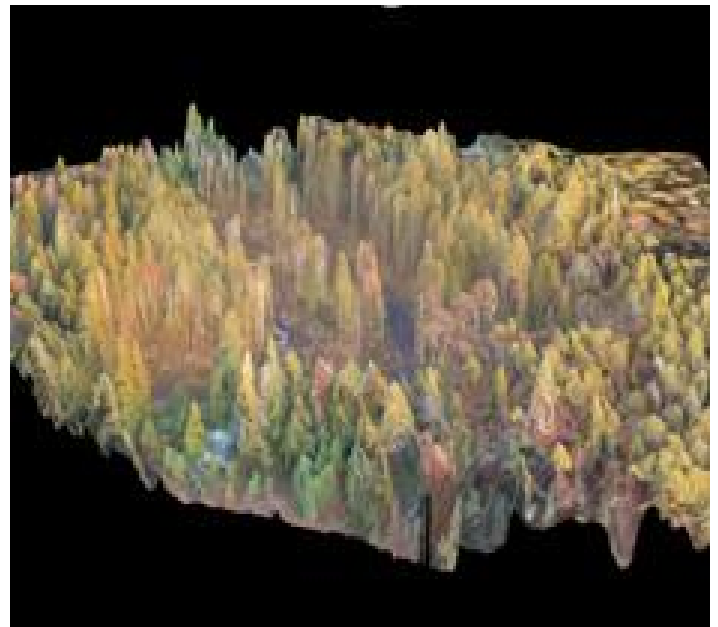
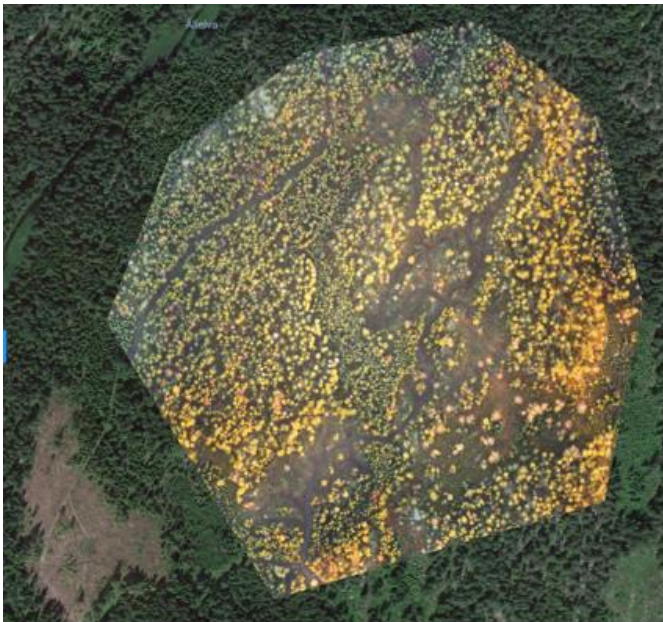


RAPPORT

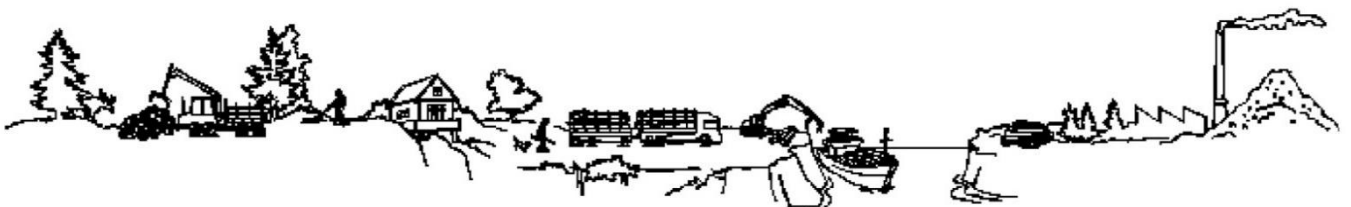
Bruk av bildedata i skogbruksplanleggingen



Delprosjekt 2 -NORSKOG sin del av prosjektet

NORSKOG

Lilleaker, mars 2019



NORSKOG-rapport 2019-2

Tittel:	Bruk av bildedata i skogbruksplanleggingen		
Forfattere:	Jens Kolstad, Øivind Østby-Berntsen & Jakob Sandven		
Utgiver:	NORSKOG		
Referanse:	Kolstad, J. Østby-Berntsen, Ø & Sandven, J. (2019) Bruk av bildedata i skogbruksplanleggingen– NORSKOG		
Antall sider:	36		
Dato:	05.03.2019		
ISBN 10:	82-92442-30-8	ISBN 13:	978-82-92442-30-2

STIKKORD

Drone

UAV

Skogbruksplanlegging

Alle foto: NORSKOG

Forord

Denne rapporten avslutter NORSKOG sin del av prosjektet "Bruk av bildedata i skogbruksplanleggingen".

Prosjektet er et samarbeidsprosjekt mellom NMBU og NORSKOG, der NORSKOG har hatt prosjektlederansvaret. Arbeidet er finansiert av Utviklingsfondet for Skogbruket og Skogtiltaksfondet, samt egenandel fra henholdsvis NMBU og NORSKOG.

Prosjektet er delt i 2 prosjekter – der NMBU har ansvaret for Delprosjekt 1 og NORSKOG for delprosjekt 2. NMBU har også bidratt i delprosjekt 2.1.

NMBU har laget en egen selvstendig rapport for sin del av prosjektet, men hovedkonklusjonene er referert også i NORSKOG sin rapport.

Oslo, mars 2019

Sammendrag

Tilgang på oppdaterte ressursdata er nødvendig for å fatte de riktige beslutningene i skogforvaltningen. I dag lages de aller fleste nye skogbruksplaner vha. flybåren laserscanning etter den såkalte arealmetoden. I dette prosjektet har man sett på om man kan benytte fly- eller dronebilder som datagrunnlag for skogbruksplaner vha. bildematching.

Prosjektet sin del 1, utført av NMBU, viser at bildematching basert på bilder tatt fra fly gir nesten like gode takstresultater som en får ved ordinær laserscanning.

Bruk av dronebilder og bildematching kan også benyttes til å lage skogbruksplaner for mindre skogområder, men kostnadene kan bli høye hovedsakelig grunnet høyt tidsforbruk for innsamling av prøveflater i forhold til kartlagt areal.

Basert på våre erfaringer for det praktiske utøvende skogbruket har bruk av droner to viktige og enkelt tilgjengelige funksjonsområder:

- Generering av nye ortofoto for ajourføring av skogbruksplan og dokumentasjon av f.eks. miljøhensyn
- Extended eyes – dvs. bruk av drone for å få bedre oversikt fra luften. Dette kan være nyttig for eksempel i tett skog, overblikk over store arealer eller i vanskelig tilgjengelig terreng, der man vil ha stor nytte av et oversiktsbilde fra et helikopterperspektiv.

Hovedbegrensningene for bruk av drone er:

- Relativt kort flytid pr batteri (i praksis ca. 15-20 minutter)
- Utfordrende å se dronen til enhver tid (noe det er krav om at en skal)
- Værforhold – bør ikke være for mye vind og heller ikke for mye/lite lys. Dvs. at det er værbegrensninger for når det er optimale flyforhold

Innhold

1	Bakgrunn	7
	Hovedmål	7
2	Prosjekt mål.....	8
3	Bruk av droner	9
3.1	Regelverk	9
3.2	Andre lovpålagte begrensninger ved bruk av drone.....	10
3.3	Informasjonssider om droner	11
4	Praktisk bruk av droner eksempler og erfaringer i 2018.....	11
4.1	Generelle erfaringer med drone i skogbruk.....	11
4.2	Noen begrensninger med droner	12
4.3	Taksering av skog.....	14
4.4	Hovedmetoder for kartlegging med drone	15
4.4.1	Overblikk fra luften / «Extended eyes».....	15
4.4.2	«Taksering»	15
4.5	Kartlegging av spredning av gran	16
4.6	Hogstflate / kjørespor / kantsone	16
4.7	Foryngelsekontroll og ungskogpleiebehov.....	20
4.8	Brannflate	20
4.9	Skogskader.....	22
4.10	Andre erfaringer	23
4.11	Oppsummering og generelle anbefalinger.....	24
5	Bildematching og skogbruksplanlegging	24
5.1	Prøveflateregistreringer	24
5.2	Droneflyving i 2015	25
5.3	Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System.....	28
6	Programvare.....	29
6.1	Planlegge en flyvning.....	30
6.2	Egen datamaskin.	32
6.2.1	Agisoft.....	32
6.2.2	Pix4d	32
6.2.3	OpenDroneMap (ODM).....	32
6.2.4	DroneMapper	33
6.2.5	UgCS.....	35
6.3	I «skyen».....	35
6.3.1	DroneDeploy.....	35

6.3.2	Maps Made Easy (MME)	36
6.3.3	PrecisionMapper	36
6.3.4	WebODM Lightning	36
6.3.5	Sammendrag Skytjenester	37
6.4	Georefering av video	37
6.5	Oppsummering programvare.....	38
7	Oppsummering av prosjektet.....	38
8	Kildehenvisning	39

1 Bakgrunn

Tilgang på oppdaterte ressursdata er nødvendig for å fatte de riktige beslutningene i skogforvaltningen. Skogtaksering ved hjelp av flybåren laserscanning etter den såkalte arealmetoden har blitt den dominerende takstmetoden for operativ skogbruksplanlegging i Norge og Norden for øvrig. Datafangst med laserscanning er forholdsvis kostbart sammenlignet med opptak av bildedata. Flybilder har i Norge vært benyttet i stort omfang i skogtakseringen og har spilt en viktig rolle i kartleggingen helt tilbake til begynnelsen av 1960-tallet. Ny teknologi (såkalt bildematching) har gitt denne datakilden nye muligheter for bruk, bl.a. kan den trolig fullt ut erstatte laserscanning, men nøyaktigheten på operativ skala er ukjent. Bildedata kan i dag innsamles fra ulike plattformer, hvor digital fotografering fra fly fortsatt er det dominerende, spesielt for større oppdrag. I dag brukes også små og lette droner til småskala flybildefotografering innen mange samfunnssektorer og bransjer. Erfaring fra internasjonale forsøk indikerer at dette kan være et nyttig verktøy og supplement innen skogbruksplanlegging og -forvaltningen.

Den teknologi som benyttes for bildeanalyse av opptak utført fra ordinære fly, er tilnærmet den samme som er aktuell for å analysere opptak fra droner. Når vi skal gjøre en ytterligere uttesting av matching av bilder fra ordinære fly, vil det være svært rasjonelt samtidig å teste bildemateriale tatt opp fra droner. Siden en evaluering av mulighetene for bruk av bildedata fra fly og droner (ubemannede luftbårne systemer, UAS) i skogbruksplanleggingen vil måtte baseres på samme type feltdata for metodeutvikling og testing blir det svært rasjonelt å gjøre dette innenfor rammen av et felles prosjekt for å redusere de totale kostnadene og frambringe sammenliknbare resultater. Teknologien for bildeanalyser er langt på vei den samme. I prosjektet ønsker vi å teste bildeopptak fra ulike kilder.

Prosjektet består derfor av følgende delprosjekt:

1. Evaluering av høydeinformasjon fra matching av flybilder på operativ skala som en primær datakilde i skogbruksplanlegging
2. Evaluering av droner som verktøy for dedikerte formål i skogbruksplanleggingen.

Hovedmål

Prosjektets hovedmål er å evaluere nøyaktigheten ved bildematching i operativ skogbruksplanlegging og forvaltning.

Prosjektets hovedmål operasjonaliseres gjennom følgende delmål:

Delprosjekt 1 – gjennomføres av NMBU

- 1.1. Teste nøyaktigheten ved å anvende data fra bildematching basert på flybilder i et område der det gjennomføres en operativ skogbrukstakst.
- 1.2. Evaluere nytte-/kostnadsforholdet ved bruk av henholdsvis laser- eller flybilddata i skogbruksplanleggingen.

Delprosjekt 2 – gjennomføres av NORSKOG samt NMBU på delprosjekt 2.1

- 2.1. Teste nøyaktigheten ved å anvende bildedata fra andre kilder enn ordinære flybilder i skogbruksplanlegging, og for andre forvaltningsformål. Andre kilder vil først og fremst være bilder innhentet ved hjelp av droner.
- 2.2. Vurdere kostnadseffektivitet med slik alternativ bildeanalyse.

Prosjektet er finansiert med støtte fra Utviklingsfondet for Skogbruket, kr 400.000 og Skogtiltaksfondet, kr 550.000. I tillegg til 75.000 kr i egenfinansiering fra henholdsvis NMBU og NORSKOG.

For delprosjekt 1 samt deler av delprosjekt 2.1 har NMBU laget en egen selvstendig rapport som følger som vedlegg.

Hovedkonklusjonene fra NMBU sin rapport er:

Prosjektet har vist at data fra matching av bilder tatt fra fly kan benyttes som en datakilde ved skogbruksplanlegging. Forutsetningen er at man har en terrengmodell fra en tidligere lasertakst og at selve matchingen av bildene gjøres med programvarepakker og innstillinger som er egnet for skog. Takstresultatene ved bruk av ALS blir litt bedre enn ved bruk av bildematching, men ikke så mye bedre at den økte datakostnaden ved ALS kan forsvares. Bruk av bildedata framfor ALS-data gjør at det kan være behov for flere prøveflater for å nå samme nøyaktighet.

Bilder fra droner kan også benyttes til bildematching. Nøyaktigheten av takstresultatene blir tilnærmet lik som ved bruk av ALS eller bildematching fra fly, men begrensninger i batterikapasitet og flyrestriksjoner legger begrensninger på størrelsen av arealet. Videre må man samle forholdsvis mange prøveflater innenfor det relativt lite området og dette gjøre at takstkostnaden pr arealenhet kan bli høy sammenlignet med bruk av data fra fly.

2 Prosjektmål

På søknadstidspunktet for dette prosjektet var vi ikke klar over at det var en doktorgradsstudent på NMBU, Stefano Puliti, som skulle ta sin doktorgrad på "Skogbruksplanlegging med hjelp av drone". Vårt mål i prosjektet var opprinnelig å teste nøyaktigheten ved å anvende bildedata fra andre kilder enn ordinære flybilder i skogbruksplanlegging. I hovedsak betyr det å se på muligheten til å samle inn dronebilder, generere punktskyer som kan benyttes for å lage regresjonsfunksjoner for skoglige parametere med støtte i prøveflateregistreringer.

Etter hvert som vi fikk kjennskap til Stefano Puliti sitt arbeid valgte vi heller å konsentrere oss mer om bruk av droner i en mer operativ skogfaglig sammenheng, men vi har også vurdert konseptet med generering av punktskyer fra bildematching.

Delprosjekt 2: Evaluering av droner som verktøy for dedikerte formål i skogbruksplanleggingen. I Norskog sin gjennomgang har vi gått igjennom regelverket og gjennomført egne tester ved å fly drone i praktisk skogsplanlegging.

Delprosjekt 2

1. Teste nøyaktigheten ved å anvende bildedata fra andre kilder enn ordinære flybilder i skogbruksplanlegging, og for andre forvaltningsformål. Andre kilder vil først og fremst være bilder innhentet ved hjelp av droner.
2. Vurdere kostnadseffektivitet med slik alternativ bildeanalyse.

3 Bruk av droner

3.1 Regelverk

Bruk av droner reguleres av "Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv." som trådte i kraft 1.1.2016.

De viktigste punktene i forskriften er:

Flyging med modellfly/drone kan bare skje i dagslysperioden og ikke

- a) høyere enn 120 meter over bakken eller vannet
- b) nærmere enn 150 meter fra personer, motorkjøretøy eller bygning som ikke er under fartøyførerens kontroll med unntak av under start og landing

Alle rotordrevne luftfartøy skal ha et innebygget system som sikrer at luftfartøyet kan lande automatisk ved tap av kontroll fra pilot eller fartøysjef. Alle fly uten fører om bord (fixed wing) skal ha et tilleggssystem som sikrer kontroll over flyet ved tap av kontakt med hovedradio.

Ikke tillatt å fly:

- i nærheten av militære områder, ambassader eller fengsler uten etter tillatelse fra stedlig leder.
- Uten tillatelse fra lokal lufttrafikkjenesteenhet er det ikke tillatt å fly modellfly nærmere enn 5 km fra en lufthavn.

Operatøren er ansvarlig for at det foreligger forsikring som dekker erstatningsplikt ovenfor tredjeperson, jf. luftfartsloven § 11-2.

Kategorier av operatører:

Kategori		Dronevekt	Max flyhastighet	Restriksjon	Operasjonsmanual
RO 1	Melding til Luftfartstilsynet	<= 2,5 kg	60 knop (ca. 30 meter/sek)	VLOS	Relativt enkel
RO 2	Tillatelse fra Luftfartstilsynet	<= 25 kg	80 knop (ca. 41 meter/sek)	VLOS, EVLOS eller BLOS ¹	Mer omfattende. Må ha bestått eksamen
RO 3	Tillatelse fra Luftfartstilsynet	Vekt >= 25 kg, ELLER hastighet > 80 knop ELLER med turbionmotor ELLER BLOS > 120 meter ELLER kontrollert luftrom > 120 meter			Enda mer omfattende. Må ha bestått eksamen

-
- ¹ EVLOS (*Extended Visual Line Of Sight*): flyging med luftfartøy som ikke har fører om bord utenfor pilot eller fartøysjefs synsrekkevidde, der visuell kontroll opprettholdes ved bruk av observatør BLOS (*Beyond visual Line Of Sight*): flyging med luftfartøy som ikke har fører om bord utenfor synsrekkevidde for pilot, fartøysjef eller observatør

For “normale” droner vil kategori RO 1 være det mest aktuelle.

Det er relativt enkelt å få en RO1-tillatelse, som da gjelder for droner med en maksimal vekt på 2,5 kg og hvor en til enhver tid skal kunne se dronen uten bruk av kikkert eller lign. (VLOS – Visual Line Of Sight). For å operere i kategori RO1 må det sendes en deklarerer til Luftfartstilsynet (via Altinn) der operatøren bekrefter at han eller hun er kjent med hvilke krav og begrensinger som gjelder for operasjoner innen denne kategorien. I tillegg må han inneha en enkel Operasjonsmanual. (Maler for dette finnes på Luftfartstilsynet sine hjemmesider). Krav til tillatelse gjelder for kommersiell eller nyttebruk. Det er ikke krav å melde inn RO1 for privatpersoner som driver «dronelek», men de fem hovedreglene for bruk av droner skal følges.

1. Du skal alltid kunne se dronen og fly den på en hensynsfull måte. Aldri fly i nærheten av ulykkessteder.
2. Ikke fly nærmere enn 5 km fra lufthavner med mindre annet er avtalt.
3. Ikke fly høyere enn 120 meter over bakken.
4. Ikke fly over festivaler, militære områder eller sportsarrangementer. Hold en avstand på 150 meter.
5. Ta hensyn til andres privatliv. Husk reglene for bruk av foto og video av andre personer.

3.2 Andre lovpålagte begrensninger ved bruk av drone.

Nasjonal sikkerhetsmyndighet

Nasjonal sikkerhetsmyndighet har en informasjonsside om droner: <https://nsm.stat.no/om-nsm/tjenester/fysisk-sikring/foto-fra-lufta/>.

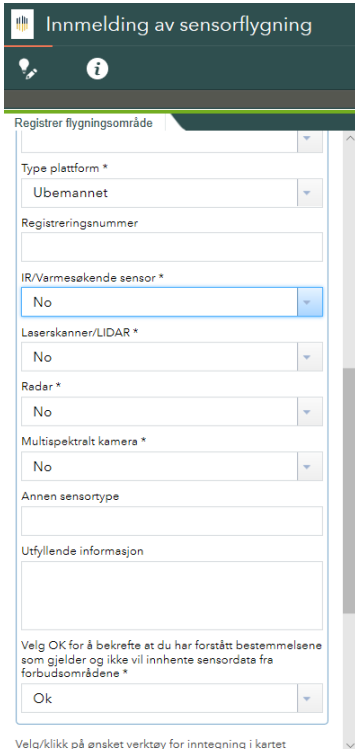
«Nasjonal sikkerhetsmyndighet (NSM) fører kontroll med fotografering og filming fra luften og andre luftbårne sensorsystemer for å skjerme detaljer ved militære og andre forbudsområder» (NSM 2018).

Forbudsområder

«Over hele Norge finnes militære og andre installasjoner og anlegg som krever beskyttelse mot overvåkning og kartlegging av hensyn til rikets sikkerhet. ... Ved og rundt slike installasjoner og anlegg er det etablert områder der det pålegges restriksjoner, herunder adgangsbegrensninger, fotoforbud og forbud mot fotografering/filming fra luften og bruk av andre luftbårne sensorer» (NSM 2018).

Fra 1. september 2018 gjelder også «Forskrift om kontroll med informasjon innhentet ved bruk av luftbårne sensorsystemer». Forskriften regulerer opptak og annen bruk av informasjon om bestemt angitte områder og skjermingsverdige objekter innhentet med luftbårne sensorsystemer.

I praksis åpner den nye forskriften for at forbudet mot å fotografere fra luften i utgangspunktet kun skal gjelde i fastsatte forbudsområder. Riktignok kun med luftbårne fotosensorer; sensorsystemer som gjør dagslysbasert monokrom- eller fargeavbildning med inntil fire spektralband innenfor bølgelengdeområdet til synlig lys, fra 380 til 750 nanometer. Dersom det skal benyttes utstyr som fanger opp



bølgelengder utenfor synlig lys som f.eks infrarødt kreves det at man sender inn et varsel til NSM (se bilde over). Varsling sendes inn gjennom deres kartløsning. I skogbrukssammenheng kan det være aktuelt å benytte IR sensorer for å skille mellom ulike vegetasjonstyper/treslag.

3.3 Informasjonssider om droner

Luftfartstilsynet har en del nyttig informasjon og begrepsoversikt om dronebruk på deres hjemmeside: <https://luftfartstilsynet.no/droner/>. Her finnes også nettkurs for droneoperatører som skal operere i kategoriene RO2 og RO3.

Skogdrone er en relativt ny side om dronebruk i skogbruket og inneholder aktuelle linker til bruk av drone i skogbruk og enkle instruksjonsvideoer. <https://www.skogdrone.no/nyttige-linker>

4 Praktisk bruk av droner - eksempler og erfaringer i 2018

4.1 Generelle erfaringer med drone i skogbruk

NORSKOG kjøpte i 2018 dronen DJI Mavic Pro for teste om drone kan effektivisere skogbruksplanleggingen og overvåkning av skog.



DJI Mavic Pro

I den sammenhengen har vi gjennomført forskjellige flygninger for å se på følgende.

1. Taksering av skog
2. Kartlegging av spredning av gran
3. Hogstflate / kjørespor
4. Foryngelseskontroll
5. Brannflate

Vår erfaring er at det er utfordrende å få et godt resultat på tett stående skog. Det er flere grunner til dette, en kombinasjon av både tekniske begrensninger og reguleringer. Derimot får man gode resultat på åpne områder eller områder hvor det er glisne bestand. Skog er noe av det vanskeligste å kartlegge hovedsakelig fordi det er utfordrende å finne «grunnpunkter» i skog i forhold til faste punkter som bygninger, veier etc. Bilder som tas av drone i lav høyde gjør at trærne «heller utover» i kanten av bildet, noe som gjør at det er utfordrende å finne samme tre på to eller flere bilder. Vegetasjonen som beveger seg med vinden, skygge i forskjellige vinkler er også med på å vanskeliggjøre bildematching i skog. Hovedårsaken til dette er teknologien som brukes til å sammenstille enkeltbilder til en punktsky, som igjen er grunnlaget for sammenstilling av større kart. Metodikken krever at programmet «identifiserer» de samme punktene fra flere bilder.

Nedenfor har vi prøvd å eksemplifisere forskjellige alternativer hvor NORSKOG har testet droner for forskjellige formål i skog.

4.2 Noen begrensninger med droner

Noen erfaringer fra bruk av drone:

- Det kan være utfordringer med vind. Selv om det blåser lite på bakken er det ofte betydelig med vind i 100 meters høyde. Ved flyving selv på «rolige» dager fikk vi varsler fra systemet om mer enn 10 m/s i 100 meters høyde. Dronen sliter i vindstyrker på mer enn 10 m/s, noe som resulterer i at dronen måtte avbryte flyvingen. Dronen seilte faktisk vekk (kontrollert) med vinden et par ganger under slike vindforhold.
- Regn er en utfordring for elektronisk utstyr, noe som gjør at man er avhengig av oppholdsvær ved flyving.
- Sterk sol eller for lite lys er også utfordrende. Vår erfaring er at overskyet vær gir best stabilitet i forhold til kvaliteten på bildene. Er det for sterk sol, enten tidlig om morgenen eller midt på dagen blir bildene av varierende kvalitet på grunn av mye skygger eller for sterkt lys. Det er mulig å justere noe for dette, men det krever at operatøren har noe erfaring med å justere hvitbalansen i programmet før bildene tas. Bildet under viser et godt eksempel der kamerainnstillinger ikke er optimale. Bildet er tatt midt på dagen og det var sterk sol.



- Dronen benytter høyden over bakken fra startposisjon. Dvs. at den f.eks. flyr 100 meter opp fra der den tar av og holder seg i denne høyden selv om terrenget endrer seg, noe man må være oppmerksom på dersom utgangspunktet for takeoff er en kulle og man flyr ut over terrenget. Reel høyde på dronen vil da være høyere enn 100 meter. Regelverket stiller krav om at dronen skal være under 120 meter fra bakken.
- Utfordringer med varierende topografi og kamerafokus. Dronen flyr relativt lavt slik at variasjon i trehøyde kombinert med varierende topografi (ved å fly over kulle) gjør at kameraet sliter med å finne fokus, noe som gir lavere kvalitet på bildene. Se eksempler på dette under omtale av brannflate.
- Observasjon av drone i skog er vanskelig som vist i bildet under, der dronen er 200 meter unna på 120 meters høyde. Dronen kommer raskt ut av synsfeltet grunnet høye trær.



4.3 Taksering av skog

Denne gjennomgangen baserer seg på rapporten fra (Osborn - 2017 m. flere) og NORSKOG sin erfaring og innspill fra Stefano Puliti. Det er mulig å få et bra resultat ved taksering av skog ved hjelp av enklere droner men man er i større grad avhengig av god overlapp og programvare. Om man har tilstrekkelig overlapp kan en få resultater som er sammenlignbart med Lidar (Personlig kommunikasjon med Puliti). For volumestimat har man høyde og tetthet (treantall), men man trenger i tillegg grunnflate (m^2 /dekar) så her må man enten ut å gjøre målinger eller basere seg på eksisterende data. Data kan være fra Landskognakseringen eller andre takster fra nærliggende områder med tilsvarende skogforhold. Selv om programvare og teknologien er på plass så er det utfordringer å få en arbeidsflyt som kan redusere kostnadene.

Flere av de programvarene som beskrives senere i rapporten lager punktskyer (LAS) som kan benyttes videre i arbeidet med å avlede skoglige data (høyde, treantall), korrigert mot data fra prøveflater.

Hovedutfordringen er at dette krever god teknisk kunnskap og er relativt komplisert, samt at en er avhengig av "bakkedata" for å bygge regresjonsmodeller for de skoglige parameterne. Dersom en må

legge ut egne prøveflater over området er dette arbeids- og kostnadskrevende, noe som gjør at det normalt vil bli dyrere enn å lage en ny skogbruksplan basert på inndeling i bildene fra drone samt ordinær bestandstakst med volummålinger.

For å komme til en situasjon der en kan benytte drone for en mer automatisert avledning av volum mm. er en avhengig av at dette f.eks. kan gjøres automatisert i en skytjeneste som f.eks. benytter data fra nærliggende flater hos Landsskogtakseringen eller prøveflater registrert i forbindelse med ordinære områdetakster.

4.4 Hovedmetoder for kartlegging med drone

4.4.1 Overblikk fra luften / «Extended eyes»

Den enkleste og raskeste formen for bruk av drone er manuell flyving med dronen, i den hensikt å få oversikt fra luften. Dette kan være nyttig for eksempel i tett skog, overblikk over store arealer eller i vanskelig tilgjengelig terreng, der man vil ha stor nytte av et oversiktsbilde fra et helikopterperspektiv. Kameraet kan rettes ned mot bakken eller stilles inn med en skråvinkling for å fange opp mer av landskapet. Hovedpoenget her er å få «høyde» over skogen for bedre oversikt på samme måte som man får fra en topp/høyde.



Tidsbruk ved slik enkel bruk av dronen er overkommelig og man kan ha dronen i luften med et oversiktsbilde på 2-3 minutter. Når dronen først er i luften kan den «befare» et område vesentlig raskere enn man kan til fots og med mulighet for billedokumentasjon.

4.4.2 «Taksering»

Ut over manuell flyving med drone som extended eyes kan dronen brukes for systematisk kartlegging av et område. En slik kartlegging er nødvendig dersom man ønsker å generere et ortofoto eller 3D-modell av området. Det finnes en rekke programvarer som automatisk genererer et opplegg for kartlegging av området (se utfyllende beskrivelse i kapittel 5.1). Prinsippet er at man avgrenser kartleggingsområdet og definerer en del parametere som flyhøyde, overlapp på bilder, retning på flyrute etc. Dette gjøres normalt i en app på telefon eller nettbrett. Programmet genererer da en «flight plan» som lastes opp til dronen. Dronen vil nå gjennomføre kartleggingen automatisk med «takeoff», fly til innstilt høyde og starte kartlegging av området etter definert flight plan. Dronen flyr



kartleggingsstriper og tar bilde for hvert 2-5 sekund avhengig av hastigheten. Når hele området er kartlagt med bilder vil dronen returnere til utgangsposisjonen og lande av seg selv der den tok av.

En slik kartlegging vil ta fra 5-20 minutter avhengig av størrelsen på området. Ved stor overlapp/tette flystriper som er noe som kreves for å lage en god 3D-modell vil flytiden øke. Et areal på 50-150 daa vil kunne kartlegges på 10-25 minutter og i denne tiden må droneoperatør kun fokusere på dronen. Det betyr at en slik kartlegging medfører «tapt» bevaringstid for forvalter, der man ikke kan gjøre andre oppgaver. Til gjengjeld vil en slik kartlegging kunne gi et oppdatert flybilde/ortofoto av området og evt. en 3D modell.

I praksis vil økt tidsbruk til kartlegging med drone bety at forvalter må se en merverdi med kartleggingen som ikke kan oppnås med feltbefaring på bakken.

4.5 Kartlegging av spredning av gran

I 2017 gjennomførte NORSKOG kartlegging av spredning av gran i naturreservater i Sogn og Fjordane, og basert på konsulent sin erfaring med droner har vi gjort følgende erfaringer/vurderinger:

Vi mener at drone kan ha en praktisk nytte ved kartlegging av spredning av gran eller andre fremmede treslag i naturreservat. I denne typen jobb er det behov for høy nøyaktighet og terrenget kan være utfordrende. Selv om Norge i bilder gir veldig bra og nøyaktige flyfoto over Norge så er det noen utfordringer som kan bli løst ved å bruke droner. Gran er skyggetålende og sprer seg under lauvtrær. Det er utfordrende siden bildene fra Norge i bilder er fra sommerhalvåret. Her kan droner sannsynligvis gi et mer nøyaktig bilde av spredningen ut ifra morbestand på høsten eller våren før lauv. I tillegg områder det kan være vanskelig å nå grunnet spredning i vanskelig terreng. Eksempel kan være å sjekke spredningen nedenfor morbestand som ligger i et vanskelig område.

I tillegg kan dronebildene brukes til automatisk kartlegge granplanter til å kvantifisere antall planter, teknologien er her, men en brukervennlig løsning mangler.

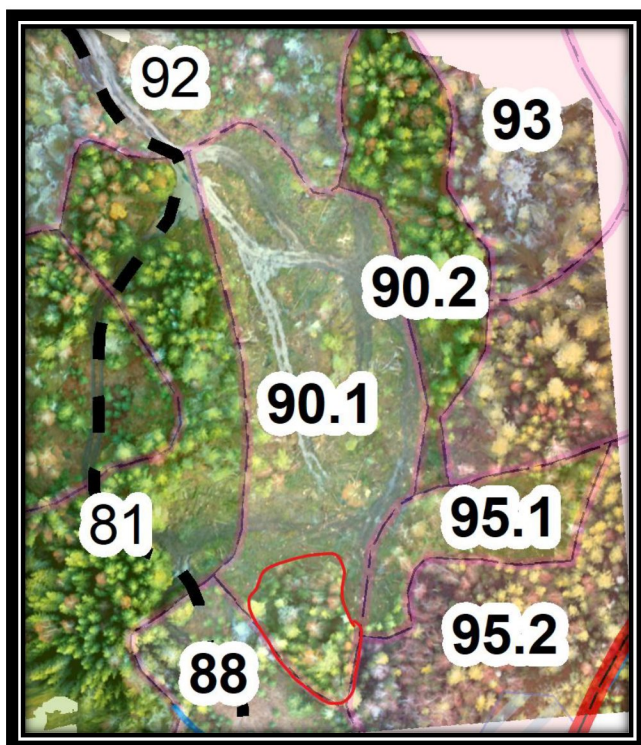
4.6 Hogstflate / kjørespor / kantsone

I dette prosjektet har vi undersøkt om bruk av drone kan gi en merverdi for kontroll av hogstflater og kjøreskader. En utfordring i forhold til å gi høy merverdi er at skogforvalter uansett må være i nærheten av hogstflaten for å kunne fly med drone (pga. regelkrav til å se dronen til enhver tid). Dersom bruk av drone skal gi merverdi, må den økte tidsbruken med drone, resultere i lavere tidsbruk til befaring, eller gi informasjon som ikke er mulig å fremskaffe fra feltbefaring alene. Når forvalter allerede er på hogstflaten for å kontrollere vil man raskt kunne befare store deler av flaten til fots og dokumentere avvik i kart/GPS.

Ved kontroll av hogstflate kan drone enkelt gi en merverdi for å kontrollere at tiltak er i henhold til plan. Det å se hogstflaten fra luften gir en langt bedre oversikt enn hva som er mulig fra bakken. Med drone i luften vil man med et godt overblikk ha mulighet for å konsentrere feltbefaringen på deler av området der man ser at det er avvik fra planen. Samtidig vil man med stor sikkerhet konstatere at resten av området er «kontrollert» fra luften. Et praktisk eksempel er ved kontroll av kjøreskader på store hogstflater vil en drone enkelt kunne identifisere hvor de har oppstått.

I noen tilfeller kan det være aktuelt å vite nøyaktig avgrensning av hogstområdet, f.eks ved hogst mot eiendomsgrenser, nøkkelbiotop eller hogst innenfor Markagrensen med krav til maksimal størrelse på hogstflaten. Det kan være aktuelt å dokumentere kantsonebredde, plassering av livsløpstrær eller at det er avvirket innenfor det planlagte området.

For å kunne generere et nytt ortofoto (sammensetning av dronebilder) kreves en droneflyving med takseringslinjer. En slik kartlegging tar noe tid, men til gjengjeld gir det forvalter et oppdatert ortofoto over avvirket areal. Ortofoto generert fra droneflyving er et meget godt grunnlag for dokumentasjon av hogstflater/hogstområder, og som grunnlag for ajourføring av digital skogbruksplan. Den geografiske nøyaktigheten som ortofotoene får direkte fra benyttet skytjeneste (mer om disse tjenestene i senere kapittel), uten at en benytter Ground Control Points for korrigering, er tilstrekkelig for å kunne tegne inn nye og nøyaktige bestandsgrenser.

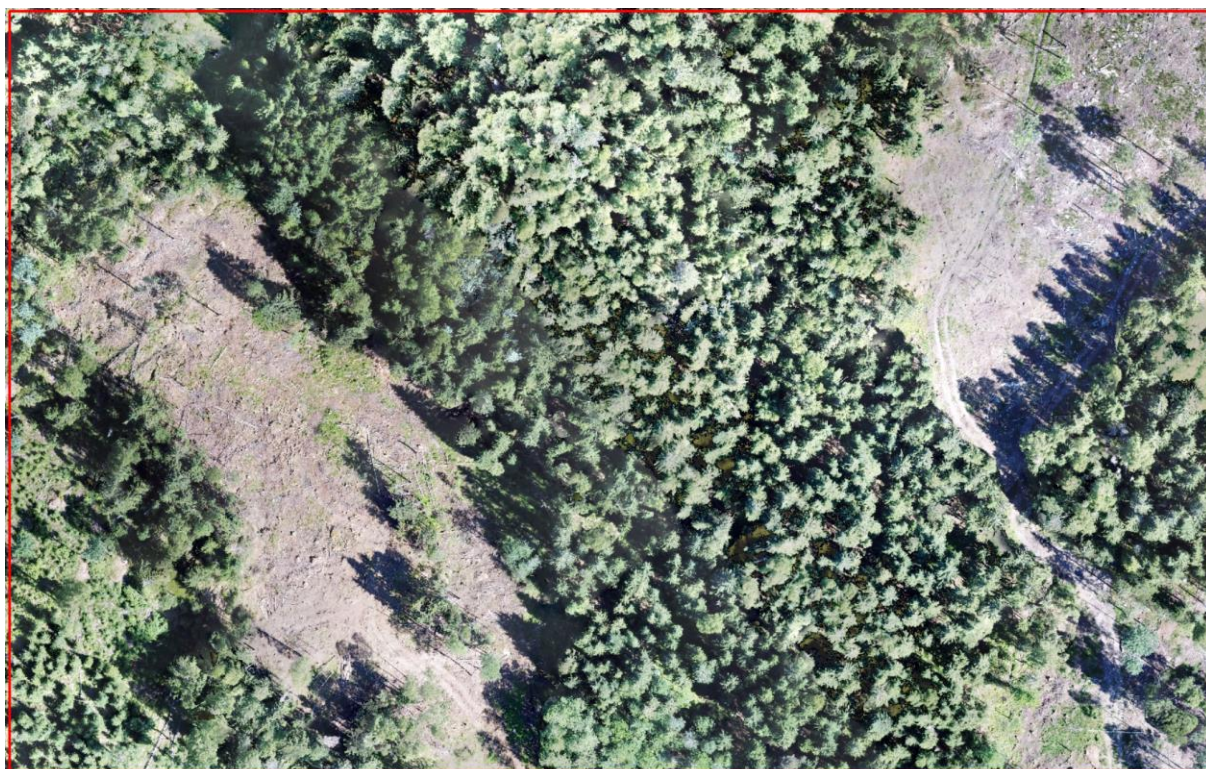


I prosjektet testet vi nytten av en slik kartlegging og ble overrasket over hvor god informasjon et slikt bilde gir for ajourføring av skogbruksplanen. Her ses et bilde der det fremgår at deler av opprinnelige bestand 90 ikke er avvirket (markert med rød sirkel). Bestand 90 er også nå splittet i to bestand da hele bestand 90.2 var planlagt avvirket.

De to etterfølgende bildene viser det samme området, men der det første bildet er fra Norge i Bilder, og det neste er ortofoto generert fra et droneopptak i juni 2018. I dronebildet ser en godt at det er blitt avvirket i vestre del.

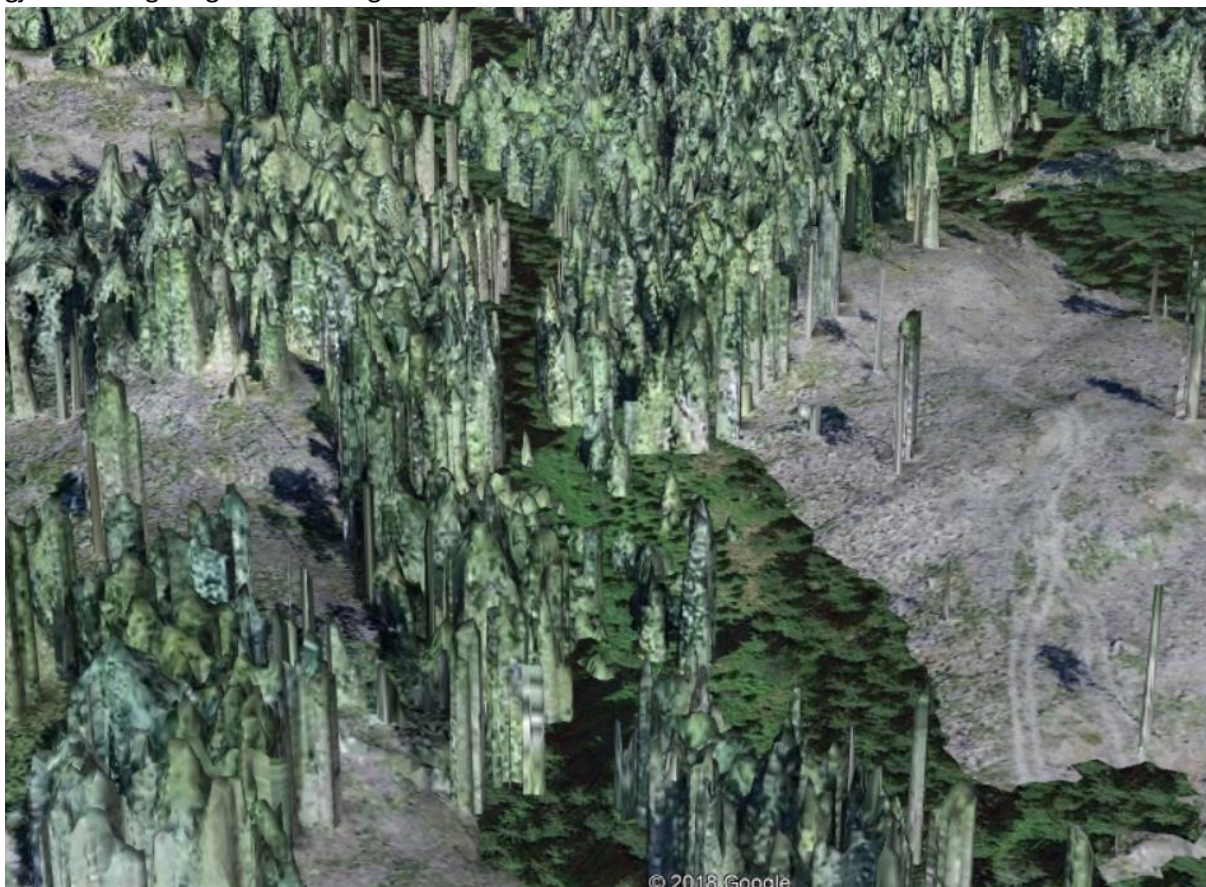


Ortofoto Romerike 2017 (27.05.2017)



Drone-ortofoto juni 2018 (generert vha. skytjenesten DroneDeploy)

I tillegg til selve ortofotoet leverer også flere av skytjenestene 3-dimensjonale filer (KML/KMZ) som gjør at korrigering av bestandsgrenser mm. blir enklere.



3D KMZ-fil over samme område (generert vha. skytjenesten Maps Made Easy)

I tillegg til dokumentasjon av hogstområder, vil også dronebildene være en god dokumentasjon av miljøhensyn som er tatt ved hogsten, som gjensetting av kantsoner og livsløpstrær.

Områder med kjørespor vil også i mange tilfeller komme tydelig frem på bildene, men det er ikke visuelt mulig å klassifisere om sporene er dypere enn 30 cm i en lengde på over 10 meter. For å kontrollere dette må en da uansett befare hogstfeltet, men dronen kan benyttes som "forlengede øyne" for å få en bedre oversikt over området, og hvor en bør foreta manuell kontroll (Tracklog fra lassbærer vil selvfølgelig også være et godt hjelpemiddel).

Det er gjort studier av automatisk måling av sporskader. Nevalainen m. (2017) brukte punktsky fra RGB-bilder fra droner til å kartlegge spordybde etter skogsmaskiner. Korrelasjonen mellom manuelle målinger og dronemålinger var 0,67, noe som viser vanskeligheten ved å kartlegge detaljer fra luften, spesielt hvis det ligger noe i sporene som grener og kvister. Metoden krevde at driftsveiene ble identifisert separat før målingen i bildene.

Talbot et al (2018) undersøkte også bruk av ortofoto generert fra droner for å kartlegge sporskader etter hogst. Studien viser at dette er mulig, men at det forutsetter et stort utvalg av tverrsegmenter som skal analyseres for å få en middelfeil på under 20 %. Rapporten sier ikke noe om tidsforbruk.

4.7 Foryngelsekontroll og ungskogpleiebehov.

Fordelen med å fly over et plantefelt er at man får et visuelt inntrykk av hele området som er plantet og ut ifra dette kan man få et subjektivt inntrykk av hvor vellykket plantingen har vært. Men foreløpig har vi ikke sett løsninger som kvantifiserer resultatet fra dronen til å gi et bilde over plantetetthet og overlevelse. Vi tror at disse løsningene kommer på sikt og kan bli et godt verktøy, men foreløpig er vår konklusjon at nytten er begrenset til foryngelsekontroll. Hovedgrunnen til dette er at plantene er små og det kan i enkelte tilfeller være utfordrende nok å finne plantene på bakkenivå, noe som gjør at økt avstand til bakken ikke nødvendigvis gir bedre resultater. Derimot vil man i fremtiden trolig kunne benytte andre sensorer på dronene enn synlig lys (RGB), og vegetasjonskartlegging basert på IR-data vil kunne automatisere arbeidet.

Når det gjelder ungskogpleie gjennomfører for tiden Mjøsen Skog og NIBIO prosjektet «DRONE-REG – Bruk av droner for kartlegging av ungskogpleiebehov» som ser på bruk av drone for å kartlegge ungskogpleiebehov. I januar 2019 publiserte NIBIO rapporten «*Use of UAV Photogrammetric Data for Estimation of Biophysical Properties in Forest Stands Under Regeneration*» (Puliti, Solberg & Granhus 2019). Hovedresultatet her er at drone gir et langt bedre resultat for å kvantifisere treantallet sammenliknet med laserdata. Studien beskriver også at man halverer tiden til feltbefaringer ved bruk av drone og det blir spennende å se om metoden inklusive prosessering av data er lønnsomt i forhold til manuell registrering.

4.8 Brannflate

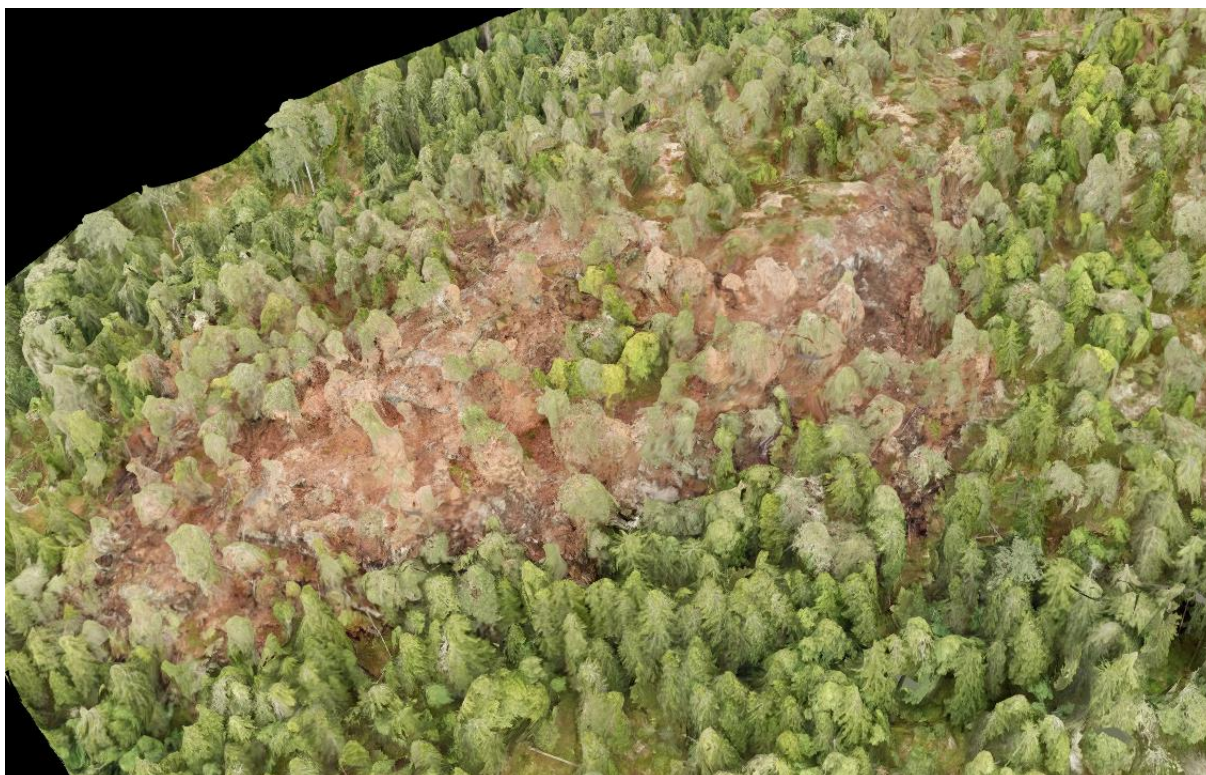
Under brannen i Drangedal sommeren 2018 ble det benyttet drone for å få en bedre oversikt over hvordan brannen spredde seg, og for å kunne gi brannmannskapene beskjed om hvordan de enklest skulle komme frem til de forskjellige brannstedene (Pers. med. – Thor Wraa).

I dag finnes droner med termiske sensorer som f.eks. DJI Mavic 2 Enterprise Dual. Termisk kapasitet vil helt klart gi overlegen informasjon ved brann, men denne type droner er relativt kostbare og det kreves at flyvingen meldes inn til Nasjonal sikkerhetsmyndighet før opptak.

Etter brann kan droner bistå i å få en god oversikt over skadeomfanget og utbredelsen av brannen. Dermed gjør dette dokumentasjon enklere. **Feil! Fant ikke referanseilden.** og **Feil! Fant ikke referanseilden.** viser eksempler fra en brann i 2018, hvor man kan se hvor det har brent og få et inntrykk av skadene på trær og vegetasjon. Vår erfaring er at dronebildet gir god oversikt over hvor skillet mellom brannflaten og frisk vegetasjon går. Derimot er det vanskeligere å definere skillet mellom brannflate og tørkeskadet vegetasjon som også har samme brunfarge, se **Feil! Fant ikke referanseilden..** I bildene under ses også utfordringen med kamerafokus og varierende topografi og høyde på vegetasjonen.



Bildet over viser en klar grense mellom brannflate og frisk vegetasjon.



Bildet viser en 3D-modell av en brannflate. I høyre del av bildet er skillet mellom brannflate og tørkeskadet vegetasjon vanskeligere å identifisere tydelig.



Bildet over viser at det er utfordrende å tydelig definere grensen for brannflate og tørkeskadet vegetasjon. Bildet viser også at utfordring med kamerafokus over en kolle med variasjon i topografi og forskjellige trehøyder.

4.9 Skogskader

Vi har ikke fått testet droner i forbindelse med registrering av skogskader, men Södra Skog benytter nå droner i sitt arbeide med å undersøke/kontrollere skogskader. De skriver følgende: " *Tekniken är mycket kostnadseffektiv. På kort tid får man en bra överblick över skogen. Den stora förtjänsten ligger just i att man inte behöver lägga onödig tid på kontroll. Med drönaren ser du snabbt om och var du behöver göra en manuell inspektion eller åtgärd. Detta möjliggör ett effektivare arbetssätt som i förlängningen gynnar våra skogsägande medlemmar. Dessutom gör drönaren arbetet säkrare för skogsinspektorn, inte minst vid inventering av vindfällen efter en storm, säger Johan Malmqvist.*"

Hos Fritzøe Skoger har de sjekket toppbrekkskader vha. dronefilming, og deres konklusjoner er at det er vanskelig å se toppbrekk om det ikke er langt nede på stammen eller om en ikke kan se de knekte toppene på bakken.

Mathisen Eidsvoll Værk ANS har også testet kartlegging av toppbrekk med drone og erfarte også utfordringer med å automatisk identifisere toppbrekkskader.

4.10 Andre erfaringer

Skogforsk i Sverige har utarbeidet rapporten "Drönare för entreprenörer – forstudie" i 2018 (Arbetsrapport 990-2018) der de fokuserer på hvordan skogsentreprenører kan utnytte droner i skoglig planlegging og avvirkning.

De tydeligste konkrete bruksområder som ble identifisert var:

- Planlegging og overvåkning av hogstinngrep og skogbehandling, primært rydding.
- Dokumentasjon av utført skogbehandling for tilbakemelding til klienter, men også for intern tilbakemelding og kompetanseutvikling til hogstlaget.
- Nyttig for kompetanseutvikling av nye og erfarne maskinførere. Grunnlag for kontinuerlig forbedring.

Det har vært flere masteroppgaver ved SLU (Sveriges lantbruksuniversitet). Magnusson (2017) har utført intervjuer med et antall aktører i skogbruket, både profesjonelle og private. Hun har identifisert syv hovedområder i skogbrukskjeden der droner anvendes:

- Planlegging for kommende inngrep
- Oppfølging
- Inventering/kartlegging
- Kommunikasjon
- Dokumentasjon
- Opplæring
- Overvåkning

Basert på intervjuene laget Magnusson en SWOT-analyse om dronebruk i skogbruket

<p style="text-align: center;">Styrkor</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Effektivisering av arbeidet, Realtidsbilder for eksempelvis planering, Sikkerhet ved stormfälld skog, Dokumentation att visa upp för markägare/entreprenörer etc., Uppföljning & återkoppling efter skoglig åtgärd, Kvalitetssäkring av arbete, Billig teknik</p>	<p style="text-align: center;">Svagheter</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Kort batteritid (kvalité, bilvarma för att fungera), Dyr, Snabb teknikutveckling ger inaktuell teknik</p>
<p style="text-align: center;">Möjligheter</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Snabb teknikutveckling, Självflygande drönare, Mätning av volymer etc. Nya typer av kameror kommer (värmekamera, multispektralkamera)</p>	<p style="text-align: center;">Hot</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Överflödig då den inte kan ersätta manuell insamling idag, Marknadsmässig osäkerhet, finns den kvar om några år, är det lönt att investera tid och pengar i tekniken? Myndighetsbeslut p.g.a. okunskap som begränsar användning</p>

4.11 Oppsummering og generelle anbefalinger

I tillegg har vi følgende generelle anbefalinger vedr. flyving:

- Legg flystripene vinkelrett på vindretningen dersom det er mye vind. Dette vil føre til at dronen har mer jevn flyhastighet enn dersom flystripene f.eks. legges parallelt med vindretningen. Da vil dronen fly raskere i medvind enn i motvind. En kan også risikere at dronen har problemer med å returnere til landingsplassen dersom det er sterk motvind.
- Overlapp: For å kunne lage en god 3D-modell over skog kreves det at objektet (det enkelte tre) er med på så mange bilder som mulig, helst på minst 9 forskjellige bilder. Er flyområdet dekket av tett skog bør en ha en frontoverlapp på 90% og sideoverlapp på 80 % for å kunne danne en god 3D modell. Skal en f.eks. kartlegge en hogstflate holder det med ca. 80 % frontoverlapp og 60 % sideoverlapp. MapsMadeEasy sin generelle anbefaling er 65-70% overlapp både langs og på tvers av flystripene.
- Unngå å inkludere store vannarealer i flyområdet fordi dette gjør det vanskelig å finne identiske punkter for bildematching.
- Trær er vanskelige å gjenskape fordi de nesten alltid er i bevegelse og har mange detaljer. Unngå derfor å fly når det er mye vind eller veldig sterkt sollys.
- Unngå å fly når det er mye skygger, dvs. tidlig om morgenen eller sent på kvelden.
- Ikke fly lavere enn 4-5 ganger høyden på det høyeste objektet i undersøkelsesområdet. Jo høyere objekt, desto mindre overlapp vil det få, og de genererte bildene vil få lavere kvalitet.
- For skog anbefales det en flyhøyde på rundt 110 meter.
- Ikke ta bilder som inkluderer horisonten. Dette vil føre til feil/problemer ved generering av 3D dataene og ortofoto.
- Alle bildene som skal benyttes for å generere ortofoto skal tas rett ned (Nadir).
- Bare benytt bilder som er tatt fra definert flyhøyde i generering av ortofoto.
- Dersom det er store høydeforskjeller innen flyområdet vil kvaliteten på bildene variere, fordi noen bilder er tatt nærmere bakken enn andre bilder, dvs. at oppløsningen (cm pr pixel) vil variere mellom bildene.
- Veldig vanskelig å se dronen.

5 Bildematching og skogbruksplanlegging

5.1 Prøveflaterregistreringer

NORSKOG har i løpet av dette prosjektet bistått med innsamling av detaljerte felldata som var planlagt benyttet som referansegrunnlag for dronebilder i dette prosjektet. I tillegg er fire andre prosjekter alle brukere av samme skogbruksplantakst og datamaterialet i tilknytning til dette prosjektet.

Feltarbeidet inkluderte nøyaktig stadfesting av GPS posisjon til senterpunkt av prøveflaten med basestasjon. Neste steg var en totalklaving av samtlige trær innenfor prøveflater med et areal på 500 kvadratmeter (hkl 3) eller 1.000 kvadratmeter (hkl 4-5). Treslag, diameter og kompassretning til hvert enkelt tre ble også registrert. Totalt gikk det med 10 dagsverk (2 personer i 5 dager) til å registrere 9 prøveflater lokalisert på Gran og Jevnaker allmenninger på vestsiden av Randsfjorden, dvs. at registrering av prøveflatene var meget arbeidskrevende.



Topcon GNSS mottaker for logging av "korreksjonsdata"

5.2 Droneflyving i 2015

Et noe omfattende regelverk for bruk av drone i næringsammenheng i 2015 var medvirkende til at NORSKOG inngikk en avtale med Fredrik Holte Breien om å leie inn hans firma og kompetanse som en allerede godkjent operatør av drone med eget utstyr, til selve bildeinnsamlingen. Fredrik er også utdannet Forstkandidat og behovet for skogfaglig opplæring var derfor unødig.

I 2015 var det mindre utvalg av enkle kommersielle droner, så Fredrik Holte Breien hadde "bygget" sin egen drone.

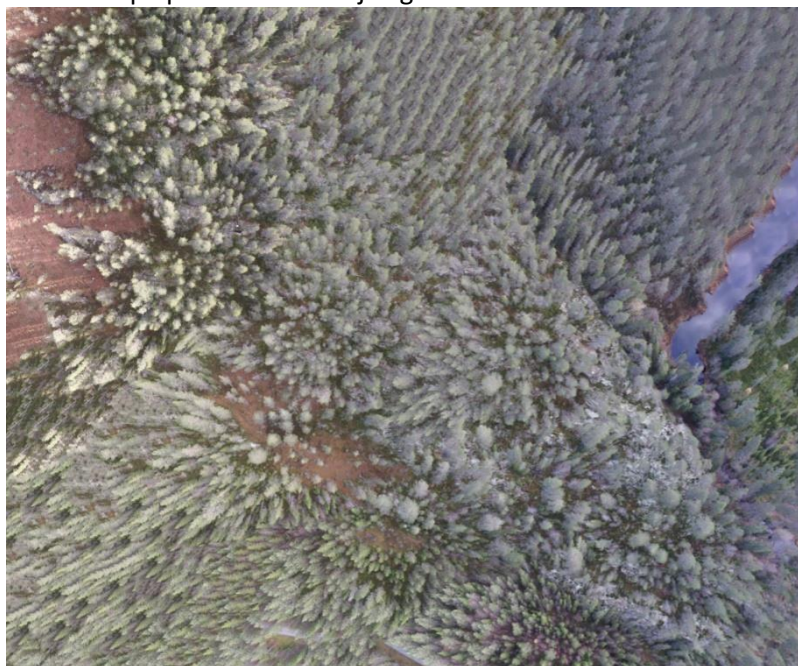


Første bildeanalyse med drone ble gjort over «Prøveflate 3» på Gran Almenning på Hadeland. Feltet inneholdt en prøveflate med meget nøyaktige data, i tillegg til at feltet var fløyet over med laser i forbindelse med ny skogbruksplan for området. Før flyvning gikk vi over området og sprayet med merkespray av forskjellig farge på bakken for å kunne ha referansepunkter til senere GEO-referering av bildene. Samtlige punkter ble innmålt med håndholdt GPS. For å teste hvor synlig feltpunktene må være la vi også ut noen refleksvester for å se på forskjellen. Ulempen er at refleksvestene må hentes inn igjen etter endt flyvning. Vi så fort at merkespray på bakken ikke er tilstrekkelig for å kunne identifiseres fra luften. Refleksvester er minimumsstørrelse som identifikasjonsobjekt fra 60 meters flyhøyde. Se eksempel i bildet under på grunnpunkt «refleksvest» ca. midt i bildet. Bruk av grunnpunkter er ikke like relevant med dagens teknologi og for å kun generere et ortofoto, men for generering av skogbruksplandata med korrigerende for prøveflatedata er dette et mer relevant tema. Beregning av skogfaglige data basert på dronebilder ble etter hvert nedprioritert grunnet pågående doktorgradsarbeide innen samme tema og vi valgte å unngå dobbeltarbeid mot dette prosjektet.



For å lage punktsky var det i 2015 betydelig mer jobb for brukeren, men i dag er mye av jobben automatisert. Prinsippet for å sette sammen bilder ser man i bildet under, der hvert bilde har sin posisjon og bildene settes sammen basert på pixlene fra forskjellige bilder over samme område. Som

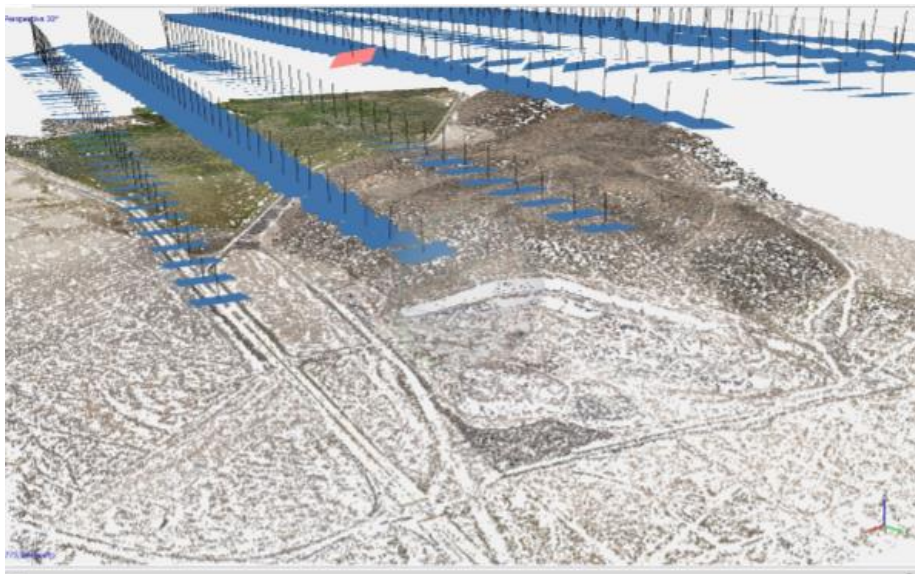
vi ser av bildet over var det betydelige utfordringer med sammensetning av bilder i forhold til hva som leveres av programvaren i dag. Trærne heller i forskjellige retninger og bildet er relativt «dårlig» sammensatt. Bildet er tatt med mest for å vise hvor langt utviklingen har gått fra 2015 til i dag der kvaliteten på sammensetningen er på et helt annet nivå. Fredrik Holte



Breien har også skrevet en kort rapport om bruk av drone på eiendomsnivå og fokuset var å på å foreta en visuell sjekk av ungskogfelt samt survey av stående skog med tilhørende volumberegning og vurdering.

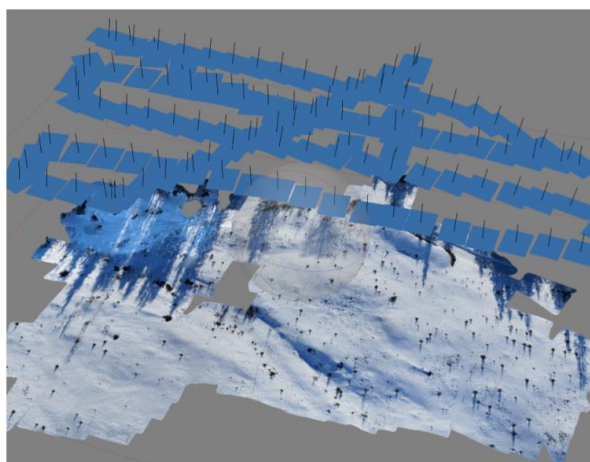
Mye har skjedd siden denne rapporten ble skrevet, men fremgangsmåten for generering av ortofoto og 3D-modell er illustrativt beskrevet i rapporten. Rapporten kan leses her:

<https://verdiskapingsfondet.no/wp-content/uploads/sites/32/2017/11/Rapport-Fredrik-H - Breien.pdf>



Fredrik H. Breien
Gimbal AS
2. november 2015

Skogplanlegging på eiendomsnivå ved bruk av drone.



5.3 Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System

Den følgende beskrivelsen er tatt fra NMBU sin sluttrapport for sin del av prosjektet, delmål 2.1 – "Teste nøyaktigheten ved å anvende bildedata fra andre kilder enn ordinære flybilder i skogbruksplanlegging, og for andre forvaltningsformål. Andre kilder vil først og fremst være bilder innhentet ved hjelp av droner."

Bruk av data fra droner gir nye muligheter i skogbruksplanleggingen. I denne studien matchet vi bilder tatt fra en drone på samme måte som det kan gjøres med bilder tatt med fly. Basert på et feltdatasett fra 38 prøveflater og dronedata fra Våler kommune i Østfold, benyttet vi den samme metode som vi er kjent med fra flybåren laserscanning og beregnet middelhøyde, overhøyde, treantall, grunnflate og volum. Nøyaktigheten av takstresultatene ble omtrent

den samme som om man hadde benyttet vanlige flybilder eller laser. Dronebilder kan være en nyttig datakilde for å skaffe data for skogbruksplanlegging for små områder. Bruk av egen drone gjør at man kan være mer fleksibel i forhold til opptakstidspunkt, men batterikapasitet og flyrestriksjoner legger begrensninger på størrelsen av arealet. Videre må man samle forholdsvis mange prøveflater innenfor det relativt lite området og dette gjøre at takstkostnaden pr arealenhet kan bli høy sammenlignet med bruk av data fra fly.

Forskningsartikkelen "Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System", Remote Sens. 2015, 7, 9632-9654 kan leses her: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2366330>

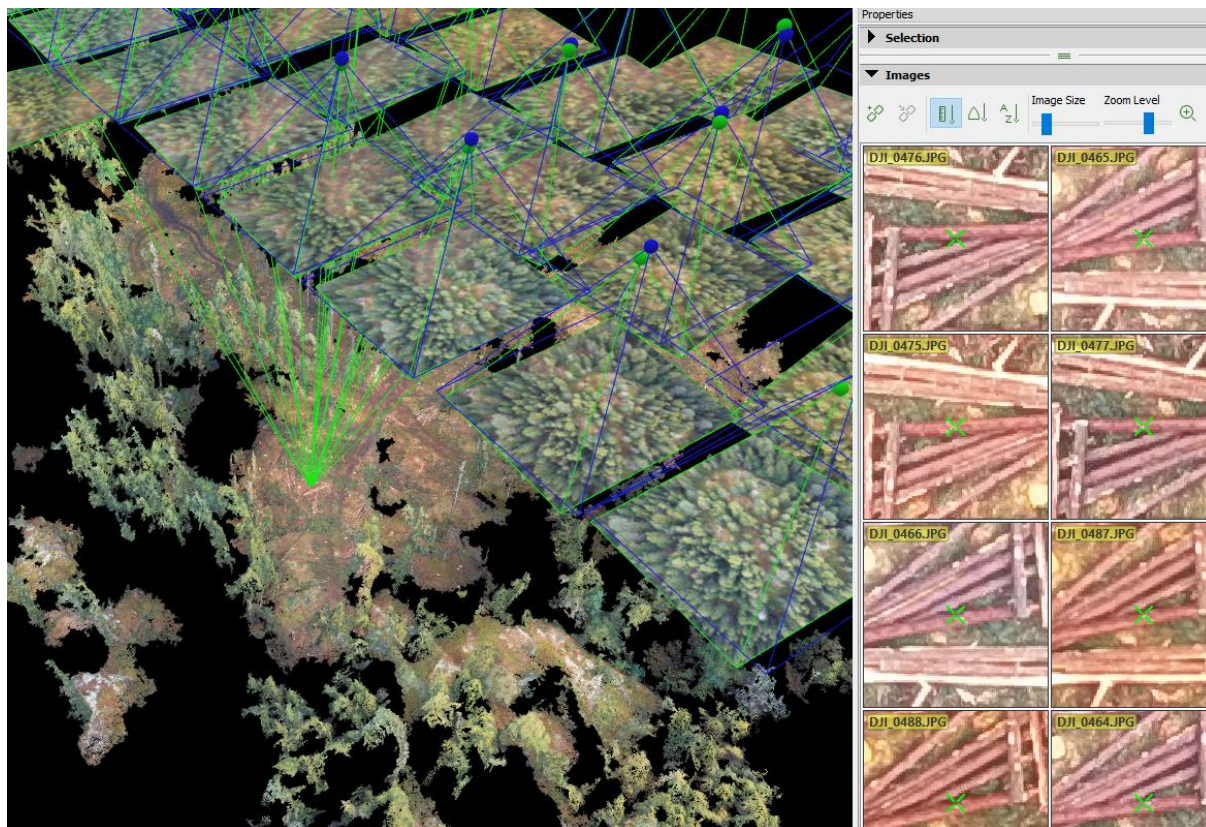
Video som beskriver fremgangsmåten: <https://vimeo.com/128856284>

6 Programvare

Vi har gått igjennom noen av de forskjellige programvareløsninger som er tilgjengelig for prosessering av dronebilder for å genere en punktsky og kart. Fokuset er programvare med lav brukerterskel og hvor vi ser praktisk bruk. Men vi har også beskrevet profesjonelle løsninger.

For å lage kart som kan brukes til analyse er det mange forskjellige systemer og metoder. I prosjektperioden har det skjedd en stor utvikling og det er mange forskjellige muligheter. I hovedsak så er det to alternativer, lokal prosessering av data eller skytjenester.

Grunnprinsippet i fotogrammetri er man kan indentifisere samme punktet i to (eller flere) forskjellige bilder og ut i fra dette kan man estimerer et 3D punkt. Om man skal sammenlikne flere bilder så er dette veldig datakrevende. I tillegg er utfordringen med skog at den er uniform og det kan være utfordrende for programvare å finne felles referansepunkter i tett skog. Dette kan til en viss grad løses med større overlapp når man flyr (80% sideveis og 90% framover) og flyhøyde. **Feil! Fant ikke referanseilden.** illustrere dronefotogrammetri ved hjelp av programmet Pix4D, her er det en stakk som er fellespunktet for 3D punktet. Man ser også utfordringen med tett skog, hvor det mangler punkter der det har stått skog.



Pix4D med punktsky og bildene som er grunnlaget for 3d punkt.

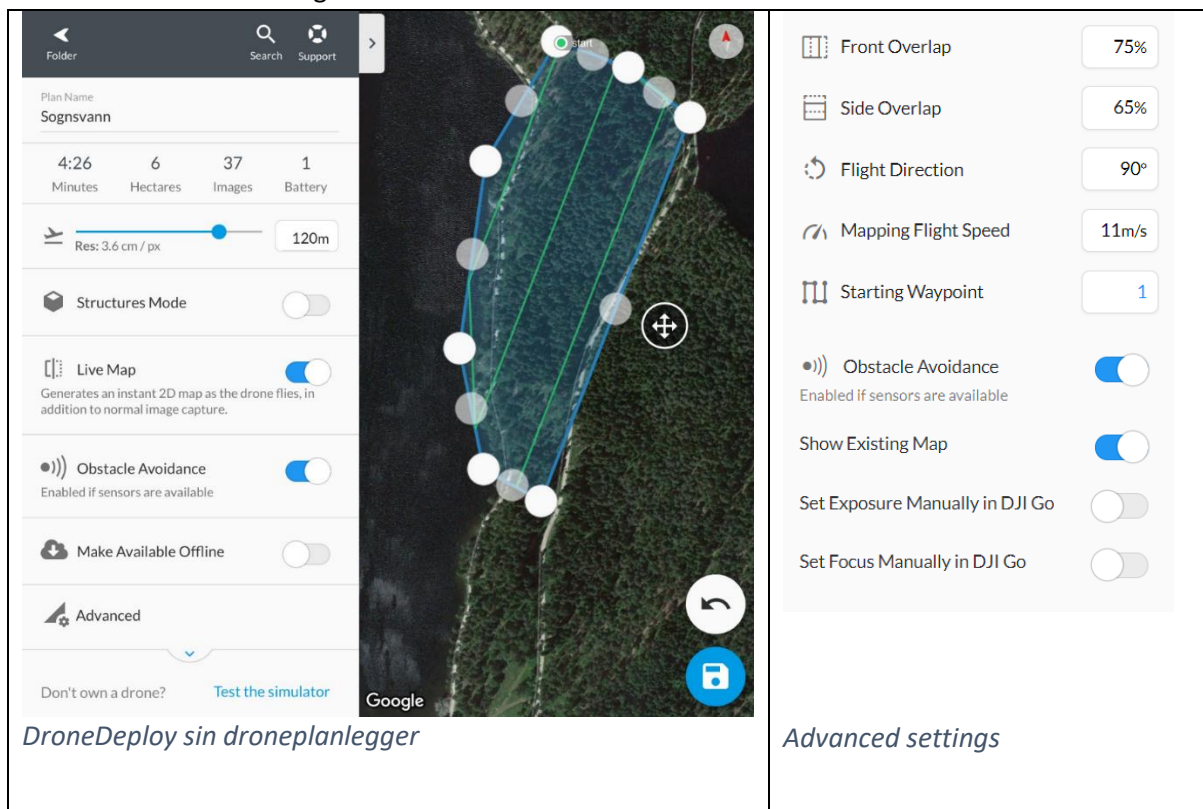
6.1 Planlegge en flyvning

Det er en del forskjellige programvarer for planlegging og gjennomføring av flyving. For dette prosjektet har vi i hovedsak brukt DroneDeploy (DD) (se mer detaljer i kap. 6.3). Nedenfor er det gjennomgang av hvordan man kan planlegge og gjennomføre flyving i DroneDeploy, men de andre programmene/appene har tilsvarende funksjonalitet.

Programmet er utviklet både for Android og iOS, for vårt prosjekt testet vi iOS. Planleggingen er enkel og man kan planlegge flyvning i skogen eller på forhånd ved å laste ned bakgrunnsbilder slik at man ikke har behov for nettilgang. Eksempelet baserer seg på DJI MAVIC drone, men framgangsmåten er lik for andre droner som støtter DroneDeploy.

1. Etter at man har startet DroneDeploy og logget seg inn, kan man legge til en fly plan. (Plan a map flight). Her får man estimert flytid og batteribruk basert på område og inngangsparameterne.
 - a. Først definerer man et prosjektnavn,
 - b. Bestemmer flyhøyde, fra 20 meter til 500 meter. Husk at det er begrensning på 120 meter i Norge. Vår erfaring er at en bør fly så høyt som mulig for best resultat når man flyr over skog.
 - c. «Structures Mode», om man ønsker å kartlegge en bygning eller et annet objekt hvor hovedmålet er å presentere en 3d figur.
 - d. Live Map, om man har en betalt utgave av DroneDeploy og benytter DroneDeploy sin iOS app under flyvingen kan man få et enkelt sanntidskart over området. Dvs. et enkelt «live ortofoto»

- e. Obstacle Avoidance, er om man ønsker å bruke drone sine innbygde sensorer til å unngå hindringer. (ikke alle droner støtter dette)
- f. Advance
 - i. Her kan man juster sideoverlapp, frontoverlapp, retning, maks flyhastighet, endre start punkt, og kamerainnstillinger. Her bør man vurderer flytid opp mot ønsket kvalitet, generelt gir større overlapp bedre resultat.
- g. Der etter tegner man inn ønsket flyområde i kartvinduet og DD estimerer flytid og hvor mange bilder som skal tas samt batteribruk.



Når man er fornøyd med området og parametrene trykk man på lagre (blå diskett), og om alt er ok, trykker man på start. Da vill DroneDeploy gjennomgå en sjekklister for å sjekke at man er klar til å fly med dronen og at alt er i henhold til gjeldende tillatelser (om det er flyrestriksjoner i området, og under tillatt flyhøyde). Om alt er godkjent, så trykker man på start og dronen vil ta av og fly til valgt «starting waypoint» og ta bilder for å oppnå forhåndsdefinert overlapp. Etter at dronen har flydd over området vil den returnere til start og lande automatisk. Den automatisk landing fungerer så lenge det ikke er hindringer i landingsområdet. Men man har muligheten for å ta over automatisk flygning og lande manuelt (Det er forskjellige løsninger basert på dronetype, så dette bør en gå igjennom før flyving). Etter at landingen er gjennomført, kobler man dronen til datamaskin, eller en setter dronen sitt SD kort i datamaskinen, for så å opplaste bildene til DroneDeploy sin hjemmeside eller annen programvare.

Vi vil ikke gå i detalj på metoden DroneDeploy bruke til å prosessere bildene for å levere et ferdig produkt. Men det er viktig å forstå grunnprinsippene for å få et bra resultat. For å kunne sette sammen bildene til et kart så sammenlikner DD alle bildene mot hverandre og finner fellespunkter i bildene og ut ifra dette generes et bilde.

6.2 Egen datamaskin.

Det er forskjellige løsninger for å prosessere resultater på sin egen datamaskin. Men felles for alle løsningene er at de stiller store krav til datakraft for at prosesseringen ikke skal ta alt for lang tid, i tillegg at det er dyre programvareløsninger (Fra 35 000 NOK og oppover). Man bør i tillegg ha en dedikert maskin til prosessering siden det vil ta nesten alle ressursene til å gjennomføre kalkulering og det kan ta flere timer. Nedenfor er det gjennomgang av de programmene vi har testet.

6.2.1 Agisoft

Agisoft (<http://www.agisoft.com>) er utviklet av et russisk selskap og er et veldig kraftig verktøy for prosessering av dronebilder. Programmet er sett på som bransjestandard. Det er også det programmet hvor vi har sett det beste resultatet, sammenliknet med DroneDeploy, men liten forskjell i forhold til Pix4d. Men det har en litt høyere brukerterskel enn Pix4D. Prisen er 3.500 EUR for programvaren med gratis support for ett år. Agisoft trenger en egen app for planlegging og gjennomføring av flyging.

6.2.2 Pix4d

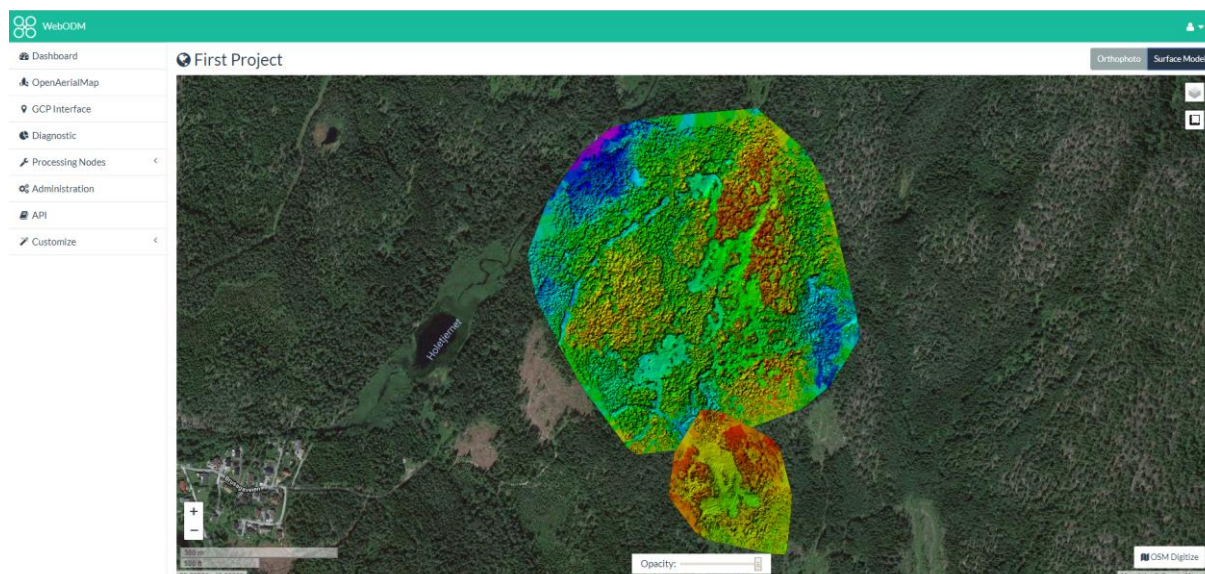
Pix4d (<https://www.pix4d.com/>) er program som er likt Agisoft, og omtrent lik pris (4.000 EUR). Forskjellen mellom disse programmene er små når det kommer til sluttproduktet. Men Pix4D har et mer intuitivt brukergrensesnitt i tillegg har det utviklet en egen app for planlegging og gjennomføring av flyging. I vår sammenlikning, så er resultatene veldig like, men vårt inntrykk er at Pix4d sitt resultat er litt dårligere enn Agisoft.

6.2.3 OpenDroneMap (ODM)

OpenDroneMap (<https://www.opendronemap.org/>) er en åpen kodeløsning som er gratis. Men dette er også den løsningen med høyest brukerterskel, siden man trenger å installere programvare i Windows eller å kjøre egen server. Da vi testet løsningen leide vi, i vår gjennomgang, en server fra Google Cloud² og brukte framgangsmåten «Run it on the cloud³». Dette er for å kunne velge en datamaskin med nok minne og kraft. Men etter at selve oppsettet er gjennomført er ODM ganske enkelt å bruke. Man logger seg på sin definerte "server/tjener" og laster opp bildene man ønsker å analysere. Vårt inntrykk er at kvaliteten på resultatet er bra, men ikke så bra som Agisoft og Pix4D, men på høyde med DroneDeploy. ODM kan være en ganske så kosteffektiv løsning om man har en egen kraftig datamaskin eller leier maskinkraft når det trengs.

² <https://cloud.google.com/>

³ <https://github.com/OpenDroneMap/WebODM/blob/master/README.md#run-it-on-the-cloud-google-compute-amazon-aws>



Resultat i OpenDroneMap

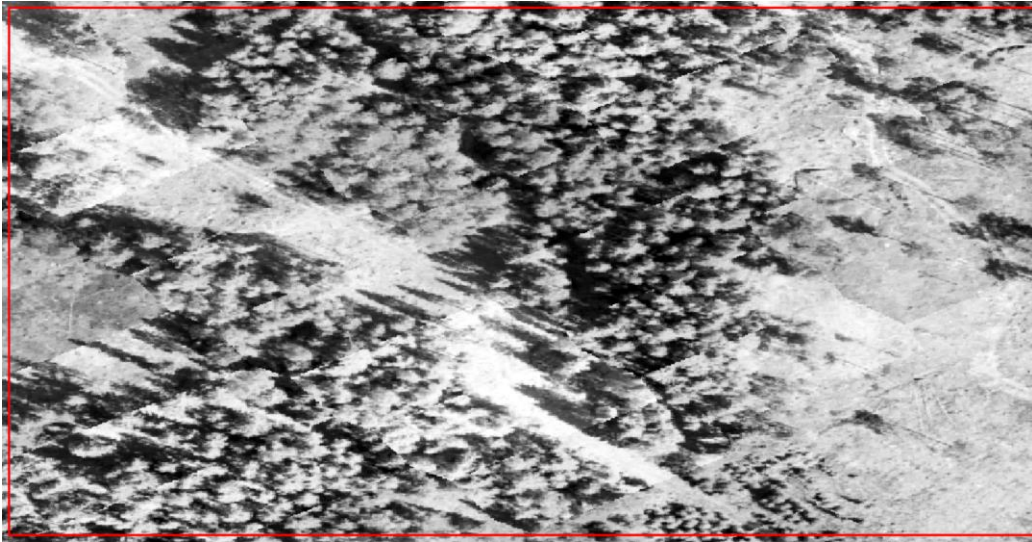
6.2.4 DroneMapper

DroneMapper (<https://dronemapper.com>) har to løsninger; gratisversjon DroneMapper RAPID som kan prosessere inntil 150 bilder om gangen og REMOTE EXPERT som kan analysere opp til 1500 bilder. RAPID produserer Digital Elevation Models og Orthomosaikk kart i GeoTIFF format, WGS84 Lat /Lon projeksjon.

For mindre arealer tar det kort tid å generere en "forenklet" ortomosaic, en såkalt preview. For 150 dronebilder tok dette 18 minutter, mens det tok 3 ½ time å lage et ferdig ortofoto. (På en Windows 64 PC, Intel Core i7, 1.8 GHz, 16 GB RAM)

Orto previewen som genereres er i sorthvitt men har en kvalitet som er god nok til at den kan benyttes til oppdatering av skogbruksplan etter hogst.

Det ser ut til at kvaliteten på ortofoto generert med DroneMapper RAPID ikke blir like bra som via skytjenestene, f.eks. DroneDeploy (se eksempel neste side), men kvalitetsforskjellene er såpass små at det ikke forsvares å kjøpe abonnement på DroneDeploy dersom en ikke har mer enn 150 dronebilder, og bare har behov for å lage et ortofoto som f.eks. skal benyttes til å oppdatere bestandsgrenser etter en hogst.



Orto preview generert med DroneMapper RAPID



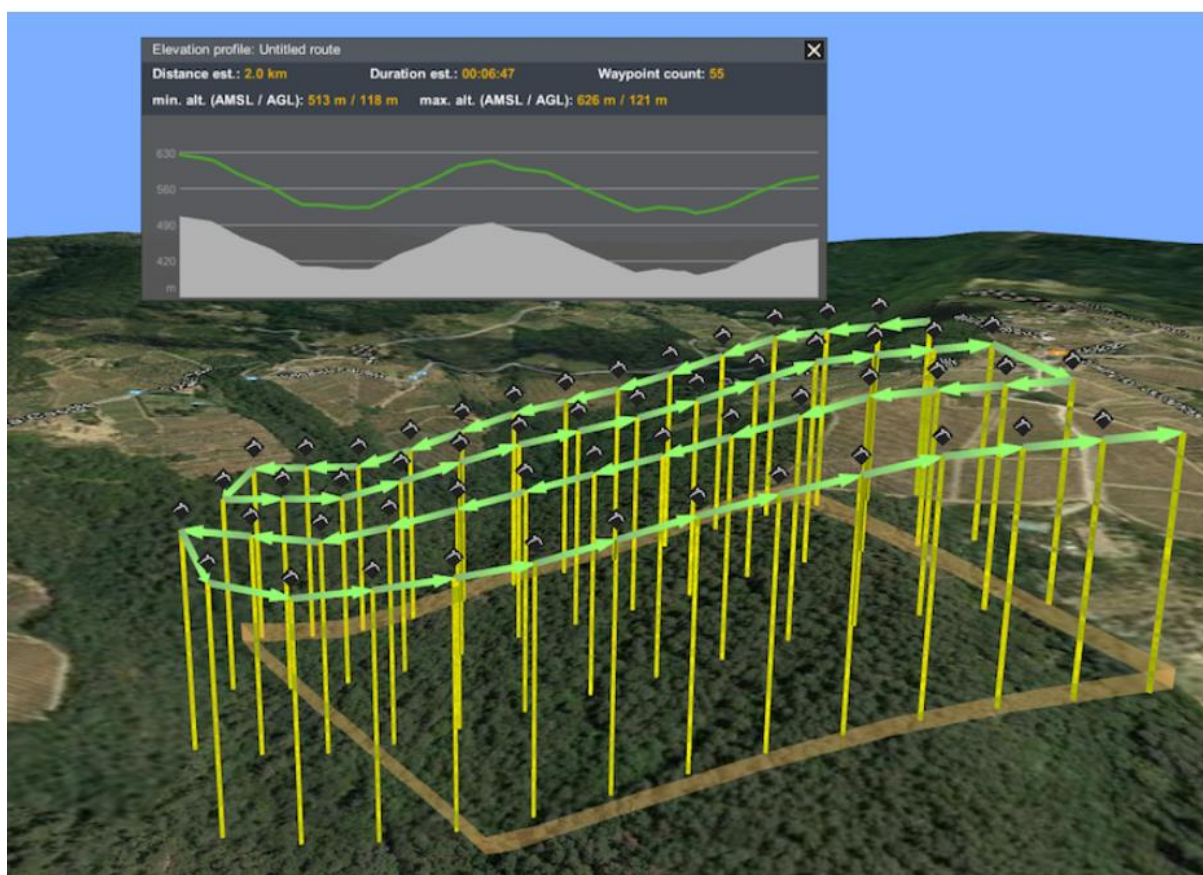
Ortofoto generert med DroneMapper RAPID



Ortofoto generert med DroneDeploy

6.2.5 UgCS

UgCS (<https://www.ugcs.com>) er også et program som kan benyttes for kartlegging. Vi har ikke gjort egne forsøk med dette programmet, men produsenten opplyser at det er mulig å legge inn egen terrengmodell for kartlegging av arealer med varierende topografi, se eksempel i bildet under. Prinsippet for bruk av dette programmet er det samme som for andre programmer omtalt her, men ikke alle dronetyper støttes. Hovedsakelig støttes de vanligste dronetyperne som DJI Phantom og Mavic Pro. Prismessig koster en brukerlisens kr 5500,- årlig, men det er mulig å betale kr 600,- pr mnd ved sporadisk bruk.



6.3 I «skyen»

6.3.1 DroneDeploy.

DroneDeploy (<https://www.dronedeploy.com>) er en løsning hvor man laster opp bildene og prosesseringen skjer i skyen. Man trenger altså ikke å installere programvare på egen PC. Det er en abonnentbasert løsning, men inntil januar 2019 ble det tilbudt en gratis pakke med begrenset funksjonalitet (kan ikke eksportere ut f.eks. ortofoto etter at det er generert). Dette gratisalternativet er ikke lenger tilgjengelig. Vår erfaring er at resultatet blir bra, så lenge bildene som blir analysert har tilstrekkelig overlapp og flyhøyde.

Versjon	Kostnad USD/mnd	Max ant. Dronebilder pr kart	Eksportformater
Pro	83 \$ ved årsabonnement, 129 \$ ved månedsbetaling	1 000	Ortofoto som TIFF, JPG 3D som OBJ
Business	250 \$ ved årsabonnement, 399 \$ ved månedsbetaling	3 000	Som for Pro men i tillegg PointClouds, LAS, XYZ, Shapefiles, DXF, Contours

6.3.2 Maps Made Easy (MME)

MME (<https://www.mapsmadeeasy.com/>) Dette er også en skybasert løsning som er ganske lik DroneDeploy, hvor hovedforskjellen er at man betaler for bruk hvor DD har en abonnementsløsning.

DroneDeploy koster minimum ca. 720 kr/mnd ved årsabonnement og ca. 1.100 kr ved betaling pr mnd. Ved betaling pr måned kan en stoppe og starte abonnementet sitt når en trenger det.

Dersom en trenger en skytjeneste for generering av ortofoto bare noen ganger i året kan MapsMadeEasy være et aktuelt alternativ.

I MME kjøper en et visst antall «points», som da gir mulighet til å bruke tjenesten og generere ortofoto fra dronebilder. Jo flere «points» en kjøper samtidig jo billigere er hvert enkelt «point».

Det er følgende prismodell (oversatt fra dollar til NOK)

Kr	Points	Dekingsområde-dekar	Kostnad pr dekar i kr
69	300	480	0.143
258	1 500	2 600	0.099
473	3 000	5 400	0.088
860	6 000	11 200	0.077
1 290	10 000	20 000	0.064
3 655	30 000	64 000	0.057
5 762	50 000	120 000	0.048

Dvs. at om en kjøper 6 000 points for ca. 860 kroner kan en generere ortofoto for ca. 11.000 dekar, men alle jobber som ikke koster mer enn 250 points er gratis.

MME har også sin egen app, MapPilot (finnes kun for iOS, og ikke for Android enheter) der en kan planlegge flyområder. Kvaliteten på de ortofotoene som generes ser ut til å ha sammenlignbar kvalitet med de som genereres fra DroneDeploy.

6.3.3 PrecisionMapper

PrecisionMapper (<https://www.precisionmapper.com>) er en annen skytjeneste, hvor en kan generere ortofoto mm for inntil 60 flyvninger/år kostnadsfritt (maks 5 stk/måned). De har også sin egen app – PrecisionFlight som fungerer likt som den fra DroneDeploy.

6.3.4 WebODM Lightning

WebODM (<https://webodm.net/>) er en skytjeneste som bruker teknologien til OpenDroneMap til å prosessere av bilder. Dette er en løsning hvor man kjøper kreditts som blir brukt til å lage kart. Det koster det 700 USD for 58. 000 kreditts som gjør at man kan prosessere 70.000 hektar.

6.3.5 Sammendrag Skytjenester

Alle de skytjenestene vi har testet leverer ortofoto og LAS-filer (mm), og kvaliteten på de genererte produktene virker til å være relativt like, men DroneDeploy er nok den tjenesten som er mest avansert og som har flest brukere, og derigjennom størst utvikling.

Men, DroneDeploy er en betalingstjeneste en må abonnere på, og dette er en ulempe om en kun trenger tilgang til tjenesten sporadisk.

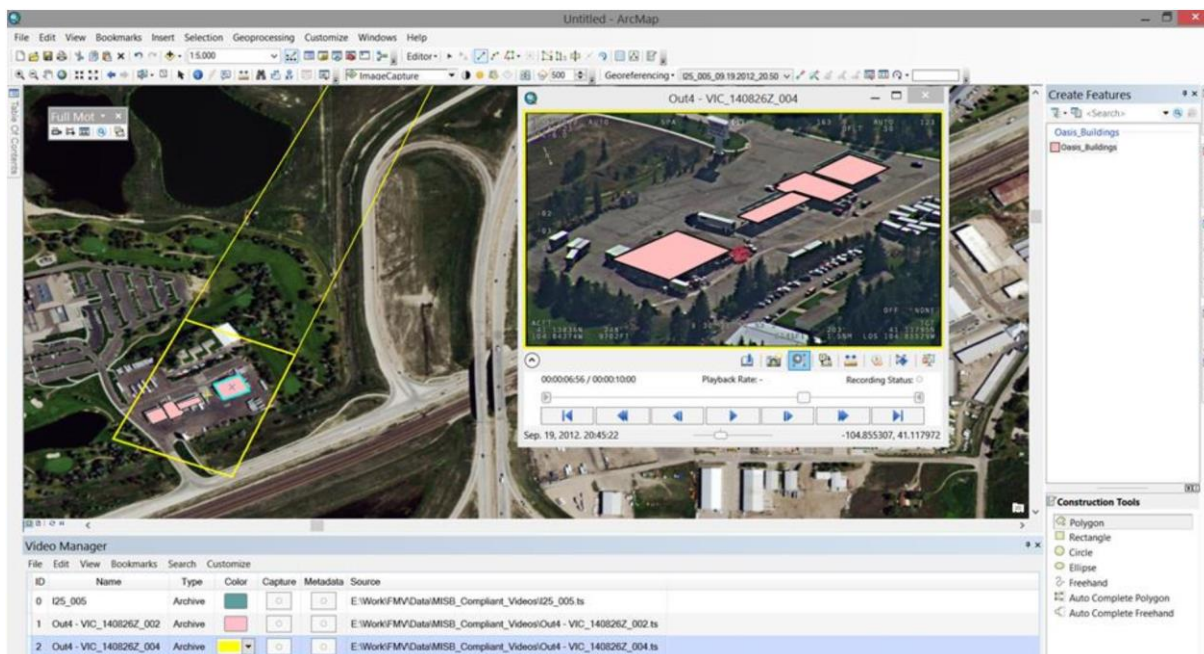
Med MapsMadeEasy betaler en for det behovet en har ved å kjøpe "points", og denne tjenesten anbefales dersom en har droneopptak med mer enn 150 bilder, fordi en kun betaler for det en har bruk for.

Dersom en kun har sporadiske behov for å genere ortofoto mm anbefales PrecisionMapper i og med at denne er gratis for inntil 5 "prosesserings" pr måned.

6.4 Georeferering av video

ArcGIS har en tilleggsmodul, Full Motion Video, der en kan vise video sammen med andre kartdata, f.eks. bestandskartet. For at dette skal fungere forutsetter det at videoen er såkalt MISB-kompatibel, dvs. at den inneholder mye informasjon fra dronen om kameravinkel, brennvidde på kamera, korrekt tidsangivelse mm.. Dette er ikke informasjon som normalt blir registrert i enklere droner, som f.eks. DJI Mavic Pro. Vi har derfor ikke hatt anledning til å teste dette, fordi vi ikke har funnet noen drone app som gjør at de nødvendige dataene som trengs for å lage en MISB-kompatibel video blir registrert.

Men, dersom det blir enklere å lage en MISB-kompatibel video vil dette kunne være et godt hjelpemiddel i forbindelse med ajourføring av skogbruksplan, vurdering av behandlingsbehov mm., fordi det området/bildet som videoen viser også er "avmerket" i bestandskartet. En kan da digitalisere direkte inn områder som trenger spesiell behandling, basert på det en ser i videoen.



Illustrasjonen over viser "fotavtrykket" fra videoen sammen med ønsket kartdata

6.5 Oppsummering programvare.

Den enkleste måten å genere ortofoto mm basert på dronebilder er å velge en skytjeneste. Da trenger en ingen lokal programvare, men en oppretter bare en konto hos ønsket leverandør. All prosessering av data skjer i "skyen" og belaster derfor ikke lokal PC.

- Den beste løsningen er DroneDeploy, men denne er ikke gratis.
- Dersom en bare har sporadisk behov for å genere ortofoto mm. vil vi anbefale PrecisionMapper, der en kan generere inntil 5 "prosjekter" pr måned gratis.

7 Oppsummering av prosjektet.

Det har skjedd veldig mye utvikling på både drone- og programvaresiden i løpet av prosjektperioden på 4 år.

Det er nå veldig enkelt å planlegge og gjennomføre en droneflyging, samt å få generert ortofoto mm vha. skytjenester.

Basert på våre erfaringer for det praktiske utøvende skogbruket har droner to viktige og enkelt tilgjengelige funksjonsområder:

- Lage nye ortofoto for ajourføring av skogbruksplan og dokumentasjon av f.eks. miljøhensyn
- Extended eyes – dvs. bruk av drone for å få bedre oversikt fra luften. Dette kan være nyttig for eksempel i tett skog, overblikk over store arealer eller i vanskelig tilgjengelig terreng, der man vil ha stor nytte av et oversiktsbilde i fra et helikopterperspektiv.

Når det gjelder bruk av drone for å lage nye skogbruksplaner basert på bildematching viser det seg at dette er teknisk mulig og at det gir et nøyaktighetsnivå som er sammenlignbart med bruk av laserdata. Men, utfordringen er at det må tas et relativt stort antall prøveflater som gjør at kostnadene blir høye.

8 Kildehenvisning

- Eid, T., Gobakken, T. & Næsset, E. 2004. Comparing stand inventories for large areas based on photo interpretation and laser scanning by means of cost-plus-loss analyses. *Scand J For Res.* 19: 512-523.
- Gobakken, T. Bollandsås, O.M. & Næsset, E. 2014. Comparing biophysical forest characteristics estimated from photogrammetric matching of aerial images and airborne laser scanning data. *Scand. J. For. Res.*, in press.
- Osborn, J and Dell, M and Stone, C and Iqbal, I and Lacey, M and Lucieer, A and McCoull, CJ, *Photogrammetry for Forest Inventory: Planning Guidelines, Forest and Wood Products Australia, Australia, PNC326-1314 (2017) [Contract Report]*
- Puliti, S., Ørka H O, Gobakken T, Næsset E. 2015. Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System, *Remote Sens.* 2015, 7, 9632-9654
- Talbot B., Ralph J., Astrup R. 2018. An operational UAV-based approach for stand-level assessment of soil disturbance after forest harvesting. *Scand J For Res.* Vol 33, No 4, 387-396
- Nevalainen, P.; Salmivaara, A.; Ala-Ilomäki, J.; Launiainen, S.; Hiedanpää, J.; Finér, L.; Pahikkala, T.; Heikkonen, J. Estimating the Rut Depth by UAV Photogrammetry. *Remote Sens.* 2017, 9, 1279

Takk til følgende aktører:

Prosjektet må takke følgende aktører for uvurderlig hjelp og bistand til gjennomføring av prosjektet.

- Stefano Puliti Stefano.Puliti@nibio.no
- Fredrik Holte Breien



NORSKOG

Pb 123 Lilleaker

0216 OSLO

+47 48 17 10 00

firmapost@norskog.no

www.norskog.no