

Brug af droner i dansk arkæologi

Drone Rapport

Esben Schlosser Mauritsen, Lis Helles Olesen, Carsten Meinertz Risager



Hulbælte fra udgravningen Hvilmose ved Viborg, fotograf ESM

Indhold

Drone Rapport	1
Opgaven.....	4
Pilotgrenen	5
Hvordan flyver man?	5
Risikoer og sikkerhed.....	7
Regler, pilotgodkendelse og forsikring.....	8
Udstyrsgrenen	17
Valg af drone	17
Dokumentationsgrenen.....	24
Tidsstudierne	24
Præcision	28
Kvalitet af ortofoto	32
Konklusion	37
3D-grenen.....	39
Hvilken hardware og software kan anvendes?	39
Hvilket prisniveau opererer vi med, hvis 3D procedurerne skal håndteres effektivt?.....	47
Hvordan vil vi bruge 3D dokumentationen, og hvordan bør den gemmes?	47
Test af software og vejledning til anvendelsen.	48
Formidlingsgrenen.....	50
Formidling af kulturarven med drone	50
Formidlingens nødvendighed	50
Udgravninger	51
Fredede fortidsminder	54
Mediernes interesse for den fredelige brug af droner til kulturarven	64
Konklusion	64
Tilsynsgrenen.....	65
Hvor kan droner tænkes at hjælpe med tilsynsopgaven?.....	65
Droner og tilsyn med fredede fortidsminder	66
Kan droner i fremtiden indgå i den tilsynsførendes værktøjskasse?	68
Tidsforbrug	69

Cases.....	71
Case 1: Bjørnkær.....	71
Case 2: Troldkirken	75
Case 3: Kalø Slotsruin	81
Case 4: Lindholm Høje	89
Case 5: Timgård	96
Case 6: Fabjerg Kirkevej	102
Case 7: Hvidemose	104
Konklusion	107
Pilotgrenen	107
Udstyrsgrenen	107
Dokumentationsgrenen.....	107
3D-grenen	107
Formidlingsgrenen.....	108
Tilsynsgrenen.....	108
Afslutning.....	109
Litteratur.....	110
Bilag 1, invitation til Droneseminar	111

Opgaven

Deltagere i projektet var ArkVest ved Esben Schlosser Mauritsen (ESM), Holstebro Museum ved Lis Helles Olesen (LHO) og Moesgaard Museum/Aarhus Universitet ved Carsten Meinertz Risager (CMR) og Casper Skaaning Andersen.

Projektet er finansieret af de deltagende institutioner og Slots- og kulturstyrelsen.

I ansøgningen blev opgaven splittet op i følgende delelementer: pilot, udstyr, dokumentation, 3D, formidling og tilsyn, denne opbygning vil også blive anvendt i denne rapport:

Pilotgrenen (ESM): Brugen af droner er omfattet af en række begrænsninger og afstandskrav. Projektet skal undersøge disse love og regler og kunne give vejledning til udformning af forskellige godkendelser og ansøgninger, som vedrører muligheden for at kunne udføre overflyvninger af arkæologiske lokaliteter. Samt give tips og tricks til flyvningen.

Udstyrsgrenen (ESM): Denne gren skal give gode råd til køb og anvendelse af udstyr.

Dokumentationsgrenen (CMR): Kan vi få bedre og billigere registreringer ved at bruge droner til dataindsamling fremfor GPS og totalstation?

3D-grenen (CMR): Hvilken hardware og software kan vi anvende til 3D.

Formidlingsgrenen (LHO): Der er god grund til at forvente at luftfotos taget fra drone vil have et stort formidlingspotentiale, dronefotos giver mulighed for både at formidle et objekt f.eks. et fortidsminde, en udgravning eller en historisk bygning, samt indfange omgivelserne på en stærkt visuel og let tilgængelig måde.

Tilsynsgrenen (LHO og ESM): Tilsynsgrenen er en del af projektet "Fortiden set fra himlen del 2" og i projektet Fortiden set fra Himlen har vi tidligere vist fordele og svagheder ved at foretage tilsyn med de fredede fortidsminder fra fly. Siden disse første forsøg er droner blevet en mulighed. Vi vil afsøge mulighederne for, at de tilsynsførende kan anvende droner i tilsynet. Er det f.eks. muligt og mere effektivt at køre ud og holde i vejkanterne og sende dronen ind over en gruppe gravhøje, som ligger længere inde i markerne?

Tidsforbrug (CMR): Tidsforbruget af den samlede arbejdsproces afhænger en hel del af objektet og hvad data skal anvendes til. Ved mere komplicerede opgaver såsom bygninger, ruiner, voldsteder og større landskabelige områder tager det længere tid. Tidsforbruget til forskellige arbejdsopgaver er noget af det, der skal vurderes nærmere i projektet.

Afsluttende (CMR): De arkæologiske museer i Danmark har en tradition for at være gode og hurtige til at inddrage nye teknologier i det daglige arbejde, men i alt for mange tilfælde har vi set at teori ikke følger med praksis. Der er f.eks. det elektroniske opmålingsudstyr (totalstation og GPS), som er fantastiske redskaber og virkelig har effektiviseret sagsgangen og udgravningerne, men vi har stadig enorme udfordringer med hvordan vi skal arkivere disse data.

Pilotgrenen

Esben Schlosser Mauritsen

Hvordan flyver man?

En af de afgørende grunde til at dronerne i disse år går deres sejrsgang verden over, er at batteriteknikken nu gør det muligt at løfte en rimelig nyttelast i forhold til batteriets vægt. Endvidere har den elektroniske udvikling bevirket, at de er relativt nemme at styre. Man har fløjet med fjernstyrede fly og helikoptere i årtier, men fælles for disse var og er, at de krævede relativ stor øvelse at betjene. Og for at kunne bruge dem til luftfotografering, krævede det endnu mere specialiseret ekspertise.

Det, som gør den store forskel – i hvert fald når vi taler multirotdroner – er kombinationen af GPS og IMU'er¹. GPS er de fleste bekendt med fra andre sammenhænge. En IMU er enhed, som måler fartøjets bevægelser og sender signal til motorernes strømstyring om at øge eller sænke de enkelte motorers omdrejningstal, således at dronens bevægelser alene ændres i forhold til pilotens styresignaler og ikke påvirkes af andre faktorer som vind og turbulens. Med GPS er det muligt at give besked på, hvor den skal være, og med IMU har dronen mulighed for at blive i en stabil position på denne plads. Derudover er der i dronen en højdemåler, som styrer den vertikale position og et elektronisk kompas sikrer, at dronen ikke snurrer rundt om sig selv.



Figur 1. Lodfoto fra drone af hulbælte, Hvilsmose. Foto ESM.

¹ Inertial Measurement Unit

Disse avancerede, men nu billigt tilgængelige funktioner gør, at de fleste med en normal rummelig forståelse kan lære at flyve drone med få timers øvelse. At opbygge en rutine, så man også har reaktionerne klar, hvis der opstår en pludselig eller utilsigtet hændelse, kræver naturligvis en del flere timer. Men sikrer man sig, at man hele tiden flyver efter egne evner, vil man kunne komme ud over begynderstadiet relativt hurtigt. I hvert fald når vi taler om de mindre fabriksfærdige (RTF²) droner.

Der er – afhængigt af producenten – mulighed for at bruge forskellige navigationsformer, lige fra det totalt automatiserede til det rent manuelle, hvor man ikke gør brug af de ovennævnte elektroniske hjælpemidler, men styrer dronen direkte i alle retninger.

I ren manuel styring har man som pilot ansvar for at styre både den vertikale og horisontale bevægelse. Det er en vanskelig måde at flyve på, og det kræver en del erfaring fra pilotens side, navnlig i blæst hvor vindstød presser dronen både til side og op og ned. Mange af de lidt mere avancerede droner giver mulighed for ren manuel flyvning. Det er på sin vis en god egenskab i tilfælde af, at f.eks. højdemåler, GPS eller kompas pludselig svigter. Men i det daglige er det sjældent – i praksis aldrig – nogen fordel at styre 100% manuelt.

Ved højdekontrolleret flyvning sørger dronen udelukkende for at holde en fastsat højde. Den er ikke ved hjælp af GPS låst til nogen position. Det betyder, at hvis dronen sættes i bevægelse i en retning, vil den fortsætte med at drive i den retning, indtil man styrer kontra. I forhold til fotografering med fast kamera kan det være en fordel at flyve på denne måde. Når dronen er låst med GPS til en position, vil den hele tiden stå at arbejde på at holde sin position. Det resulterer i konstante små bevægelser, som kan give uskarpe fotos. Et gyrostabiliseret ophæng kompenserer for disse bevægelser, da ophængets styring hele tiden vil stabilisere kameraets retning, uanset dronens bevægelser.

Ved kurslåst flyvning er dronen låst i en slags koordinatsystem. Dronen registrerer sin orientering, når strømmen sluttes til. Kursen låses, så "fremad" hele tiden er i overensstemmelse med den låste kurs, og det uanset hvordan dronen roteres om sin egen akse. Man kan med fordel vælge en kurs, der peger væk fra piloten i retning af det objekt, som skal fotograferes. På den måde er der logisk overensstemmelse mellem styretøjet, dronen og pilotens position, forstået på den måde, at fremad er fremad, højre er til højre og så fremdeles. Den kurslåste flyvning er god til begyndere, da man her ikke skal fokusere på dronens egen orientering. Kurslåst flyvning er også den bedste metode, når man laver systematisk manuel affotografering af udgravningsfelter og større områder, hvor man ønsker at flyve i baner. Her er fidusen, at man låser dronen i en meningsfuld retning, f.eks. et udgravningsfelt længste side. Det sikrer, at de baner, man flyver i, ligger parallelt i forhold til hinanden, uden at man skal bekymre sig om dronens orientering.

Ved hjemmelåst flyvning relaterer dronen hele tiden til sit udgangspunkt. Fremad vil altid være i retningen væk fra udgangspunktet. Og tilbage vil altid være tilbage mod udgangspunktet, uanset hvordan dronen er orienteret. Drejer man til højre, vil dronen bevæge sig med uret rundt i en cirkelbane rundt om sit udgangspunkt. Radius af cirkelbanen vil forblive konstant svarende til afstanden fra udgangspunktet og hen til dronen. Hjemmelåst flyvning er især anvendelig, hvis man skal lave en videooptagelse i et cirkelslag omkring udgangspunktet, f.eks. en udgravning eller et fortidsminde. Men flyvestilen er også god, hvis man i en anden flyvestil har fløjet dronen så langt væk, at man ikke visuelt kan bestemme dens orientering. Ved at skifte til hjemmelåst flyvning, kan man hurtigt flyve dronen tilbage til sit udgangspunkt i en lige linje. Det

² Ready to Fly

er også en god fremgangsmåde, hvis man af en eller anden grund er nødt til afbryde flyvningen hurtigt muligt.

Autopilot er som navnet antyder en fuldt automatiseret flyvning, hvor dronen selv letter, følger en forud fastlagt rute og lander. Der findes flere programmer til autopilot, og de større producenter har deres egen software, som passer til deres navigationssystem. Men kort fortalt, så kobler man dronen op til en bærbar computer eller tablet. I softwaren planlægger man en rute ved at angive en serie punkter, som dronen skal passere i en bestemt højde og hastighed. Nogle auto systemer rummer funktioner til systematisk affotografering i baner. Her angiver man på et kort, det område som skal affotograferes systematisk. Ved at angive kameraets parametre og graden af ønsket overlap, beregner softwaren selv en rute og afstanden mellem de enkelte udløsninger. Det er rigtig smart hvis man hurtigt skal dække meget store arealer. I dansk arkæologisk sammenhæng, vil der i praksis nok være langt imellem så store opgaver. Selv de største udgravningsfelter er sjældent større, end man kan overflyve dem systematisk ved hjælp af f.eks. kurslåst flyvestil. Graden af overlap kan man sikre ved at følge dronens / kameraets synsfelt over en skærm, så man får taget de nødvendige fotos. Fordelen ved det er, at man sparer tiden til opsætning. Og at man hele tiden har kontrol over dronen. Autopilotflyvning stiller særlige krav til sikkerheden, man skal altid kunne gribe ind i flyvningen og dronen må ikke komme ud af syne.

Risikoer og sikkerhed

Sikkerhed er et centralt aspekt, når man ønsker at flyve med drone. Droner kan såre og i værste fald dræbe personer, som opholder sig på en udgravning, eller som tilfældigvis er i området.

Der er en række ting man kan og skal gøre for at sikre sig mod ulykker. Love og regelsæt, der i sidste ende munder ud i driftshåndbogen, indeholder en række tiltag for at mindske risiko for person- og tingskade. Det gælder for planlægning, pilotens færdighed, vurdering af lokale forhold, risikovurdering generelt, flyvningens udførelse, registrering af flyvning, opbygning af det tekniske udstyr, vedligehold af drone og batterier, og så videre. Driftshåndbogen indeholder også afsnit om håndtering af nødsituationer, idet der stilles nogle senarier op, og det beskrives, hvordan de kan håndteres.

På ARKVEST har vi opstillet følgende krav til personer, som skal betjene droner. Alle piloter skal være fyldt 18 år og helbredsmæssigt kunne opfylde krav svarende til krav til erhvervelse af førerbevis. Ved brug af briller skal piloten med briller have et normalkorrigeret syn, samt farvesyn. Piloter skal have indgående kendskab til fastsatte regler i BL 9-4 og AIC B 08/14³, og har ansvar for at holde sig løbende ajour med eventuelle ændringer af disse, samt være fortrolig med organisationens driftshåndbog. Piloten skal have gennemført den af organisationen fastsatte teoretiske uddannelse og praktiske træning, samt have et uddannelsesbevis underskrevet af den ansvarshavende leder og den operationsansvarlige. På det teoretiske område forlanges indlæring i ARKVESTs driftshåndbog, BL 9-4 samt AIC 08/14. Der kræves kendskab til TAF/METAR⁴ og almindelige vejrmeldinger, og man skal kunne læse et ICAO kort⁵ og have viden om restriktionsområder. Endelig skal man have gennemgået alle udstyrsmanualer for institutionens

³ <http://www.trafikstyrelsen.dk/DA/Luftfart/Flyveoperationer/Luftfartserhverv/Unmanned-Aircraft-Systems-UAS.aspx>

⁴ Terminal Area Forecast og METeorological Aerodrome Report

⁵ <https://www.trafikstyrelsen.dk/DA/Luftfart/Luftfartslovgivning/International-lovgivning/ICAO.aspx> og selve kortet på <http://aim.naviar.dk/> -> VRF Flight Guide Danmark -> VFG Part 4 - KORT

droner, og have viden om behandling af LiPO-batterier⁶. Hvis batterierne behandles forkert, risikerer man både brand- og eksplosionsfare.

Ved transport af dronen er det en rigtig god idé, at den opbevares i en lukket kasse/kuffert. Det er for at undgå kraftige fysiske påvirkninger såsom mekaniske stød og magnetisk påvirkning. Sidstnævnte kan komme fra f.eks. bilhøjtalere eller elektromagnetiske felter fra andet elektronisk udstyr.

Regler, pilotgodkendelse og forsikring

De generelle regler

Man kan i Danmark frit flyve med droner på under 7 kg, så længe man holder sig inden for reglerne beskrevet i BL 9-4, *Bestemmelser om luftfart med ubemandede luftfartøjer, som ikke vejer over 25 kg*. Trafikstyrelsen skelner mellem fire kategorier af droner.

- Kategori 1A, vægt 0-1½ kg
- Kategori 1B, vægt 1½-7 kg
- Kategori 2, vægt 7-25 kg
- Droner over 25 kg.

Det er således kategorierne 1A og 1B, som kan flyves uden pilotgodkendelse. De væsentligste begrænsninger i BL 9-4 fremgår herunder:

- a) Flyvningen skal udføres på en sådan måde, at andres liv og ejendom ikke udsættes for fare, og således at omgivelserne påføres så ringe ulempe som muligt.
- b) Afstanden til banen/banerne på en offentlig flyveplads som angivet på Kort & Matrikelstyrelsens kort (kort 25 eller 1:50.000) skal være mindst 5 km
- c) Afstanden til banen/banerne på en militærflyvestation som angivet på Kort & Matrikelstyrelsens kort (kort 25 eller 1:50.000) skal være mindst 8 km.
- d) Afstanden til bymæssig bebyggelse og større offentlig vej skal være mindst 150 m.
- e) Flyvehøjden må højst være 100 m over terræn.
- f) Tæt bebyggede områder, herunder sommerhusområder og beboede campingpladser, samt områder, hvor et større antal mennesker er samlet i fri luft, må ikke overflyves.
- g) De særligt følsomme naturområder, der er nævnt i BL 7-16, må ikke overflyves.

Til reglerne kan bemærkes, at bymæssig bebyggelse defineres som et område som hovedsagelig anvendes til beboelse, industri, eller fritidsaktiviteter; herunder områder som på ICAO Aeronautical Chart – 1:500.000

⁶ lithium-ion polymer battery

er indikeret som 'Built up Areas' med over 200 indbyggere samt sommerhusområder, beboede campingpladser, bebyggede industri- og havneområder. Herudover betragtes parker, strande eller andre rekreative områder, der ligger indenfor, integreret med eller i umiddelbar tilknytning til et tæt bebygget område også som tæt bebygget område. (kilde: AIC B19/13).

Flyvning med kategori 2 droner er tilladt uden pilotgodkendelse på en godkendt modelflyveplads, og er derfor ikke relevant i arkæologisk sammenhæng – med mindre udgravningen foregår på netop en modelflyveplads!

Som man måske kan udlede af de generelle regler beskrevet ovenfor, vil der være ganske mange tilfælde, hvor man som museum vil få problemer ved udgravninger. Ganske mange nødudgravninger finder jo netop sted i tilknytning til eksisterende, bebyggede områder eller nær større offentlige veje.

Selv om man kan flyve inden for reglerne uden pilotgodkendelse, er man nødt til at sikre sig, at man er dækket af en ansvarsforsikring; se afsnittet side 16 om forsikring.

Erhvervs- og forskningsmæssig brug af droner

For at imødekomme de begrænsninger, som de generelle flyveregler i BL 9-4 afstedkommer for virksomheder og forskningsinstitutioner, har Trafikstyrelsen givet mulighed for at dispensere fra nogle af reglerne. Betingelserne for dispensation er beskrevet i AIC B 08/14, *Erhvervsmæssig mv. brug af ubemandede luftfartøjer (UAS⁷/RPAS⁸) i Danmark*.

Betingelserne for flyvning i AIC B 08/14 er noget mere komplekse, og for omfattende til at gengive her. Vi henviser i stedet til at hente den fra Trafikstyrelsens hjemmeside. Men for overblikkets skyld kan de væsentligste muligheder i dispensationen opstilles som i nedenstående tabel:

Område	BL 9-4	AIC B 08/14 Dispensation til:	Note til AIC B 08/14
Afstand til offentlige flyvepladser	5 km	2 km	Maksimal flyvehøjde på 40 m over startbanernes niveau.
Afstand til bymæssig bebyggelse	150 m	0 m	I overensstemmelse med betingelser i driftshåndbogen.
Afstand til større offentlig vej	150 m	< 150m	Ifølge begrænsninger i driftshåndbog
Maksimal flyvehøjde	100 m	100 m	
Afstand til militære områder	150 m	0 m	Kræver særskilt tilladelse

Der skelnes i AIC B 08/14 mellem kategorierne 1A, 1B og 2. Nedenstående er vist uddrag af kravene til respektive kategorier.

⁷ Unmanned Aircraft Systems

⁸ Remotely Piloted Aircraft Systems

Kategori 1A

For 1A gælder det, at dronen ikke må veje mere end 1,5 kg. Dronen må ikke have en kinetisk energi på mere end 150 J ved kollision. Det er et krav, at der oprettes et flyve- og sikkerhedsområde svarende til mindst 15 m radius fra dronen eller 2 x flyvehøjde, dog maksimalt 50 m. Der må ikke opholde sig andre end piloten inden for sikkerhedsområdet, med mindre dronen er af en sådan konstruktion, at den er i stand til at flyve sikkert i alle faser af flyvningen, selv om en motor skulle sætte ud af funktion. Langt de fleste droner, som vægtmæssigt kan falde under kategori 1A, vil typisk være multirotorer med blot fire motorer. Det kræver seks motorer eller flere for at en drone kan flyve sikkert videre med tab af en motor. Det vil derfor i praksis altid være sådan, at sikkerhedsområdet omkring en 1A-drone skal være ryddet for mennesker ud over piloten.

Kategori 1B

Kategori 1B dronen må ikke veje mere end 7 kg. Der gælder de samme regler omkring sikkerhedsområdets radius som for 1A-dronen. Dog er det muligt, at droner i denne vægtklasse med seks motorer eller flere, kan lande sikkert, selv om én motor sætter ud. Det betyder, at der godt må være andre personer i sikkerhedsområdet ud over piloten. Dog er det afgørende, at alle i sikkerhedsområdet er instrueret og indforståede med flyvningen. Dronen skal derudover være udstyret med et indbygget fejlsikkerhedssystem, som skal kunne afbryde flyvningen, såfremt der opstår udfald på styresignal, eller at dronen er ved at løbe tør for batteri.

Kategori 2

Til forskel fra de to øvrige kategorier gælder det for de tunge kategori 2-droner på 7-25 kg, at der skal være en sikkerhedsafstand på mindst 50 m til ikke instruerede personer. Til gengæld vil droner i denne klasse typisk altid være i stand til at flyve sikkert med en motor defekt, da der vil være tale om hexa- eller octokoptere for kunne løfte så stor en vægt.

Det gælder for alle tre kategorier, at de skal flyves VLOS, dvs. i *Visual Line of Sight*, eller slet og ret inden for synsvidde, uden brug af hjælpemidler som f.eks. en kikkert. Dette krav vil dog næppe genere nogen form for museumsrelevant droneflyvning.

Ansøgning om pilotgodkendelse

For at blive godkendt droneoperatør forlanger Trafikstyrelsen følgende dokumentation:

1. Ansøgningsskema
2. Dokumentation for tegningsberettigelse (Udskrift fra Erhvervs- og Selskabsstyrelsen)
3. Beskrivelse af virksomhedens aktiviteter
4. Beskrivelse og foto af drone-typen (benævnelse/fabrikant), dimensioner og øvrige tekniske specifikationer, samt en redegørelse for, hvordan de tekniske krav opfyldes
5. Pilotens navn og personnummer, samt redegørelse for erfaring med flyvning af typen
6. Kopi af ansvarsforsikring, som skal være i overensstemmelse med Europaparlamentets og Rådets forordning (EG) nr. 785/2004 af den 21. april 2004
7. Virksomhedens driftshåndbog

8. Ansøgningen vil blive faktureret efter timeforbrug jf. Bestemmelser om Trafikstyrelsens gebyrer på luftfartsområdet mv. BL 9-10 punkt 4.2.1.1.

Kilde: Trafikstyrelsens hjemmeside 20.04.2015.

Driftshåndbog

En godkendt driftshåndbog er udgangspunktet for at opnå dispensation ifølge AIC B 08/14 og opnå pilotgodkendelse ved Trafikstyrelsen.

En driftshåndbog skal udføres individuelt for den ansøgende institution, og vil være afhængig af det udstyr, som ansøgningen dækker. Driftshåndbogen er derfor ikke noget, man kan "trække i en automat".

Der findes firmaer og enkeltpersoner, som via internettet tilbyder at udarbejde driftshåndbøger, som er individuelt tilpassede. De priser, som vi har kunnet finde, ligger i omegnen på 10-20.000 kr. for en sådan service. Skal driftshåndbogen omfatte flere droneenheder, er prisen sikkert højere. Om det kan betale sig, afhænger naturligvis af den enkeltes kendskab til luftfartslovgivning og –jargon, samt det tekniske omkring droner. På ARKVEST brugte vi mindst tre uger sammenlagt på at få driftshåndbogen helt på plads for henholdsvis en simpel kategori 1A drone og en relativt kompliceret kategori 2-drone. Og så er det ved at kunne betale sig at købe ydelsen. Men betaler man sig fra det, får man ikke den del af læringsprocessen og medfølgende forståelse af procedurer og eget udstyr, som udarbejdelsen af driftshåndbogen automatisk fordrer og giver. Men det vil være en afvejning af ambitionsniveauet i hvert tilfælde.

Formålet med driftshåndbogen er flerfold: Trafikstyrelsen skal godkende, at driften (droneflyvningen) ligger indenfor rammerne af AIC B 08/14; at materiellet opfylder kravene; at piloten efter træning kan udføre flyvning forsvarligt; at risikomomenter er erkendte og afklarede; at dokumentationen sikrer, at dronen samles og vedligeholdes korrekt.

Trafikstyrelsen har udarbejdet en vejledende håndbog, som ligger tilgængelig på deres hjemmeside. Den opdateres løbende, men de individuelle tilpasninger skal man selv bidrage med.

Til orientering vises struktur og indholdsfortegnelse for ARKVEST's driftshåndbog. Den er et bud på hvordan en godkendt driftshåndbog kan være opbygget.

Indhold

1.	OPDATERING AF DRIFTHÅNDBOG.....	4
2.	REVISIONSLISTE	4
3.	OVERSIGT OVER GÆLDENDE AFSNIT	4
4.	ORDLISTE, FORKORTELSER, FORKLARINGER OG DEFINITIONER	5
5.	BESKRIVELSE AF SELSKABET.....	6
5.1	ORGANISATION OG ANSVAR.....	6
5.2	SELSKABETS OPBYGNING OG VIRKE.....	6
5.3	SELSKABETS GODKENDELSER.....	7
5.4	SELSKABETS KVALITETSSYSTEM.....	7
5.5	TJENESTE- OG HVILETID.....	7
6.	OPERATIVE PROCEDURER OG BEGRÆNSNINGER.....	8
6.1	OPERATIONSTYPER.....	8
6.1.1	Udgravningsfoto (opmåling / dokumentation).....	8
6.1.2	Fotografering af afgrædespor, jordfarvespor og reliefsfor i dyrket mark (forskning / opmåling / dokumentation).....	8
6.1.3	Fotografering af bygninger, landskaber og miljøer (formidling / dokumentation).....	8
6.2	VERIFICERING AF AT OPERATIONEN LIGGER INDENFOR DE GYLDIGE TILLADELSER.....	8
6.2.1	Planlægning.....	8
6.2.2	Gennemgang af operationsområdets beskaffenhed.....	9
6.2.3	Minima og maksima.....	10
6.3	FORHOLDSREGLER VED TRANSPORT AF UAS.....	11
6.3.1	Transport af UAS.....	11
6.3.2	Begrænsning ved transport af UAS.....	11
6.4	PROCEDURER FØR, UNDER OG EFTER FLYVNINGEN.....	11
6.4.1	Før flyvning.....	11
6.4.2	Under flyvning.....	12
6.4.3	Procedurer for brug af VHF-radio og mobiltelefon.....	12
6.4.4	procedurer efter flyvning.....	12
6.5	RISIKOANALYSE.....	14
6.6	NØDPROCEDURER.....	15
6.6.1	Skab overblik over position og status for UAS.....	15
6.6.2	Bibehold om muligt kontrol over fartøjet.....	15
6.6.3	Begræns risiko for skade.....	15
6.6.4	Land hurtigst muligt et egnet sted.....	15
6.7	HAVARIER OG HÆNDELSER.....	16
6.7.1	Procedure ved havari, hændelse eller uheld.....	16
6.8	FORSIKRING.....	16
7.	SELSKABETS UAS MATERIEL.....	17
7.1	DJI PHANTOM.....	17
7.1.1	Komponenter.....	17
7.1.2	Karakteristik.....	17
7.1.3	Normal procedure.....	17
7.1.4	Mærkning.....	17
7.2	DJI S1000.....	18
7.2.1	Komponenter.....	18
7.2.2	Karakteristik.....	18
7.2.3	Normal procedure.....	18
7.2.4	Mærkning.....	18
8.	TEKNISK / VEDLIGEHOLD.....	19
8.1	KONTROL AF FYSISKE DELE VED DAGLIGT TILSYN.....	19
8.2	RUTINEMÆSSIG MEKANISK OG ELEKTRISK VEDLIGEHOLD HVER 3. MÅNED ELLER VED FEJL.....	19

9. TRÆNING / OPLÆRING / VEDLIGEHOLDELSE	20
9.1 UDDANNELSE AF PILOTER.....	20
9.1.1 Krav til piloter.....	20
9.1.2 Teoretisk uddannelse.....	20
9.1.3 Praktisk træning for flyvning med DJI S1000.....	21
9.1.4 Praktisk træning for flyvning med DJI Phantom.....	21
9.1.5 Vedligeholdelse af træning.....	22
9.2 DOKUMENTATION FOR UDDANNELSE.....	22
10. LOGBOG.....	23
11. CHECK LISTER.....	24
11.1 CHECK LISTER FOR DAGLIGT TILSYN OG FØR START.....	24
11.2 CHECK LISTER EFTER LANDING.....	24
11.3 CHECK LISTER FOR LIPO BATTERI(ER).....	24
11.4 CHECK LISTER FOR ØVRIGE BATTERI(ER).....	25
11.5 CHECKLISTE VED NØDPROCEDURE.....	25
12. APPENDIX, LED SIGNALER FOR SYSTEMTILSTAND	26
12.1 DJI PHANTOM.....	26
12.2 DJI S1000.....	27
13. APPENDIX, LISTER OVER PILOTER.....	28
14. APPENDIX, UDSKRIFT FRA CVR REGISTER	28
15. APPENDIX, LISTER OVER SUPPLERENDE MANUALER	29
15.1 MANUAL FOR OPSÆTNING AF DJI S1000 OG PHANTOM, VER. 1, REV. 1.0.....	29
15.2 MANUAL FOR OPSÆTNING AF DJI A2, ZENMUSE Z15, IOSD OG AVL58, VER 1, REV. 1.0.....	29
15.3 MANUAL FOR OPSÆTNING AF FUTABA T14SG R/C TRANSMITTER, VER 1, REV. 1.0.....	29
15.4 MANUAL FOR HÅNTERING AF LITIUM POLYMER BATTERIER, VER 1, REV. 1.0.....	29
16. APPENDIX, LISTER OVER FABRIKANT MANUALER.....	30
16.1 DJI SPREADING WINGS S1000, USER MANUAL V1.08 ELLER NYERE.....	30
16.2 DJI A2 FLIGHT CONTROL SYSTEM, USER MANUAL V1.18 ELLER NYERE.....	30
16.3 DJI IOSD (ON SCREEN DISPLAY), USER MANUAL V2.10 ELLER NYERE.....	30
16.4 DJI ZENMUSE Z15, USER MANUAL, V2.0 ELLER NYERE.....	30
16.5 DJI AVL58 5.8G VIDEO LINK, USER MANUAL V1.0 ELLER NYERE.....	30
16.6 DJI PHANTOM, USER MANUAL V1.1 ELLER NYERE.....	30
16.7 FUTABA 14SG, INSTRUCTION MANUAL.....	30
16.8 FLYSIGHT VIDEO SKÆRM, BRUGER MANUAL.....	31
16.9 INSTRUCTION MANUAL FOR SKYRC EFUEL 1200W 50A AC/DC SWITCHING POWER SUPPLY.....	31
16.10 INSTRUCTION MANUAL FOR SKYRC ULTIMATE DUO 400W X2 PROFESSIONEL CHARGER DISCHARGER 31	
17. APPENDIX, TAF OG METAR KODER.....	32
18. NYTTIGE LINKS.....	32
19. APPENDIX, KOPI AF FORSIKRINGSPOLICE	33

Praktisk prøve

Når man har fået godkendt driftshåndbogen, vil det være muligt at få en forhåndsftale om en ansvarsforsikring. Med forsikringsbeviset i hånden er man nu klar til at gå op til den praktiske prøve.

Tid og sted aftales med Trafikstyrelsens konsulent. Man skal som prøvetager selv arrangere et sted hvor prøven kan gennemføres. Det kan være i nærheden af København, hvor Trafikstyrelsen har adresse, eller konsulenten kan komme hen til din location. I så fald skal der dog påregnes ekstra timer til transporttid samt kørselsgodtgørelse til konsulenten, hvilket hurtigt kan fordyre prøven betragteligt.

Det afhænger af dronens kategori hvor prøven kan afholdes, idet man skal flyve prøven inden for rammerne af BL 9-4. Kategori 1A og 1B kan afholdes på et hvilken som helst areal, blot de gældende afstandskrav er afholdt. For kategori 2 skal prøven afholdes på en dertil godkendt modelflyveplads. Før man

har opnået pilotgodkendelse, er modelflyvepladser det eneste sted, som man må flyve en drone på over 7 kg. Der findes modelflyvepladser omkring København, som mod vederlag på ca. 500 kr. udlejer deres faciliteter til flyveprøve med drone.

Før flyveprøven kan begynde, vil Trafikstyrelsens konsulent gennemgå dronen og det tilhørende udstyr. Nedenfor ses Trafikstyrelsens checkliste for kontrol og prøveflyvning, som den så ud i efteråret 2014. Den kan have ændret sig siden.

Som det fremgår af listen er kontrollen af dronens opbygning og funktioner vigtig. Alt skal naturligvis fungere og være samlet forsvarligt. Et afgørende punkt i det forhold er, at alle skruer og ledninger er fastgjorte og sikrede. Ledninger og stik kan fastgøres med strips og tape, og alle skruer sikres med gevindforsegling (f.eks. blå Loctite). Vibrationer fra dronens motorer gør, at selv stramme skruer kan ryste sig løs. Nogle skruer skal spændes med momentskruetrækker, og ud over Loctite skal skruerne have et såkaldt "torque seal". Helt praktisk kan det være en lille klat neglelak, som lægges over skruerne som en forsegling. Så kan man nemt visuelt kontrollere, at laksegløet ikke er brudt, og at skruen dermed sidder fast.

Det er vigtigt at dronen er i balance. Hvis det ikke er tilfældet, vil nogle af motorerne være mere belastet, og det betyder reduceret drift tid og tab af manøvreedygtighed. Det vil man måske ikke mærke til i roligt vejr, men opstår der pludselig vind eller turbulens, kan det være afgørende for, om man kan styre dronen sikkert. I en fabriksbygget RTF-drone er det typisk ikke et problem, men med ved de individuelt samlede droner skal man være meget opmærksom på problemet. Batterier kan f.eks. have forskellig vægt, og her er det nødvendigt at finde den helt rigtige montering for at opnå balance. Balancen kan kontrolleres ved at løfte dronen i to modsatstillede motorarme. Er balancen dårlig, vil dronen hælde til en side. Afprøvningen gentages i hele dronens omkreds.

Når udstyret er godkendt og indvejet, kan den praktiske prøve begynde. Der er to relativt simple formationsflyvninger, som man skal mestre i henholdsvis 40, 80 og 100 m højde. Man skal også bevise dronens evne til at holde en fast position i en højde af 30 m. Øvelsen gentages for hver droneenhed, som der skal have godkendelse. Det er ikke svære opgaver. De fleste vil kunne gennemføre dem efter et par timers øvelse.

Til sidst skal dronens sikkerhedssystem afprøves. Er der tale om en kategori 1B eller 2-drone, er det et krav, at dronen automatisk selv skal kunne finde tilbage til sit udgangspunkt og lande sikkert, hvis f.eks. radiokanalen til dronen falder ud. I forhold til betingelserne for sikkerhedsområdet, altså om der må være andre personer til stede ud over selve piloten, skal det afprøves, om dronen kan lette, flyve og lande sikkert med én motor slået fra. Er der tale om en multirotor med seks eller otte motorer, vil det normalt være muligt. Er der tale om drone af en vis kvalitet, er det slet ikke sikkert, at man i roligt vejr vil bemærke at en motor er ude af drift. Derfor bør denne del af prøven også være relativt nem, når man har den grundlæggende flyveerfaring på plads.

Kontrol samt prøveflyvningsliste ved gennemgang af UAS



Dato: _____ Virksomhed _____

Sted: _____

Registrerings nr. er fastmonteret i modellen?	
Tegning eller beskrivelse forevist?	
Tyngdepunkt korrekt placeret?	
Motorfundament korrekt dimensioneret og fastgjort?	
Motor korrekt monteret og forsvarligt fastgjort?	
Propeller i forsvarlig stand og korrekt monteret?	
Understel korrekt dimensioneret og fastgjort?	
Optrækkeligt understel har korrekt funktion?	
Servoer er korrekt monteret, og har tilstrækkelig styrke til de funktioner de betjener?	
Radio-akkumulator har tilstrækkelig kapacitet og er forsvarligt fastgjort?	
Ledningsforbindelser er forsvarligt fastgjort og vibrationssikret?	
Ledningsforbindelser mellem akku. og modtager er tilstrækkeligt dimensioneret?	
Motordrossel har korrekt funktion, og motor kan stoppes fra sender?	
Evt. reparationer er forsvarligt udført?	
Evt. ombygninger er forsvarligt udført?	
Radioanlæg er på 35 MHz eller 2,4Ghz -båndet?	
Vægten er indenfor gældende grænse?	
Anvendes modtager med failsafe, skal denne kontrolleres?	
Batteri: Styrke..... Type.....	
Torque seal	
Luftdygtighed foretages ved prøveflyvning et sikkert sted i. Manøvrerne vælges under hensyntagen til modellens type.	
Flyvning i ottetal. 40m/80m/100m	
Flyvning i firkant. 40m/80m/100m	
Hover i forudbestemt højde. 30m	
Return to point of origin/departure	
Redundancy. Flyvning med motor stoppet/propel afmonteret.	
Flyvning med kamera monteret/afmonteret.	
LOG af flyvning. Tilsendes TS	
FAIL-SAFE tonegivende signaler.	
FAIL-SAFE med sender tændt	
FAIL-SAFE med sender slukket	
Ansøger/Firma	

Kilde: Trafikstyrelsens kontrolliste ved praktisk prøve for pilotgodkendelse.

Fremtidige regler og forhold

Ovennævnte regler og procedure er gældende fra 2014. Der arbejdes fra Trafikstyrelsens side på flere tiltag til at gøre flyvning med droner mere sikker og kontrollabel samt i nogle henseender mindre restriktiv for små droner. Information om disse tiltag findes på Trafikstyrelsens hjemmeside.

Trafikstyrelsen har bemyndiget virksomheden "UAS Test Center Denmark" til at gennemføre en evaluering af dispensationsansøgning, driftshåndbog og yderligere dokumentation samt gennemføre flyveprøven. Dispensationen udstedes dog stadigvæk af Trafikstyrelsen.

Forsikring

Der er ingen krav om, at man skal have ansvarsforsikring for droner under 7 kg til hobbybrug. For droner med en større vægt er det et krav fra EU, at der skal foreligge en ansvarsforsikring. For at opnå pilotgodkendelse fra Trafikstyrelsen er det et ufravigeligt krav, at man som minimum har en ansvarsforsikring uanset drone kategori.

Enkelte forsikringsselskaber dækker flyvning med droner under en almindelig ansvarsforsikring, hvis der er tale om hobbybrug. Det er også muligt at tegne en forsikring gennem foreningen Modelflyvning Danmark. Det kan måske være nyttig viden, hvis man f.eks. tillader at amatører fotograferer frivilligt og vederlagsfrit for museet. Men her bevæger man sig ud i en gråzone.

Skal museets personale udføre flyvning, skal der være tegnet en ansvarsforsikring for dette. Så vidt vides, er det ikke muligt at tegne en droneforsikring for erhverv uden en pilotgodkendelse fra Trafikstyrelsen.

Ønsker man at tegne en erhvervsforsikring for dronflyvning kan man med fordel henvende sig til forsikringsselskaber eller –mæglere, som i forvejen arbejder med luftfartsrelateret forsikring.

Forsikringsselskabet vil forlange registreringsnumre på de droner, som skal forsikres. Trafikstyrelsen udsteder registreringsnummeret, når driftshåndbogen er godkendt. Med dem kan man få et forsikringsbevis, hvis gyldighed er betinget af pilotgodkendelsen.

Prisen på en ansvarsforsikring afhænger af dronekategorien: Desto tungere, desto dyrere. Eksempler på priser for ansvarsforsikring ligger på 1295 kr årligt for en kategori 1A drone, og 1895 kr for en kategori 2-drone. Ønsker man også en kaskoforsikring for dronen, er prisen omtrent det dobbelte.

Udstyrsgrenen

Esben Schlosser Mauritsen

Valg af drone

Der findes to typer droner med forskellige egenskaber: de fastvingede typer og multirotor typer. De fastvingede skal bevæge sig gennem luften med nogen hastighed for at holde sig oppe, hvorimod multirotor typerne både kan stå stille og bevæge sig i vilkårlig retning.

De fastvingede droner har en krop og vinger af flamingo eller andet letvægtsmateriale. De har typisk kun én motor. Kameraet er fastmonteret, så det peger nedad. Det vil ofte være et kompaktkamera. De er beregnet til at flyve med autopilot efter en forudbestemt rute, manuel flyvning er dog også muligt. De fastvingede droner har deres styrke i systematisk affotografering af større arealer med henblik på indsamling af data til ortofotografier og overflademodeller.



Figur 2. Fastvingedrone. Sensefly, Siena, 2013. Fotograf ESM.



Figur 3. Multirotor drone, Aibotix, Siena 2013. Foto ESM.

Multirotordroner er kendetegnet ved at have tre eller flere motorer. Mest almindeligt er det med fire motorer. Men der findes også droner på markedet med seks eller otte motorer. Multirotordroner fungerer ved at en indbygget enhed, en såkaldt IMU, balancer dronen i luften ved at sende signaler ud til de respektive motorer om at skrue op eller ned for omdrejningerne. Dronen bruger også kompas til at orientere sig efter, ligesom en højdemåler betyder, at dronen kan holde en bestemt flyvehøjde. Endelig har de fleste droner i dag en indbygget GPS-modtager, som gør at dronen kan fastholdes i en given position. GPS-enheden kan også være forbundet til andre funktioner såsom autopilot og et sikkerhedssystem som gør, at dronen kan finde tilbage til sit udgangspunkt, hvis radioforbindelsen svigter, eller hvis den er ved at løbe tør for strøm.

Dronen styres med en radiosender som f.eks. en fjernstyret bil. Fra senderen kan man styre dronen op og ned, til højre, venstre, fremad, bagud eller rundt om sin egen akse. Helt afhængigt af systemets opsætning kan man styre kameraudløsning, kameraophæng, flyvestil, sikkerhedsreturnering og mange andre ting.



Figur 4. Ombygget Phantom 1. Foto Lars Chr. Bentsen.



Figur 5. Drone af helikoptertype, Seina 2013. Foto ESM.

Multitrotorer kan deles i to overordnede grupper: Droner, som leveres flyvefærdige (mest kendt er nok Phantom DJI 1 og 2 modellen, se Figur 4), og droner, som man i varierende udstrækning selv skal samle og udføre systemopsætning på. For bare få år siden var gør-det-selv-løsninger enerådende på markedet. Det udgjorde en barriere for nybegyndere, at man skulle stykke stumperne sammen. Det kræver kendskab til elektronik og radiostyring, som de fleste ville skulle bruge en del tid på at lære. Men det har ændret sig nu, hvor man kan købe droner RTF: "ready-to-fly". De større droner, af lidt mere professionelt tilsnit, skal dog stadig samles og sættes op. Det giver en mulighed for at tilpasse dronen til præcis det behov, man har. Og mulighederne er vitterligt mange. Mange droneforhandlere tilbyder at levere de individuelt sammenføjede og tilpassede droner færdigsamlet mod en mindre merbetaling. På den korte bane kan det nemt betale sig. Men man skal vide, at der er en del vedligeholdelse på en kompleks drone. Der kan opstå pludselige fejl på de mest ubelejlige tidspunkter. Og så kan man nemt få problemer, hvis ikke man forstår, hvordan dronens mange dele er samlet og konfigureret.



Figur 6. DJI S1000. Foto Peter Helles Eriksen.

Formålet med dronen vil i langt de fleste tilfælde være fotografering, selvom også andre typer af sensorer kan tænkes at få en betydning i fremtiden. Kameraet kan være fastmonteret eller sidde i et mere eller

mindre bevægeligt kameraophæng. Det kan være bevægeligt i en, to eller tre akser, og vil normalt være forsynet med en gyrostabilisering.

Stabiliseringen styres af en IMU svarende til den, der sidder i selve dronen. Når IMU'en registrerer en bevægelse, sørger den øjeblikkeligt for at sende signal til motorerne i kameraophænget. De sørger så for at styre kontra i forhold til bevægelsen, således at kameraet hele tiden fastholder den aktuelle fotovinkel. Det er en god egenskab af flere grunde. For piloten på jorden står skærbilledet helt stille, så man kan tage de ønskede fotos. Man sikrer dernæst, at alle billeder er taget i samme vinkel. Med fastmonteret kamera er det vanskeligt/umuligt at fastholde vinklen. Endelig giver stabiliseringen mulighed for at optage video, som man rent faktisk kan holde ud at se på, uden at blive søsyg.

Vibrationer er en stor udfordring, når man skal tage fotos fra dronen. Motorerne skaber rystelser ned gennem fartøjet, og de forplanter sig ud til kameraet. Det kan give uskarphed på fotos, og ved video forårsager det en uskøn "blævrende" effekt. De fleste droneproducenter er opmærksom på dette problem og forsøger gennem forskellige konstruktioner at dæmpe overførslen af vibrationer. Ved de større droner udnytter man f. eks. batteriets vægt og inertie til at absorbere rystelser, idet kameraophænget monteres på samme konstruktionsdel som batteriet.

Endelig skal man være opmærksom på dronens løftekapacitet og batteristørrelse. Begrænsningerne her har indflydelse på kameraets vægt og hvor lang tid, der kan flyves inden batteriskift.

Udvalget af kameraer, som kan monteres på droner, er i dag ret stort. Hvis man vælger et kamerahus, hvortil der findes færdigt ophæng og stabilisering, er indsatsen begrænset. Vælger man et specialkamera, må man påregne tekniske udfordringer ved at integrere det med dronen og dets systemer. For bare få år siden var det mest almindeligt brugte kamera på droner af mærket GoPro. Fordelen ved disse var, at de både var lette og kunne lave video af god kvalitet. Ulempen var den store billedvinkel, den lille sensor og den dårlige optik, som kendetegner sådanne "actionkameraer".

Over de seneste år er der sket den udvikling, at de større droneproducenter selv leverer tilhørende dronekameraer, og det i stadig bedre kvalitet. Mange af disse mindre kameraer lider dog stadig af små sensorer. For de større droner, rettet mod det professionelle marked, er kameraophæng med "rigtige" kameraer stadigvæk normen. Et spejlreflekskamera er tungt i sig selv, og vægten af et tilhørende kameraophæng ligger mellem 2-3 kg afhængig af kvaliteten. Der sker for tiden en stor udvikling af de såkaldte systemkameraer, som nu kan fås med fullframe-sensorer til en overkommelig pris. De er kendetegnet ved ringe vægt og udskiftelig objektiv.

Mulighederne er således mange – men hvad skal man som museum vælge?

Det afhænger helt af pengepungen og behovet. Prisen for en drone med kamera varierer i dag fra få hundrede kroner til langt over 100.000 kr. Set i forhold til så meget andet opmålingsudstyr, som museerne bruger, er det prismæssigt ikke nogen uoverstigelig udgift, hvis man ser på udstyrsprisen alene. Men vælger man den forkerte løsning i forhold til evner og behov, kan det hurtigt blive en dyr og ærgerlig anskaffelse.



Figur 7. Tirpitz-bunkeren, WWII. Foto ESM.

Man bør starte med at analysere sit behov: Er man blot interesseret i at tage almindelige dokumentations- og oversigtsfotos fra drone, fremfor at bruge stige eller lift, findes der nu talrige RTF-løsninger. Her følger der både radiosender og kamera med, nogle gange også en monitor. Andre kan forbindes til en smartphone eller tablet uden større problemer. Man skal selvfølgelig sikre sig, at det medfølgende kamera har en anstændig kvalitet, men ellers er man klar til at gå i luften. Disse droner er praktisk talt alle lette droner på under 7 kg, så man kan bruge dem uden videre inden for den generelle lovgivning, som reglerne er i dag.

Ønsker man at lave overflyvninger af store områder på flere km², er det den fastvingede dronemodell, man bør vælge. Der vil givetvis være mange steder i udlandet, hvor udvalget eller kvaliteten af tilgængelige geodata er så ringe, at man er nødt til at lave det selv fra bunden. I dansk sammenhæng, hvor vi har god adgang til geodata af høj kvalitet, er behovet for den slags opmålinger begrænset, når vi taler arkæologi. Har man alligevel brug for sådanne data, vil det nok kunne svare sig at indkøbe det som en ydelse fra et landmålerfirma, fremfor at købe udstyret selv. Det skal dog siges, at man i dag kan købe selv mindre RTF multirotorløsninger, som giver mulighed for at flyve og fotografere systematisk i en fastlagt rute ved hjælp af en autopilot. Så taler vi opmåling af områder i størrelsesordenen 0,5-1 km² findes der billige RTF-droner, som kan bruges til den type opgaver.

Ønsker man at arbejde med mere avanceret fotogrammetri -Structure from Motion (SFM) er det især kameraet, som man skal tage udgangspunkt i. Grundlaget for at lave 3D-modeller ud fra fotos er, at man kan tage skarpe billeder med begrænset optisk forvrængning og med en tilstrækkelig høj opløsning. Spørgsmålet om skarphed har allerede været berørt ovenfor. Det vigtigste er, at dronens vibrationer ikke overføres til kameraet. Med hensyn til opløsning, så kan man lave fotogrammetri med de fleste kameraer. Det, som vil være begrænsningen for hvor "god" eller højt opløst modellen kan blive, er sensorens størrelse og opløsning. På de fleste RTF-droner med tilhørende kamera er sensoren ganske lille, typisk en 5,8*4,3 mm, svarende til et smartphone-kamera. Til at lave 3D modeller af f.eks. bygninger og andre mindre komplekse ting, hvor det er form frem for tekstur/overfladefremtoning (som det gælder for ortofotos), kan

man lave ganske anstændige ting med en 7,5*5,5 mm -sensor, bare man er tæt nok på. Men ønsker man at affotografere en udgravningsflade i nogenlunde kvalitet, uden alt for mange lavhøjde-fotos, er der grund til at se sig om efter en løsning med større sensor.

Skal det være endnu bedre skal man op i et kamera med APSC-sensor⁹, 25,1 * 16,7 mm, eller et decideret fullframe, 24*36 mm. Det får man nu i både systemkameraer og spejlrefleks. Men så bevæger vi os også i kategorien af større droner som ikke sælges RTF.

Hvad angår megapixels er det ikke så stort et emne længere, da standarden efterhånden er 12 mpx eller derover på de fleste nye kameraer.

På ARKVEST råder vi pt over to forskellige systemer, som måske kan illustrere mulighederne – og begrænsningerne - i hver sin ende af "drone-skalaen".

Den første drone, som vi tog i brug i 2013 var en multirotor med fire propeller af fabrikatet DJI Phantom 1 (se Figur 4 og Figur 8). På det tidspunkt var det kun muligt at få et fast ophæng til GoPro-kameraer. Da vi på ARKVEST/Ringkøbing-Skjern Museum havde brugt SFM til udgravningsdokumentation i et par år, stod det på forhånd klart, at et GoPro-kamera ville være en ringe løsning til fotogrammetri. I stedet lykkedes det at finde en adaptor mellem et GoPro stik og en skrue, som er gængs i almindelige kameraer. Dertil købte vi et Canon S100 kompaktkamera. Valget faldt på dette kamera, da det ud over at være let, havde en relativt stor sensor, også lod sig CHDK-hacke¹⁰. Der var ingen intervallometer¹¹ funktion i kameraet, men med en simpel modifikation kunne den funktion laves.



Figur 8. Ombygget Phantom 1, bemærk Canon kompakt kamera med 'customized' ophæng. Foto Lars Chr. Bentsen.

⁹ Advanced Photo System type-C og <https://en.wikipedia.org/wiki/APS-C>

¹⁰ The Canon Hacker's Development Kit - <http://chdk.wikia.com/wiki/CHDK>

¹¹ Et intervalometer udløser kameraet automatisk med defineret tidsinterval.

Denne opsætning vil kunne løse praktisk talt alle almindelige udgravningsopgaver. I 2013 lavede vi således den første totale fladeopmåling med drone og SFM i Danmark af en hel udgravning ved tuegravpladsen VAM 1787 Billumvad. Med en fast indstilling af kameraet i lod og intervalometer på udløsning var det relativt simpelt at affotografere den afgravede flade i en nogenlunde kvalitet. Fordelen ved denne løsning var, at det var en billig, simpel og let betjent droneløsning. Kvaliteten var nogenlunde tilfredsstillende, hvis man fik taget billeder nok og indstillet kameraet optimalt. Ulemperne var desværre også flere. Vi kunne ikke se billederne, så det var lidt en blanding mellem erfaring og held, om man fik taget billederne i en optimal højde. Ved skråfotografering var det virkelig svært at finde den optimale vinkel i forhold til en given flyvehøjde. Vibrationerne var også en udfordring, selvom vi fik indbygget ekstra dæmpning og udskiftet de bløde plastikpropeller med mere stive kulfiberpropeller. Det betød, at vi måtte tage billederne med en lukketid på 1/1000 sekund, ret lidt på et ikke specielt lysstærkt kamera. Det stillede store krav til lysforholdene. Endelig medførte enhver flyvning et voldsomt antal fotos, når udløsningen var hvert andet sekund. Men det var nødvendigt, da frekvensen af uskarpe og skæve fotos var temmelig høj. Men når alt det er sagt, så var det rent faktisk et anvendeligt dronesetup, som tillod os at lave de nødvendige optagelser. Det var bare lidt bøvlet.

Vi begyndte derfor allerede i 2013 at se os om efter en bedre løsning. Der skete rigtigt meget på markedet i den tid. I foråret 2014 slog vi til. Valget faldt på en drone af samme mærke, men i en professionel klasse, nemlig DJI S1000 (se Figur 9)

De tekniske data er følgende:

- 8 rotorere
- Tom vægt uden batteri 4,2 kg, maksimal vægt 11 kg
- Optrækkeligt understel
- Integreret radiomodtager og motorstyringsenhed
- Gyrostabiliseret kameraophæng
- SONY NEX7 kamera, APSC sensor, 24 MPiX, 16 mm brændvidde
- Video down link
- 10 – 20 minutters flyvetid, afhængig af batteri
- Kamera og drone styres fra samme kontrolenhed



Figur 9. ESM med DJI S1000. Foto Peter Helles Eriksen.

Dronen leveres som samlesæt i en god kvalitet og selve flyvestellet er nemt at samle. Samling af de elektriske enheder for alene at kunne få dronen til at flyve kræver lidt teknisk indsigt, idet både styrepult og de elektriske enheder skal konfigureres. Dokumentation er på dette område ikke helt fyldestgørende.

Sammenkobling af det stabiliserede kameraophæng med dronen er yderligere en udfordring, især hvis man vil styre kamera og drone fra samme fjernkontrolenhed. Der er et begrænset antal ekstra styre-kanaler til rådighed, og opsætning af disse kanaler har været en udfordring. Fordelen ved denne løsning er, at én person kan styre både drone og kamera. Ulempen er, at kameraet kun har to rotationsakser.

Dronen der nu har været i brug i et års tid, har udført ca. 50 opgaver, og bagerst i denne rapport er vedlagt 7 udvalgte cases. Fordelen ved den store drone er dens evne til at flyve stabilt og holde kameraet i ro selv i kraftig blæst og turbulens.

Der har været et par mindre havarier, hvor det har været nødvendigt at udskifte en rotorarm henholdsvis et par propeller. Det har endvidere været nødvendigt at udskifte slidte gummibøsninger.

Dokumentationsgrenen

Carsten M. Risager

Det korte svar på spørgsmålet 'Kan vi få bedre og billigere registreringer ved at bruge droner til dataindsamling [på arkæologiske udgravninger] fremfor GPS og totalstation?' er nej, ikke som det ser ud på nuværende tidspunkt. Det lange svar er noget mere nuanceret, men ender med samme konklusion og har en ret nøje sammenhæng med pilot-, udstyrs- og 3D-grenen.

Men for at underbygge konklusionen, så er det nødvendigt at fremlægge noget data og til dette vil der blive brugt en udgravning fra Mosegårds ansvarsområde i Odder Kommune, sagen hedder "FHM5245 Rønhøjsager" og tak til udgravningsleder Signe Helles Olesen for tilladelse til at bruge udgravningen og råmateriale fra sagen.



Figur 10. DJI Phantom 2 med Canon Powershot S110. Fotograf Hans Skov.

Tidsstudierne

I forbindelse med arbejdet i felten og efterbearbejdningen tog dronepiloten/opmåleren tid på de opgaver der blev udført.

Fællesopgaver er udeladt fra tidstagningen, da de er uafhængige af opmålingen, f. eks. kørsel til/fra udgravningen, transport af udstyr fra bil til udgravningsfelt, og lignende.

Hvis vi kigger på resultaterne i tidsforbrugsskemaet og tager højde for forbehold 5 (bearbejdning i 3D software), så er tidsforbruget ved de forskellige opgaver faktisk relativt ensartet og i en vis udstrækning også kvaliteten af digitaliseringen

Til opmålingerne med tidstagning blev der anvendt følgende udstyr:

Drone -> Standard DJI Phantom 2 med Canon Powershot S110 monteret på hjemmelavet ophæng. Fotos optaget i 2 sekunders intervaller..

Totalstation -> Leica TS12, GPS GS15 GNSS og CS15 controller.

GPS -> Trimble R8 GNSS og TSC2 controller.

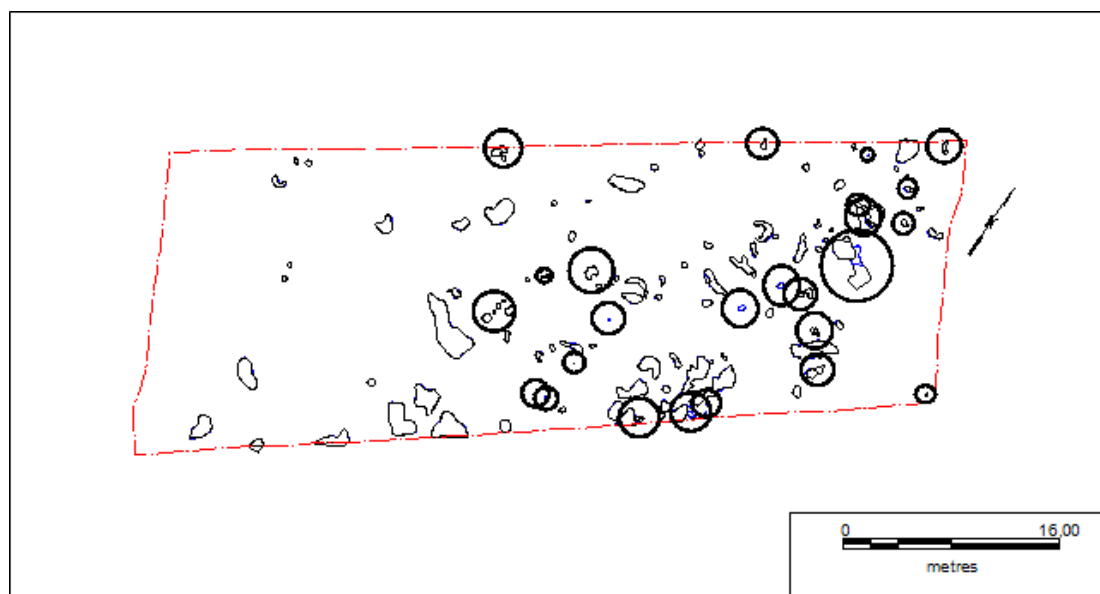
Tidsforbrug (1)	Drone	Totalstation (2)	GPS
00:15	Klargøring af drone (3)	Opsætning (4)	Opmåling
00:30			
00:45			
01:00		Opmåling	
01:15	Placering af markers		
01:30	Flyvning		
01:45	Opsætning totalstation (4)		
02:00			
02:15			
02:30	Opmåling af targets		
02:45	Pakke drone sammen		
03:00	Indlæsning af data		
03:15	Klargøring af fotos		
03:30	Klargør markersfil		
03:45	PhotoScan (5)		
04:00			
04:15			Indlæsning af data
04:30		Indlæsning af data	Redigering af fejl (7)
04:45		MapDigi	
05:00		Redigering af fejl	
05:15	Digitalisering (6)		
05:30			
05:45			

Klargøring	Dataindsamling	Databearbejdning	Postprocesering
------------	----------------	------------------	-----------------

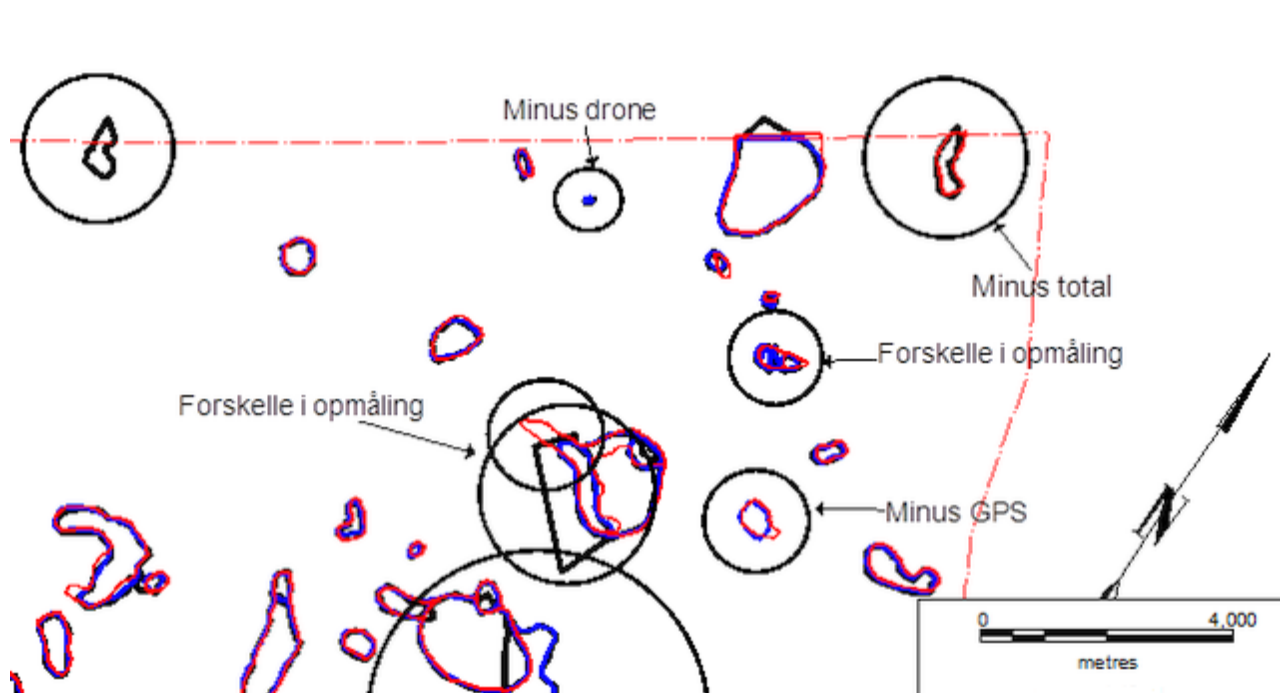
Antal målte punkter	17	3277	2763
Antal billeder	128	0	0
Antal Mb (oprundet)	540	1	3
Antal felter	Minus	1	2
Antal anlæg	106	114	122
Kvadratmeter felt	Minus	1233	1292
Kvadratmeter anlæg	68,6373	66,157	73,2549

Tabel 1. Skema over tidsforbruget i forbindelse med de forskellige dokumentationsopgaver (klargøring, dataindsamling, databearbejdning, postprocessing) fordelt ud på de forskellige dokumentationsmetoder (drone, totalstation og GPS).

- 1) Tidsforbruget er opsat i intervaller på et kvarter. Generelt skal det bemærkes, at det er effektiv tid, der er skrevet ind i skemaet. Alle målingerne til totalstationen blev målt uden pauser dvs. ca. 3½ times uafbrudt opmåling, mens GPS målingerne er splittet op over flere dage. For at beregne tidsforbruget på GPS opmålingen blev data fra GPS controlleren overført til opmålingssoftwaren Trimble Geomatic Office (TGO), hvorefter de relevante punkter samt deres tidsstempel blev eksporteret som tekst-fil, der kunne manipuleres og sammentælles i excel.
- 2) Leica totalstationen var sat på en indstilling som gør, at den ikke måler helt så hurtigt som en Trimble totalstation i tracking mode, dette er formentlig et indstillingsspørgsmål, da opmålingsudstyr fra forskellige leverandører har en tendens til at være udstyret med de samme funktioner, bare med andre navne. Dog vil jeg vurdere, at der maksimalt kan skæres en tredjedel af tidsforbruget på opmålingen her.
- 3) Klargøringen af dronen omfatter tjek af udstyr og opladning af batterier og kan med fordel udføres dagen før opmålingsopgaven. Da det er en opgave, som man går meget til og fra (ex. opladning af batterier), og da man er på opgaven i ret korte intervaller, så er den effektive tid sat til en time.
- 4) Opsætning af totalstation (drone & totalstation): i tabellen er der brugt 45 minutter til opsætning. Dette vil dog kunne gøres indenfor 15-30 minutter. Men da kikkerten vendte forkert i forbindelse med opsætning, gik der lidt tid med fejlretning.
- 5) Photoscan 3D software (drone): Denne proces er selvkørende efter den er sat i gang, så der vil man typisk kunne sidde med andet arbejde.
- 6) Digitaliseret af Casper Skanning Andersen, Arkæologisk IT. I første omgang blev det vurderet, at opløsningen på ortofoto var for lav til, at det ville kunne lade sig gøre at digitalisere (se Figur 13 til Figur 19). Men det blev besluttet at gøre forsøget alligevel og faktisk med et rigtig pænt resultat.
- 7) Der er stor forskel på hvilket æstetisk udtryk den enkelte udgravningsleder insisterer på, at deres data skal have. Hvis man kan leve med de almindelige begrænsninger, som der følger med GPS'en, så er efterbearbejdningen hurtigt overstået, men hvis fyldskiftene skal have fjernet "hårde hjørner" så tager det længere tid. I dette tilfælde er der ikke brugt tid på at fjerne 'æstetiske' fejl.



Figur 11. Cirklerne markerer steder, hvor der er markante forskelle i opmålingen..

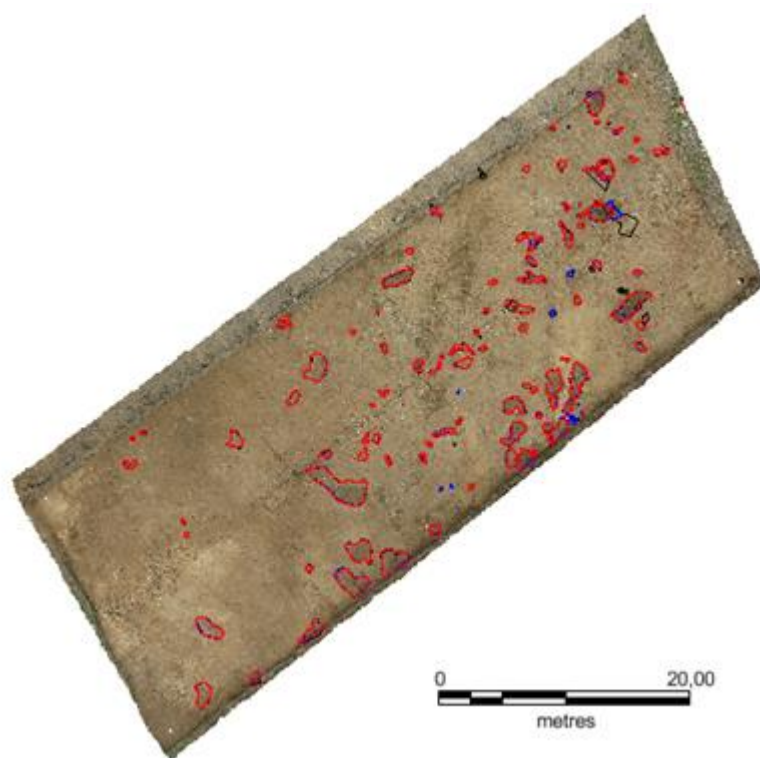


Figur 12. Udsnit med markante forskelle i opmålingen markeret ved sorte cirkler. Lagene ligger med drone (rød) øverst, totalstation (blå) næstøverst, GPS (sort) og Felt (stiplet rød) nederst.

I forbindelse med opmålingerne er en af de første ting der springer i øjnene, at der ved alle opmålingsmetoderne er 'glemte' anlæg, dog med GPS opmålingen som den opmåling der har fået flest anlæg med (se Figur 11 og Figur 12). Dette har ikke den store indflydelse på tidsforbruget, men jeg synes det er relevant at nævne i denne sammenhæng, også selvom det ikke har så meget med metoderne at gøre. Det er også værd at bemærke, at opmålingerne er udført af tre forskellige personer og der har været forskellige målsætninger. Ved GPS opmålingen var målsætningen af lave udgravningsdokumentation og ved totalstation og drone var det at lave et komparativt materiale til anvendelse i denne tidsanalyse (Tabel 1).

Præcision

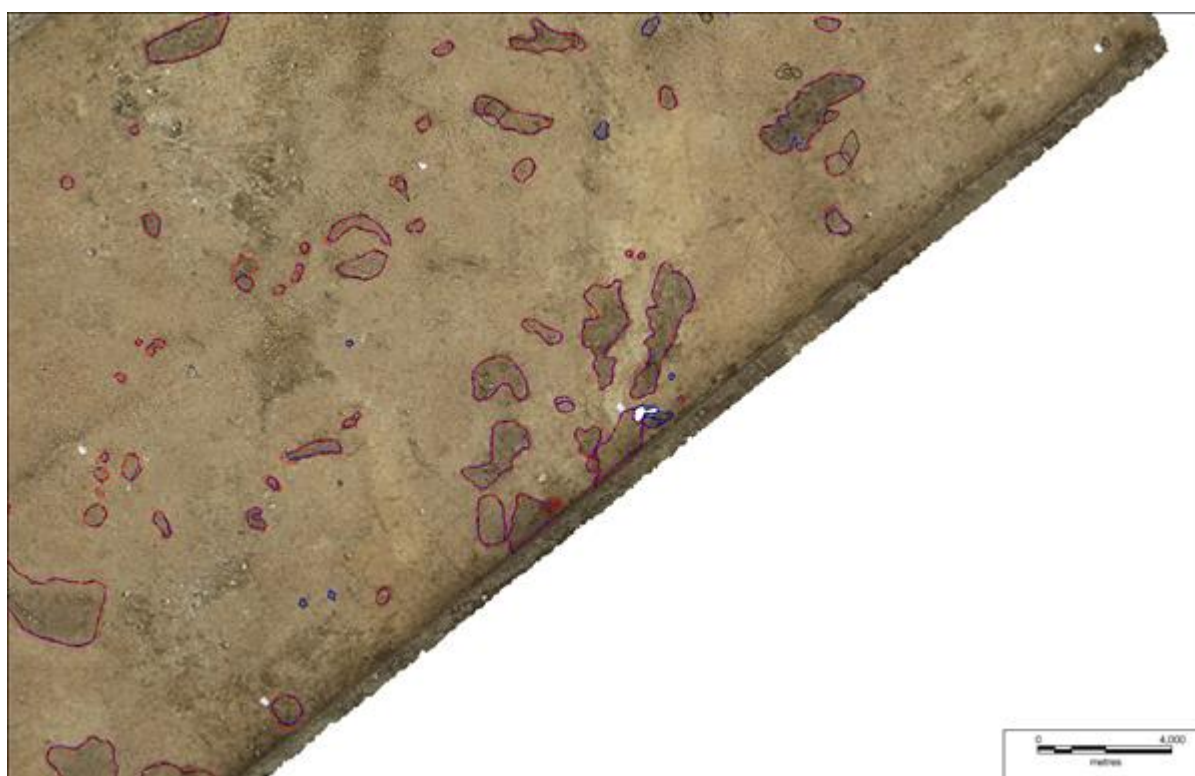
I følgende billedserie (Figur 13-Figur 19) er data fra de tre opmålinger lagt sammen og alle metoderne har en høj præcision. Man skal helt ind i zoomniveau 6 (Figur 17), før der begynder at komme mærkbare forskelle i data, f.eks. at ortofotoet genereret af drone-fotos begynder at blive sløret, og der begynder at komme 'spikes' på data fra GPS målingen.



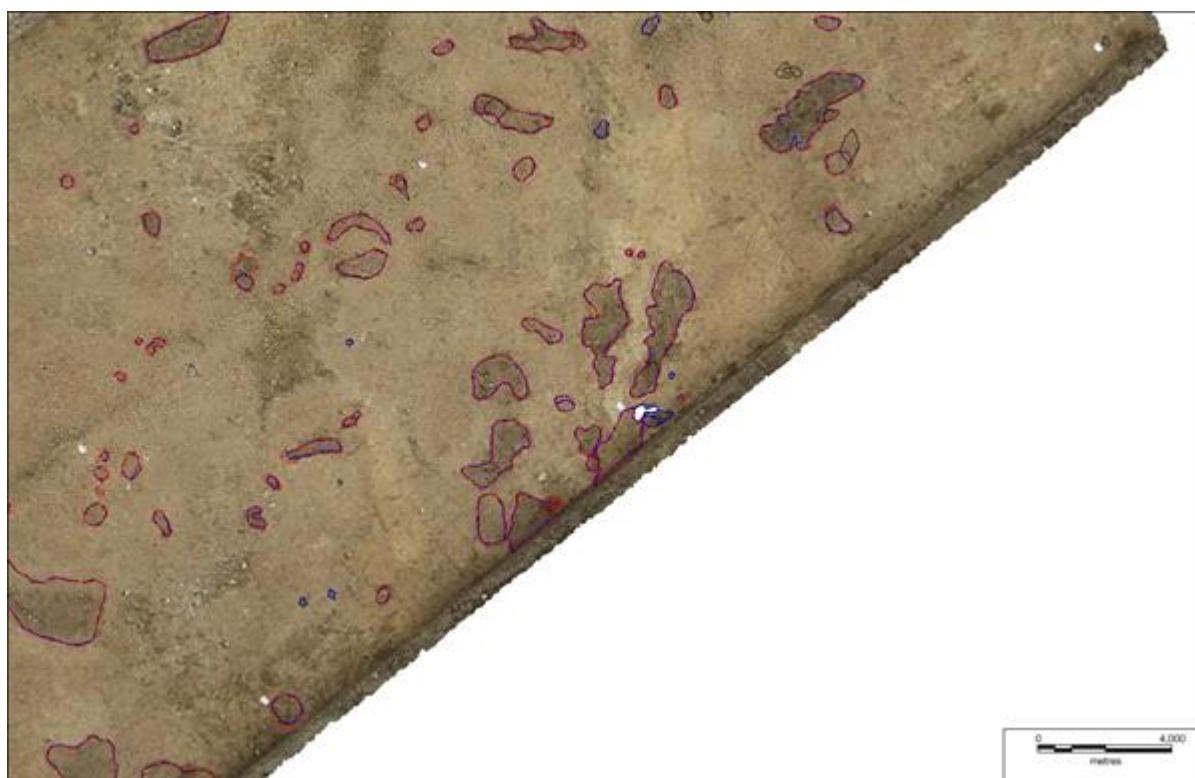
Figur 13. Serie 1 zoomniveau 1. Ortofotoet fra dronen og polygoner fra de forskellige opmålinger, med dronedigitaliseringen (rød signatur) øverst og derfor mest fremherskende. Blå = totalstation og sort = GPS.



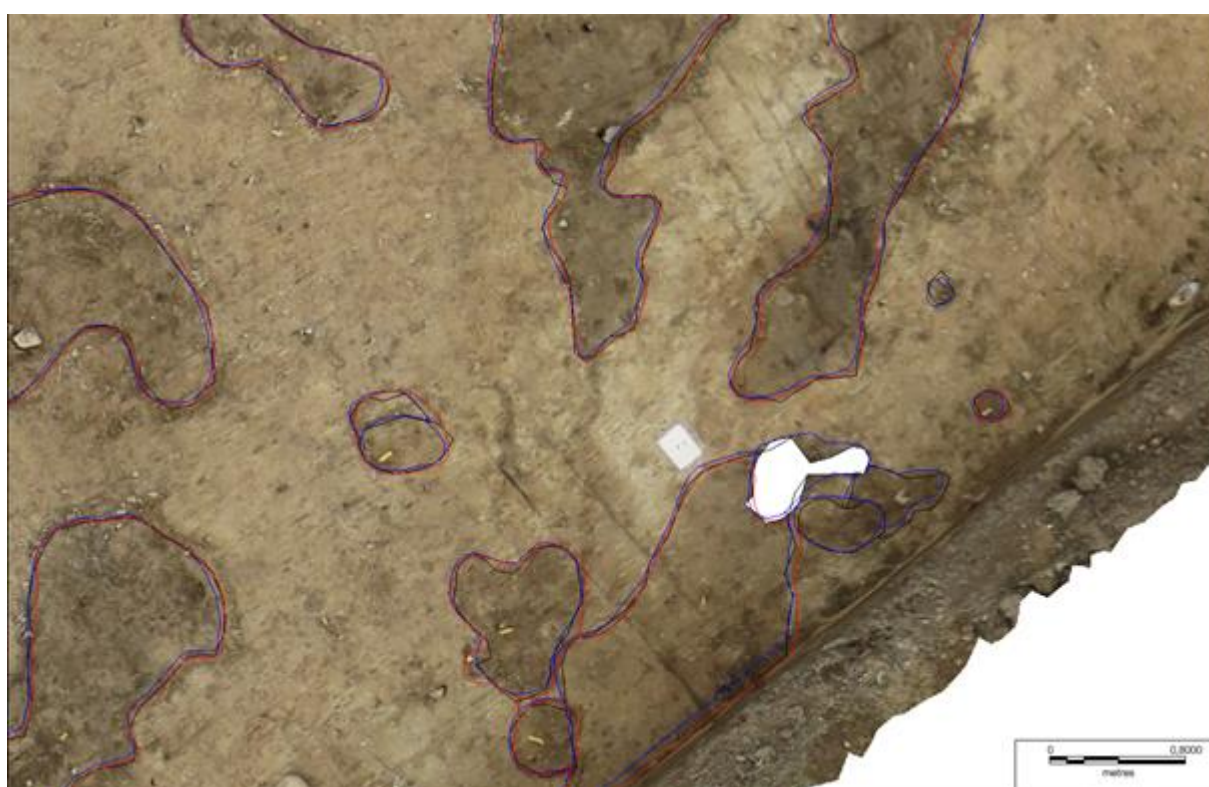
Figur 14. Serie 1 zoomniveau 2. Samme forklaring som Zoomniveau 1.



Figur 15. Serie 1 zoomniveau 3. Samme forklaring som Zoomniveau 1, dog med et enkelt hvidt anlæg fra GPS-opmålingen..



Figur 15, Serie 1 zoomniveau 4. Samme forklaring som zoomniveau 1, de blå signaturer fra totalstationsopmålingen begynder at kunne skelnes fra drone digitaliseringerne.



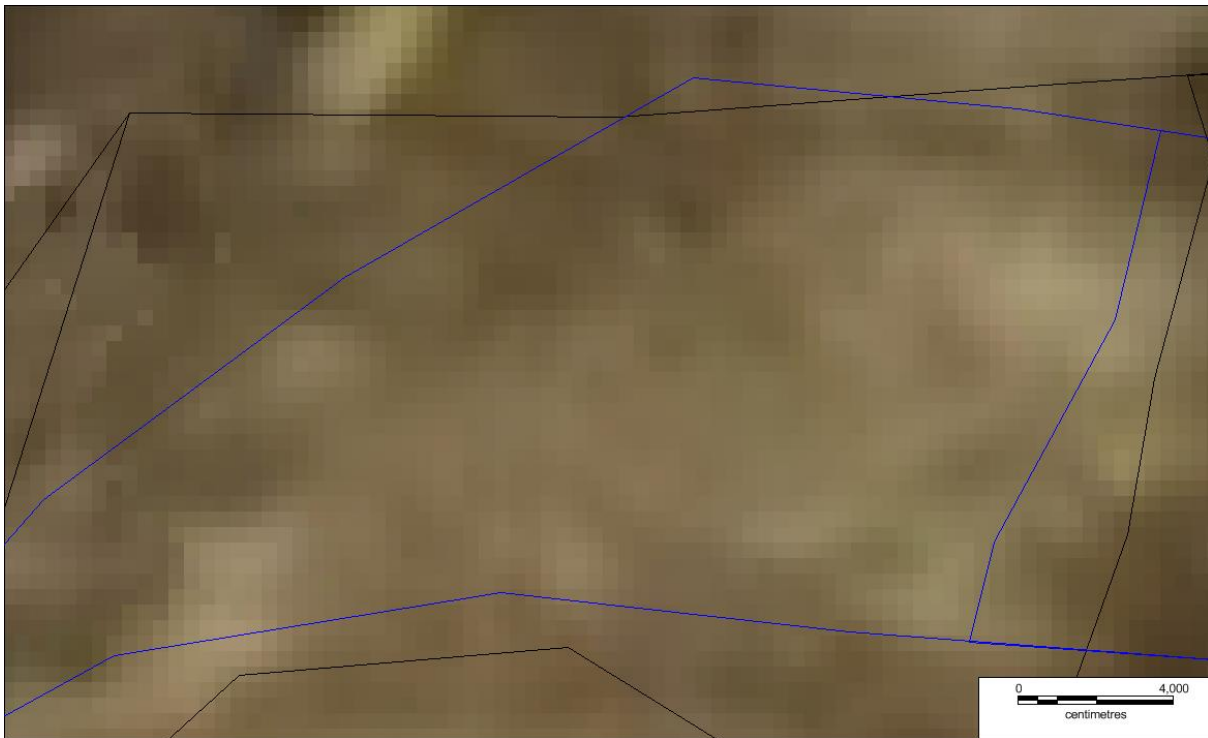
Figur 16. Serie 1 zoomniveau 5. Samme forklaring som zoomniveau 4.



Figur 17, Serie 1 zoomniveau 6. Samme forklaring som zoomniveau 4. De sorte streger fra GPS'en begynder at kunne ses, sammen med nogle af de hårde hjørner på denne opmåling. Ortofoto begynder at blive uskarpt.



Figur 18. Serie 1 zoomniveau 7. De skarpe hjørner på GPS opmålingen (sort) træder nu tydeligt frem og dele af arealet kunne ikke digitaliseres på basis af foto fra dronen (rød). Det er dog værd at bemærke at stregerne fra opmålingerne ligger inden for få centimeter, dog med totalstationen med det klart bedste resultat på dette niveau.



Figur 19. Serie 1 zoomniveau 8. Oplysningerne lidt det samme som Figur 18, men i dette tilfælde bliver illustrationen vist pga. den tydelige pixelering på dette zoomniveau (ca. 2 pixel pr. cm).

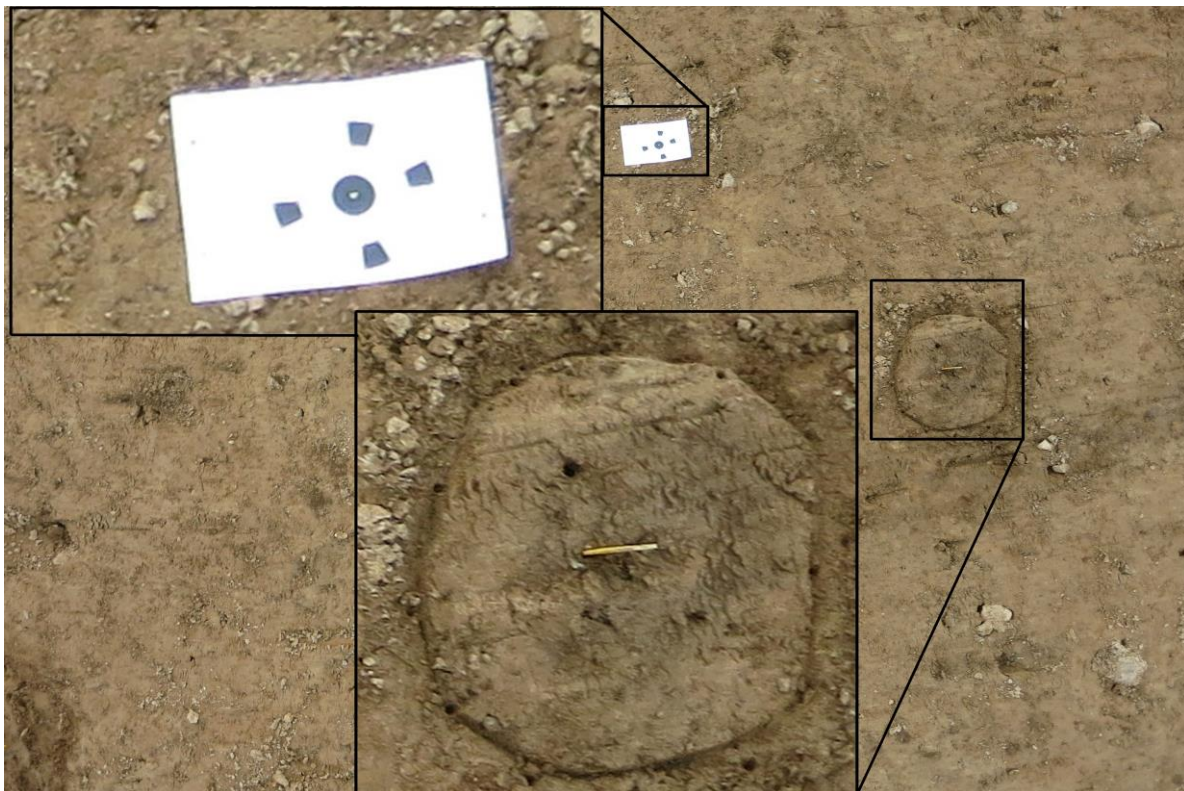
De sidste billeder i serien bekræfter, at opløsningen bliver et problem i forhold til digitalisering, når man begynder at komme meget tæt på objektet. Specielt interessant er Figur 19, hvor man tydeligt kan se størrelsen af de enkelte pixel på ortofotoet.

Kvalitet af ortofoto

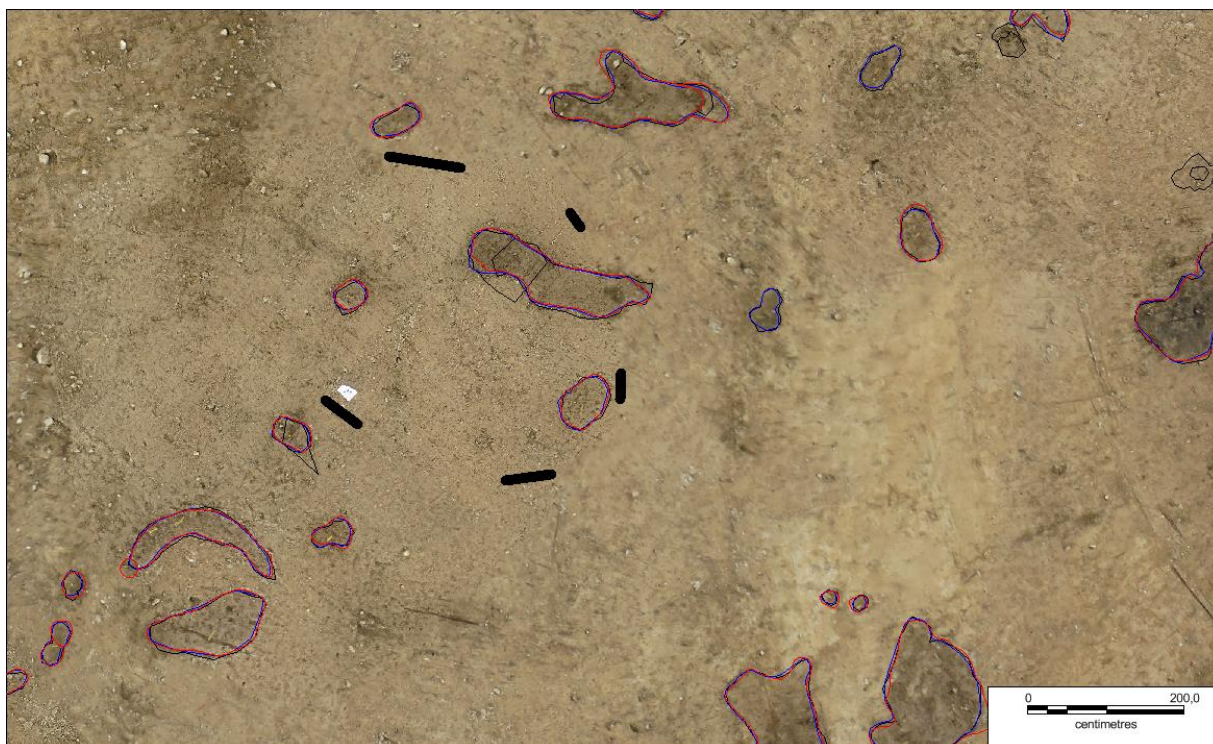
Et andet interessant element blev utilsigtet dokumenteret, men det forklarer eksplicit både mulighederne og begrænsningerne ved at indsamle data med drone og lave 3D modeller og ortofoto på basis af dette: I forbindelse med overflyvningen i ca. 20 m's højde fremtræder kodede markers (om markers se s. 48) som markers uden signatur (se Figur 20). Da dette var forventet, blev der under flyvningen fløjet tættere (ca 3 m afstand) på udvalgte markers (se Figur 21), med det resultat, at det nu var muligt at se 'tegningen' på de enkelte kodede markers. Da fotografierne med markers på også blev brugt til genereringen af 3D-modellen, så er der 'pletter' i ortofotoet hvor billedet er meget skarpere end den generelle kvalitet (se Figur 22 til Figur 27). Dette viser os, at det er muligt at lave 3D-modeller og ortofoto, som står ret skarpt, men for at frembringe denne skarphed skal vi med det eksisterende udstyr relativt tæt på de objekter, som der bliver dokumenteret. Dvs. at der skal tages væsentligt flere fotos eller kameraet skal have bedre opløsning. Begge disse løsningsmodeller vil dog forøge det allerede eksisterende problem med opbevaringen af de digitale rådata, dvs. fotografierne (se afsnit *Hvordan vil vi bruge 3D dokumentationen, og hvordan bør den gemmes?* på s. 47).



Figur 20. Close-up af stolpehul, bemærk at 'marker' fremstår som en hvid firkant. Propersionerne er blevet forvrænget lidt i forbindelse med billedbehandlingen.



Figur 21. Og samme marker og stolpehul som forrige billede, men væsentligt tættere på. Propersionerne er blevet forvrænget lidt i forbindelse med billedbehandlingen



Figur 22. Serie 2 zoomniveau 1. Forskellen på modeller baseret på flyvning i 20 m's og i 3m's højde. Arealet indenfor de sorte streger er baseret på 3 m's flyvning.



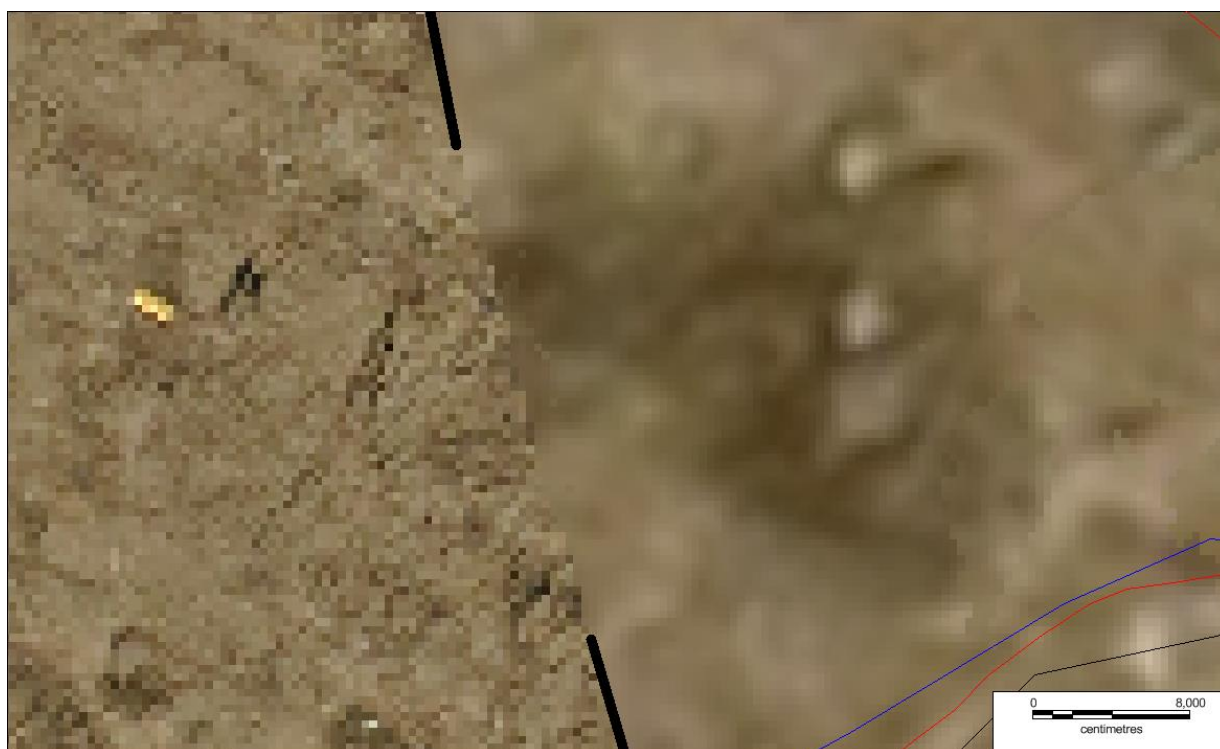
Figur 23. Serie 2 zoomniveau 2. Forskellen på modeller baseret på flyvning i 20 m's og i 3m's højde. Arealet på venstre side af de tykke sorte streger er baseret på 3 m's flyvning.



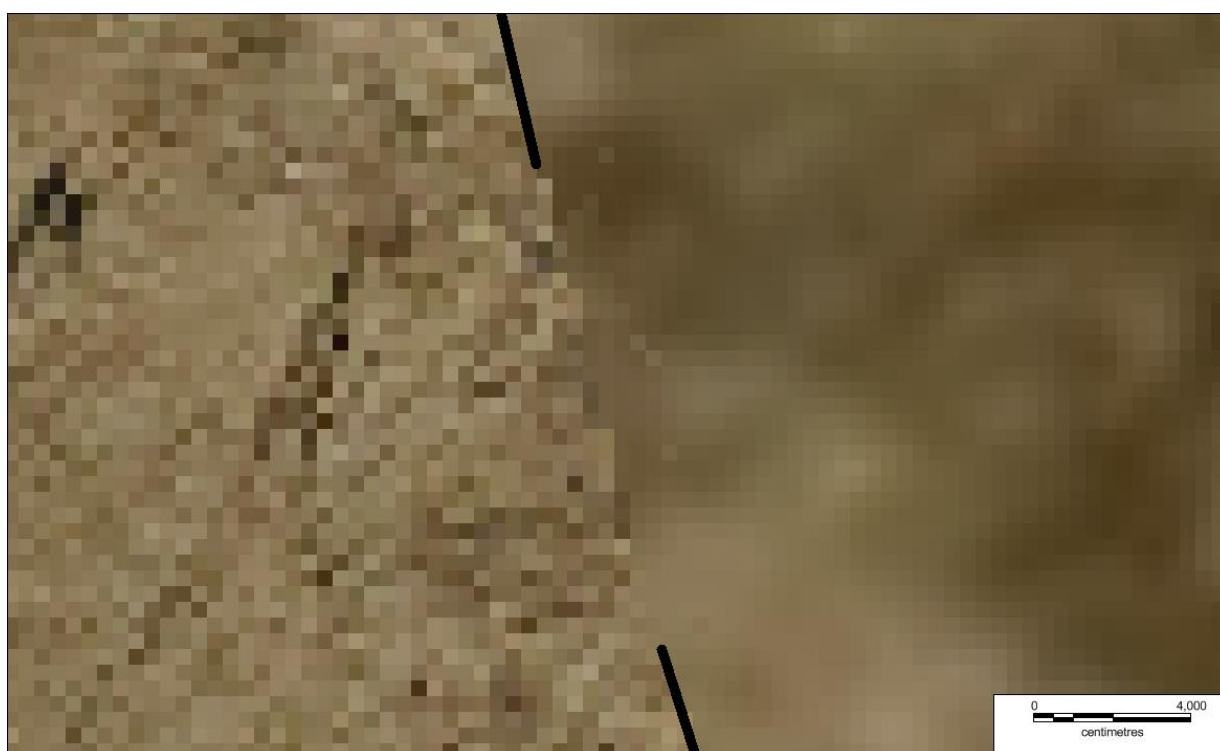
Figur 24. Serie 2 zoomniveau 3. Forskellen på modeller baseret på flyvning i 20 m's og i 3m's højde. Arealet på venstre side af de tykke sorte streger er baseret på 3 m's flyvning.



Figur 25. Serie 2 zoomniveau 4. Forskellen på modeller baseret på flyvning i 20 m's og i 3m's højde. Arealet på venstre side af de tykke sorte streger er baseret på 3 m's flyvning. Når vi er inde på dette niveau, begynder man virkelig at kunne se forskellen mellem de to flyvehøjder.



Figur 26. Serie 2 zoomniveau 5. Forskellen på modeller baseret på flyvning i 20 m's og i 3m's højde. Arealet på venstre side af de tykke sorte streger er baseret på 3 m's flyvning. Og ja, man kan ikke se så meget af motivet så tæt på, men det viser tydeligt at de enkelte pixel fremtræder væsentligt mere skarpt aftegnet på den venstre side, hvilket betyder en højere detaljegrad i modellen.



Figur 27. Serie 2 zoomniveau 6. Forskellen på modeller baseret på flyvning i 20 m's og i 3m's højde. Arealet på venstre side af de tykke sorte streger er baseret på 3 m's flyvning. Bemærk at pixelstørrelsen er den samme, men at de enkelte pixels fremstår meget mere skarpt og veldefineret på 3 m's flyvningen.

Konklusion

Som postuleret i starten af denne del af rapporten så kan vi ikke på nuværende tidspunkt få bedre og billigere opmåling på arkæologiske udgravninger ved at indsamle data med drone fremfor med GPS eller totalstation. Men det er ikke så meget kvaliteten af data eller det rå tidsforbrug i forbindelse med indsamling eller bearbejdning af data, som bliver en hurdle i forhold til anvendelsen af dronen som opmålingsredskab. For i afsnittet om tidsstudier (se s. 24) var konklusionen, at tidsforbruget ved de forskellige opmålingsmetoder (drone, totalstation, GPS) var relativt ensartet, og det samme gælder faktisk resultatet (se afsnit Præcision på s. 28). Selvfølgelig er der væsentlige forskelle i resultaterne og specielt når vi bevæger os ind omkring skala 1:10 i vores GIS (se Figur 17), begynder GPS opmålingerne at få hårde hjørner, og ortofoto fra dronedata bliver sløret. Ortofoto kan dog få en væsentlig bedre skarphed ved at fotoet bliver taget fra lav højde eller med højere opløsning (se afsnit Kvalitet af ortofoto på s. 32).

Grunden til, at vi ikke kan få bedre og billigere opmålinger med dronen, skal derfor findes andre steder end i selve dokumentationsdelen, nemlig i pilot-, udstyr- og 3D-grenen, samt i naturlige forhold.

Det er dyrt og er relativt kompliceret at blive droneoperatør på professionelt plan (se afsnit Pilotgrenen på s. 5), og for at kunne flyve erhvervsmæssigt skal man have en forsikring, hvilket kræver en pilotgodkendelse fra Trafikstyrelsen. Generelt er det udstyr, der kan anvendes, relativt billigt (se afsnit Udstyrsgrenen på s. 17 og Tidsforbrug på s. 69), men for at kunne flyve (både fornufts- og erhvervsmæssigt) kræver det et godt udstyrskendskab, og selv hvis det er RTF (Ready-To-Fly) systemer, er det i mange tilfælde nødvendigt selv at tilpasse forskelligt udstyr til lige netop det, man gerne vil. Og der er eksempler på, at der er indkøbt dyre droner, men at de institutioner, som har indkøbt dem, ikke på forhånd har sikret sig, at de har de nødvendige tekniske kompetencer til at sammensætte, vedligeholde udstyret samt at flyve dronen. Og i rigtig mange tilfælde vil de institutioner som gerne vil have tilladelse som droneoperatør finde ud, af at langt den dyreste og mest tidskrævende del af processen er at opbygge et tilstrækkeligt erfaringsgrundlag i virksomheden, med mindre at de personer, som skal være dronepilote har en privat interesse i droneflyvning og derved opbygger de fornødne kompetencer og færdigheder i fritiden og derved udgiftsfrit for virksomheden. Under alle omstændigheder er det at være dronepilot en specialiseret funktion og udover kendskabet til dronen, forudsætter denne funktion næsten også kendskab til foto/kameraer, opmålingsudstyr, GIS og 3D-modellering. Så næsten alle forudsætninger for at blive en flaskehals er til stede.

I afsnittet om 3D (se s. 39) vil de specielle udfordringer der er vedr. soft- og hardware blive undersøgt, så det vil der ikke blive kigget nærmere på her, men specielt den plads (antallet af bytes), der er til rådighed på serveren og nødvendigheden af at opbevare rådata, giver nogle udfordringer, da de digitale fotos, som er fundamentet i 3D-modelleringen, vil komme til at fylde meget på museernes arkivservere.

Sidst er der de naturlige forhold. Der er nogle omstændigheder, hvor det ikke er muligt at flyve dronen (f.eks. nedbør og kraftig vind), og hvis der er dårlige lysforhold, giver det heller ikke meget mening.

Til gengæld er dataindsamlingen ekstremt hurtigt overstået (opmåling af punkter til georeferering og overflyvning med drone), hvilket vil kunne være til nytte i tilfælde, hvor fladen kun er åben meget kort, eller hvor der er problemer med forurening eller indsigende vand.

Nogen af de tillægsgevinster, der er ved at bruge dronen, er at man får rigtig gode oplysninger om jordbundsforholdene på udgravningsfladen og store meget udviskede fyldskift, fremtræder ret tydeligt, når

de ses oppefra (se Figur 28), hvilket betyder at det formentligt er en metode der vil egne sig rigtig godt til f.eks. dokumentationen af stemalder udgravninger med større fladedækkende anlæg. Samtidig er det også lettere at validere fladeopmålingerne, da fotos indeholder flere informationer end en punktopmåling.



Figur 28. FHM5216, Tønneminde Samsø. Med et større lyst brunt grøftlignende fyldskifte i nederste højre hjørne af udgravningsfeltet (her markeret med rødt), der ikke blev erkendt ved afrensning af fladen.

3D-grenen

Carsten M. Risager

Hvilken hardware og software kan anvendes?

Da Windows computere er det mest anvendte på museerne og også på de enheder, Arkæologisk IT anvender til dagligt, har vi ikke foretaget tests på styresystemet Mac OSx. Linux systemer er ikke anvendt til test på desktop computere, men var installeret på Abacus 2.0 HPC¹² ved Syddansk Universitet, som også er blevet anvendt til test¹³.



Figur 29. Arkæologisk IT besøger Abacus 2.0 i foråret 2015. Fra venstre Casper Skaaning Andersen, Carsten Risager og Peter Jensen (alle Arkæologisk IT), Matteo Pilati (Ph.d. stud. Aarhus Universitet) og Jens Svalgaard Kohrt (SDU)

Der er forskelligt software, der kan håndtere SFM teknikken. Noget af det er freeware, og andet er kommercielt.

SFM-freeware

En del af de gratis løsninger fungerer som online værktøjer, som forfatteren af dette afsnit ikke selv har den store erfaring med. Men vurderes denne del til at være interessant, så kan det anbefales at 'Google'. "online structure from motion".

En gratis SFM løsning til privat anvendelse, som kan installeres på egen computer¹⁴ er VisualSFM (<http://ccwu.me/vsfm/>), som kan generere en punktsky på basis af fotografier taget fra forskellige vinkler,

¹² High Performance Computing

¹³ Arkæologisk IT deltager i et DeiC-pilotprojekt (Danish e-infrastructure Cooperation) hvor igennem der er adgang til Abacus 2.0

¹⁴ Her skal man være opmærksom på at licens betingelserne for freeware kan være forskellige alt efter om det er til privat eller kommerciel anvendelse.

og denne punktsky kan anvendes i MeshLab (<http://meshlab.sourceforge.net/>) til at generere en 3D model og ortofoto. Et ortofoto der efterfølgende kan georefereres i QGIS (<http://www.qgis.org/en/site/>). Dvs. hele fødekæden fra foto til færdigt GIS (se Figur 36).

Umiddelbart ser det ud til at denne løsning er relativt platform uafhængig, da den kan anvendes i Windows-, Linux- og Mac-systemer. Ovenstående oplysninger om softwaren er hentet fra en udførlig trin-for-trin guide, der ligger som blog (se wedidstuff.heavyimage.com/). Jeg mangler førstehåndskendskab til programmerne, men har til gengæld grundig andenhånds kendskab til processen, da VisualSFM og MeshLab blev anvendt af Arkæologisk IT på udgravninger som: Alken Enge, Jelling og Füsing.

Kommercielt software

Der vil blive fokuseret på PhotoScan fra AgiSoft (<http://www.agisoft.com/>), da Arkæologisk IT har gode erfaringer med dette program, men der findes software fra forskellige leverandører f.eks. Pix4D (<https://pix4d.com/>), Merci APS (<http://www.terrapanlabs.com/>) og Photomodeler (<http://www.photomodeler.com/index.html>). Der er formentlig forskelle på de individuelle stykker software, men da de som regel har et ret heftigt prisskilt, så antages det også, at de virker efter hensigten, ud fra en ide om, at ingen gider købe et dyrt stykke software, hvis det ikke virker. Pr. 12. november 2015 ligger prisen for en licens til Photomodeler på 7.800 DKK, PhotoScan Professional Edition på 3.499 USD og Pix4D pro mapper på 7.900 CHF¹⁵, omregnet til DKK henholdsvis ca. 24.500 og 54.700.

En af fordelene ved PhotoScan (og formentlig også de andre kommercielle løsninger) i forhold til freeware løsningen (udover kvaliteten, se Figur 30 til Figur 35) er, at den samlede proces kan udføres i programmet, fra foto over punktsky til 3D-model og georefereret ortofoto. Desuden er der mulighed for at automatisere processerne, hvilket i høj grad kan minimere antallet af procestrin fra foto til færdig model. Der er relativt mange trin i processen, og da de hver især har en tendens til at tage lidt tid, så vil man typisk ikke holde permanent øje med processen, og der vil derved komme en forsinkelse på, hvornår de enkelte processer bliver sat i gang¹⁶.

PhotoScan er relativt simpelt at anvende, men som med alt andet software vil der skulle investeres noget tid på oplæring og tilvænning til programmet for at optimere de resultater, der kommer ud af det.

VisualSFM og MeshLab Vs PhotoScan

Et af de væsentligste argumenter for Arkæologisk IT for at skifte VisualSFM og MeshLab ud med PhotoScan var, at kvaliteten af ortofoto i PhotoScan er bedre. Dette bliver tydeligt illustreret i nedenstående billedeserie, hvor to ortofotos er genereret ud fra det samme datagrundlag fra udgravningen Alken Enge¹⁷.

¹⁵ Har ikke udført test på Photomodeler eller Pix4D.

¹⁶ Lige nu er jeg f.eks. er ved at skrive denne rapport, men jeg kunne udmærket have gang i en 3D-model ved samme lejlighed, hvis processen ikke er automatiseret, så skal jeg tjekke op på den en gang imellem for at se om den igangværende proces er færdig og hvis det er tilfældet igangsætte den næste.

¹⁷ Metoden til frembringelsen af ortofoto i de to software-løsninger er ikke helt sammenfaldende, hvilket gør en direkte sammenligning lidt misvisende.



Figur 30. Ortofoto fra VisualSFM og MeshLab.



Figur 31. Ortofoto fra PhotoScan.



Figur 32. Ortofoto fra VisualSFM og MeshLab.



Figur 33. Ortofoto fra PhotoScan.



Figur 34. Ortofoto fra VisualSFM og MeshLab.



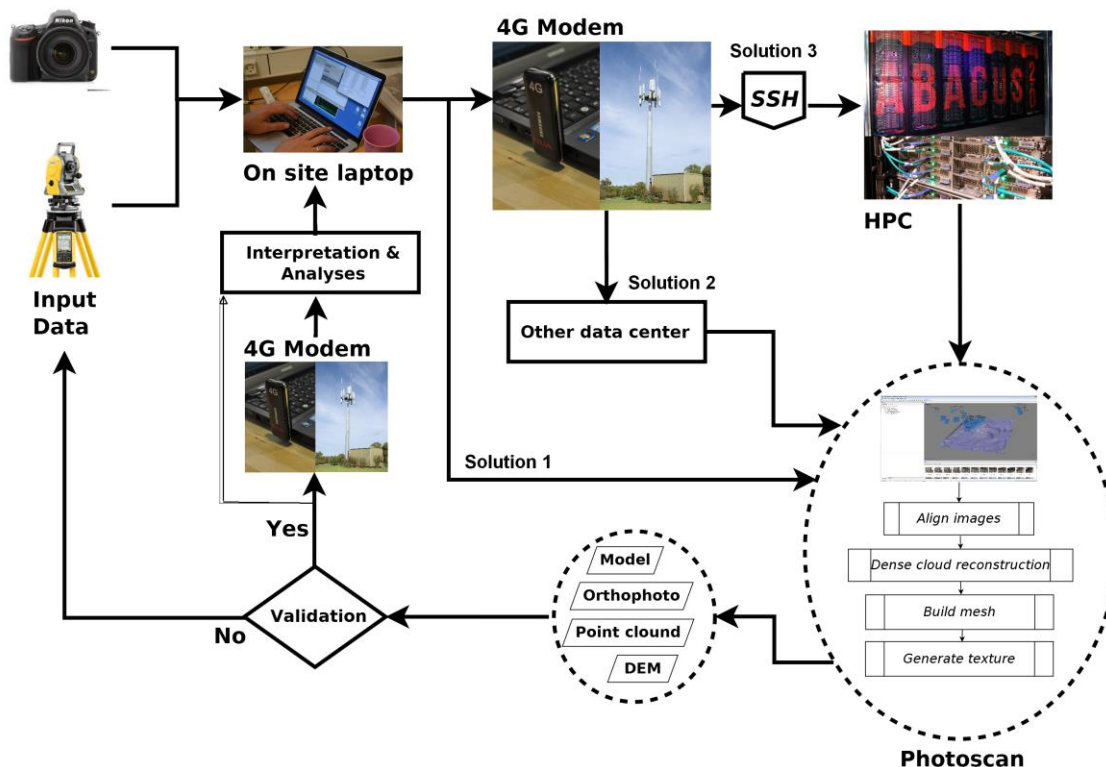
Figur 35. Ortofoto fra PhotoScan.

Billederne (Figur 30 til Figur 35) viser tydeligt den store forskel i kvaliteten af det endelige output. Og samtidig pointerer det også vigtigheden af opbevaring af rådata (fotografierne), som giver muligheden for at forbedre og validere de afledte data, som vi anvender til den videre analyse af udgravningerne.

Hardware:

Langt de fleste computere kan anvendes, men softwaren skal selvfølgelig kunne køre på det operativsystem, som computeren anvender. Der er absolut ingen tvivl om, at meget kraftige computere er at foretrække, da processerne er ret beregningskrævende, men almindelige computere vil også kunne anvendes, hvis man har god tid. Arkæologisk IT har god erfaring med en 'gaming' computer, da det er de samme hardware elementer, som 3D modelleringen i SFM-softwaren og de mest hardware krævende spil anvender. Hvis computeren med SFM-softwaren er placeret i tilknytning til udgravningen, svarer det til Solution 1 på Figur 36.

En anden mulighed er at bruge et data center (se Figur 36, *Solution 2* og *3*), det kan være ens eget museum', der har det, et andet museum eller en ekstern aktør. På et data center vil det ofte være muligt at have udstyr, som er specialiseret til bestemte løsninger, og det giver mening at have et sted, der kan servicere mange udgravninger, fremfor at en komplet SFM løsning skal være til stede på alle de gravninger, som anvender det. Som eksempel på *Solution 2*, har Arkæologisk IT lavet 3D-modeller for flere museer. *Solution 3* er stadig på udviklingsstadiet, da det kun er educational licenses af PhotoScan der er installeret på Abacus 2.0. Men det er nok ikke helt usandsynligt, at en stor del af de fremtidige SFM 3D data vil blive genereret på supercomputere i en eller anden form for cloud-løsning. Allerede på nuværende tidspunkt er det muligt at købe adgang til forskellige HPC løsninger på nettet, f.eks. via aws.amazon.com som giver en bemærkelsesværdi computerkraft til en relativt billig penge.



Figur 36. Digital workflow for SFM. Illustration David Stott.

Da hardware er vigtigt i forbindelse med SFM har Arkæologisk IT ved David Stott udført nogle performance test på tre meget forskellige enheder, en standard office computer, en gaming computer og en HPC node på Abacus 2.0 (se Tabel 2). Samme job er blevet kørt igennem på de forskellige enheder og som en

fuldstændig automatiseret proces med indbygget datalogning for at sikre, at resultaterne blev sammenlignelige.

Computer	Processor	RAM	GPU
Fujitsu desktop Windows 7 <i>Standard office computer</i>	Intel i5-4570T: • 2 cores @ 2.9 GHz • 4 Threads	8 GB	Intel integrated graphics: • 20 cores @ 1150MHz • 1297 MB memory (shared)
'The Beast' Windows 8.1 <i>Gaming computer</i>	Intel i7-5960X: • 8 cores @ 3 GHz • 16 Threads	64 GB	2 x nVidia Geforce GTX 980: • 4096 cores @ 1126 MHz • 4 GB memory
DEIC Abacus 2.0 GPU node CentOS Linux 7 <i>HPC node</i>	2 x Intel E5-2680v3: • 24 cores @ 2.5 GHz • 48 Threads	64GB	2 x nVidia K40: • 5760 cores @ 745 MHz • 24 GB memory

Tabel 2. De testede computere og de primære hardware specifikationer. Tabel af David Stott.

Jobbet der blev kørt igennem hed FHM5501_T208_2, bestående af 29 fotos (et af billederne er vist som Figur 37), med opløsning 4256x2832, og med fire kodede markere i modellen. Kameraet var et Nikon D700 med 24mm focal length på FX sensor og ISO 2000.

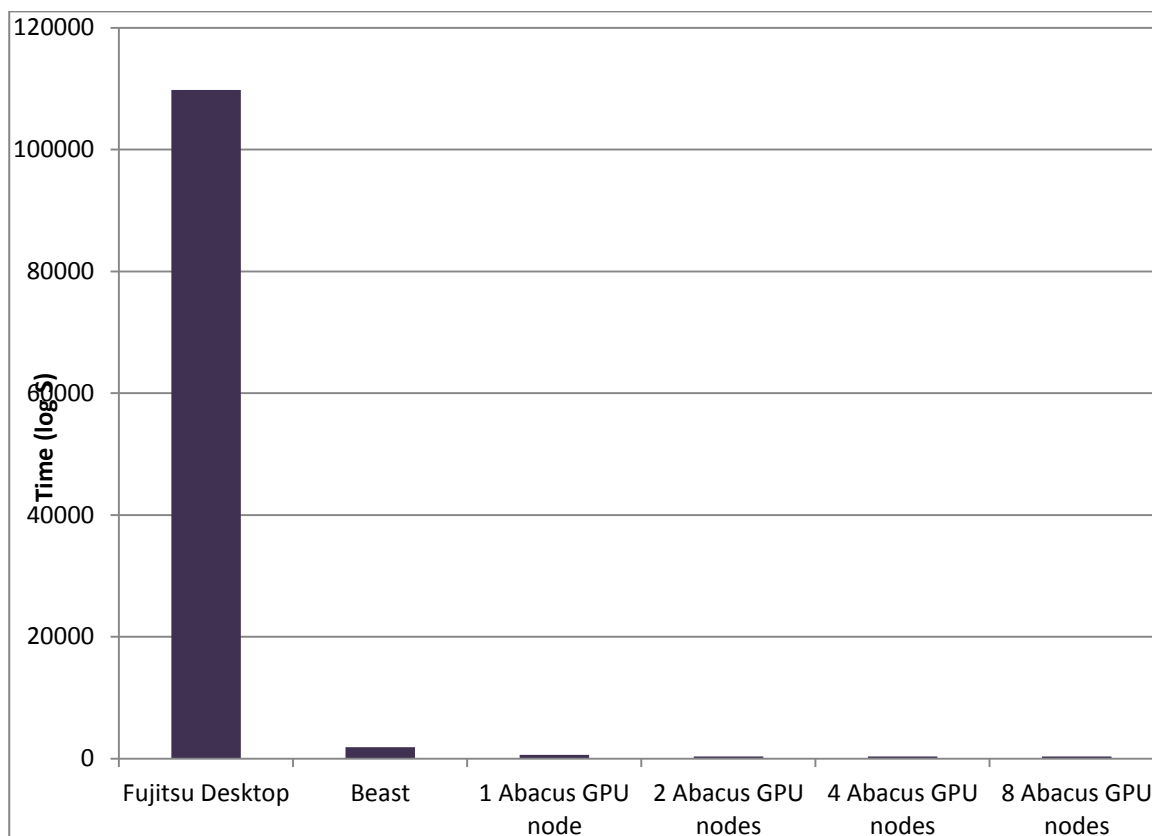
Photoscan indstillinger: High Accuracy, High Quality, High Face count.

I Tabel 3 og Tabel 4 ses resultaterne fra tidstagningen på dette job. Jobbet indeholdt nøjagtig de samme rådata og med de samme indstillinger i opsætningen og fra et visuelt perspektiv med samme slutprodukt (slutproduktet vil aldrig blive nøjagtigt ens på bit niveau, da beregningerne åbenbart ikke foregår på samme måde). Omsat i dage, timer og minutter fortæller det, at kontorcomputeren tager væsentligt over et døgn om opgaven, gaming computeren lidt over en halv time og Abacus på en node (svarer til en computer) lige over 10 minutter.

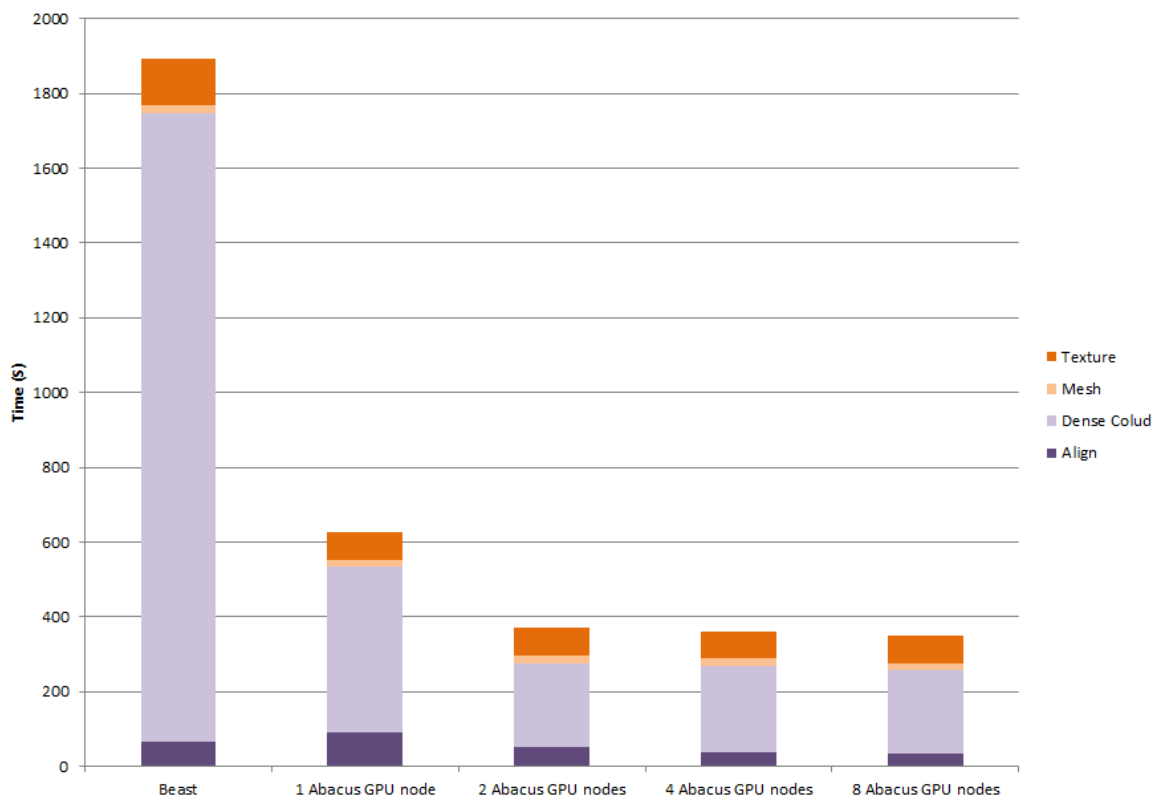
Det er vigtigt at pointere, at der så at sige er skruet op for alle knapperne i programmet, og det betyder, at man vil kunne pille ved indstillingerne og stadig få fine modeller ud af kontorcomputeren på kortere tid. Men det var ikke det, denne test drejede sig om.



Figur 37. Et af de 29 billeder der blev brugt til benchmark tests. Bemærk de to markere på billedet. Foto Laurits Borberg



Tabel 3. Benchmark test af de forskellige hardware enheder. Tabel af David Stott.



Tabel 4. Benchmark test af de forskellige hardware enheder. Samme tabel som Tabel 3, dog uden kontorcomputeren. Tabel af David Stott.

Hvilket prisniveau opererer vi med, hvis 3D procedurerne skal håndteres effektivt?

En velegnet 'gaming' computer i den kraftige afdeling ligger i prisleje omkring kr. 20.000, og PhotoScan programmet ligger også på ca. kr. 25.000 for en professionel licens (begge priser ex. moms). Derudover er der kamera og GIS-software, men da de fleste institutioner allerede ligger inde med dette, så vil det som regel ikke være nødvendigt at købe nyt.

Skal Abacus 2.0 HPC løsningen anvendes, så skal der stadig indkøbes en licens til SFM, og derudover betales der pr. anvendt time. Timeprisen er dog ret lav (under 10 kr.). Hvis man vælger at bevæge sig i denne retning, kan et vist kendskab til Linux anbefales.

Hvordan vil vi bruge 3D dokumentationen, og hvordan bør den gemmes?

Pt. er det stadig lidt af en udfordring, hvordan vi vil anvende 3D modellerne i forbindelse med udgravningerne, formentlig fordi det stadig er en ret ny teknologi. Dette medfører, at når der bliver lavet 3D-modeller som udgravningsdokumentation, så vil det ofte være ortofotoet (som er i 2D), der vil blive anvendt som arbejdsredskab på udgravningen. Dette er selvfølgelig uhensigtsmæssigt, men da der er en del teknologiske udfordringer i lige netop denne problematik, så kommer det til at tage nogle år, inden ægte 3D-dokumentation vil blive almindeligt anvendt i felten.

Grundlæggende er der tre overordnede snitflader mellem 3D dokumentationen og udgravningssituationen, som der bør findes løsninger på, inden 3D-modellerne effektivt kan anvendes som et direkte registreringsværktøj. Punkt 1 er behovet for en fleksibel og nem måde at medbringe dokumentationen i

feltet. På nuværende tidspunkt hedder denne løsning 'papir' og det er både fleksibelt og nemt, men også uegnet til 3D. Den eksplosive udvikling, som vi har set i mobile enheder (computere, tablets, telefoner) det sidste årti, giver dog grund til at forudsige, at vi inden for en overskuelig fremtid begynder at anvende mobile enheder på udgravningerne og dermed får et egnet medie til visningen af 3D-modellerne. Punkt 2: der mangler egnet software til at vise og lave direkte registreringer i 3D modellerne. Den første del begynder så småt at vise sig. Der kan laves 3D-modeller i pdf-format, som fungerer rigtigt godt, og det er også muligt at lægge 3D-modellerne ud på nettet f.eks. via www.sketchfab.com, som giver mulighed for at vise 3D-modellen på forskellige typer enheder, uden at det er nødvendigt at installere special software. I ArcScene (del af Esri's ArcGIS pakke) eller CAD-software er det muligt at lave registreringer, samtidig med at modellerne bliver vist, men vektorisering af objekter i 3D er ikke helt uden problemer, da det jo typisk kun vil være overflader, som der bliver digitaliseret. Hvilket bringer os frem til punkt 3, som er spørgsmålet om egnede filformater til at gemme 3D- modeller og -registreringer i. Formentlig bliver det som obj- eller ply-filer, da de begge kan operere ud fra ren tekst og dermed reelt er software uafhængigt.

Udover disse tre snitflader ligger der også potentiel databombe under 3D-modellerne, da rådata udgøres af fotografier (meget gerne i god opløsning), og da man altid bør opbevare/arkivere sine rådata, så er der en vis risiko for, at de servere, som der bliver anvendt til arkivering, hurtigt vil blive fyldt op. Dette er en 'skjult' udgift, der er svær at beregne og selvom vi formentlig vil se at dataopbevaring vil blive væsentligt billigere, end det er i dag, så vil det stadig være data, som vi har valgt at arkivere, med de udgifter og problemer, der følger med den beslutning.

Test af software og vejledning til anvendelsen.

Vi har ikke rigtigt testet software ud over den testning, der ligger i almindeligt dagligdags anvendelse, da Arkæologisk IT cirka samtidig med igangsættelsen af droneprojektet begyndte at anvende PhotoScan, og det generelt har vist sig at være egnet til at udføre de fleste processer, som vi har brug for.

Der ligger fine vejledninger eller walkthroughs til de forskellige typer 3D software på nettet:

PhotoScan: <http://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>

Pix4D: <https://support.pix4d.com/hc/en-us>

Photomodeler: <http://www.photomodeler.com/tutorial-vids/online-tutorials.htm>

Da der tidligere er lavet glimrende vejledninger til SFM som kan søges frem via opslag på nettet, er der ingen grund til uddybe det her.

Markers

Et par gange tidligere i teksten er der blevet henvist til markers, så her kommer en kort forklaring på, hvad markers er, og hvordan de anvendes. Når 3D modellerne skal georefereres i PhotoScan, er det en rigtig god ide at have 'markers' med kendte koordinater på fotografierne. Markers kan være enten kodede eller ikke-kodede. Eksempel på ikke-kodede markers ses på Figur 30 til Figur 35, hvor de grundlæggende kun er halverede manilamærker med et søm igennem. Disse er så blevet indmålt med elektronisk opmålingsudstyr, og når placeringen af markers i 3D modellen kombineres med koordinaterne, har vi en digital gengivelse af en situation i den fysiske verden, som kan kombineres med andre georefererede kortdata. Af tekniske årsager er det en fordel, hvis placeringen af de enkelte marker bliver afsat direkte på

råfotos i PhotoScan og det kan være ret besværligt at gøre manuelt. Processen minder meget om et puslespil, som jo er svært at lægge, fordi de enkelte dele af helheden (brikken eller fotografiet) indeholder så få genkendelige detaljer og er uden information om orientering. Ved at bruge kodede markere (se Figur 10, Figur 20, Figur 21 og Figur 37) kan softwaren genkende koderne på de enkelte markere, og hvis nummeret på den enkelte marker går igen i opmålingsfasen, så kan programmet flette disse oplysninger og lave georefereringen af modellerne stort set uden brugerinteraktion og faktisk med højere nøjagtighed end hvis punkterne bliver afsat manuelt (se http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf s.46-47).

Formidlingsgrenen

Lis Helles Olesen

Formidling af kulturarven med drone

De fleste vil gerne betragte deres undersøgelsesobjekt så tæt på som muligt. Her har vi det som luftfotoarkæologer helt anderledes. Vi vil gerne på afstand. Det kan nemlig ofte være vanskeligt at se sammenhænge i større strukturer, når man står på jorden. Man er simpelthen for tæt på. Ved et blik fra en drone eller et fly kan enkelthederne imidlertid blive til helheder. Der er ikke noget magisk ved det. Ved overblikket fra luften kan enkeltdele blive til et mønster, og abstrakte ting til konkrete ting, og vi forstår sammenhæng mellem ét fænomen og ét andet. Hans Stiesdal forklarede det meget enkelt med katten, der går på gulvtæppet og ikke kan se mønstret fra den lave højde. Vi kan derimod se mønstret ganske klart, når vi går over tæppet.¹⁸

Fra luften får man overblik over måske et helt borganlæg, en by, et agersystem, en udgravning eller andet, sammen med beliggenheden i landskabet, udbredelse af anlægget, dets naturlige ressourcer og andet. Et kig fra luften eller selve luftfotografiet er den eneste måde store anlæg kan forstås på, i et enkelt blik. Enkeltdelen kan studeres som dele af en større helhed uden generende elementer. For eksempel slører stående mure overblikket ved ruiner, når man står på jorden.

Nogle gange giver blikket fra luften også mulighed for at opdage ukendte fortidsminder og dele af monumenter, og de kan pludselig stå lysende klart. Her tænkes på vegetationsspor, jordfarvespor af skjulte fortidsminder og reliefspor af delvist bevarede fortidsminder. Sporene er sådan set ikke usynlige på jorden, men de er uforståelige, hvis ikke mønstret kan ses i en helhed som fra luften.

Formidlingens nødvendighed

Som kulturhistorikere tænker vi først og fremmest på vores brug af droner som en del af vores daglige arbejde og hvilke nye muligheder, det giver os til blandt andet opmåling på udgravninger og til terrænmodeller, som giver os ny viden om anlæggene. Vi er nok tilbøjelige til at tænke formidling som en tillægsgevinst, som vi ikke tager helt seriøst. Men det er fuldstændig forfæjlet.

Formidlingen er lige så væsentlig som de andre gevinster. På provinsmuseerne er vi flasket op med, at formidling er vigtig. Befolkningen fortjener, at vi leverer god formidling til dem. Det kan ikke siges for tit, hvor vigtigt det er. Det er i stor stil befolkningen, der betaler for vores arbejde. De skal have så megen ny viden som muligt, som så skaber fornyet indsigt og interesse for vores fag. Det er så afgørende. Se bare på Moesgårds nye måde at formidle på i det nye museum. Hvad har det ikke skabt af fornyet interesse for vores historie – det er fantastisk og uvurderligt. Det smitter også af på os andre. Vi bliver mere glade for vores arbejde og lidt stoltere af det, når folk fortæller om, hvor spændende de syntes det var at se udstillingerne på det nye Moesgård Museum.

¹⁸ Stiesdal 1959, s. 21.

Megafons meningsmåling for TV 2 Nyhederne og Politiken 28.-29. oktober 2015 viser, at 51% af de adspurgte mener, der skal spares på kulturen i forbindelse med regeringens store spareøvelse. Det er alt for mange. Ganske vist mener de fleste, at der skal spares på støtte til kunstnere og forfattere, på fjerdepladsen ligger kunstmuseer, og først på 10. pladsen de kulturhistoriske museer. Kun højskoler og musikskoler ligger lavere end de kulturhistoriske museer.¹⁹ Det kan alligevel gøres bedre fra museernes side. Formidling er vejen frem.

Tænk et reklamefremstød man kunne lave for vores ældste kulturarv i landskabet, hvis man lavede et hæfte med dronedefotos af fredede fortidsminder som gravhøje, dysser, borge og bandt det sammen med gode historier og personlige fortællinger. 1001 fortællinger på kulturstyrelsens hjemmeside (<http://www.kulturarv.dk/1001fortaellinger>) kunne for eksempel også præsentere kulturarven meget mere attraktivt med tilføjelse af dronedefotos.

Vi halter langt bagud på internationalt plan med hensyn til kulturturisme. På verdensplan tegner den sig for 40% af den globale turisme, men i Danmark står kultur kun for 4% af turismeforbruget. Af de 75 mia. kroner som turister forbruger i Danmark hvert år, finder blot 3 mia. vej til kulturelle aktiviteter og forlystelser.²⁰

Her følger forskellige eksempler på, hvordan dronedefotos og selvfølgelig også luftfotos kan bruges i formidlingssammenhænge. Eksemplerne er delt op i udgravninger, fredede fortidsminder og bygninger.

Udgravninger



Figur 38. Flere spor efter ringgrøfter omkring forsvundne tuegrave ved Billumvad tegner sig i kornet her på et flyfoto. Foto 073, 16.6.2008. Lis Helles Olesen og Esben Schlosser Mauritsen.

¹⁹ Brovall, Benner & Hjortshøj 2015.

²⁰ Strand 2011.

Dronefoto af udgravninger

Ved Billumvad mellem Oksbøl og Varde er der fra luften fundet spor af ringgrøfter omkring overpløjede tuegrave fra førromersk jernalder (Figur 38).²¹ Ved ARKVESTs udgravning af en del af området i 2013 blev 60 ringgrøfter undersøgt – nogle med og andre uden urner. Dele af udgravningen blev fotograferet med drone dels til dokumentation af fladen, og dels til brug ved formidling af udgravningen på museets hjemmeside samt i forbindelse med den kommende publicering (fig. 2). En udgravningsplan giver et godt indtryk af fladen med anlæggene. Et fotografi er i sig selv noget helt andet end en tegning. Det er virkeligheden. Det er nemmere at identificere sig med et foto end med en tegning – i det mindste for ikke-arkæologer. Farveforskellene i jordbunden og anlæggene er afgørende for resultatet. Dronefotoet giver en ekstra dimension, når man får omgivelserne med, og ejendommen og menneskene på billedet gør at man får et godt indtryk af størrelsen på anlæggene. Et billede på længere afstand vil selvfølgelig give et bedre indtryk af terrænet.



Figur 39. Dronefoto af udgravningen ved Billumvad. Foto Esben Schlosser Mauritsen.

Dronefilm af udgravninger

Ved Foulum har arkæologer fra Viborg Museum fundet 250 m af et hulbælte fra førromersk jernalder. Umiddelbart er det vanskeligt ad traditionel vej at formidle en udgravning med så langt et anlæg. Selv et dronefoto kommer til kort. Men så er der mulighed for at lave en film med dronen. Filmen kan ses på Viborg Museums Facebook side.²²

²¹ Olesen & Mauritsen 2015, s. 67-69.

²²

<https://www.facebook.com/116129718460766/videos/vb.116129718460766/914241831982880/?type=2&theater>



Figur 40. Hulbælte fra drone, Hvilstmose. Foto ESM.

På 36 sekunder får man et godt indtryk af hulbæltet med en flyvetur på langs af objektet, dels fra en skrå vinkel (Figur 40) hvor man ser det på længere afstand og tættere på, og dels en lodfotografering og til sidst en panorering. Man får altså både en fornemmelse af den store udstrækning, placering i det flade landskab og mulighed for at se detaljer i hulbæltet.

At det er en god form for formidling viser de over 7000 visninger (december 2015).

Fredede fortidsminder

Igen er det ved de større anlæg, at man kan drage særlig stor nytte af dronefotos eller andre luftfotos. Grundlæggende drejer det sig om at skabe en forståelse af anlægget gennem et bedre overblik. Dette overblik er oplagt at bruge i forbindelse med skiltning ved fortidsminderne. Lige så relevant kan det være at bruge billederne til publikation, på hjemmesider m.m.



Figur 41. Informationstavlen med et skråfoto og et lodfoto af Castro de Baroña i Galicien. Foto LHO.

Skiltet ved Castro de Baroña i Galicien i Spanien er et godt eksempel på hvordan et luftfoto på fornem vis kan visualisere et lidt uoverskueligt fortidsminde (Figur 41). På klippekysten ligger rester af en bebyggelse med 20 runde huse og to forsvarsmure fra 1. årh. f.Kr. til 1 årh. e.Kr. Hele skiltet er meget enkelt. Det består udelukkende af et skråfoto og et lodfoto. Under en kort tekst på galicisk, spansk og engelsk er en liste med numre på de vigtigste anlæg. De refererer til

numre placeret på begge fotos. Man får et godt indtryk af strukturen i anlægget, hvor meget der er bevaret, beliggenheden m.m.

I det store formidlingsprojekt *Danmarks oldtid i landskabet* bruges der også luftfotos som et delement på omkring en tredjedel af lokaliteterne, dog slet ikke i samme størrelse som på eksemplet fra Galicien. Højdemodellen bruges oftere, og der går som regel et skridt videre med rekonstruktionstegninger af hvordan man forestiller sig, hvordan området blev anvendt i oldtiden.

Her følger fire andre eksempler på formidling af fredede fortidsminder med drone.

Timgård Voldsted

En type fortidsminder, som kan være vanskelige at danne sig et overblik over, når man står på jorden, er voldsteder (Figur 42). I Timgårds tilfælde er det endnu sværere, fordi der i 1700-tallet er placeret et haveanlæg hen over dele af borgbanken.



Figur 42. Voldstedet Timgård i jordperspektiv. Foto LHO.

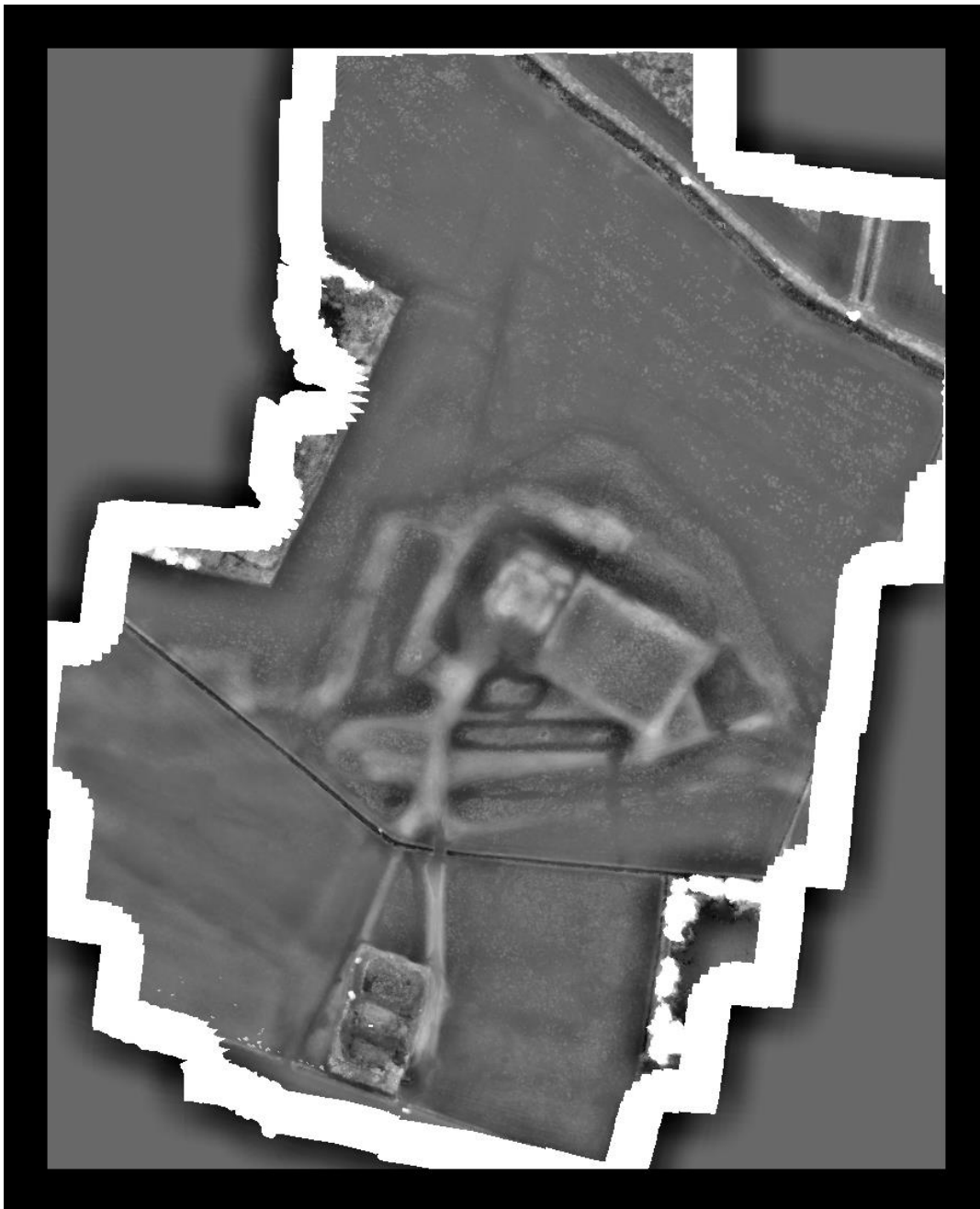
Hvis man skal forstå borgbankens opbygning er en tegnet oversigtsplan eneste alternativ til luftfotos. Dronefotografiet giver et fint indtryk af anlægget med den firkantede have i venstre side af voldstedet, rester af borgbanken til højre og flere voldgrave (Figur 43). Et lavt skråt sollys ville have forstærket indtrykket af ujævnheder i anlægget på grund af skyggevirkningen. Uovertruffen er derimod den klare fornemmelse, man får af borgens beliggenhed i landskabet

med de fugtige enge og vandhuller i umiddelbar nærhed, og man fornemmer afstanden til Stadil Fjord og Vesterhavet, som ses i baggrunden.



Figur 43. Dronefoto af voldstedet Timgård. Til venstre i billedet ses den nuværende Timgård, som ligger hvor slottets avlsgård lå tidligere. Set fra NØ. Foto ESM.

Når dronefotografier omdannes til reliefkort, som så igen yderligere bliver bearbejdet med metoden 'Local dominance' fremkommer helt ny viden om opbygningen af voldstedet med detaljer i banker og dæmninger og spor efter bygninger (Figur 44). Det kan selvfølgelig bruges aktivt i formidlingen.



Figur 44. Reliefkort udført på grundlag af dronefotos over Timgård og efterfølgende behandlet i Local dominance. Illustration ESM.

Hulveje ved Hvidmose

En anden uoverskuelig fortidsmindetype er grupper af hulveje, som skærer sig ned i terrænet, hvor et vandløb skal krydses. Som eksempel blev der valgt et hedeområde ved Hvidmose mellem Vinderup og Skive. Her ligger et system af hulveje. De er aldrig målt op, og de er ikke fredede. Arealet var bevokset med lyng, revling og knap 1 m højt græs, da vi havde planlagt dronefotografering i oktober 2015 (Figur 45). Vi overvejede alvorligt at opgive projektet, da græsset i høj grad dækkede for udsynet. Men droneprojektet skulle afsluttes i år, så der var ikke rigtig andre alternativer end at gå i gang. På trods af den høje vegetation, giver dronebilledet et

klart indtryk af hulvejenes forløb ned mod det tidligere vadested (Figur 46). Kombineret med ældre kort er det forståeligt, hvorfor det var her, man ville krydse de fugtige enge.



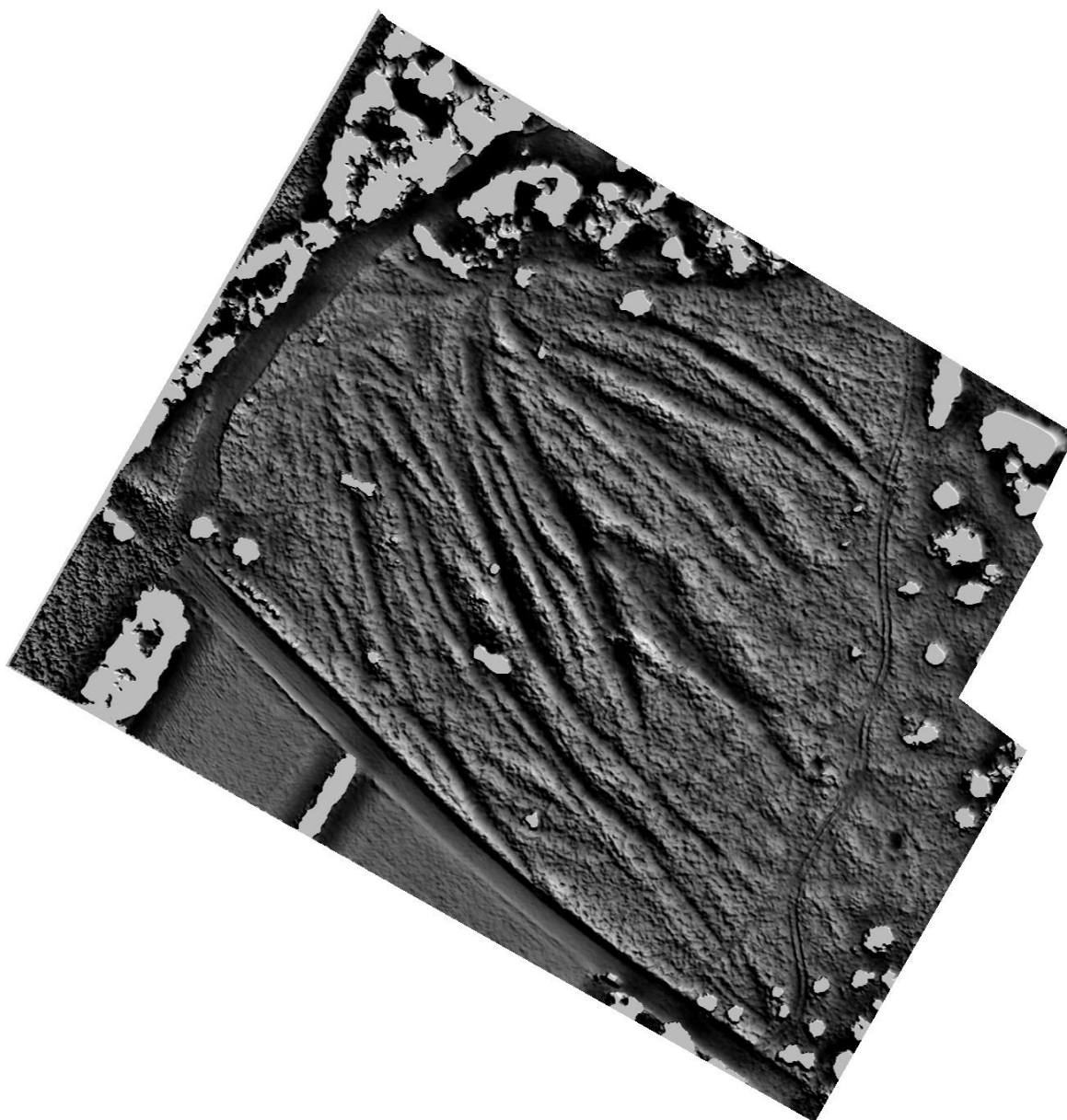
Figur 45. Heden ved Hvidmose med højt græs, der slører hulvejene. Foto LHO.



Figur 46. Dronefoto af hulvejene ved Hvidmose. Foto ESM.

Reliefkortet, som er blevet til på grundlag af dronefotos af området giver et endnu bedre indtryk af hulvejenes forløb. Nogle spor skærer ældre spor, og der er retning mod formentlig to

forskellige vadesteder. Man fornemmer, hvor dybt nedskårne hulvejene er i terrænet, og et sted i midten er der et bredt hul ind i skrænten, måske forårsaget af et skred, eller måske har sandflugten haft mulighed for at få fat i det åbne sandede spor (Figur 47).



Figur 47. Reliefkort udført på grundlag af dronefotos af hulvejene ved Hvidmose. Illustration ESM.



Figur 48. Sporet efter Lyngmose-landsbyens voldgrav. Foto 1993, Palle Eriksen.



Figur 49. Dronefoto af den rekonstruerede Lyngmose-landsby fra samme vinkel som figur 10. Foto ESM.

Rekonstrueret jernalderfæstning ved Lyngmose

Ved Lyngmose mellem Ringkøbing og Spjald blev der i 1977 fra luften fundet spor af en stor pæreformet grøft. Det viste sig senere ved Ringkøbing Museums udgravninger fra 2000 til 2002, at der var tale om en befæstet landsby fra omkring 100 f.Kr.²³ I 2015 er hele landsbyen med volden blevet rekonstrueret. I 1993 – før udgravning og rekonstruktion – havde Palle Eriksen med Hover Å i forgrunden taget et luftfoto af afgrødesporet af den pæreformede voldgrav. For at skabe den bedst mulige forståelse af baggrunden for det rekonstruerede anlæg blev der taget et dronefoto med den rekonstruerede landsby fra samme vinkel, som luftfotografiet blev taget i 1993. Ganske vist bliver vinklen fra dronen lidt mere spids, da den ikke må flyve så højt som flyet, hvorfra billedet blev taget i 1993.

I forbindelse med rekonstruktionen er der også tænkt på, at man skal have et godt overblik og landsbyen, så derfor er der opført et 5 m højt udsigtstårn i nærheden. De, der ikke ønsker at gå derop, kan nyde dronefotoet, som afslører alle detaljer med husenes placering, vold med fire indgange og et stykke rekonstrueret palisade (Figur 50).

²³ Eriksen 2015.



Figur 50. Dronefoto af Lyngsmose-landsbyen. Foto ESM.

Lindholm Høje på dronefilm

På den store gravplads Lindholm Høje med de mange stensætninger (se også Case 4: Lindholm Høje på s. 89) er det oplagt at bruge luftfotos eller dronefotos og reliefkort til formidling på informationstavler, foldere, udstilling m.m. Luftfotos af gravpladsen finder man da også en del af på internettet.

Endnu stærkere formidling giver dronefilmen på knap et minuts varighed, som er optaget i forbindelse med *Droneprojektet*.

Dronen letter, og vi bliver fløjet ind over gravpladsen, og får indtryk af den meget store gravplads, variationen i anlæggene og beliggenheden i det kuperede terræn. Filmen sluttet af med flere forskellige lodfotos af gravpladsen, og til slut vises et lodfoto af hele pladsens udstrækning. Det glider over i en terrænmodel af området, hvor blandt andet detaljer i de små høje ses tydeligt. Filmen giver virkelig indtryk af områdets unikke karakter, og man får lyst til at besøge stedet. Man kan kun undre sig over, at den ikke allerede ligger på Lindholm Høje museets hjemmeside. Sådanne film er glimrende til at formidle fortidsminder både lokalt, nationalt og internationalt. Ud over diverse hjemmesider og Facebook kunne filmene ligge på Youtube.

Bygninger og byer

At luftfotos af bygninger har stor formidlingsmæssigt potentiale, fandt flere private firmaer ud af allerede i 1930'erne, hvor de begyndte at fotografere især gårde og sælge billederne til ejerne. Sylvest Jensens firma blev førende på området. I begyndelsen blev billederne optaget fra en

relativ stejl vinkel, hvorved kun mindre dele af omgivelserne kom med. Fra 1950 ændrer de – inspireret af Dana Luftfoto – billedvinklen, således at en del af horisonten og dermed større jordarealer kommer med på billederne.²⁴

Droner egner sig netop godt til fotos fra lave vinkler, og fotos af bygninger har et stort formidlingsmæssigt potentiale. Et godt eksempel er ejendomsmæglernes udbredte brug af metoden. At kunne præsentere et hus i sine omgivelser giver en ekstra dimension i forhold til at se det på billeder taget i jordhøjde. 3D modeller og film giver endnu flere muligheder. Vi præsenterer et par eksempler her. Selvom hverken projektet omkring Sulegården eller Fredericia er en del af Droneprojektet synes vi, at de skal omtales kort her, da de viser et stort formidlingsmæssigt potentiale for kulturarven.

Sulegården på Hjerl Hede i 3D

Sulegården, som er en vestjysk klitgård fra 1700-tallet, er blevet udvalgt til et formidlingsforsøg. Gården ligger på frilandsmuseet Hjerl Hede, hvor omkring 50 forskellige bygninger belyser byggeskik og boligindretning på landet før i tiden.



Figur 51. 3D modellen af Sulegården. Illustration ESM.

Sulegården er fotograferet fra alle vinkler, og der er lavet en 3D-model, som kan lægges på hjemmesiden²⁵, så brugeren selv kan manøvrere rundt med den og få et detaljeret indtryk af bygningen udefra (Figur 51).

Ud over placeringen på hjemmesiden, blev forsøget lavet med henblik på at udforme en fysisk model af hele landsbyen med alle bygninger. Denne model skal stå ved indgangen, så publikum kan få et overblik over landsbyen, når de kommer til museet. Til dette formål er der af Sulegården lavet en 3D model, som kan danne grundlag for et 3D print af hele gården. Modellen er endnu ikke blevet printet. Der er ikke tvivl om, at disse muligheder i dronefotograferingen er stærke formidlingsmæssige tiltag både i forhold til børn, unge og ældre.

²⁴ Olesen, Dupont & Dam 2011, s. 24-33.

²⁵ <https://sketchfab.com/models/7d15ef7f682340a6995ce7454d8b0f4f>

Dronefilm af Fredericia med fæstningsværker

I Fredericia Kommune ønskede man en bedre formidling af byens historie og især de store fæstningsanlæg set i sammenhæng med byen. Derfor blev Esben Schlosser Mauritsen bedt om at lave en dronefilm. Filmen, der endnu ikke er lagt på Internettet, varer ca. et minut. Man flyver ind fra Lillebælt mod Bülow's Kaserne og dernæst i 4-5 klip langs voldene med lavere flyvehøjde over en kanonstilling. Der er et kig ud over by og Lillebælt, og der slutes af ved fæstningsværket nord for byen.

Kulturarvsvejleder og voldmester Mikael Holdgaard Nielsen udtaler om projektet: *"Fredericia Kommune har i sin formidling af byens historie og dens mange kulturhistoriske vartegn valgt droneoptagelser i form af fotos og film som et vigtigt visuelt supplement. Optagelserne anvendes også i kommunens bosætningsstrategi med henblik på at tiltrække potentielle tilflyttere. Optagelserne skal vise, at Fredericia blandt mange andre ting også er en kultur- og naturhistorisk perle, som fredericianerne er stolte af og glade for at bo i.*

Det helt specielle ved dronen er, at den kan "fange" den helt rigtige højde til det valgte motiv og frembringe skråfotos og film med et enestående lys- og skyggeforhold. Dronen har været et fantastisk redskab til at vise byens vartegn på en helt ny og spændende måde."

Eksempelvis kunne Jelling by med de to store gravhøje, kirken og markeringen af kong Haralds kongsgård og skibssætningen formidles på tilsvarende måde (Figur 52).



Figur 52. Luftfoto af Jelling med gravhøje, kirken og markeringen af kong Haralds store kongsgård og skibssætningen. Foto LHO.

Mediernes interesse for den fredelige brug af droner til kulturarven

Eksemplerne herover viser mange muligheder i brugen af droner i formidlingsmæssige sammenhænge. Selve brugen af droner i forbindelse med udgravninger og fredede fortidsminder har også været meget spektakulær og skabt megen omtale i medierne. Der har været indslag i TV Midt/Vest i *Jagten på de forsvundne borge* og i TV2 Nord om flyvningerne på Lindholm Høje. Både Politiken, Jyske Vestkysten, Nordjyske Stiftstidende og Ud & Se har bragt artikler, ligesom fotoudstillingen *Jagten på de forsvundne borge*, der vises på de kulturhistoriske museer i Region Midtjylland i 2015 og 2016 også har et afsnit om brug af droner.

Konklusion

Formidling til den brede befolkning er en væsentlig del af vores arbejde. Som kulturhistorikere kan vi i den forbindelse have stor glæde af dronen til både fotos, film, 3D-modeller og reliefkort. Billeder og film af både udgravninger, fortidsminder og bygninger er yderst anvendelige. Især ved store og lidt uoverskuelige anlæg kan man med luftfotos og film få et godt overblik, blandt andet fordi det for ikke-fagfolk er nemmere at identificere sig med et foto end en tegning. Omgivelser med ejendomme, træer, biler, mennesker m.m. giver en fornemmelse af størrelsesforholdet. Samtidig ser man terrænforhold og beliggenheden i landskabet tydeligt.

Dronefilm og billeder er oplagte at lægge på hjemmesider og sociale medier. Film af store fortidsminder kan optages, så de virkelig giver lyst til at gå på opdagelse på stedet. Fotografierne er også meget velegnede til skiltning ved fortidsminder. Mulighederne er mange. Vi har skitseret nogle af dem her.

Tilsynsgrenen

Esben Schlosser Mauritsen

I 2009, 2010 og 2012 overfløj vi i projektet *Fortiden set fra himlen* 108 fredede fortidsminder især for at undersøge, om det var muligt at foretage dele af tilsynet fra luften.

Det viste sig, at det stort set altid var muligt at registrere overtrædelser af 2m-beskyttelseszonen, skader på selve fortidsmindet, forholdet i 100m-sonen samt plejebehovet. Tilsyneladende kunne langt de fleste skader på selve fortidsmindet ses fra luften, men småskader som ødelagte skilte og opsatte trådhegn kunne ikke ses. Væltede skilte eller fredningssten kunne derimod godt iagttages fra flyet.

Præcist, hvor store overtrædelserne af den dyrkningsfri 2 m zone omkring gravhøjene var, kunne det imidlertid være svært at fastslå, da det ikke altid var muligt at bestemme højfodens beliggenhed. De små detaljer kneb det altså med. Luftfotografierne er velegnende til et hurtigt overblik over mange fortidsminder, og til oversigt over store anlæg og anlæg på vanskeligt tilgængelige småøer.

Brug af droner i tilsynet giver andre muligheder. Her har vi muligheden for at tage luftfotos i lav højde, så vi kan få alle detaljer med. Man har også mulighed for nemt at tage fotos fra forskellige vinkler. Det er dog stadig en udfordring at kvantificere eventuelle overtrædelser af 2 m zonen, men det har vi forsøgt at finde en løsning på.

Hvor kan droner tænkes at hjælpe med tilsynsopgaven?

Ved udarbejdelsen af dette projekt haft vi haft samtaler med Holstebro Museums tilsynsførende, museumsinspektør Kira Jørstad Klinkby. Ud fra hendes erfaringer og behov, har vi identificeret tre mulige hovedanvendelser af droner inden for tilsynet med de fredede fortidsminder:

Det første mulige anvendelsesområde er overflyvning af ellers svært tilgængelige fortidsminder. Langt de fleste fortidsminder i Danmark ligger relativt tilgængelige enten til fods eller i bil. Der er ingen dybe skove uden køreveje eller stejle bjergsider, som skal forceres. Men der er dyrkede marker. Kornmarker og andre lave afgrøder er selvfølgelig ikke noget problem. Men over de seneste år har især to ufremkommelige afgrøder vundet større og større indpas: Det drejer sig om majs og energipil. For majsens vedkommende er det trods alt en begrænset del af året, hvor fortidsminderne ligger utilgængelige for den tilsynsførende. Men der kan tænkes at være situationer, hvor et tilsyn er påkrævet, selv når majsens står højt. Der kan også være situationer, hvor et utilgængeligt fortidsminde, som ikke kan tilses, vil betyde, at den tilsynsførende må vende tilbage. Afhængigt af afstanden fra tilsynsmuseet, kan en sådan omtur koste både tid og penge. Her kan der være en økonomisk fordel i at foretage enkelte tilsyn med drone, fremfor at køre to gange.

For energipilen er situationen mere kritisk: Her står afgrøden højt hele året rundt, og høstintervallet vil strække sig over flere år. Inden energipilen endelig høstes, kan den have nået en væksthøjde på 6-7 m. Det betyder, at det er fuldstændigt umuligt af færdes og orientere sig til fods på en sådan mark. Her vil drone – eller sportsfly – oftest være det eneste alternativ til at opgive tilsynet. Fordelen ved at den tilsynsførende selv betjener end drone, fremfor at sætte et fly på vingerne, er at opgaven kan løses med det samme, og til en langt billigere pris, idet den tilsynsførende allerede befinder sig på stedet.

Det andet hovedområde, hvor vi ser et potentiale for brug er droner i tilsynet er ved dokumentation af arealmæssigt omfattende og komplekse skader. En del middelalderlige voldsteder henligger i dag i græs, hvor de afgræsses af husdyr, typisk kreaturer. Kreaturskader kan være ret lokale og ligge spredt over hele det fredede anlæg, som måske dækker flere tusinde m². Den tilsynsførende medbringer – som det er i dag – kun et kamera og notesbog/tablet til at dokumentere overtrædelser. Præcisions-GPS er både tungt at bære for den tilsynsførende, og typisk også et ret kostbart instrument at allokere i en tilsynsbil på fast basis. Med ét eller flere dronefotos taget fra højden, er det vores klare overbevisning, at det muligt at skabe et visuelt overblik over omfanget af skader på et givent fortidsminde. Og det på meget kort tid.

Og så det tredje hovedområde: Ud over at give et visuelt overblik over fortidsminderne, kan den tilsynsførendes dronefotos bruges til at skabe målfast og kvantificérbar dokumentation. Det kan gøres, hvis man efterfølgende georefererer dronefotografierne ved hjælp af fotogrammetrisk software. Her vil der være forskellige muligheder, alt efter hvordan man har greb sagen an i felten. Ved minimum to – men gerne flere – dronefotos er det muligt at lave et målfast ortofoto og en overflademodel. Det kræver blot, at der optræder en kendt afstand på billederne. Helt lavpraktisk kan det være en tommestok, et stadie eller en landmålerstok, som den tilsynsførende alligevel medbringer. Så kan modellen skaleres og eventuelle skader opgøres kvantitativt. Ønsker man en georefereret model/ortofoto er det nødvendigt, at der i billederne optræder veldefineret kendte punkter, som man kan genfinde på andre geodata, f.eks. én af de landsdækkende ortofotoserier. Afhængigt af referencematerialet kan man få en præcision på 1-2 m, måske lidt mindre. Ønsker man en højere præcision, vil det være nødvendigt at udlægge en række targets, som man efterfølgende opmåler med præcisions-GPS. Men her bevæger vi os ud over hvad der praktisk kan lade sig gøre på et almindeligt tilsyn. Med mindre man altså konstant kører rundt med en DGPS. Eller at man i det mindste har planlagt det hjemmefra.

Droner og tilsyn med fredede fortidsminder

For at undersøge ovenstående potentielle anvendelsesmuligheder for droner i tilsynet har vi udvalgt og udført en serie cases. Det drejer sig om de fredede voldsteder, Timgård og Bjørnkær voldsted (case 5 og 1). De ligger henholdsvis i græsmark og skov. Dernæst har vi undersøgt mulighederne for at lave tilsyn på en hel serie af gravhøje på én gang ved Fabjerg Kirkevej (case 6). Et andet gravmonument, som er undersøgt lidt mere i dybden, er den neolitiske langdysse Troldkirken, nær Aalborg (case 2). Som eksempel på en storskala-undersøgelse kastede vi os over jernaldergravpladsen Lindholm Høje (case 4). Endelig blev der lavet opmåling af – muligvis – kommende fredet fortidsminde ved Hvidemose (case 7). De her nævnt cases er alle beskrevet og illustreret bagerst i denne rapport. Vi skal dog alligevel her give en kort genfortælling af de vigtigste erkendelser i forhold til dette afsnits tema om tilsyn med drone:

Ved Timgård var opgaven, at skabe overblik over kreaturskaderne og gøre dem målbare. Det kunne have været gjort med et par skråfotos i stor højde og med mindre avanceret droneudstyr. Det er helt evident, at dronefotografiet giver et helt andet overblik over skadernes omfang og indbyrdes placering. Fotografiet kan nemt rettes op ved simpel fotogrammetri med en software som f.eks. AirPhoto. Jobbet tog 3 mandetimer i felten, men det er ikke retvisende i forhold en rent tilsyn. Vi valgte nemlig at foretage en præcis registrering med systematisk lodfotografering for at skabe en højt opløst model, når vi nu alligevel var derude. Tidsforbruget var derfor større end det havde været nødvendigt i en "ægte" tilsynssituation. Uagtet dette forhold, er konklusionen på forsøget, at dronefotografering entydigt vil være en stor fordel, når den tilsynsførende står over for omfangsrigt fortidsminde med flere spredte skader/overtrædelser.

Ved det andet testede voldsted, Bjørnkær ved Odder, handlede det ikke om kreaturskader, men vildtskader. Der var friske ræve- eller grævlingehuler i voldstedets vestlige hovedbanke. Det er naturligvis en nemt afgrænselig skade, men her var fokus også mere at skabe et billede af hulegravningens skadevirkninger over tid. Til det formål blev der skabt en højtopløst terrænmodel - under ret så udfordrende forhold: Voldstedet er nemlig skovklædt. Forsøget viste dog, at var muligt at løse opgaven, idet der var tale om løvfældende træer uden blade. Konklusionen blev 1) at det kunne lade sig gøre, samt 2) at dyrenes graveaktivitet har været særdeles skadelig for banken over tid. Selvom der kun var et par aktive huler på overflyvningstidspunktet, viser terrænmodellen at de undertiden flyttes, og at de over tid vil ødelægge en del af det fredede fortidsminde i bankens øverste lag.

Ved Fabjerg Kirkevej kastede vi os over en hel stribe gravhøje på en gang. Denne gang uden brug af GPS og markører for at simulere et rigtigt tilsyn. Dronen var dog stadig mere avanceret end nødvendigt, men i princippet kunne vi have lavet det samme job med en langt mindre og billigere droneløsning. Håbet var, at vi med et ortofoto og en digital overflademodel, kunne foretage et tilsyn af de mange høje. Dels uden at træde ind i marken, dels i en kvalitet, som lever op til kravene for de gode tilsyn. Selve overflyvningen var gennemført på få minutter. Den digitale efterbehandling krævede ca. 30 min manuel tid ved computeren, samt en halv times ren beregning, hvor arkæologen kan lave noget andet. Konklusionen på forsøget var desværre lidt skuffende, da forsøget viste, at en flyvehøjde på 100 m var for højt til at 3D-modelere en tydelig højfod i det høje græs, som omgav højene. Netop denne del af mulige tilsyn gravehøjes 2 m zone kræver flere forsøg, inden vi kan beskrive en egnet modus.

Ved Troldkirken var det bare et enkelt fortidsminde, som var i fokus: Langdyssen er et eksempel på utallige storstensgrave i Danmark, som enten henligger uopmålte, eller i som i bedste fald er opmålt i 1800-tallet. Troldkirken har ikke været opmålt siden 1866, og opgaven ved denne undersøgelse var – på hurtigste vis med drone – at nyopmåle, evaluere den gamle måling og eventuelt konstatere forandringer. Resultatet blev, at vi kunne forlænge dyssen med 3,5 m i forhold til den gamle tegning. Vi kunne desuden konstatere, at en del af randstenene var forsvundet, siden sidste opmåling. For tilsynet – og arkæologien i almindelighed - vurderer vi, at det er af stor betydning, at storstensgravene bliver opmålt, så man rent faktisk har en mulighed for at afgøre, hvorvidt der mangler noget. I dette tilfælde randsten. Det er naturligvis en stor opgave. Men der er ingen tvivl om, at den her anvendte fremgangsmåde er både den bedste og den billigste.

Der gjaldt de samme mål for vores undersøgelse af Lindholm Høje, som for Troldkirken – blot i en helt anden skala. I alt blev næsten 4 hektar opmålt med henblik på at undersøge kvaliteten af den gamle opmåling fra gravpladsen undersøgelse i 1950'erne, og undersøge hvorvidt de mange besøgende forårsager nogen skader på det imponerende fortidsminde. Resultat var – kort fortalt – at man ved den gamle opmåling havde overset en hel del, heriblandt resterne af 5-6 stensætninger. Man havde også i dokumentationen negligeret næsten 75% af de mere end 100 gravtuer på gravpladsen. Det står klart, at mange af tuerne repræsenterer individuelle begravelser, både før, efter og samtidigt med mange af stensætningerne. En betydelig del af det samlede fortidsmindekompleks, har derfor reelt været overset. Der blev ikke konstateret nævneværdige skader på Lindholm Høje. Den største trussel, er sandsynligt græstørven, som langsomt er ved at overvokse de diskrete markeringssten over de mange stenspor. Ønsker man i fremtiden at genfinde og frigrave disse sten, kan man med fordel eftersøge dem med udgangspunkt i det nye droneortofoto, som denne undersøgelse bl.a. mandede ud i.

Hvidemose er den sidste case, som vi har arbejdet med i relation til tilsynet. Her var der ikke tale om jagt på skader, men i stedet tale om en førstegangsopmåling af et muligt kommende fredet fortidsminde. Der er tale om en vifte af hulveje, som samler sig på grund af en naturligt betinget tvangspassage. Problemet var, at der på den tilgængelige højdemodel (2007) ikke var tilstrækkeligt med data. Vejene kunne ganske vist ses, men ikke i en grad så alle spor var med. Til trods for særdeles høj græsbevoksning, lykkedes det på relativt kort tid at lave en total kortlægning af alle bevarede hulveje på stedet, og dermed sikre det bedst mulige grundlag for en fredningssag.

Kan droner i fremtiden indgå i den tilsynsførendes værktøjskasse?

Spørgsmålet om hvorvidt droner kan indgå i tilsynet med de fredede fortidsminder kan ikke besvares med ja eller nej, snarere både og. Droner kan ikke afløse tilsynet. Det er teknologien ikke moden til. Men det kan være et godt supplement til det håndholdte kamera, når vi taler fotos alene. Ved større fortidsminder med spredte skader, såsom et middelalderligt voldsted med kreaturskader, vil brugen af drone være enormt spring fremad. Det er hævet over en hver diskussion: Luftfotografierne giver et langt bedre overblik end fotos taget på jorden, og de er fremragende til at illustrere fortidsmindernes beliggenhed i landskabet, deres landskabelige værdi og 100 meter zonens tilstand omkring dem. Generelt har luftfotografierne også et stort formidlingsmæssigt potentiale, og de er meget velegnede til at medbringe ved tilsyn på jorden og bruge i kontakten til ejeren.

Brug af droner kan altså løfte dokumentationsniveauet i tilsynet - men kan man også spare tid og penge? Det er et lidt mere åbent spørgsmål. I situationer hvor fortidsminder ligger svært tilgængeligt, men stadig er inden for droneflyveafstand, vil man helt sikkert kunne spare tid. Ligger der mange fortidsminder inden for en flyveradius, vil man ligeledes kunne spare tid. Forestiller man sig derimod, at der skal tages dronefotos af alle fortidsminder, sparer man ikke tid. Det tager længere tid at sende en drone i luften end det tager at tænde et kamera. Men det vil – igen – være et løft af dokumentationskvaliteten. Et enkelt lodfoto af en gravhøj eller et markdige vil kunne dokumentere overtrædelser 360 grader omkring fortidsmindet. Det må i ethvert tilfælde bero på en vurdering, om et dronefoto vil være indsatsen værd.

Endelig: Vil det være praktisk muligt for de tilsynsførende at betjene og fragte en drone med rundt på tilsynet? Som beskrevet i afsnit 3, er det i dag muligt for enhver med en nogenlunde rumlig intelligens at betjene en drone. Tilmed fås det ready-to-fly-droner med anstændige kameraer og stor brugervenlighed på under 1,5 kg. Flere producenter tilbyder kufferter og endda rygsæk-løsninger til opbevaring og transport af de mindre droner. Den tekniske og praktiske tærskel er med andre ord overskredet.

Tidsforbrug

Carsten M. Risager

Tidsforbruget er behandlet under de relevante grene og de enkelte cases, og som nævnt tidligere er der et relativt stort 'skjult' tidsforbrug i forbindelse med anvendelsen af droner. Derfor er det vigtigt, at de museer, som påtænker sig at anskaffe sig en eller flere droner, forsøger at få et overblik over alle udgifterne.

Det skjulte tidsforbrug ligger under næsten alle de behandlede grene i rapporten:

Pilot: Opbyg erfaringsgrundlag, få udfærdiget driftshåndbog, få pilotgodkendelse, vedligehold af driftshåndbog, logføring af flyvninger for både pilot og drone, vedligehold af kompetencer, forsikring, opbyg relaterede færdigheder f.eks. indenfor opmåling, foto, datahåndtering og 3D.

Udstyr: Køb, opsætning og vedligehold af drone, controller og udstyr(kamera, kameraophæng, billedtransmission til FPV²⁶), småreparationer, optimering og udstyrs-hack (hvis udstyret ikke lige passer helt eller der ikke er en færdig løsning på markedet, så er det i mange tilfælde nødvendigt at svinge hobbykniven og loddekolben).

Dokumentation: Afstandskrav, lokalitetens tilgængelighed, vind og vejr, datadisciplin, arkiverings- og dataformater.

3D: Valg af og indkøb af soft- og hardware og opbyggelse af erfaring med software.

Formidling: Er pilot- og udstyrsgrenen på plads, lokaliteten tilgængelig og vejret godt, så er der ikke de store ekstra omkostninger ved at anvende dronen til formidlingsopgaver, bortset fra at det er vigtigt at piloten kan tage 'lækre' billeder.

Tilsyn: Er pilot- og udstyrsgrenen på plads, lokaliteten tilgængelig og vejret godt, så er der ikke de store ekstra omkostninger ved at anvende dronen til tilsynsopgaver.

Et gennemgående træk som vi ikke kommer udenom, er at dron-flyvning er en specialistopgave og som langt de fleste andre specialistopgaver vil dette ikke nødvendigvis medføre et forøget tidsforbrug, men sandsynligvis en forøget omkostning. Spørgsmålet er så om det bliver vurderet at denne meromkostning bliver opvejet af en forøget datakvalitet og de nye muligheder som vi får ved at indsamle data på denne måde.

Økonomien og tidsforbruget er selvfølgelig et relevant spørgsmål i denne forbindelse og grundlæggende med den helt skrabede model kan man komme i gang for lige omkring kr. 10.000 (drone, kamera, kameraophæng, freeware og ekstern harddisk). Dette er dog kun muligt, hvis museet har en meget dedikeret (og evt. frivillig) medarbejder, der selv sørger for alle de skitserede elementer under pilot- og udstyrsgrenen.

Realistisk snakker vi helt andre beløb og selvom jeg skønner på beløbsstørrelserne i den følgende del, så er det mit indtryk at de ikke er urealistiske og måske endda lidt i underkanten. Pilot kr. 100.000, udstyr kr.

²⁶ First Person View

70.000, dokumentation kr. 25.000 og 3D kr. 60.000. Pilotprisen er skønnet ud fra følgende poster; timer og relaterede udgifter til flyvning på modelflyveplads (20.000), driftshåndbog (30.000), pilotgodkendelse inkl. overvåget flyvning ved repræsentant fra Trafikstyrelsen (10.000), forsikring og anden administration (10.000) og uforudsete udgifter (30.000). Udstyr; drone med godt kamera (40.000), diverse småting (10.000) og tid til indkøb og opsætning (20.000). Dokumentation; denne omkostning er lidt problematisk, da hvis museet gemmer fotos som rådata, så vil der være en løbende udgift med at opbevare data, som kun vil vokse med tiden, så udgiften er sat forsigtigt (25.000). 3D; Software (25.000), Hardware (20.000) og oplæring (15.000).

Det er selvfølgelig op til en individuel vurdering om mine skøn er tilnærmelsesvis korrekte, men hvis det er tilfældet, så lander vi på et beløb på lige over kr. 250.000.

Cases

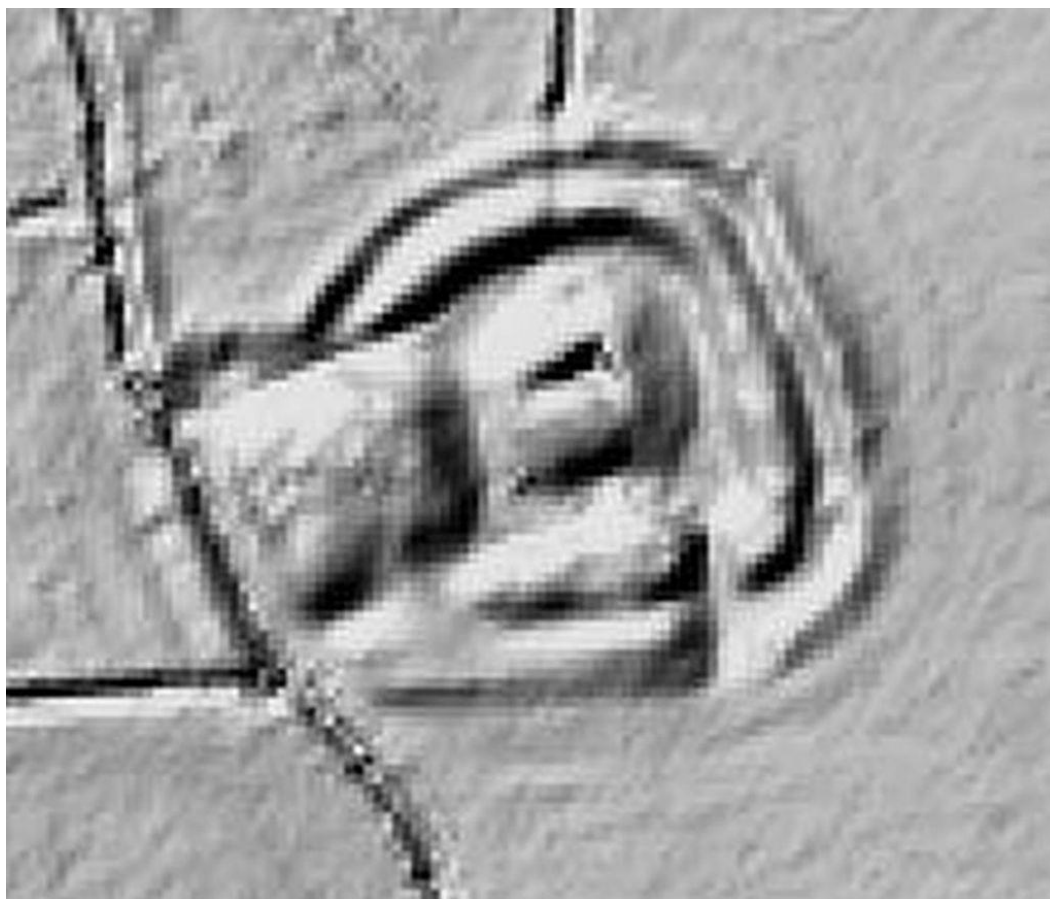
Esben Schlosser Mauritsen

Case 1: Bjørnkær

Introduktion og praktiske data

Bjørnkær er beliggende nær Hov, øst for Odder, Østjylland. Der er tale om et middelalderligt borganlæg bestående af en tårnbanke og en gårdbanke, omgivet af forbanker og voldgrave. Bjørnkær er et fredet fortidsminde og i dag beliggende i udkanten af en større skov, og omgivet af dyrket mark til to sider. Anlægget er bevokset med høje bøgetræer.

I forbindelse med det midtjyske samarbejdsprojekt Middelalderborge i Region Midtjylland var voldstedet Bjørnkær udvalgt til nærmere undersøgelse. Der var fra projektets side et ønske om at få foretaget en nyopmåling af voldstedet. På grund af trævæksten fandtes der intet tilfredsstillende ortofoto af borganlægget, ligesom at det nationale reliefkort fra Danmarks Højdemodel ikke tegnede overfladen specielt tydeligt og skarpt, se Figur 53. Det var håbet, at vi med drone kunne skabe dette.



Figur 53. Bjørnkær, som det tager sig ud på Danmarks Højdemodel 2007. Copyright Geodatastyrelsen.



Figur 54. Lodfoto taget over trækroneerne fra ca. 30 m højde. Grenene skærmer for en del af skovbunden. Men på grund af de mange fotos og store overlap, er alle dele af voldstedet alligevel blevet dækket.

Flyvningen og databearbejdningen blev udført d. 30. marts 2014 af Esben Schlosser Mauritsen. Til flyvningen anvendtes en multirotor af fabrikatet DJI Phantom 1 med et Canon S100 kamera monteret. Tidsforbruget er opgjort således:

3 timer i felten, heraf ca. 40 min i luften.

8 timers efterbearbejdning. Heri indregnet tid til at evaluere og genberegne model og ortofoto.

I alt blev 11 mandetimer brugt frem til det endelige resultat.

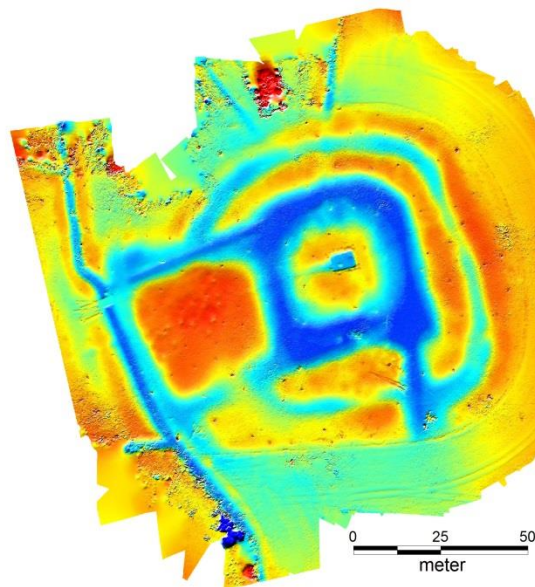
Opmålingen

På grund af træbevoksningen stod det fra begyndelsen klart, at flyvningen måtte gennemføres før bladene sprang ud i 2014. Første idé var at flyve under trækroneerne. Det viste sig dog at være særdeles vanskeligt, idet kroneerne var i varierende højde. Det tvang flyvningerne til at foregå lavt, hvilket igen betød, at det var svært at nå en tilfredsstillende fotodækning af skovbunden. For at omgå problemet blev det forsøgt at fotografere skråt fremad for at få mere af anlægget med på billederne.

Ved bearbejdningen af fotografierne viste det sig, at datasættet som frygtet var for svagt til at lave en sammenhængende overflademodel. En enkelt stribe fotos var taget over trækroneerne (se Figur 54). Men disse viste sig overraskende at have potentiale. Til trods for at grene og stammer fyldte meget på fotografierne, var der alligevel meget gennemsigtig til skovbunden. Det affødte tanken om, at et tilpas stort antal lodfotos taget over trækroneerne kunne være løsningen. Der blev derfor gennemført en ny flyvning, nu alene over trætoppene.

Digital bearbejdning

Ved den anden flyvning over Bjørnkær blev der i alt optaget 355 lodfotos fra ca. 30 m højde, som blev bearbejdet i Agisoft PhotoScan. Resultatet blev en overflademodel (Figur 55) og et ortofoto (Figur 56) med en opløsning på 4 cm pr. pixel. For at kunne etablere en overflade med så få forstyrrelser fra træstammer og grene blev der gennemført en filtrering af punktskyen, også i PhotoScan, inden den endelige model – en terrænmodel – blev beregnet.



Figur 55. Farvelagt terrænmodel af borganlægget ved Bjørnkær. Man ser, hvordan rævegrave har gennemhullet den vestlige af de to hovedbanker. I den dyrkede mark, syd for den sydligste forbanke ses en svag forsænkning efter en tilkastet - og hidtil ukendt – voldgrav.



Figur 56. Ortofoto af skovbunden ved Bjørnkær. Det er ikke voldsomt informativt, men alligevel fascinerende. Træerne fjernet, dels som følge af en filtrering, dels fordi de ikke kastede skygger under flyvningen.

Resultater og konklusion

Den endelige filtrerede terrænmodel blev ganske tilfredsstillende. Kun få steder var der støj og manglende dækning. Det er den til dato mest detaljerede opmåling af Bjørnkærs overflade. Modellen viser med al tydelighed, at der pga. rævegrave pågår en betydelig ødelæggelse af gårdbankens top. Til stor overraskelse kunne modellen også påvise en hidtil ukendt voldgrav i den dyrkede mark, syd for det fredede anlæg. Den er ikke umiddelbart synlig, når man står på stedet, men en lille forsænkning i markfladen kan man altså fange i terrænmodellen.

Case 2: Troldkirken

Introduktion og praktiske data

Troldkirken er en af Danmarks mest monumentale storstengrave. Langdyssen har et stort dyssekammer med en enorm overligger, se Figur 57. Troldkirken blev opmålt i 1866 af Kornerup. Hans opmåling har været den gældende frem til i dag.



Figur 57. Oversigtsfoto fra Troldkirken.

Målet med droneflyvningen over Troldkirken var at samle data til en ny opmåling af langdyssens sten og det umiddelbart omgivende terræn. Derudover var planen, at lave en 3D-model af selve kammeret. Opgaven blev udført på foranledning af Palle Eriksen, som var til stede under flyvningen.

Flyvningen og databearbejdningen blev udført d. 23 april 2014 af Esben Schlosser Mauritsen, inden for rammerne af de generelle regler for droneflyvning. Til flyvningen anvendtes en multirotor drone af fabrikatet DJI Phantom 1 med et Canon S100 kamera monteret. Tidsforbruget er opgjort således:

1,5 time i felten, heraf ca. 40 min i luften.

6 timer efterbearbejdning. Heri indregnet tid til at evaluere og genberegne model og ortofoto.

I alt blev 7,5 mandetimer brugt frem til det endelige resultat.

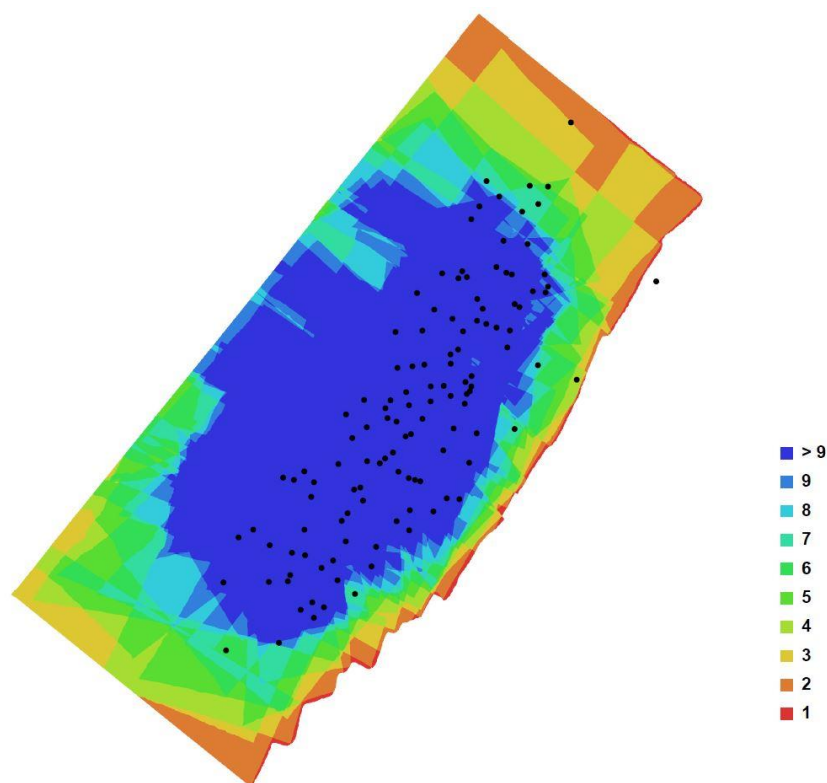
Opmålingen

Vejrforholdene under flyvningen var ret problematiske på grund af stærk vind, som blev presset henover den bakkeknold, som Troldkirken ligger på. De vanskelige vindforhold medførte en del rystede og skæve fotos. Der blev derfor fløjet af fire omgange på ca. 10 min for at være sikker på, at der ville være materiale nok til en 3D model. Ved flyvningerne blev der satset på fire typer fotos: Fotos fra lav højde, fotos fra stor højde, skråfotos fra lav højde, samt skråfotos fra større højde i en flad vinkel. De første tre typer var med henblik på en 3D-model, mens de sidste var for at tage oversigtsfotos. Endelig blev der forsøgsvis optaget en serie nærfotos af dyssekammeret fra en wienerstige og fra jorden.

Inden flyvningen var der udlagt i alt 9 referencepunkter rundt om hele anlægget. Der blev også udlagt en meterstok, som en ekstra sikkerhed, hvis GPS opmålingen skulle svigte. Det blev der dog ikke brug for.

Digital bearbejdning

Da der blev fløjet med et kamera med intervaludløsning hvert andet sekund, resulterede det i et svimlende antal fotos. Det var derfor nødvendigt at lave en udvælgelse af de bedste skud, hvilket reducerede fotomængden til 122 fotos, som kunne bruges i kortlægningen af langdyssen. De var taget gennemsnitligt 17 m over dyssen. Det resulterede i en GSD²⁷ på 5 mm pr. pixel. De opmålte referencepunkter viste sig at have en unøjagtighed på 3,9 cm. Det er lidt meget, men det er stadig inden for den usikkerhedsramme man må forvente, når man bruger DGPS²⁸ til opmåling i stedet for en totalstation.



Figur 58. Kamerapositioner og fotooverlap fra bearbejdningen af dronefotos fra Troldkirken. Man ser, at de sorte prikker (kamerapositionerne) ligger forskudt for det opmålte område. Det skyldes, at sidevinden fik dronen, som havde fastmonteret kamera, til at hælde.

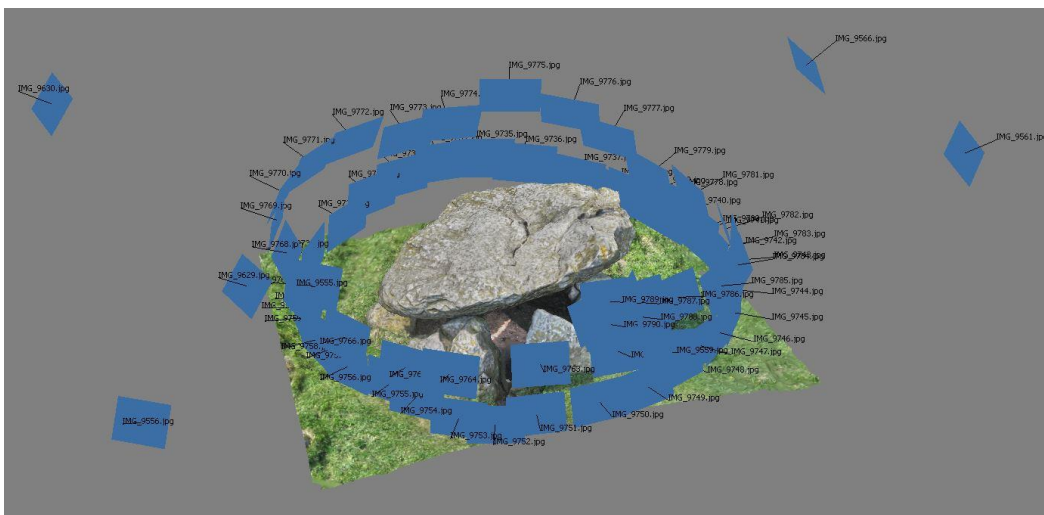
²⁷ Ground Sample Distance

²⁸ Differential GPS

Der er indsamlet data fra i alt 5000 m², hvoraf selve langdyssen udgør ca. 430 m². Desværre er arealet lidt forskudt mod vest i forhold langdyssen, se Figur 58. Det skyldes kombinationen af fastmonteret kamera og stærk vind. Vinden tvang dronen til at lægge sig op imod vindretningen. Det fastmonterede kamera fulgte selvsagt med, således at det, som var tænkt som lodfotos, blev til skråfotos.

Bearbejdningen af dronefotos af Troldkirken udmøntede sig i en overflademodel, som blev eksporteret i 2 cm / pixel opløsning. Der blev også lavet et ortofoto, som blev eksporteret i den maksimale opløsning på 0,5 cm / pixel.

Der blev lavet en særskilt beregning af dyssekammeret. Dertil anvendtes 64 fotos fra henholdsvis wienerstige og jorden, samt 7 dronefotos taget i lav højde, se Figur 59. Modellen blev ikke georefereret, men skaleret. Formodentlig kunne 90 % af modellen have været lavet alene med fotos fra jordniveau og på stige. Men den skrå fotovinkel betød, at oversiden var dårligt dækket, og her gjorde dronefotografierne altså forskellen.

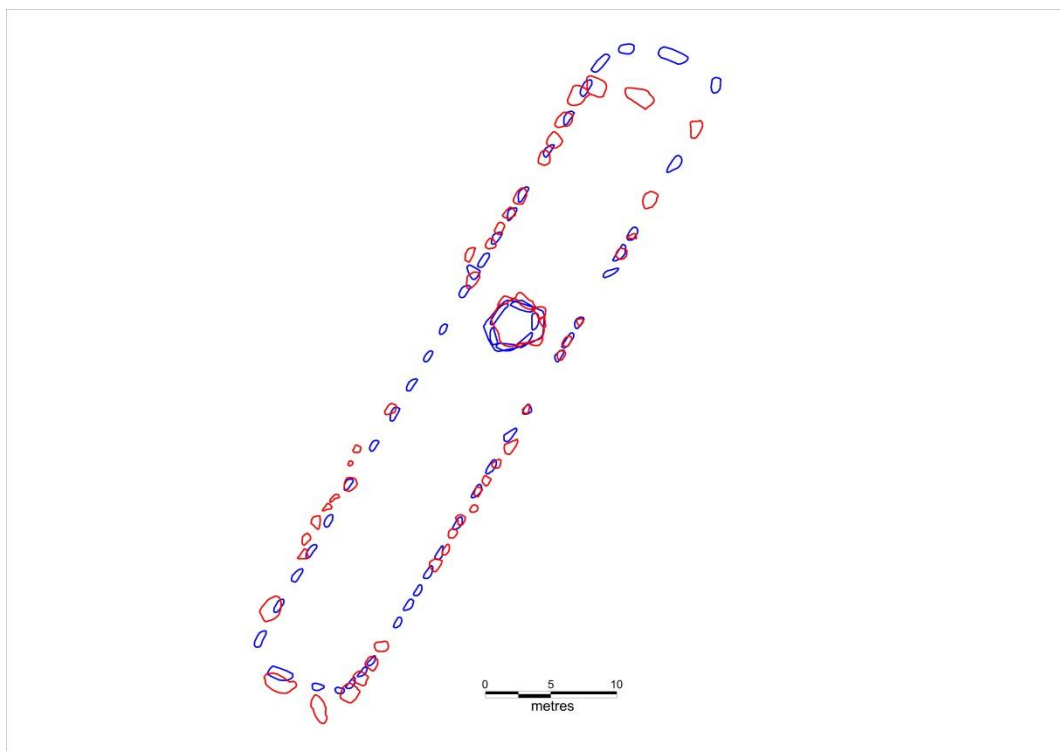


Figur 59. Fotopositioner omkring dyssekammeret.

Resultater

PhotoScan blev brugt til at lave en opdateret oversigtsplan af den mægtige langdyse. Ortofotografiet viste sig mest anvendeligt til vektorisering af stenene. Nogle af randstene ligger ned og er næsten i niveau med den omgivende grønsvær, og her var ortofotografiet mere entydigt end højdemodellen.

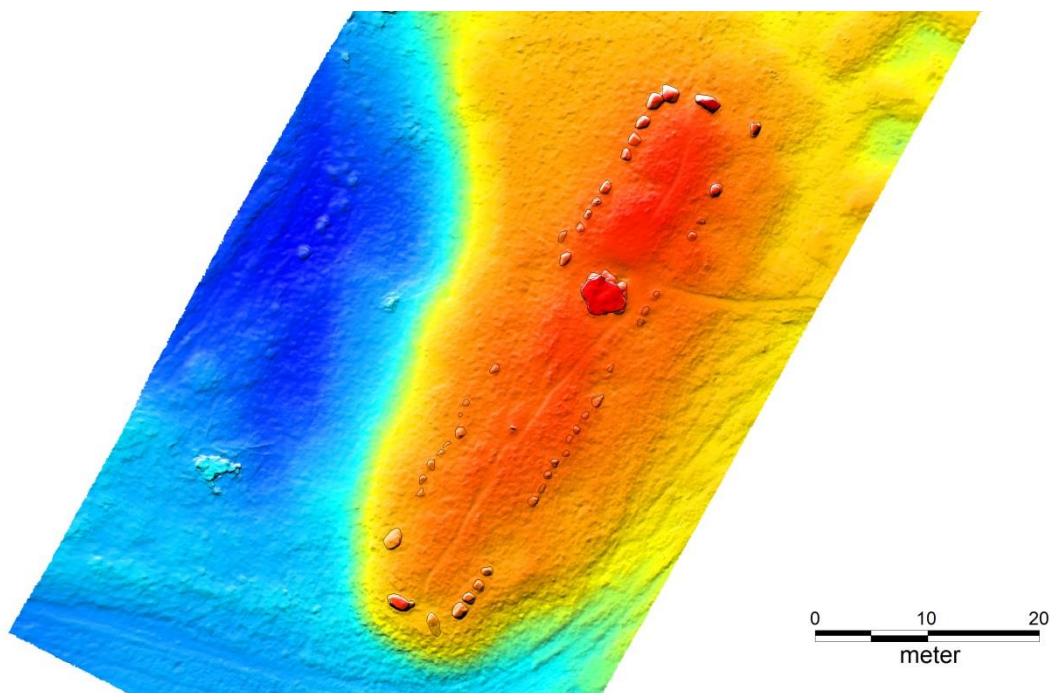
Den nye oversigtsplan viser flere interessante detaljer, se Figur 60. Først og fremmest viser det sig, at langdyssen er lidt over 3,5 m længere end Kornerup opmålte den til i 1866. Langdyssen måler således 53,5 m og ikke 50 m. Man kan se, at det skyldes en forskydningsfejl i hans opmåling ca. 8,5 m nord for kammeret.



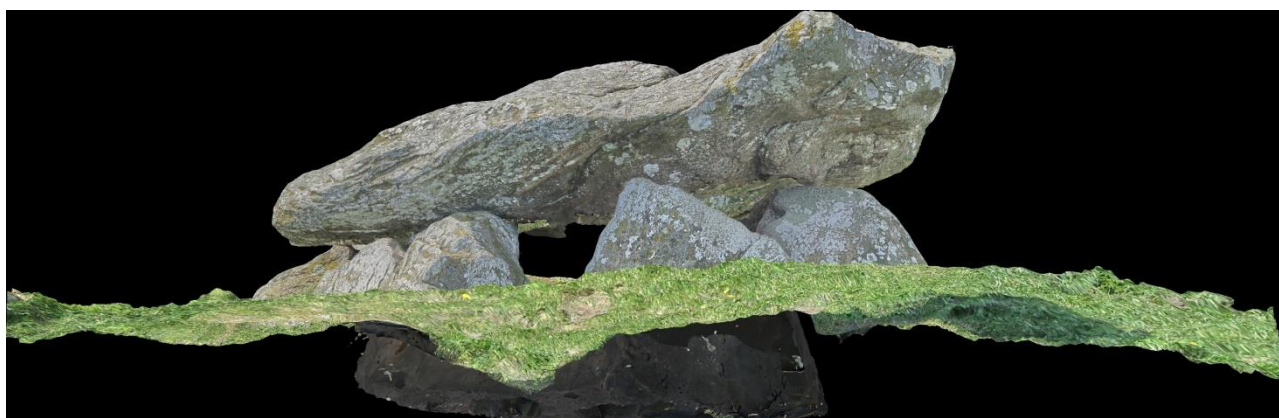
Figur 60. Digitaliseret plan over Troldkirkens sten (blå) sammenholdt med Kornerups plan fra 1866 (rød).

Man kan også se, at der som minimum er forsvundet 8 randsten siden 1866. Dette er svært at afgøre helt præcist, idet flere uoverensstemmelser mellem Kornerups plan og den nye fra 2014 gør det svært at korrelere mellem de to. Det er derfor også svært at sige hvor mange sten, der er væltet. Men 2-3 sten ligger i dag så langt uden for rækken, at de med rimelig sikkerhed må være væltet ud siden 1866.

Endelig kan man på Figur 60 se, at gengivelse af randstenene ikke er specielt nøjagtigt hvad angår stenenes faktiske størrelse. Især i langdyssens sydlige ende er stenene tegnet for små.



Figur 61. Farvelagt "hillshade" model af Troldkirken. Stenene er digitaliseret ud fra ortofoto.



Figur 62. Opstalt af dyssekammeret, set fra nord.

Overflademodellen giver også anledning til en ny erkendelse: Det har inden for dysseforskningen været en vedvarende diskussion, hvorvidt en del af de danske dysser ikke har haft højopbygning. For Troldkirkens vedkommende viser overflademodellen, at der ikke er spor efter nogen terrænforandring af det naturlige bakke- og daldrag, som langdyssen ligger på, se Figur 61. Det er temmelig usandsynligt, at nogen skulle have fjernet en langhøj så eftertrykkeligt, at det ikke ville give sig til kende som bare en let forhøjning.

Endelig er der kammeret. Som det fremgår af opstalten figur 6, er det lykkedes at skabe en ganske fornuftig 3D model af det store dyssekammer. Der er endnu ikke lavet nogen beregninger på f.eks. overliggerens volumen og vægt, men det er muligt ud fra det foreliggende datasæt. Som et forsøg på visualisering af dyssekammeret er der lavet opstalter fra fire sider. Opstalter er normalt noget, man vil forbinde med plane murflader og facader. Men ved hjælp af en 3D-model er det nu muligt at lave en opstalt af noget så

”uplant” som et dyssekammer. Noget som vel nærmest ville være umuligt at lave med tidligere tiders opmålingsmetoder.

Takket være de åbne huller mellem bærestenene har det faktisk også været muligt at opmåle en del af kammerets indre. Det var ikke en mulighed, vi var bevidste om ved affotograferingen, så derfor kunne resultatet have været bedre, hvis der målrettet var fotograferet ind i selve kammeret. Men selv med det foreliggende materiale, giver opstalten et interessant billede af både kammerets ydre og indre.

Konklusion

Erfaringerne fra opmålingen af Troldkirken har været overraskende gode. Ikke alene er det lykkedes at producere en ny og præcis plantegning af anlægget. Det er også lykkedes at kaste nyt lys over anlægget. Nyopmålingen har vist, at langdyssen er længere end Kornerups 1866-plan viser. Man kan bl.a. også se, at den gamle plan ikke er dækkende for fortidsmindets fremtoning i dag. Mindst 8 sten er forsvundet, mens andre er væltet.

Der findes mere end 2000 bevarede storstensgrave i Danmark. Mange af dem er undersøgt og opmålt ret tidligt, som det var tilfældet ved Troldkirken. Hvis man ønsker at overvåge deres tilstand i form af forandringer/skader, er det af helt grundlæggende betydning, at vi har en objektiv og præcis opmåling af anlæggene. Der ligger derfor en stor opmålingsopgave og venter. På baggrund af dette forsøg ved Troldkirken, er det ret tydeligt, at en god og kosteffektiv metode til at nå det mål, vil være en kombination af fotos fra jorden og fra drone, som bearbejdes til 3D-modeller, ortofotos og overflademodeller.

Case 3: Kalø Slotsruin

Introduktion og praktiske data

Figur 63 viser et foto af en del af slotsruinen.



Figur 63. Billede af Kalø Slotsruin, set fra nordvest. Kraftigt solskin er ikke optimalt til opmålingsfoto, men stemningsfuldt er det da.

I projektet var det en oplagt udfordring at prøve kræfter med et fortidsminde, hvor der var bevaret murværk i højden. Efter forslag fra Jørgen Frandsen, Kulturstyrelsen, faldt valget på Kalø Slotsruin. Sagen var den, at det store tårn aldrig er blevet opmålt, bortset fra en tværsnitsprofil i 1909.²⁹ Ud over at være en test af metoden, kunne vi her også bibringe med noget nyt. Så tillige med en opmåling af slotsbanken var det målet, at opgaven skulle munde ud i fire målfaste opstalter af murværkets ydre.

Flyvningen og databearbejdningen blev udført d. 16. april 2015 af Esben Schlosser Mauritsen, Lars Chr. Bentsen stod for opmåling af referencepunkter. Til flyvningen anvendtes en multirotor af fabrikatet DJI S1000 med et SONY NEX-7 kamera monteret. Tidsforbruget er opgjort således:

3 timer i felten med to mand, heraf ca. 35 min i luften.

14 timer efterbearbejdning. Heri indregnet tid til at evaluere og genberegne model, ortofoto og opstalter

I alt blev 20 mandetimer brugt frem til det endelige resultat.

²⁹ (Schmidt 1944:7, figur 7)

Opmålingen

Forberedelse

Naturstyrelsen ejer Kalø Slotsruin. Flyvningen forudsatte derfor deres tilladelse, hvilket vi fik. Vi kunne dog ikke få tilladelse til at køre derud på dæmningen. Det betød, at vi af praktiske hensyn måtte opgive at transportere en totalstation derud, i stedet måtte vi nøjes med DGPS til fastlæggelse af referencepunkter.

Kalø Slotsruin ligger temmeligt eksponeret for vind fra alle verdenshjørner. Dertil kommer, at slotsbankens stejle sider nemt kan forårsage turbulens. Det samme gælder for selve tårnet. Flyvningen måtte derfor udføres under rolige vindforhold. Det skulle imidlertid vise sig svært i denne periode, så vi endte med at vælge en dag, hvor vejrudsigten forudsagde 4-5 m/s vind.

Udførelse

Flyvningen blev gennemført den 16. april 2015 om formiddagen. Efter middag var prognosen 8-9 m/s vind. Vinden nåede at tage til, inden vi fik udstyret båret derud. Da flyvningen skulle påbegynde, var der ifølge DMI, 5-6 m/s vind. Det ville under normale omstændigheder ikke være noget problem. Men det skulle alligevel vise sig at være noget af en udfordring. Vinden kom fra NØ og blev presset op over banken og det bevarede murværk i ringmuren. Det skabte, som frygtet, en del turbulens. Særligt slemt var det omkring selve tårnet.

Lysforholdene var en blandet fornøjelse – stærk forårssol og få skyer på himlen. Det skabte dramatiske slagskygger, hvilket er en ulempe i forhold til at få et farvemæssigt ensartet resultat. Skyggerne kan endvidere skjule detaljer, som det kan være besværlige eller umulige at få frem i efterbearbejdningen.

Til stedfæstelse af modellen blev der udlagt 6 referencepunkter omkring tårnets fod. Omkring på borgbanken udlagdes i alt 16 referencepunkter. De blev alle målt op ved hjælp af DGPS.

Affotograferingen af tårnet foregik rundt om i 3 forskellige højder, samt i lod. Fra jorden blev der endvidere fotograferet to serier, én sigtet ligefrem og en skråt fremad. Der blev i alt optaget 159 fotos, hvilket måske er meget. Men i betragtning af de problematiske lysforhold samt besværet med at tilgå borgruinen, blev det valgt at få en høj dækningsgrad, dvs. med en del overlap mellem billederne.

Det var desværre ikke muligt at få adgang til tårnets indre, det kunne kun betragtes gennem et gittersikret hul i nordmuren. I forhold til SFM gav det ikke mening at tage fotos af tårnets indre, da det kun var muligt at få denne ene fotoposition. I stedet satsede vi på, at vi ved hjælp af lodfotos taget over tårnets top ville kunne optage nok information til – som minimum – at kunne modellere det indre rums sider og kælderbunden i grov form.

For slotsbankens vedkommende blev flyvningen gennemført i 40 m højde over bankens højeste niveau. Det giver en GSD på 1,1 cm pr. pixel. Der blev fløjet systematisk i linjer med stort overlap.

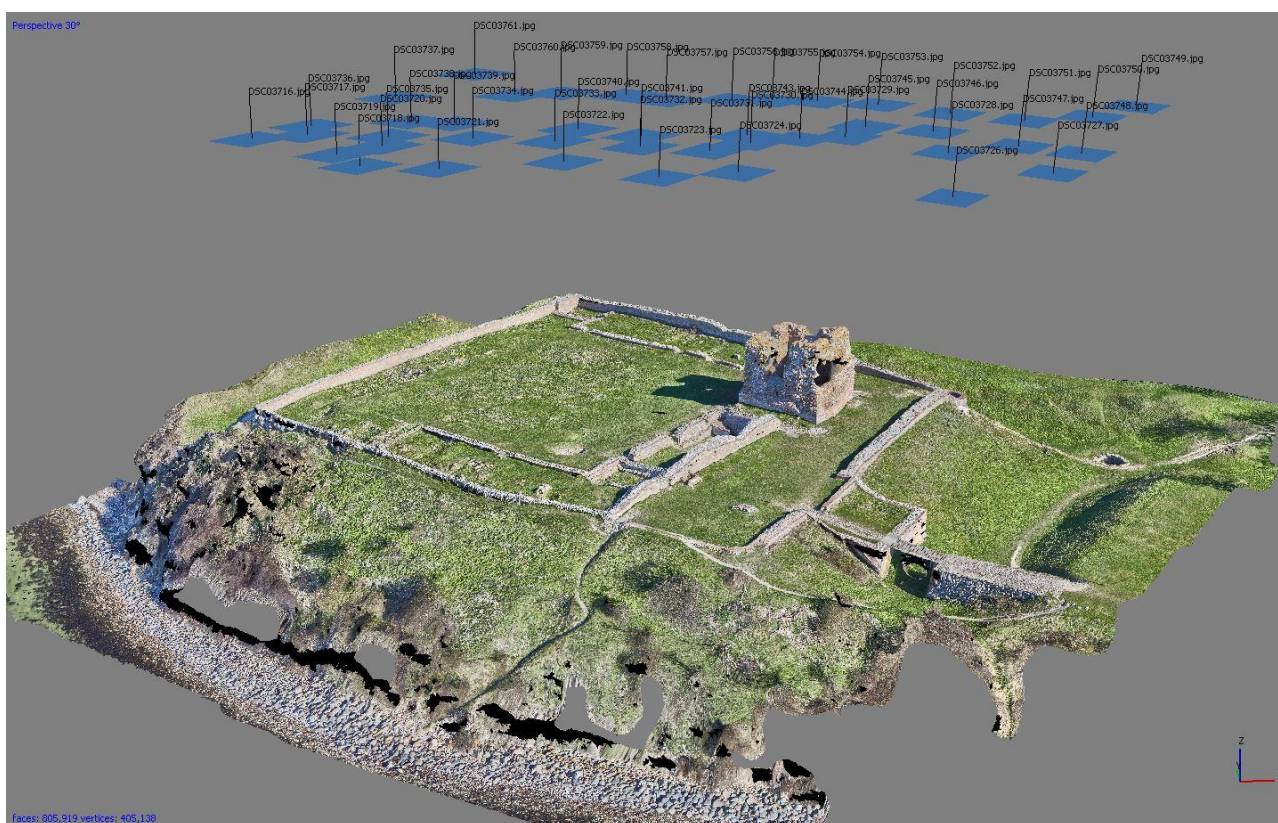
Digital bearbejdning

Fra lodfotoserien over slotsbanken kunne i alt 44 ud af 47 optagne fotos anvendes til bearbejdning. De resterende 3 fotos var ude af fokus. Men der blev taget fotos med så store overlap, at det ikke fik nogen betydning for dækningsgraden.

Beregningen viste, at referencepladerne/markers har en gennemsnitlig unøjagtighed på 3,3 cm. Det er en acceptabel præcision i betragtning af, at vi brugte DGPS til indmålingen. Der er forsøgsvist lavet visuel kontrol på ikke-anvendte referenceplader og fundet unøjagtighed på indtil 4 cm for et enkelt punkt.

Terrænmodellen blev eksporteret i en opløsning på 4,5 cm / pixel. Ortofotografiet blev eksporteret i en opløsning på 1,1 cm, dvs. den maksimale reelle opløsning.

Der er klart størst dækning i midten af opmålingsområdet, hvilket er forventeligt. Der er her mere end 9 overlap, hvilket må siges at være meget. Vi kunne have sparet én af de fire flyvelinjer. Når vi ikke gjorde det, skyldes det de mange lodrette elementer i murværket. Mange overlap sikrer, at der er punkter nok omkring murene. Man kunne ellers nemt komme til at få områder, hvor murværk "skygger" for detaljer på terrænet helt inde ved muren. Det, der ses i bunden af kælderens i tårnet, er dog uden betydning for den overordnede optagelse af slotsbanken.



Figur 64. Screenshot fra bearbejdningsprocessen af slotsbanken. Man bemærker modellens svage områder ned af skrænten og på tårnets sider.

I den sydvestlige side af opmålingsområdet ses der huller i dækningen. Det skyldes den stejle kystskrænt. Her har buskbevoksningen skygget for indsynet til terrænet. Der burde derfor have været en flyvelinje, som var helt fri af skrænten og over kystlinjen neden for skrænten. Men i praksis har denne fejl ingen betydning for det samlede resultat, idet der nemt kan interpoleres hen over den dårlige dækning.

Et andet svagt punkt i slotsbankens model ses omkring tårnets sider. Her har lodfotografierne ikke været tilstrækkelige til at definere det ret høje murværk. Det er reelt uden betydning, da lodfotoserien er udført

med henblik på en DEM³⁰ og et ortofoto. Hullerne i murværket ses ikke i disse datasæt. Havde man ønsket at opnå bedre dækning, skulle lodfotografierne have været kombineret med skråfoto. En alternativ løsning kunne være en beregning af tårnet særskilt, og så efterfølgende kombinere de to 3D-modeller. Men i forhold til DEM og ortofoto ville det som sagt ikke ændre noget.

Der er til bearbejdning af tårnet anvendt 87 fotos. Der er taget en del flere, men af hensyn til beregningstiden blev udvalget reduceret. Der er udvalgt tre serier af fotos; en serie fra jorden, en serie optaget let skråt nedad i niveau med murkronen, og endelig en serie næsten i lod over tårnet.

Den varierende fotoafstand har givet en gennemsnitlig maksimal opløsning på 2,8 mm og en præcisionsusikkerhed på 0,9 pixel i den interne geometri. Usikkerheden i georefereringen er noget højere, 2,7 cm. Det skyldes, at der anvendtes DGPS. Med andre ord er tårnmodellen opmålt med millimeterpræcision, men placeret lidt unøjagtigt i verden. Det er stadig et acceptabelt resultat efter en arkæologisk målestok.

Resultater

Slotsbanken

På baggrund af den beregnede 3D-model er der eksporteret et sammenhængende og sømløst³¹ ortofotografi af hele slotsbanken og de omgivende voldgrave. Den valgte opløsning betyder, at f.eks. en munkesten består af 200 pixel. Det er rigeligt til at erkende dens form og udtegne den, men den vil dog fremstå pixeleret i zoomniveau 10 m og nedefter.

Ortofotografiet giver et fantastisk overblik over ruinen. Hvis det ikke var fordi Kalø allerede var opmålt, kunne man alene ud fra ortofotografiet udarbejde en fornuftig plantegning af slottes bevarede murværk. En kontrol af C.M. Schmidts gamle plan fra 1943³² viser, at den har en unøjagtighed på mindre end 5 cm. Så der har umiddelbart ikke været grund til at revidere den gamle opmåling, ud over at man måske kunne tilføje lidt detaljer hist og her.

I forhold til tilsynsaspektet fungerer ortofotografiet som et øjebliksbillede af ruinens tilstand anno 2015. Vi kunne ved selvsyn konstatere, at besøgende flere steder havde beskadiget murværket ved at skubbe løse munkesten ned. Skaderne kan også ses i form af løse munkesten på fotografiet.

³⁰ Digital Elevation Model.

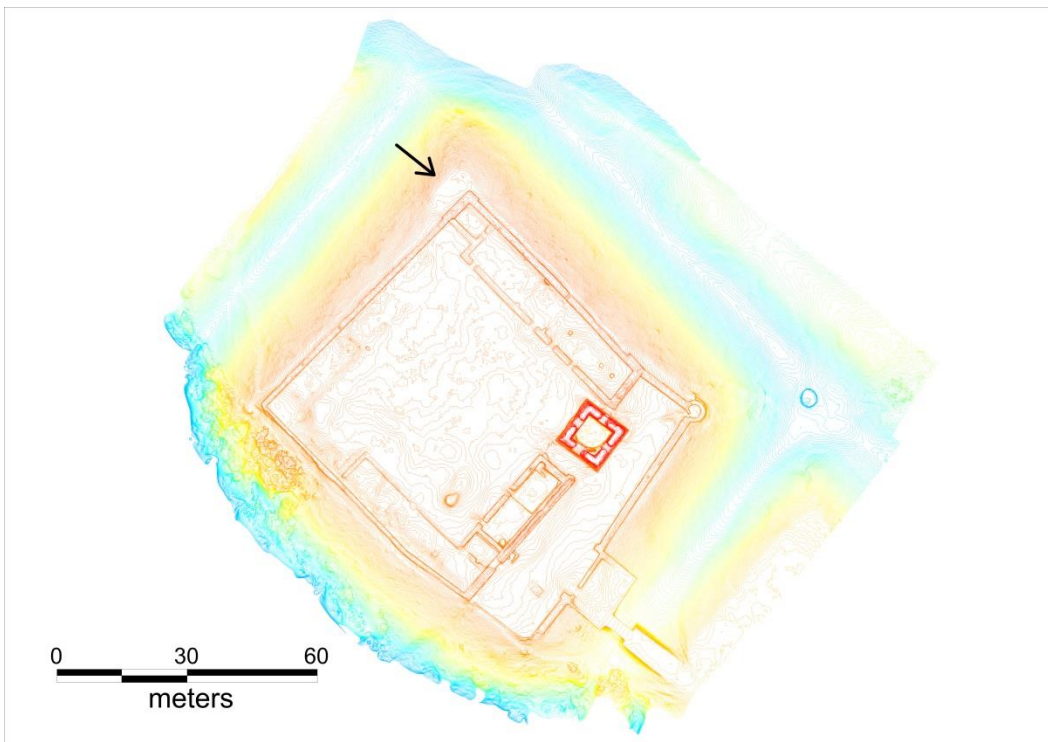
³¹ Flere fotos der er sat sammen uden at man kan se samlingerne mellem dem.

³² Schmidt 1944:90, figur 2.



Figur 65. Udsnit af ortofoto fra den brolagte passage, syd for det store tårn.

Terrænmodellen giver også et fint billede af slotsbanken, men tilføjer ikke andet end præcise højdemål på anlægget, hvilket selvfølgelig også er vigtigt nok.



Figur 66. Konturkort med 10 cm ækvidistance, beregnet på baggrund af terrænmodellen. Udposningen på slotsbanken, hvor Erik Menveds tårn stod, er markeret med pil.

Den bedste visualisering af slotsbanken fås i dette tilfælde ved at beregne et konturkort ud fra terrænmodellen, se Figur 66. Ækvidistancen på 10 cm har vist sig at være god til at gengive såvel murværk som terræn. Ringmuren og tårnet træder tydeligt frem, og man får en god fornemmelse af borgbankens form. Blandt de detaljer, som er værd at fremhæve, er de veksler, som de besøgende slider ned i banken. De er særligt markante omkring det nordvestlige hjørnes ringtårn. Man kan ud fra bankens form i terrænmodellen såvel som konturkortet se spor efter det nu nedrevne hjørnetårn, som blev opført på Erik Menveds tid³³; angivet med pil på figur 3. Netop her ser man en tydelig udposning på slotsbanken. Udposningen må skyldes, at man her har skabt plads til det runde hjørnetårn. Selv om det er revet ned, har man åbenbart ikke besværet sig med at rette bankens sider ud.

Tårnet

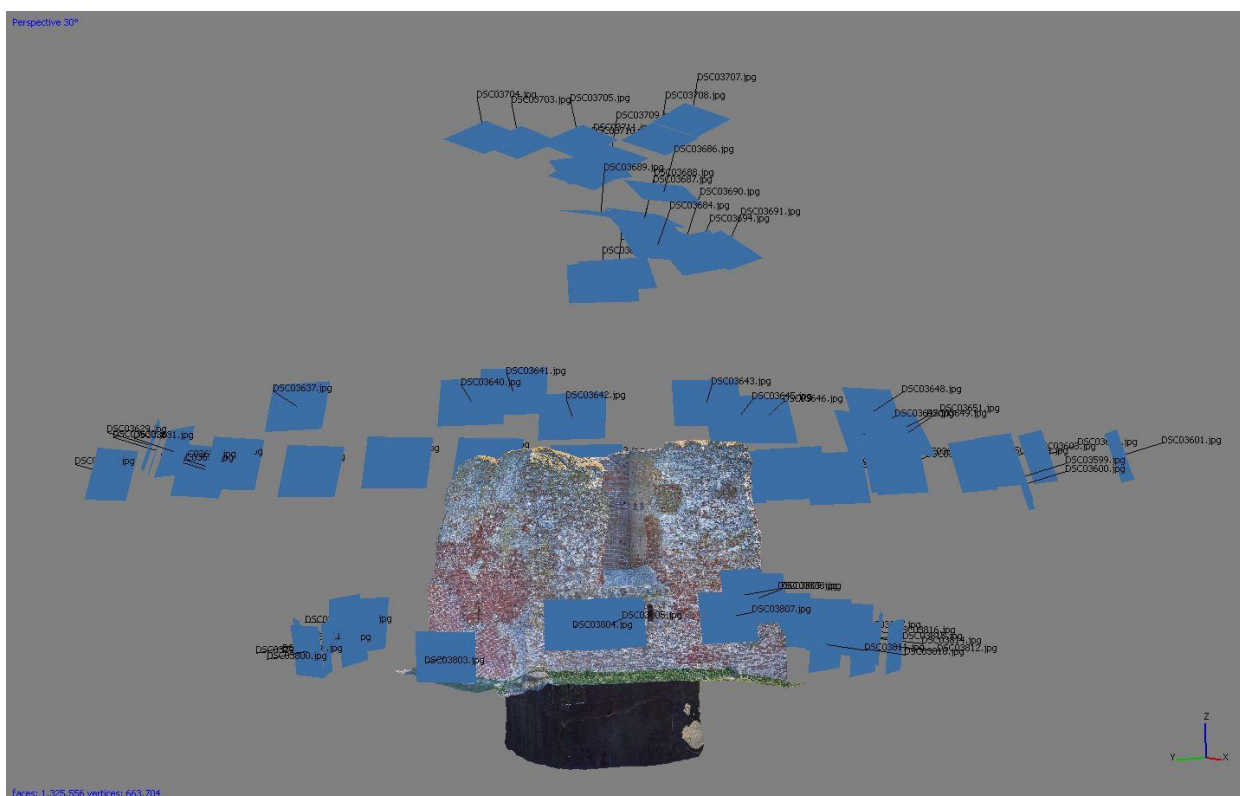
Der er lavet fire opstalter af det store tårns sider. Den ene er gengivet på Figur 67. Som det fremgår, tegner de enkelte sten sig ganske tydeligt. Fotografiet kan uden videre bruges til grundlag for en 2D vektorisering af murværk og arkitektoniske detaljer. Det er også en mulighed at bruge den bagvedliggende 3D-model til at vektorisere i 3D i et CAD-program.

³³ Schmidt 1944:96



Figur 67. Én af de færdige opstalter (SØ-siden) fra tårnet.

Der er lidt problemer med dækningsgraden omkring vinduesåbningerne i tårnet. Det er muligt, at det kunne være afhjulpet, hvis hele fotomaterialet havde indgået i beregningen i stedet for blot de 87 fotos. Vindues- og døråbninger, etc. kræver altid særlig bevågenhed i fotofasen, da der nemt opstår blinde vinkler. Det er også grunden til, at der blev taget en serie fotos fra jorden.



Figur 68. Screenshot fra bearbejdningsprocessen af tårnet.

Problemet omkring blinde vinkler er også gældende i forhold til tårnets kælder. De nederste par meter af murværket fremstår noget hullet i datasættet. Det skyldes, som nævnt, at det kun var muligt at fotografere tårnets indre fra oven. Man kunne i teorien have fløjet dronen ned i tårnets indre og taget de nødvendige billeder. Det kan godt lade sig gøre, men så er jobbet behæftet med en vis risiko for kollision med murene. Men umuligt er det ikke.

Konklusion

Opgaven med at opmåle Kalø Slot er i det store hele lykkedes. Det er første gang, der er lavet en opmåling af tårnets ydre.

For terrænmodellens vedkommende kunne der godt have været en bedre dækning i forhold til skrænten. Og for tårnet kunne der godt have været flere detailfotos, ikke mindst fra tårnets indre. Med et par timer mere i felten kunne de fleste småfejl og mangler have været rettet. Øvelsen viser, at det er nødvendigt at være meget omhyggelig med fotooptagelserne når det drejer sig om (højt) stående fortidsminder. Samtlige vinkler skal være dækket med mindst to fotos, gerne mere. Men når det er sagt, er det lykkedes at dokumentere en meget stor del af et komplekst fortidsminde med en ret begrænset indsats.

Case 4: Lindholm Høje

Introduktion og praktiske data

Gravfeltet Lindholm Høje i Nørresundby er det nok mest komplekse fortidsminde, som vi har bevaret fra oldtiden i Danmark (Ramskou 1976). Det består af i alt 350 kendte begravelser fra yngre jernalder og vikingetid, hvoraf en stor del har været markeret af skibs- og stensætninger. At stenene har fået lov at stå, skyldes at gravpladsen allerede i oldtiden sandede til. I løbet af 1950'erne blotlagdes hele gravfeltet, og det har sidenhen været et yndet besøgsmaal.



Figur 69. Oversigtsfoto af Lindholm Høje gravpladsen, set fra syd.

Det er Lindholm Højes kompleksitet og store omfang, som har gjort gravpladsen til et interessant testobjekt for opmåling med drone. Målene var derfor disse:

1. At genopmåle det komplekse fortidsminde ved hjælp af drone i form af højtopløst DEM og ortofoto af terrænet på og omkring gravpladsen.
2. At undersøge, om en digital nyopmåling kan lede til nye erkendelser omkring gravpladsen.

Flyvningen og databearbejdningen blev udført af Esben Schlosser Mauritsen den 25. august 2015. Til flyvningen anvendtes en multirotor af fabrikatet DJI S1000 med et SONY NEX-7 kamera monteret. Tidsforbruget er opgjort således:

3 timer i felten med to mand, heraf ca. 50 min i luften.

8 timer efterbearbejdning. Heri indregnet tid til at evaluere og genberegne model/ortofoto.

16 timer digitalisering af sten og stenspor.

3 timer terrænanalyse (local dominance)

I alt blev 30 timer brugt frem til det endelige resultat.

Flyvning i felten

Forberedelse

Lindholm Høje ligger meget tæt på Aalborg Lufthavn, hvilket skulle vise sig at volde en del problemer. For det første er det en militær flyveplads, hvilket betyder, at der i lovgivningen er skærpede sikkerhedsbestemmelser. For det andet ligger Lindholm Høje relativt højt i terrænet, 42 m over havniveau. Aalborg Lufthavn ligger forholdsvis lavt, blot 3 m over havniveau. Selv en begrænset flyvehøjde over Lindholm Høje betyder, at man kommer op i en kritisk højde i forhold til lufthavnens ind- eller udflyvning.

Det var derfor nødvendigt at indhente særlig dispensation fra Trafikstyrelsen, som igen skulle træffe aftale med NaviAir, kontrolmyndigheden for det danske luftrum. Det blev en langtrukken proces, hvilket bl.a. skyldtes, at det var første gang man skulle forholde sig til lovlig anmeldt droneflyvning i lufthavnens kontrolområde.

Resultatet blev en skriftlig aftale om procedure for flyvningen. Aftalen lød således:

- Du meddeler mig en dato så snart du har den. Forventet tidspunkt midt i august 2015
- Du må max flyve 100 meter over baner i Aalborg Lufthavn/flyvestation
- Du holder dig inden for det geografiske område: Lindholm Høje
- Du ringer og tester telefonforbindelsen begge veje inden start, samt aftaler forventet start tidspunkt
- Du meddeler mig telefonnummer der kan ringes på samt alternativt telefonnummer
- Din telefonmand ringer og anmoder om tilladelse til at starte droneflyvning
- Din telefonmand ringer og melder droneaktivitet ophørt eller drone på jorden.
- Du kan forvente at der vil være trafikale hensyn der gør at du kan få forsinkelser samt blive anmodet om at indstille aktiviteten midlertidigt.
- Du kan forvente at aktiviteten kan blive brudt op i mindre tidsintervaller aht. lufttrafikken. Forvent ca. 10-15 min pr gang.

Det blev besluttet at gennemføre flyvningen om morgenen/formiddagen af hensyn til lufttrafikken, samt antallet af potentielle besøgende på gravpladsen. I stedet for telefonisk kontakt endte vi med at bruge en VHF-radio for at lette kommunikationen.

Ud over Trafikstyrelsen skulle Aalborg Kommune, som ejer arealet ved Lindholm Høje, spørges om tilladelse. På grund af reglerne omkring flyvning i byzone skulle Nordjyllands Politi også informeres. Endelig skulle der træffes aftale med Nordjyllands Historiske Museum, som beredvilligt tilbød at stille op med en DGPS til opmåling af referencepunkter.

Udførelse

Forud for flyvningen blev der udlagt i alt 20 referencepunkter. De blev udlagt med jævn afstand og med størst koncentration omkring gravmonumenterne og bebyggelsessporene øst for. Disse opmålte med DGPS. Det endelige opmålingsområde endte med at blive en smule større, især mod syd. Det betyder, at der i området uden for referencepunkterne kan være en forhøjet måleusikkerhed.

Der blev fløjet manuelt i tolv linjer i øst-vestlig retning, startende i gravpladsens nordvestlige hjørne. Færre linjer kunne have gjort det, men af hensyn til de mange opretstående sten, blev der bevidst fløjet i stor tæthed sideverts for at sikre, at stenene ikke skyggede for data nogen steder. At tætheden ufrivilligt blev endnu større end planlagt, skyldtes at flyvningen tre gange blev afbrudt af flyvekontrollen i Aalborg Lufthavn på grund af starter og landinger. Den højere dækningsgrad er dog en fordel, hvis man har computerkraft til den efterfølgende bearbejdning.

Der blev fløjet i ca. 40 m højde over terræn, med udgangspunkt i det højeste punkt mod nord. Dette af hensyn til retningslinjerne fra Aalborg lufthavn. Der blev korrigeret på flyvehøjden i takt med, at vi bevægede os syd på, ned af bakken for at få en jævn GSD.

Der blev i alt taget 206 anvendelige lodfotos. 10-15 fotos måtte kasseres på grund af uskarphed, typisk fordi autofokus havde svigtet. Det gav en dækning på mere end ni fotos af hvert punkt på hovedparten af gravpladsen, hvilket er ganske højt.

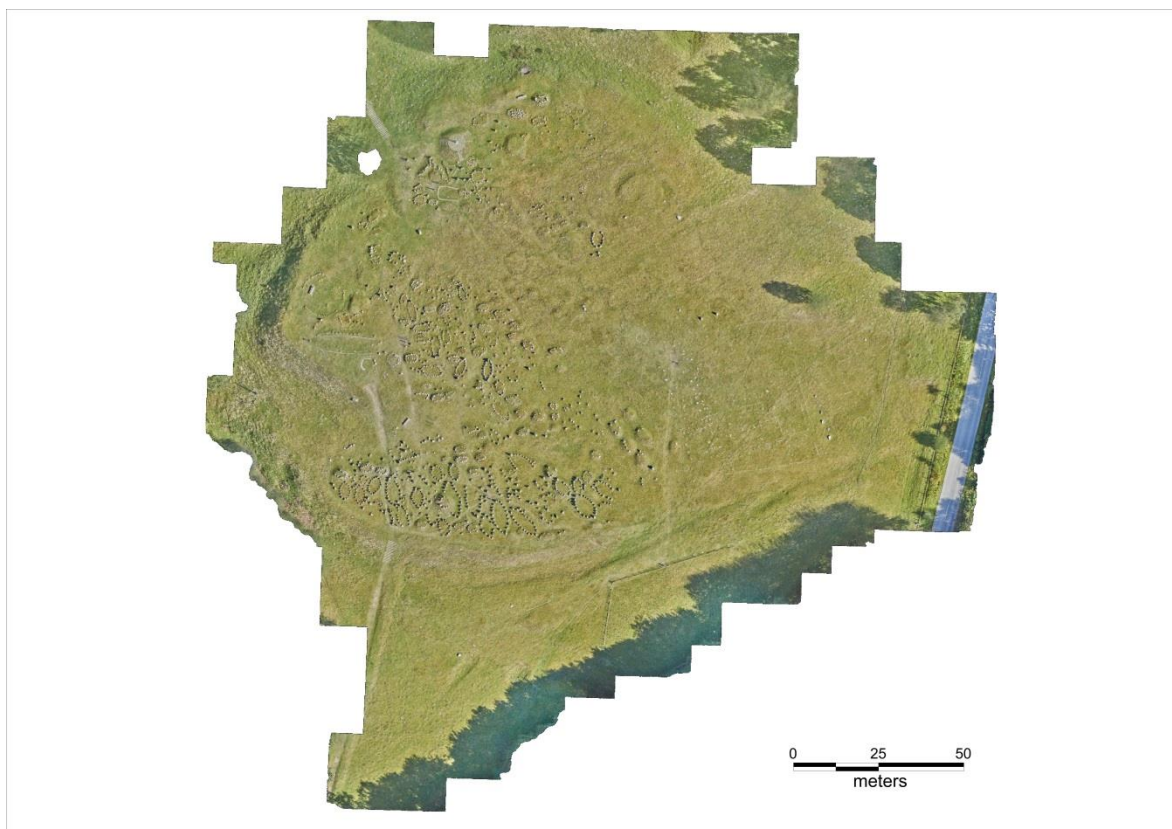
Digital bearbejdning

I den digitale efterbearbejdning blev samtlige fotos gennemgået for at finde uskarpe skud. Dernæst blev der lavet en mindre billedbehandling af RAW³⁴ filerne, inden de blev konverteret til JPG-format. Der var en smule sol under flyvningen, så det handlede primært om at lysne slagskyggerne mest muligt.

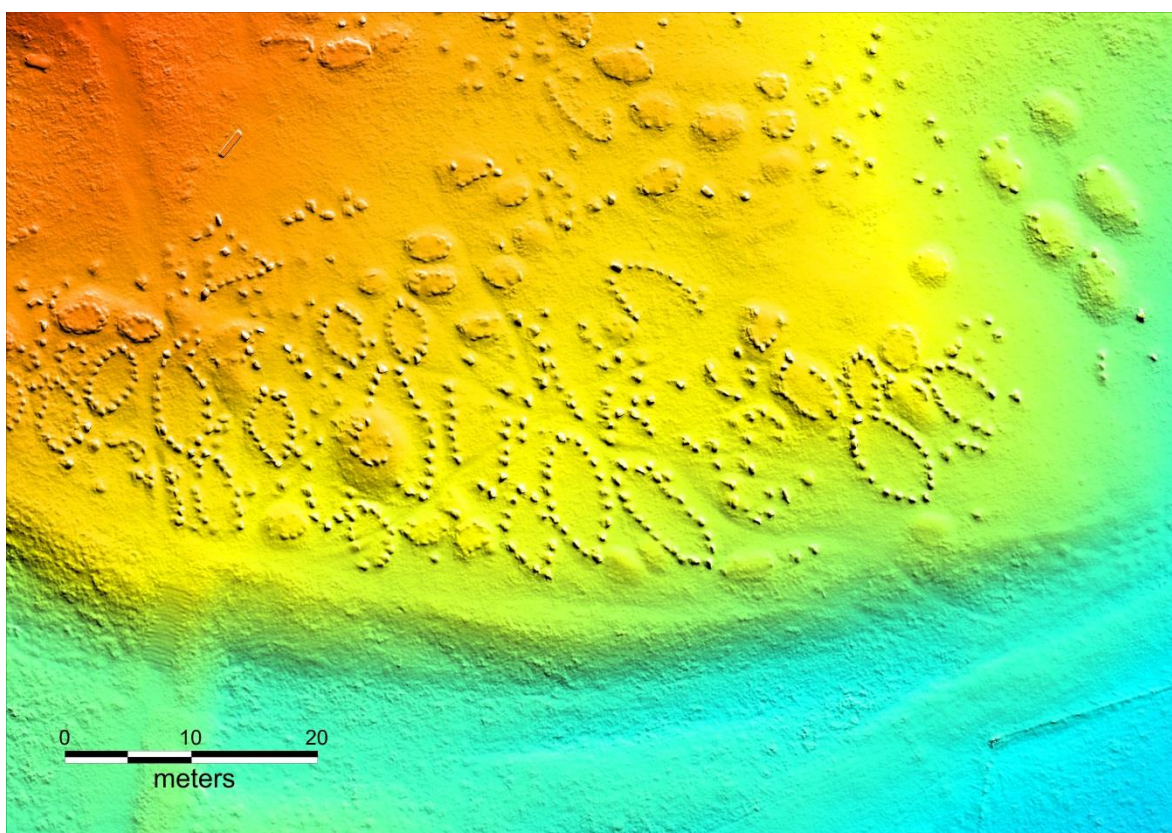
Fotoserien blev efterfølgende bearbejdet i Agisoft PhotoScan og georeferet ved hjælp af referencepunkterne. Resultatet var en digital højdemodel (overflademodel) og et målfast ortofotografi. Den maksimale opløsning (GSD) i begge datasæt var 1 cm/pixel. Præcisionen er i gennemsnit beregnet til 1,7 cm, hvilket er et ganske udmærket resultat, taget i betragtning af at der anvendtes almindelig DGPS og ikke en totalstation. Ortofotografiet blev eksporteret i 1 cm opløsning, mens højdemodellen blev reduceret til 4 cm opløsning af hensyn til datasættets størrelse.

Overordnet betragtet lykkedes både højdemodel og ortofoto ganske pænt. Det var en frygt forud for flyvningen, at en del høje græsstrå, som fårene græssede uden om, ville influere på beregningen. Men det var ikke tilfældet, formodentligt fordi græsstråenes bredde var mindre end kameraopløsningen.

³⁴ Ubehandlet billedformat direkte fra kameraet



Figur 70. Et samlet ortofoto af gravpladsen, sammensat af 206 lodfotos, taget fra drone.

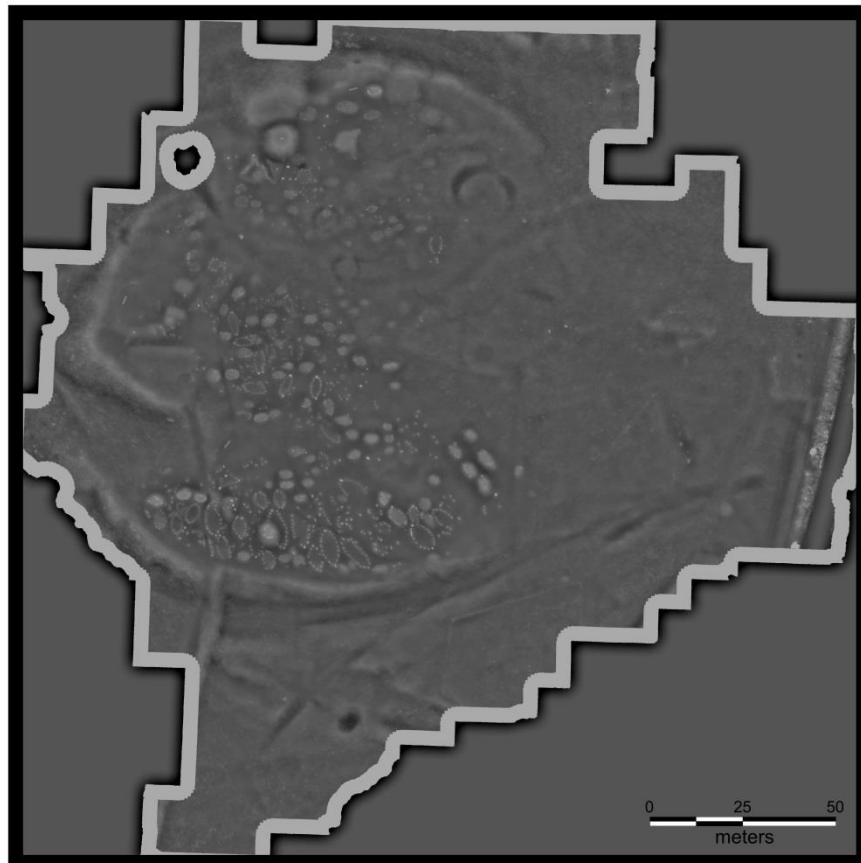


Figur 71. Udsnit af "hillshade", reduceret til en opløsning på 4 cm/pixel.

Højdemodellen blev indlæst som en almindelig "hillshade" med solen fra nord. Det gav et relativt tydeligt billede af såvel skibs- og stensætninger, ringgrøfter og tuegrave. I praksis var "hillshade" ikke videre anvendelig til at digitalisere enkeltsten, da deres "fodafttryk" forstyrredes af græstørvsopbygning op ad stenene. For slet ikke at tale om de flade stensporsmarkeringer i form af brosten, som knapt nok ragede op over græsset.

Det klart bedste datasæt til digitalisering af sten, stensporsmarkeringer og de mange betonfyldte stolpehulsmarkeringer, er utvivlsomt ortofotografiet. Med en opløsning på 1 cm tegnede både sten og brosten sig tydeligt. Stenene digitaliseredes manuelt som polygoner/regioner, mens brosten registreredes med et enkelt punkt.

Med "hillshade" bliver de mange tuegrave med eller uden sten, som findes på Lindholm Høje, ret tydelige. Nogen mere end andre, hvilket skyldtes dels deres forskellige højde/bevaringsgrad og deres placering i et skrånende terræn. I et forsøg på at fremhæve de helt lokale menneskeskabte terrænforandringer i højdemodellen, blev der forsøgsvist gennemført en "local dominance" interpolation. Den viste sig at være ganske informativ.

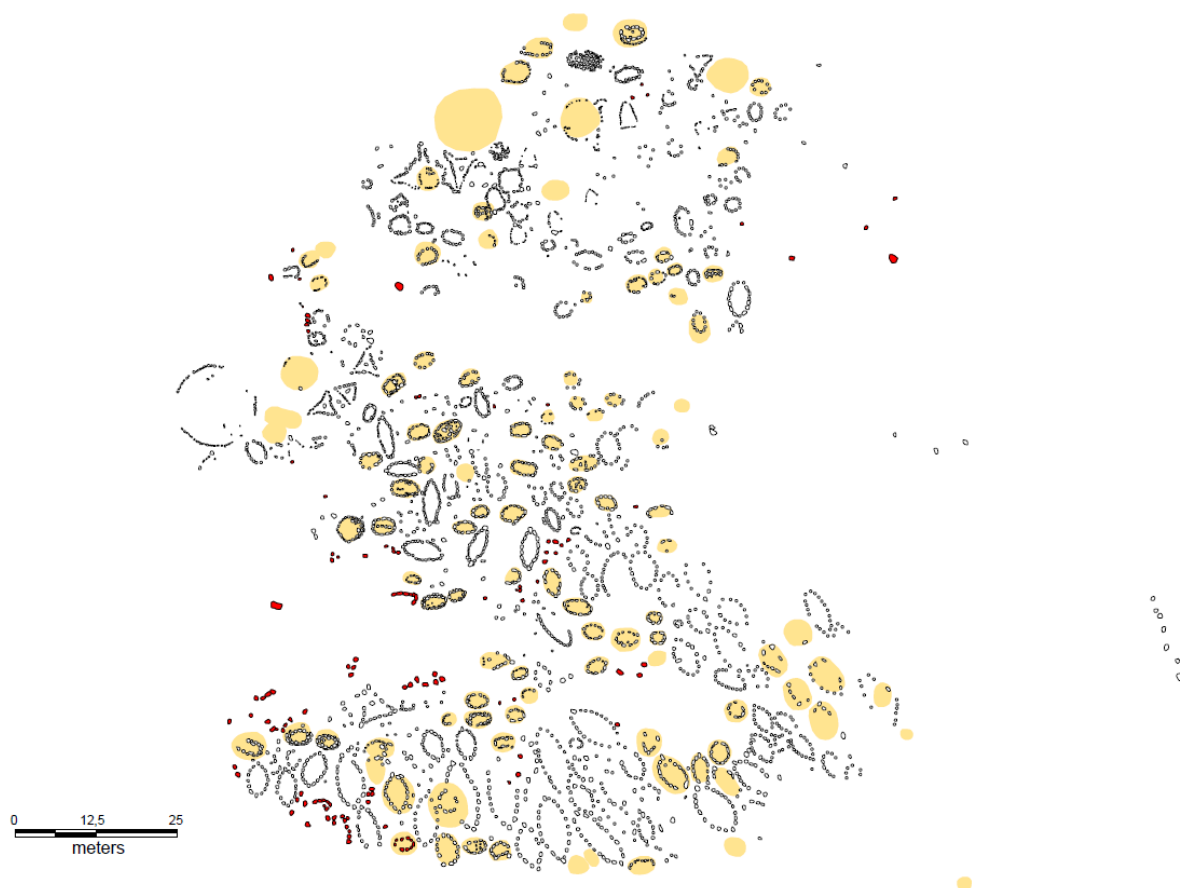


Figur 72. "Local dominance" interpolation af den digitale overflademodel. Bearbejdningen fremhæver lokale højder med lys farve og lokale sænkninger med mørk farve.

Resultater

Det var et håb, at opmålingen kunne påvise sten, som af en eller anden grund var blevet overset eller glemt i opmålingen fra 1950'erne. En hurtig gennemgang har vist, at der på ortofotografiet kan findes mindst 126

sten, som ikke optræder i de af Ramskou publicerede planer. Hovedparten er "løse" sten i den forstand, at de enten står enkeltvis, eller indgår i kendte stensætninger. Men 5-6 steder synes de at udgøre hidtil uopmålte stensætninger. En kontrol ved hjælp af et luftfotografi taget umiddelbart efter udgravningen³⁵ viser, at disse "nye" grave ikke er kommet til siden, men rent faktisk blev gravet frem i 1950erne.



Figur 73. En sammenstilling af digitaliserede elementer, hentet alene i de droneopmålte data. Gule regioner markerer tuer, mens sten og stensporsmarkeringer er angivet med hvide regioner. "Nye" sten er angivet med rød.

Den helt store, nye erkendelse omkring Lindholm Høje er de mange tuer, som ligger spredt ud over pladsen. Nogle er forsynet med enkelte sten, andre er helt uden. Nogle ligger i stensætninger, mens et fåtal overlejrer ældre stensætninger. De måler typisk mellem ca. 2-6 m i største tværmål. Ved hjælp af tværsnitsanalyser på højdemodellen er det også muligt at sige noget om variationen i tuernes højde. De største hæver sig 50-75 cm over det omgivende terræn, mens de laveste er blot 7-8 cm høje.

Når man bladrer igennem Ramskous publicerede planer fra 1976, er det påfaldende, hvor tilfældigt netop tuegravene er registreret. En hurtig gennemtælling viser, at der i de publicerede planer er registreret ca. 24 tuer. En provisorisk gennemgang af den droneopmålte højdemodel viser mindst 103 tuer. Altså mere end en firedobling.

De "nye" tuer er ikke lig med 79 nye gravanlæg. Tværtimod synes alle på nær én at være registreret som grave under en eller anden form. Nogle ligger inden for kendte stenlægninger, andre synes at ligge under. I

³⁵ Ramskou 1976:12, fig. 1

nogle tilfælde er der overensstemmelse mellem undersøgte brandpletter uden gravanlæg og de nyopmålte tuer. Brandpletternes tilknytning til en tue er ikke systematisk angivet i det hidtil fremlagte materiale. Det viser den nye opmåling. Tuerne må - med eller uden sten - i nogle tilfælde repræsentere selvstændige gravfaser, som kan være ældre eller yngre end stensætningerne. Derfor er det væsentlig ny information, at tuerne nu for første gang er kortlagt over hele gravpladsens bevarede udstrækning.

I forhold til tilsynsaspektet og fortidsmindets almene tilstand viser ortofotografiet, at muldvarpe udgør en trussel mod de uanseelige stensporsmarkeringer. De er simpelt hen dækket af muldvarpeskud, og sikkert også undergravet i flere tilfælde, hvilket utvivlsomt vil påvirke deres synlighed over tid. Ved hjælp af ortofotografiet vil det være muligt at lokalisere forsvundne markeringer ved at sammenholde nyopmålingen med de digitaliserede planer fra 1950'erne. Der er ikke nævneværdige spor efter slid fra de mange besøgende. Et enkelt sted i skråningen ved gravpladsens nordlige kant ses en slidskade fra fårene. Men det er heldigvis alt.

Konklusion

Droneopmålingen af Lindholm Høje har været en succes målt på flere parametre. Først og fremmest er det lykkedes at lave en præcis digital plan over det komplekse fortidsminde. Metoden er objektiv, hurtig og billig. En præcis plan kunne også være lavet med en totalstation eller DGPS. Men ud over at det ville tage lang tid, ville der være overhængende risiko for at glemme eller overse sten på den store gravplads. I alt er ca. 5-6 nye stensætninger føjet til gravpladsens plan.

Et andet væsentligt resultat er, at vi har fået en eksakt plan over gravpladsens "mikrotopografi" gennem et reliefkort og en terrænanalyse. Det viser et hidtil overset aspekt ved gravpladsen, nemlig de mange tuer, som optræder selvstændigt eller indgår i stensatte gravmonumenter.

Selvom det lovgivnings- og tilladelsesmæssigt har været den mest komplicerede droneopmåling i nærværende projekt, har alle anstrengelserne givet os et opdateret billede af et af Danmarks mest markante fortidsminder fra oldtiden. Samtidigt kan man håbe, at den nye plan med de mange nye informationer kan give anledning til en revision og en genbearbejdning af det gamle udgravningsmateriale.

Case 5: Timgård

Introduktion og praktiske data

Voldstedet Timgård ligger lavt i en fugtig i eng nær Tim Å, 1 km vest for Tim Stationsby (se Figur 43).

Stedets historie kan følges tilbage til begyndelsen af 1400-tallet, hvor der har ligget en borg på stedet. I 1580'erne opføres et prægtigt renæssanceslot. Der er tale om en adelsbolig med fire fløje, to stokværk og kamtakker på gavlene. I perioden 1785-95 blev der anlagt en slotshave, og selve slottet blev totalrenoveret. Omkring slottet blev der anlagt ikke mindre end 19 fiskedamme. Men allerede i 1801 nedrives det, og jorden udstykkes som del af en godsslagting. Timgårds voldsted fremstår i dag som et komplekst fortidsminde med bevarede spor fra middelalderborg, renæssanceslot og dambrug – oven i hinanden.

Flyvningen og databearbejdningen blev udført d. 25. september 2015 af Esben Schlosser Mauritsen. Lis Helles Olesen og Kira Jørstad Klinkby stod for opmåling af referencepunkter. Til flyvningen anvendtes en multirotor af fabrikatet DJI S1000 med et SONY NEX-7 kamera monteret. Tidsforbruget er opgjort således:

1 time i felten med 3 mand, heraf ca. 20 min i luften.

4 timer efterbearbejdning. Heri indregnet tid til at evaluere og genberegne model, ortofotos og opstalter

2 timer terrænanalyse

I alt blev 7-8 mandetimer brugt frem til det endelige resultat.

Opmålingen

Forberedelse

Voldstedet Timgård ligger på jord, som hører under den nuværende Timgård. Ejeren lod os velvilligt gennemføre droneflyvningen.

Der var ingen lovmæssige begrænsninger for flyvningen. Det var dog vigtigt at være 50 m fra vejen, når der var forbipasserende. Trafikken var meget begrænset, så det var ikke noget problem.

Udførelse

Flyvningen blev gennemført om formiddagen i svag vind.

Lysforholdene var perfekte, let overskyet uden stærk sol. Til at stedfæste modellen blev der udlagt 20 referencepunkter rundt omkring på voldstedet. Optimalt set skulle der have været flere punkter i udkanten af opmålingsområdet, men den høje vandstand i engen tillod ikke dette. Referencepunkterne opmålte alle ved hjælp af DGPS.

Affotograferingen foregik kun i én højde, nemlig de maksimalt tilladte 100 m over terræn. Det giver en opløsning på 2,5 cm pr. pixel. Det er mere end rigeligt, når det udelukkende handler om at opmåle terræn og kreaturskader.

Der blev i alt optaget 101 lodfotos.

Digital bearbejdning

Fra lodfotoserien over Timgård kunne i alt 93 ud af 101 optagne fotos anvendes til bearbejdning. De resterende 8 fotos var ude af fokus, eller på anden måde ubrugelige/overflødige. Men der blev taget fotos med så store overlap, at det ikke fik nogen betydning for dækningsgraden.

Beregningen viste, at referencepladerne har en gennemsnitlig unøjagtighed på 2,8 cm. Det er acceptabelt taget betragtning, at vi brugte DGPS til opmålingen.

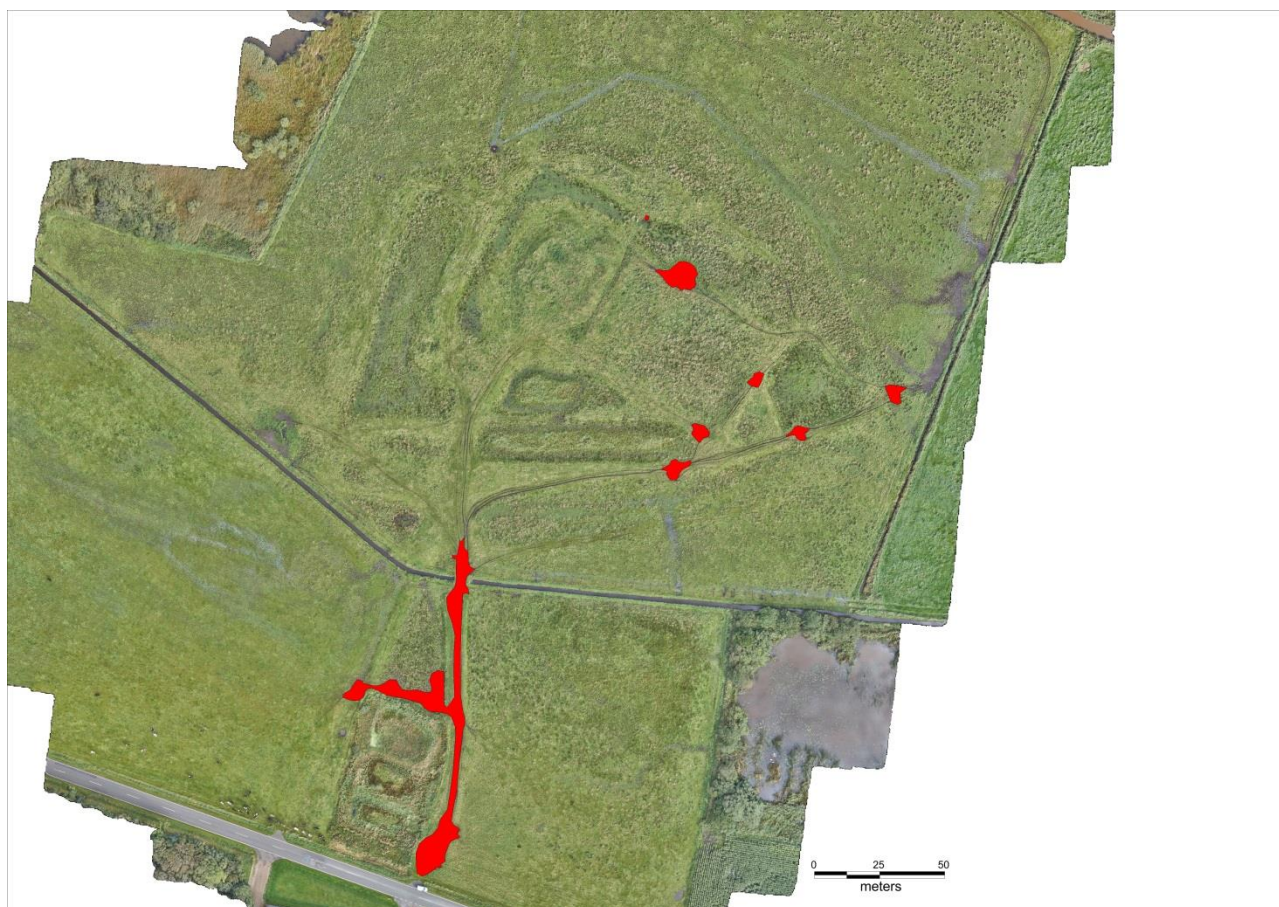
I alt er der opmålt 16 hektar, hvoraf selve voldstedet udgør ca. 3,5 hektar.

Terrænmodellen blev eksporteret i en opløsning på 10 cm pixel. Ortofotografiet blev eksporteret i en opløsning på 2,4 cm, dvs. den maksimale reelle opløsning.

Modellen og ortofotografiet er begge vellykkede uden nævneværdige fejl eller mangler. Den høje vegetation betyder, at overfladen ikke er identisk med jordoverfladen, men i stedet følger overfladen af vegetationen, som visse steder stod højt.

Resultater

Ortofotografiet af Timgård rummer kun begrænset information af arkæologisk relevans. Man kan se volde og grave, men ikke særligt tydeligt. Tydeligt ses derimod kreaturskaderne, hvor den mørke jord står i stærk kontrast til den græsklædte eng.

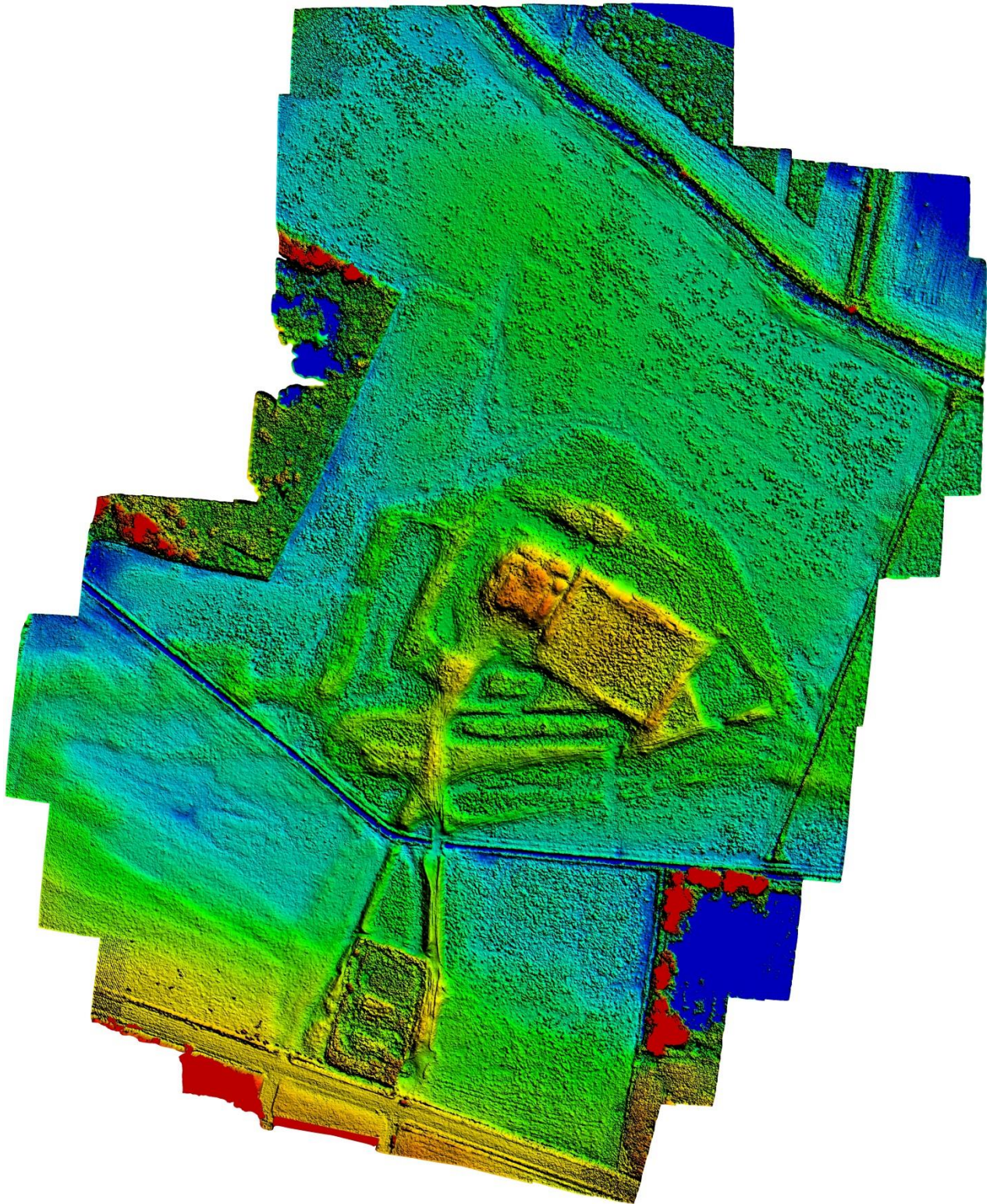


Figur 74. . Udsnit af ortofotografiet fra flyvningen. Observerede kreaturskader på voldstedet og dæmningen er angivet med rødt.

Det har gennem vektorisering af kreaturskaderne været muligt at fastslå deres position og omfang. En sammentælling viser, at lidt over 1000 m² af voldsteder er berørt af skaderne. Heraf udgør skaderne på dæmningen knap 800 m², altså henved 80 %. Det er evident, at årsagen er, at leddet og vandtruget samt spangen over afvandingsgrøften alt sammen ligger i tilknytning til dæmningen. Dæmningen bliver hovedfærdselsåren for kreaturerne. Ved at forskyde disse knudepunkter mod vest eller øst samt lave en ny spang, vil man formodentligt kunne reducere trykket på dæmningen betydeligt og dermed løse 80 % af problemet.

Med nærværende ortofoto vil det være nemt at følge skaderne i fremtiden. Man kan se, om de er blevet udbedrede, og om der er kommet nye til.

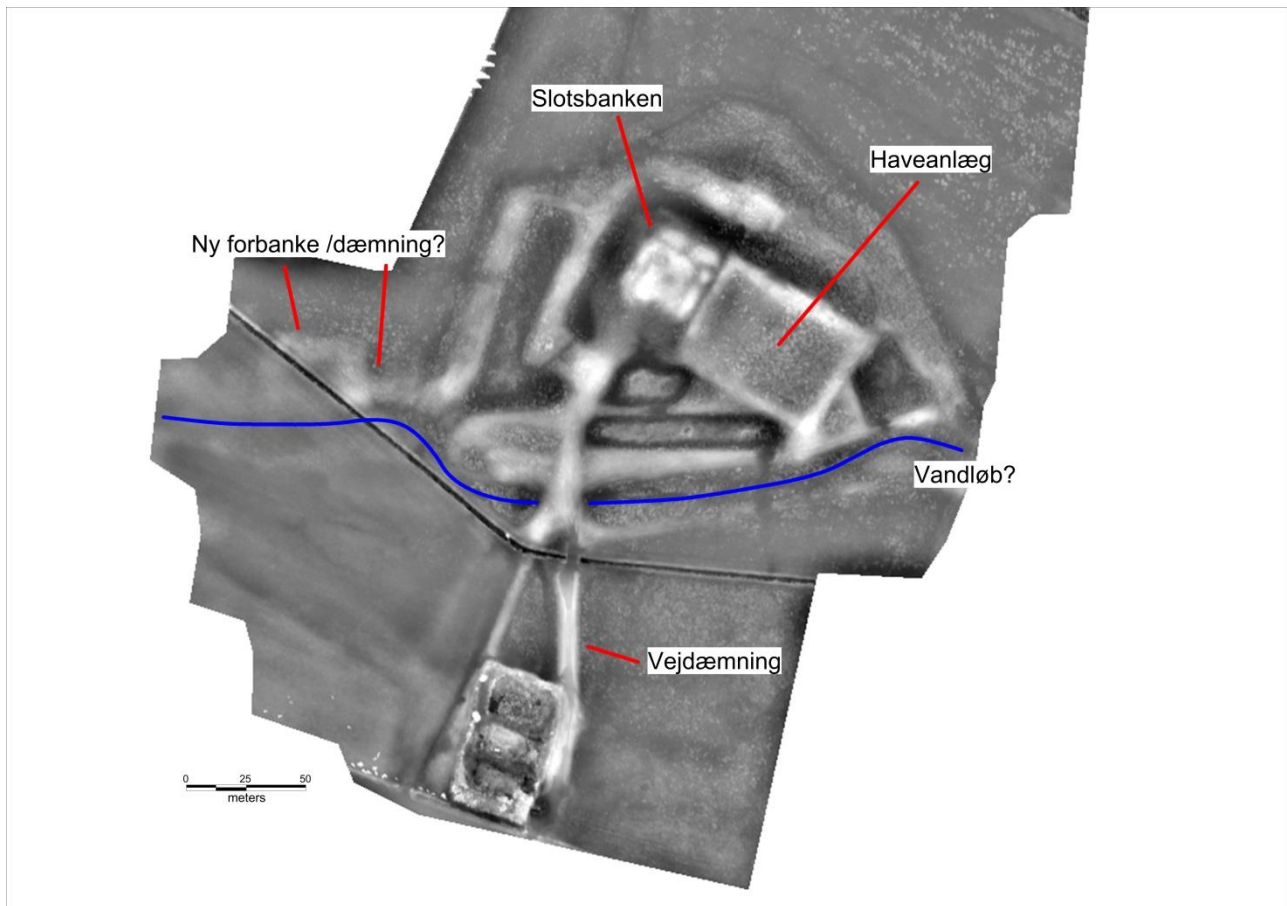
Man kan med rette sige, at den her afprøvede metode er omstændelig i forhold til at tage billeder fra jorden, eller manuelt at opmåle skaderne med GPS. I forhold til at lave ortofotografiet er der gået 4-5 arbejdstimer. Det er naturligvis mere tid, end et almindeligt tilsyn tillader. I en virkelig situation vil der dog være mulighed for at skære en del hjørner: Først og fremmest blev der opmålt 5 gange så stort et areal som nødvendigt. Ved at begrænse flyvningen til bare voldstedet kunne selve flyvningen være overstået på 5 min. Den efterfølgende bearbejdning vil ligeledes også være mere beskeden. Man kunne også have fotograferet uden referencepunkter, og i stedet blot lagt en synlig målestok ud. Udlægning og opmåling af referencepunkter er den største tidsrøver i felten. På den skalerede model/ortofoto kunne man uden videre lave samme beregning over skadernes omfang. I forhold til tilsynsaspekterne kunne vi altså have nået samme mål på måske lidt under 2 timer. Det er stadig mere tid end et almindeligt tilsyn, men dokumentationens store udsagnsværdi kan nok opveje det. Især hvis der er tale om en juridisk kompliceret sag.



Figur 75. "Hillshade" på den ufiltrerede overflademodel. Den megen støj skyldes høj vegetation. Opløsningen er 10 cm/pixel.

Terrænmodellen er mindre relevant for tilsynsopgaven, ud over det faktum, at man får et tydeligt billede af voldstedets omfang, og dermed hvilke: På et "hillshade" billede tegner både banker, voldgrave og dæmning sig tydeligt. Man kan nemt og præcist lave en tegning af voldstedet, som det tager sig ud i dag. Man kan også lave tværsnitsanalyser og andre beregninger f.eks. på den jordvolumen, som er blevet brugt.

Det er ikke muligt at fordybe sig i detaljerne i nærværende rapport, men der er forsøgsvist lavet en "local dominance" interpolation på terrænmodellen. Timgård er et beskedent voldsted hvad angår højden og dybden på henholdsvis banker og voldgrave. Ved at bruge "local dominance" algoritmen kan man fremhæve de helt lokale højdeforskelle, uagtet solretning og solindfald og terrænhældning. Resultatet ses på Figur 76.



Figur 76. "Local dominance" analyse af overflademodellen.

Her ser man bl.a. de tydelige spor efter nedbrydningen af renæssanceslottet i 1801. Man har tydeligvis gravet grøfter omkring fundamentet af bygningerne, og på "local dominance" kortet tegner plyndringsgrøfterne placeringen af øst-, vest- og nordfløjen. Man kan også se en sænkning i midten af slotsgården. Den stammer formodentligt fra en brønd. En anden interessant detalje er den mulige dæmning og forbanke, som tegner sig vest for voldstedet. Måske var dette adgangsvejen til det middelalderlige Timgård? Den kendte nord-sydgående dæmning er tydeligvis en senere tilføjelse, da den stratigrafisk overlejrer ældre banker. Man ser også forløbet af et tidligere vandløb, som i dag er erstattet af en udrettet afvandingskanal. Både nord og syd for vandløbet ses spor af langsgående diger, som sikkert har været anlagt for at styre vandet hen forbi voldstedet, hvor det har kunnet forsyne voldgravene med vand.

Konklusion

Forsøget med at dokumentere kreaturskaderne på Timgård er lykkedes. Det medfølgende overblik gav mulighed for at beregne skadernes omfang og dokumentere dem på objektiv vis. Tidsforbruget i forsøget var ikke helt realistisk, da der blev opmålt 5 gange større areal end nødvendigt.

Det øgede opmålingsareal tjente i stedet formålet med at tilvejebringe ny viden og overblik over voldstedet. Det mål er i høj grad også lykkedes. Det er bl.a. for første gang lykkedes at dokumentere sporene efter det nedrevne slots fundamenter. Der er også fundet spor efter en mulig adgangsvej fra vest, som i renæssancen er blevet afløst af den hidtil kendte dæmning fra syd.

Alt i alt er vi blevet klogere på Timgårds fortidige og nutidige opbygning og tilstand. Og det med en relativt begrænset indsats.

Case 6: Fabjerg Kirkevej

Introduktion og praktiske data

Ved Fabjerg Kirkevej, nord for Klosterheden Plantage, ligger en snorlige række gravhøje bestående af 6 høje. Umiddelbart syd for ligger en enlig gravhøj uden for rækken.



Figur 77. Oversigtsfoto fra Fabjerg Kirkevej.

Målet med droneyflyvningen over højene ved Fabjerg Kirkevej var at afprøve, om man med en hurtig overflyvning – og uden at sætte fod på marken – kunne føre tilsyn med gravhøje.

Flyvningen og databearbejdningen blev udført d. 20/10 af Esben Schlosser Mauritsen. Til stede var også Lis Helles Olesen. Til flyvningen anvendtes en multirotor drone af fabrikatet DJI S1000 med et Sony NEX7 kamera monteret. Tidsforbruget er opgjort således:

20 minutter i felten, heraf ca. 5 min i luften.

30 min efterbearbejdning.

I alt blev knap 1,5 mandetimer brugt frem til det endelige resultat.

Opmålingen

Vejrforholdene under flyvningen var fornuftige. Næsten ingen vind og et diffust lys på grund af tæt skydække. Man kunne dog have ønsket sig lidt mere lys. Marken med de seks gravhøje på række var nypløjet. Nabomarken var tilsået med vintersæd i lav væksthøjde. Iagttagelsesforholdene på jorden var derfor optimale.

Inden flyvningen var der udlagt 1 m målestok til brug for senere skalering af en eller ikke-georeferet model. Flyvningen foregik meget hurtig og fra størst mulige højde, nemlig 100 m over terræn.

Digital bearbejdning og resultater

Der blev fløjet i 100 m højde, da en GSD på 2,5 cm blev vurderet som rigeligt til denne opgave. I alt blev der optaget 37 lodfotos, samt en håndfuld skråfotos til oversigt- og formidlingsbrug.

Bearbejdningen af dronefotos af Fabjerg Kirkevej-højene udmøntede sig i en skaleret 3D model. Selve modellen var i forhold til forsøgets problemformulering, desværre ikke tilfredsstillende. Den store flyvehøjde gjorde, at modellen blev lidt grov. Dertil kommer, at græsvæksten i nogen grad skjuler højfoden. Det er anslået at dyrkningsgrænsens afstand kan måles inden for 50 cm. Det er desværre ikke godt nok i forhold til et tilsyn. Det er sandsynligt, at hvis vi havde fokuseret på en enkelt høj, ville vi have stået bedre, og måske endda være lykkedes.

Case 7: Hvidemose

Introduktion og praktiske data

Ved Hvidemose, nord for Vinderup, findes et mindre parti bevaret hede. Heden er i dag i en dårlig forfatning på grund af højt græs som fortrænger den tidligere hedevegetation af lyng. Arealet er gennemskåret af talrige hulveje, som i vifteform spreder sig fra en tvangspassage mod nordvest. Store og uvejsomme vådområder har presset færdslen ind en ganske smal korridor, på netop dette sted.

Fra det tilsynsførende museum, Holstebro Museum, har der været et ønske om at få hulvejene fredet. Problemet har imidlertid været, at vegetationen har forhindret en tilfredsstillende opmåling af de pågældende hulvejsspor. Selv på Danmarks Højdemodel (fra 2007) fremstår området pixelleret på grund af dårlig gennemtrængning for laserstrålerne.



Figur 78. Oversigtsfoto fra Hvidemose

Målet med droneyflyvningen over Hvidemose var at samle data til en detaljeret overflademodel, som måske kunne skabe grundlag for en gyldig opmåling af det komplekse hulvejsformation.

Flyvningen og databearbejdningen blev udført d. 20/10 af Esben Schlosser Mauritsen. Til stede var også Lis Helles Olesen. Til flyvningen anvendtes en multirotor drone af fabrikatet DJI S1000 med et Sony NEX7 kamera monteret. Tidsforbruget er opgjort således:

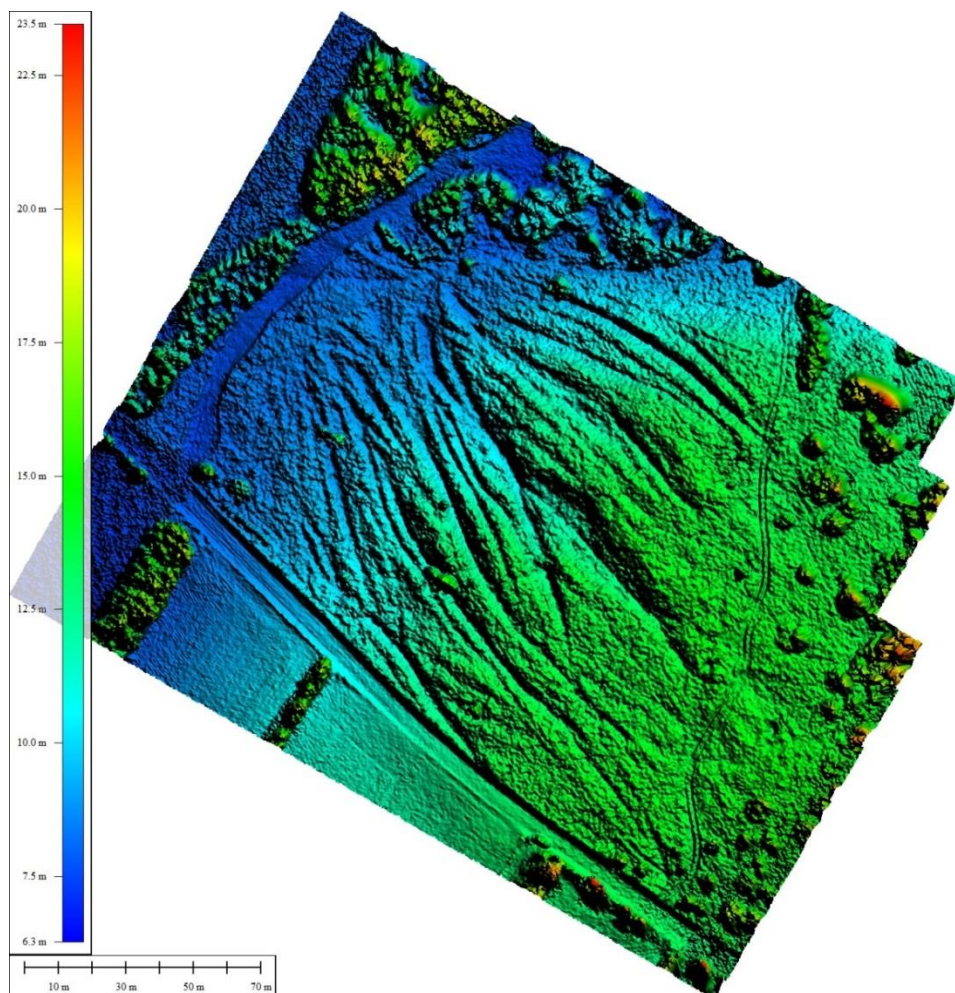
45 minutter i felten, heraf ca. 15 min i luften.

2 timer efterbearbejdning. Heri indregnet tid til terrænanalyse.

I alt blev knap 4 mandetimer brugt frem til det endelige resultat.

Opmålingen

Vejrforholdene under flyvningen var noget nær perfekte til flyvningen. Næsten ingen vind og et diffust lys på grund af tæt skydække. Overfladens beskaffenhed på hedestykket var tværtimod alt andet end perfekt: Over det meste stod visnet græs i hoftehøjde, som gjorde det mere end vanskeligt at få indkig til terrænoverfladen. Situation var så slem, at vi kort overvejede helt at opgive forehavendet. Men heldigvis gjorde vi ikke det!



Figur 79. Reliefkort af heden.

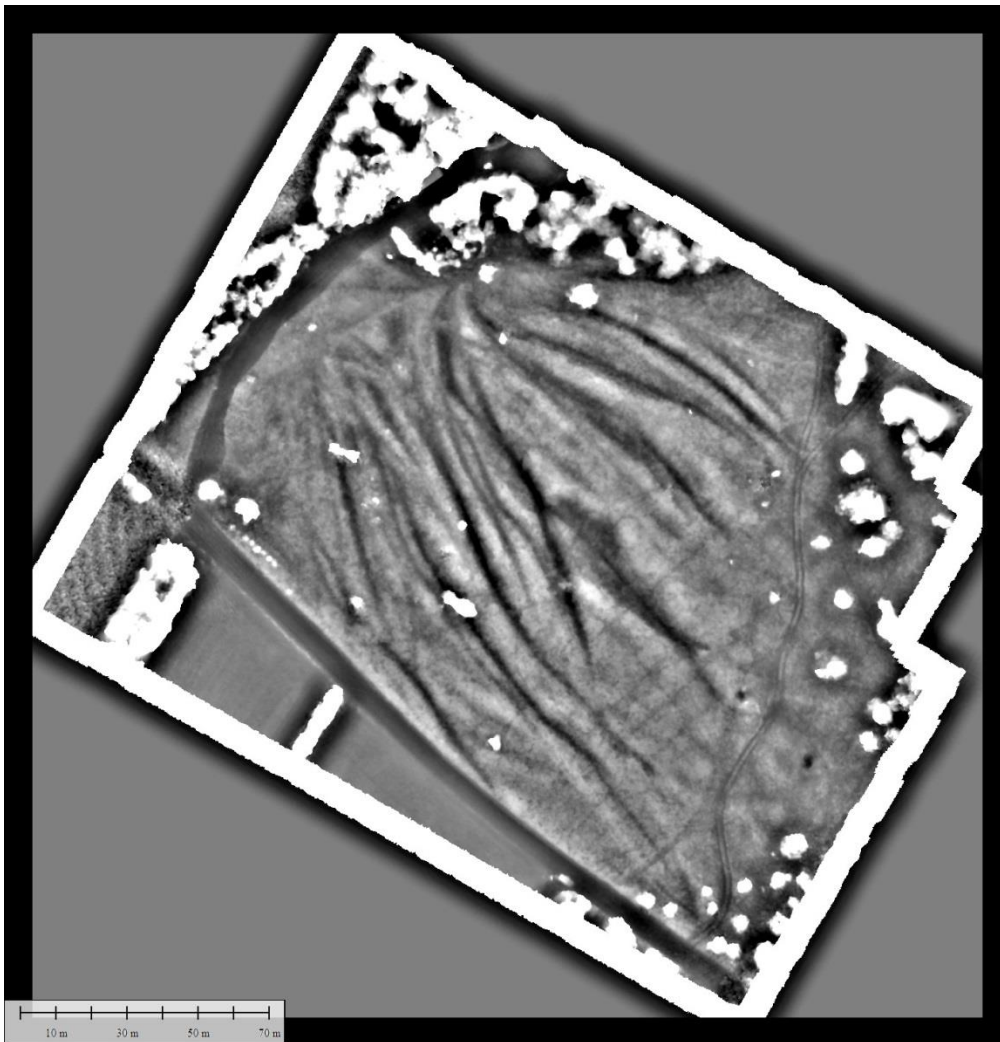
Inden flyvningen var der udlagt i alt 8 referencepunkter i en vinkel omkring hedestykket. Optimalt set skulle der have været punkter hele vejen rundt om stykket, men af praktisk og tidsmæssige hensyn opgav vi lægge pladerne ud i det høje græs. Dels var det svært at finde en fast plan flade, dels ville det blive overordentligt svært at genfinde pladerne. En enkelt plade midt området, ved siden af en karakteristisk busk, fik vi dog lagt ud.

Digital bearbejdning

Der blev fløjet i 100 m højde, da en GSD på 2,5 cm var mere end rigeligt til denne opgave. I alt blev der optaget 28 lodfotos, samt en håndfuld skråfotos til oversigt- og formidlingsbrug.

Der indsamlet data fra i alt 4,6 hektar. Præcisionen er beregnet til 1,2 cm, hvilket er inden for skiven, når der bruges GPS til opmåling af referencepladerne.

Bearbejdningen af dronefotos af Hvidemose-hedestykket udmøntede sig i en overflademodel, som blev eksporteret i 10 cm / pixel opløsning. Der blev også lavet et ortofoto, som blev eksporteret i en opløsning på 25 mm / pixel. Endelig blev der lavet en local dominance-analyse.



Figur 80. Local dominance-interpolation. Gråskalaen angiver helt lokale terrænmæssige maksima og minima.

Der var – ikke overraskende – en del støj fra den høje vegetation. Men slet ikke så slemt som frygtet. Det skyldes formodentligt, at græsstråene til en vis grad forsvandt i den relativt lave GSD. I stedet har PhotoScan kunnet fange mønstre i græssets "underskov" af kuede lyngplanter. Det bringer overflademodellen tættere på det faktiske terræn, men man må stadig ikke forveksle modellen med en egentlig terrænmodel.

Resultater og konklusion

På både reliefkortet og local dominance-analysen tegner hulvejene sig tydeligt. Man kan ligefrem se, at der stedvist er overlejlrene vejspor. I forhold til at lave en udtegnings af vejsporene, må opgaven siges at være lykkedes, på trods af højt græs.

Konklusion

Pilotgrenen

Når droner i dag er blevet så populære, skyldes det, at de kan bære store, gode kameraer, og at de er relativt nemme at styre. De fleste med en normal rumlig forståelse kan lære at flyve en drone med få timers øvelse. Droner ude af kurs kan imidlertid forårsage ulykker. Derfor er det vigtigt, at man sætter sig grundigt ind i sikkerhedsforskrifterne. Hvis man vil flyve erhvervsmæssigt med en drone over 7 kg kræver det en pilotgodkendelse. Der skal afleveres en driftshåndbog til Trafikstyrelsen, som godkender den, før man kan gå op til en prøve for at blive pilotgodkendt. Forsikringsforhold skal altid være i orden for både små og store droner.

I en vis udstrækning må dronepilot betragtes som en specialkompetence, men den lille drone kan håndteres af de fleste og være til stor nytte i mange forskellige sammenhænge i museumsarbejdet.

Udstyrsgrenen

Før køb af drone bør man analysere sit behov. For eksempel kan stort set alle almindelige udgravningsopgaver løses med en lille drone (f.eks. Phantom DJI) med en ekstra adapter, hvorpå kan sættes et kompaktkamera. Det er en billig løsning, udstyret er let at betjene, og kvaliteten er nogenlunde. Der er dog problemer ved denne løsning, idet man ikke kan se, hvad der optages, og vibrationerne fra dronen er en udfordring. Derfor må man fotografere med en meget hurtig lukketid, som kræver gode lysforhold. Der er selvfølgelig flere fordele ved at vælge en større drone med en fjernkontrollenhed. Blandt andet kan dronen flyve mere stabilt og holde kameraet i ro, og man har overblik over, hvad der foregår. Væsentligt er at dronen kan løfte et solidt kamera.

Dokumentationsgrenen

På nuværende tidspunkt kan vi ikke få bedre og billigere opmåling på arkæologiske udgravninger ved at indsamle data med drone fremfor med GPS eller totalstation. Men det er ikke fordi det tager længere tid eller resultatet er af dårligere kvalitet, det er simpelthen fordi sideomkostningerne ved brugen af drone er for høje i forhold til andet opmålingsudstyr, som vi anvender.

Præcisions-GPS eller totalstation kræver ingen special tilladelser, er ret brugervenligt og prisen på udstyret er høj. Droner er relativt billige, men det kræver en tilladelse til at flyve erhvervsmæssigt og der er en del udstyrspleje. Samlet betyder dette at regelsættet for budgetlægningen af arkæologiske udgravninger, tilgodeser traditionelt opmålingsudstyr fremfor droner, da det i henhold til Kulturstyrelsens retningslinier kun er indkøbsprisen, der kan afskrives på budgettet.

3D-grenen

Som alt ny teknologi giver 3D teknikken visse udfordringer i forbindelse med anvendelse på udgravninger og dette gælder både for registreringer med drone som for ikke-flyvende registreringer. Som regel ser vi at når der bliver lavet 3D-modeller som udgravningsdokumentation, så vil det ofte være ortofotoet (som er i 2D), der vil blive anvendt som arbejdsredskab på udgravningen.

For at løse disse udfordringer er det oplagt at kigge i tre forskellige retninger, de første er at finde en nem og fleksibel måde at transportere 3D dokumentationen ud i felten, den anden er at få adgang til software til

visning og registrering i felten og det tredje er hvilket data format skal 3D registreringerne gemmes i. Disse udfordringer kunne man forestille sig blive løst via internetbrowseren (software) i mobile (transportabel) enheder og med tekstbaseret data liggende på en centralt placeret server (format).

Formidlingsgrenen

Formidling til den brede befolkning er en væsentlig del af vores arbejde. Vi kan have stor glæde af dronen til både fotos, film, 3D-modeller og reliefkort. Billeder og film af både udgravninger, fortidsminder og bygninger er yderst anvendelige. Især ved store og lidt uoverskuelige anlæg kan man med luftfotos og film få et godt overblik, blandt andet fordi det for ikke-fagfolk er nemmere at identificere sig med et foto end med en tegning. Omgivelser med ejendomme, træer, biler, mennesker m.m. giver en fornemmelse af størrelsesforholdet. Samtidig ser man terrænforhold og beliggenheden i landskabet tydeligt.

Dronefilm og billeder er oplagte at lægge på hjemmesider og sociale medier. Film af store fortidsminder kan optages, så de virkelig giver lyst til at gå på opdagelse på stedet. Fotografierne er også meget velegnede til skiltning ved fortidsminder. Mulighederne er mange.

Tilsynsgrenen

Projekts forsøg med tilsyn viser et stort potentiale. Droner kan dog ikke afløse tilsynet – det er teknologien ikke moden til. Men de kan være et godt supplement til det håndholdte kamera, når vi taler fotos alene. Ved større fortidsminder med spredte skader, såsom et middelalderligt voldsted med kreaturskader, vil brugen af drone være et enormt spring fremad. Det er hævet over en hver diskussion: Luftfotografierne giver et langt bedre overblik end fotos taget på jorden, og de er fremragende til at illustrere fortidsmindernes beliggenhed i landskabet, deres landskabelige værdi og 100 meter zonens tilstand omkring dem. Generelt har luftfotografierne også et stort formidlingsmæssigt potentiale, og de er meget velegnede til at medbringe ved tilsyn på jorden og bruge i kontakten til ejeren. Som beskrevet i afsnit 3, er det i dag muligt for enhver med en nogenlunde rumlig intelligens at betjene en drone. Tilmed fås der ready-to-fly-droner med anstændige kameraer og stor brugervenlighed på under 1,5 kg. Flere producenter tilbyder kufferter og endda rygsæk-løsninger til opbevaring og transport af de mindre droner. Den tekniske og praktiske tærskel er med andre ord overskredet i forhold til inddrage droner i tilsynet med de fredede fortidsminder.

De udvalgte cases med store, fredede fortidsminder viser, at disse kunne dokumenteres både præcist, attraktivt og nyskabende ved hjælp af et relativt simpelt setup og med begrænset tidsforbrug. En dokumentation, som kan anvendes til andet og mere end blot registrering, uden at det nødvendigvis kræver meget tilpasning af det indsamlede materiale.

Ved voldstedet *Bjørnkær* lykkedes det at få en meget detaljeret terrænmodel frem, selv om banken var dækket af trævækst. En ukendt voldgrav kunne påvises, og man kan se betydelige ødelæggelser af bankens top på grund af rævegrave.

Fotograferingen af langdyssen *Troldkirken* er et eksempel på, hvordan man med en præcis opmåling og model af en storstensgrav kan vise, at den gamle opmåling ikke er pålidelig, og at flere sten er forsvundet og væltet siden opmålingen.

Hele *Kalø Slotsruin* blev opmålt med en ret begrænset tidsindsats, og tilmed lykkedes det at opmåle tårnets ydre for første gang.

Med fotografering af gravpladsen på *Lindholm Høje*, har vi på en hurtig og effektiv måde fået en opdatering af det komplicerede fortidsmindes topografi. Blandt andet er føjet 5-6 nye stensætninger til gravpladsens plan, og reliefkortet viser mange hidtil ubemærkede tuer, som indgår i gravpladsen.

Ved voldstedet *Timgård* er kreaturskaderne dokumenteret på en effektiv måde. Men langt mere interessant er det, at det for første gang er lykkedes at dokumentere sporene efter det nedrevne slots fundamenter, samt en mulig ukendt adgangsvej fra vest ved hjælp af efterbearbejdning af terrænmodellen med "local dominance".

Den skalerede 3D model af *Fabjerg Kirkevej-højene* var i forhold til forsøgets problemformulering, desværre ikke tilfredsstillende. Den store flyvehøjde gjorde, at modellen blev lidt grov. Dertil kom, at græsvæksten i nogen grad skjulte højfoden. Det er anslået, at dyrkningsgrænsens afstand kan måles inden for 50 cm, hvilket ikke godt nok i forhold til et tilsyn. Det er sandsynligt, at hvis vi havde fokuseret på en enkelt høj og fløjet lavere, ville vi have stået bedre, og måske endda være lykkedes.

Ved *Hvidmose* var opgaven at få en opmåling af hulveje, som ønskes fredet. På både reliefkortet og local dominance-analysen tegner hulvejene sig tydeligt. Man kan ligefrem se, at der stedvist er overlejerne vejspor. I forhold til at lave en udtegnings af vejsporene må opgaven siges at være lykkedes på trods af den høje græsvegetation.

Afslutning

Med rapporten har vi vist, at der er mange muligheder i brugen af droner i det arkæologiske arbejde og andet museumsarbejde. Al begyndelse er en udfordring, og brugen af droner i arkæologien er endnu i sin vorden. Som med alle andre tekniske hjælpemidler vil der helt sikkert komme lettere og billigere løsninger, der bliver mere anvendelige for menigmand. Vi vil følge udviklingen nøje og vil gerne være med til at udbrede kendskabet til brug af droner fremover.

Litteratur

Brovall, Sandra, Torben Benner og Morten Hjortshøj 2015: Kulturfolk: Danskerne mangler viden om, hvad pengene går til. *Politiken* 4. november, Kultur s. 3.

Eriksen, Palle 2015: Lyngsmose-fæstningen genopført, *opdatering* 2014, s. 21-30.

Olesen, Lis Helles, Henrik Dupont & Claus Dam 2011: *Luftfotos over Danmark. Luftfotoserier i private og offentlige arkiver*. Holstebro.

Olesen, Lis Helles & Esben Schlosser Mauritsen 2015: *Luftfotoarkæologi i Danmark*. Holstebro.

Scmidt, C.M. 1944: Udgravningen af Kalø. Fra Nationalmuseets Arbejdsmark 1944, s. 88-98.

Stiesdal, Hans. Arkæologi fra Luften. *Nationalmuseets Arbejdsmark* 1959, s. 21-33. København.

Strand, Ida 2011, Turismen forspilder mulighederne i dansk kulturarv. *Mandag Morgen*.
<https://www.mm.dk/turismen-forspilder-mulighederne-i-dansk-kulturarv>.

Bilag 1, invitation til Droneseminar

DRONER I DANSK ARKÆOLOGI

Torsdag d. 10. december 2015
kl. 9.30 – 14.30
det nye Auditorium på Moesgaard Museum

Invitation til Droneseminar

Seminaret fremlægger resultater fra et fællesprojekt mellem Arkæologi Vestjylland, Holstebro Museum, Aarhus Universitet og Moesgaard Museum.

Seminaret vil fokusere på potentialet i og praktiske og lovmæssige aspekter ved anvendelse af droner til dokumentation i arkæologiske sammenhænge, både på udgravninger, i tilsyn med de fredede fortidsminder samt til præcis 3D-opmåling.

Program

09.30-10.00 Morgenbrød og kaffe

10.00 - 10.15	Velkomst og introduktion til droneprojektet	Carsten Risager
10.15 - 10.40	Hvordan bliver man dronepilot?	Esben Mauritsen
10.40 - 11.05	Hvilket udstyr skal man købe?	Esben Mauritsen
11.05 - 11.30	Introduktion til 3D i PhotoScan	Casper Skaaning Andersen

11.30 - 12.30 Frokost

12.30 - 12.55	Praktisk anvendelse af droner til dokumentation af arkæologiske udgravninger oa.	Esben Mauritsen
12.55 - 13.20	Test af dokumentationspræcision, drone vs andet elektronisk opmålingsudstyr	Carsten Risager
13.20 - 13.45	Anvendelse af droner i formidlingssammenhæng	Lis Helles Olesen
13.45 - 14.10	Tilsyn med de Fredede Fortidsminder	Lis Helles Olesen
14.10 - 14.30	Afslutning	Carsten Risager

Tilmelding pr. mail senest d. 3. dec.

Pris for arrangementet er kr. 200, som skal indbetales på konto i Nordea

Reg.nr. 2211 og kontonummer 0251305099 senest d. 3. dec.

Husk at angive eget navn og navn på institution ved betaling.

For studerende er arrangementet gratis og kræver ikke tilmelding.

Der er dog ikke sørget for forplejning til de studerende.

Ønskes dette, indbetales kr. 200 på ovenstående konto senest d. 3. dec.

Husk at angive eget navn og navn på uddannelsesinstitution ved indbetaling.

Kontaktoplysninger:

Carsten Risager

Arkæologisk IT

Email: crisager@cas.au.dk

Tlf. 2196 1716