad flygbild.

En märklig omständighet kom att observeras vid flygningarna i Odensala. Flygningarna gjordes under två olika dagar. Dels när stenhögen var framrensad, dels när stenhögen var snittad. I ArcGisPro observerades det att de olika flygdagarna gav olika höjd över havet när metadata granskades för de olika flygdagarna. Även smärre förskjutningar i rikets nät kunde observeras. Troligen beror detta på att drönarens GPS ger olika värden beroende på hur satelliterna står vid det givna fotograferingstillfället. Detta är inget större problem, men med en drönare med bättre GPS eller med en inbyggd RTK så skulle troligen detta fenomen vara mindre eller försvinna.

Slutsatser

Det stod klart redan i de inledande testerna att skärvsten och avslag inte skulle gå att identifiera med Jamtlis drönare och drönarkamera. Däremot har fotograferingarna visat att lämningar med en storlek av ca 1 meter och större är lätt identifierbara med denna metod och utrustning. Ett lämpligt användningsområde skulle kunna vara dokumentation av vattenanknutna kulturmiljöer eller lämningar belägna i öppen terräng. I och med att denna metod skapar ortofoton är det enkelt att använda dem i GIS. Ett annat användningsområde skulle kunna vara skadedokumentation av tak på kulturhistoriska byggnader och kyrkor. Vidare så kan även metoden användas till att dokumentera hela byggnader och andra företeelser för att sedan skapa 3D modeller.

Då efterbearbetning och tolkning sker i GIS på datorskärm är det lite vanskligt att återge detta med bilder i en rapport. Bilderna i rapporten har även minskats ner till en hanterlig storlek. Gällande kartor som publiceras digitalt och har genomgått någon typ av förstoring eller förminskning, är skalstocken den som anger skalan riktig. Skalstocken förstoras och förminskas i samma grad som kartan. När skala har angetts här ska det förstås som graden av zoom. En annan begränsning är att 3-D modeller enbart kan återges i 2-D i rapporten.

Som ovan nämnts kan metoden förfinas med enkla uppdateringar av hårdvara. Drönarens kamera kan utan svårighet bytas till en bättre vilket gör att flyghöjden kan ökas och större

områden kan fotograferas med bibehållen upplösning och samma batteriåtgång. Kraftfullare datorer skulle ge en kortare tidsåtgång för efterbearbetning av bilderna. Inmätning av kontrollpunkter med RTK skulle ge bättre precision vid lodfotografering vid undersökningar av lämningar.

När det gäller mjukvara sker det mycket utveckling på området. Den mjukvara som har använts i projektet har varit den som Jamtli redan har tillgång till. Det finns specialutvecklade program som eventuellt skulle kunna göra för- och efterarbetet enklare.

En av de frågor som ställdes i början på projektet var om drönarinventering av stränder i skulle fungera. På grund av haveri kunde inte det testas fullt ut. Men de tester som ändå gjordes visar på att traditionell inventering av strandplan är att föredra. Eftersom metoden inte kan användas för att hitta boplatismaterial måste strandplanen ändå inventeras till fots. Är syftet däremot att dokumentera flottningslämningar utefter strömmande vatten, där stränderna kan vara mycket otillgängliga, borde denna metod vara ett mycket bra komplement till traditionell inventering.

Med drönarfotografering kan informationen i bilderna användas för att se samband och företeelser som annars skulle vara svåra att få fram. Detta gäller främst vid dokumentation av yttora områden där ortomosaik skapas samt skapandet av enskilda 3D-modeller.

Jamtli har genom detta projekt skaffat sig mycket nya erfarenheter och kunskaper om hur drönare kan användas i kulturmiljöarbetet.

Sammanställning av utrustning och mjukvaror

DroneDeploy - Mapping for DJI <https://www.dronedeploy.com/>

ArcGisPro <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>

Quick Terrain Modeler <https://appliedimagery.com/>

DJI Inspire 2 <https://www.dji.com/se/inspire-2>

Zenmuse X4S <https://www.dji.com/se/zenmuse-x4s>

Övrig hårdvara: Desktop workstation, laptop och surfplatta.

Nyttiga länkar för vidare läsning

<https://www.propelleraero.com/gsd-calculator/> Här går det enkelt att kalkylera GSD för olika drönare och kameror.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440319301001> Artikel om försök med drönare och AI i Italien.

https://www.wildlabs.net/sites/default/files/community/files/drones_for_gis_-_best_practice_v2.0.pdf Drones for GIS – Best Practice: Mycket nyttig information om drönare och GIS.

<https://doc.arcgis.com/en/imagery/workflows/tutorials/create-drone-imagery-products-ortho-mapping.htm> Instruktion för arbete med drönbilder i ArcGIS Pro.

https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2018/Drones-in-agriculture/asptraining/B_introduction_to_photogrammetry1.pdf En lite mera djupgående orientering av dokumentation med drönare, främst rörande fotogrammetri.

RAPPORTSERIE – JAMTLI, 2022

ISSN 1654-2045

2022:1 Flygfotografering vid Juvuln, Tibrandshögen och Odensala – en metodstudie
för användning av drönare i kulturmiljövård och arkeologi
Karl-Johan Olofsson