

Forord

Masteroppgaven er skrevet ved Institutt for naturforvaltning (INA) på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Den omhandler droner og forskjellige typer kameraer flydd i ulike flyhøyder. Det blir sett på nøyaktighet og kvalitet til kartlegging av yngre skog. Dette for å se om droner vil være et potensielt og effektivt verktøy som kan brukes kommersielt i skognæringen.

Bakgrunnen til problemstillingen er stor personlig interesse i bruk av ny teknologi som kan utvikle skognæringen i sin helhet. Fra tidligere arbeidserfaring i min sommerjobb som skogtaksator, har jeg sett potensielle utfordringer og muligheter for forbedringer innen kartlegging av skog. I gjennomførelsen av dette prosjektet har det blitt lagt ned store ressurser for å gjøre dette best mulig.

Jeg vil overrekke en stor takk til mine veiledere Hans Ole Ørka og Tron Eid, som har bidratt med konstruktive tilbakemeldinger underveis i prosessen. Fylkesmannen i Hedmark ved Torfinn Kringlebotn var til stor hjelp under oppstarten av oppgaven, der jeg fikk god støtte og tilbakemeldinger. Finn Sønsteby ved landbruksavdelingen i Ringsaker kommune skaffet til veie kontorplass og forsøksområder hos private skogeiere i kommunen. Uten hjelp fra Blinken AS ved Patrick Johannessen, Blinken Nord AS ved Håvard Aas og Mjøsplan AS ved daglig leder Even Sjøli hadde ikke dette prosjektet vært mulig å gjennomføre. De har med stor velvilje stilt med utstyr og nødvendig arbeidskraft.

Tidligere daglig leder i Blinken AS, Gunnar Johannessen hadde så stor tro på bruk av droner i skog at han sa han var villig til å støtte prosjektet med fri bruk av droner og arbeidskraft. Det er jeg veldig takknemlig for, for uten den støtten jeg har fått fra Blinken AS hadde det vært umulig for meg å få gjennomført denne masteroppgaven. Dessverre fikk ikke Gunnar Johannessen oppleve ferdigstillelsen av min masteroppgave. Gunnar Johannessen døde 1. september 2014. Et raust, hyggelig og godt menneske var han. Så stor takk til han. Men også en stor takk til hans sønn Joar og de andre på Blinken AS for fortsatt god støtte.

Ønsker å gi en stor takk til grunneierne som stilte sine skogeiendommer til rådighet for dette prosjektet.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 18. juni 2015

Pål Hanssen

Sammendrag

Målet med denne studien var å undersøke mulighetene for å bruke droner som et verktøy for skogtaksering av ungskogbestand. Dette fordi informasjon om skoglige egenskaper i slike bestand er viktige for å vurdere behovet for ungskogspleie. I Ringsaker kommune i Hedmark fylke ble to områder utprøvet, hver av områdene var på om lag 400 daa. Der ble det etablert 30 prøveflater (á 250 m²) i hvert område i hogstklasse II. Det ble fløyet på 80, 100 og 120 meters høyde over bakkenivå. Ulike kameratyper ble benyttet; «Red green blue», «Near infrared» and «Rededge». Kvaliteten ble sikret av passpunkter og innmåling av disse. I forsøket ble det prøvd å finne gode modeller for å kartlegge trehøyde og treantall.

For trehøydemodell ble det ved en lineær regresjonsanalyse med bruk av Bayesian informasjon kriterium ble det funnet en tilfeldig feil på 15,6 % ved bruk av «Rededge» kamera på 80m flyhøyde. Det ble funnet en signifikant interaksjon mellom kameraene, der «Rededge» kamera hadde de beste modellene for trehøyde. Det ble ikke funnet noen gode modeller for å kartlegge treantall.

Denne studien er det vanskelig å konkludere, på grunn av inntrufne problemer. Det største problemet var for lite datagrunnlag, fordi innsamlingen av dronedata feilet. Til tross for liten datamengde og inntrufne problemer underveis har droneprosjektet vært interessant. Metoden som ble brukt for trehøydemodellene ser ut til å ha et potensiale for å forklare høyden korrekt i ungskog. For treantallmodellene er det behov for mer testing for å finne en god metode.

Abstract

The objective of this study was to investigate the possibilities to use UAVs for forest inventory of young forest stands, because information on biophysical properties in such stands are important to assess the need for and plan precommercial thinning In Ringsaker municipality in Hedmark county, two areas were mapped, each about 400 daa.

Mapping where done at three different altitudes, 80, 100 and 120 meters. Different types of cameras were tried, «Red green blue», «Near infrared» and «Rededge». The quality was ensured by ground control points and surveying of these. The study tried to find good models for mapping the tree heights and stem numbers.

For tree height, a linear regression analysis, using Bayesian information criterion as model selection, it was found a random error on 15,6 % with «Rededge» camera at 80m flight height. It was a significant interaction between cameras, where «Rededge» camera had the best models for tree heights. No good models were found for surveying number of stems.

It is difficult to conclude which models is best from this study, because of inconvenience issues. The biggest problem was lack of data because of problems in the collection of data using the UAV. It seems to be a potential in the models for tree height in young forest, however the models for the number of stems need more testing.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Skogbruksplanlegging.....	1
1.3 Ungskogspoleie	2
1.4 Droner.....	3
1.5 Sensorer.....	4
1.5.1 Lasersensor.....	4
1.5.2 Fotogrammetri.....	4
1.6 Problemstilling	5
2. Material og metode.....	6
2.1 Studieområde.....	6
2.2 Feltdata	8
2.2.1 Bakgrunnsinformasjon over bestandene i forsøksområdet	8
2.2.2 Utvelgelse av prøveflater sin koordinat.....	8
2.2.3 Praktisk arbeid i felt	9
2.2.4 GPS instruksen	10
2.2.5 Oppsummering av observasjoner i felt.....	10
2.2.6 Passpunkter.....	12
2.2.7 Utvelgelse av passpunkter i terrenget.....	12
2.2.8 Type signaler	13
2.2.9 RMSE-verdier for passpunkter.....	14
2.3 Drone og sensor data	15
2.2.1 Spesifikasjoner til kameraer	16
2.2.2 Innsamling av dronedata	17
2.2.3 Prosedyrer og planlegging.....	17
2.2.4 Flygning med drone	18

2.4 Laser data	18
2.5 Prosessering og bearbeidelse av data	19
2.5.1 Prosesseringen av dronedata med passpunkter	19
2.5.2 Bearbeidelse av data i R	20
2.5.3 Kvalitetssikring av punktskydata	20
2.5.4 Punktskyvariabler	21
2.6 Statistisk analyse	22
2.6.1 Statistisk analyse ved trehøyde	23
2.6.2 Statistisk analyse ved treantall	23
3. Resultater	24
3.1 Høydemodeller	24
3.1.1 Høydemodeller med 30 prøveflater	24
3.1.2 Høydemodeller med 21 prøveflater	25
3.2 Tetthetsmodeller	28
3.2.1. Tetthetsmodeller med 21 prøveflater	28
4. Diskusjon	31
4.1 Innhenting og prosessering av dronedata	31
4.2 Passpunkter	33
4.3 Feltobservasjoner	33
4.4 Statistisk analyse	34
4.5 Resultater	34
5. Konklusjon	36
6. Referanser	37
Vedlegg	42

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

De siste årene har markedet av droner eskalert kraftig. Mange fagfelt har sett på bruken av droner som en positiv utvikling av sitt arbeidsfelt. Droner har blitt sett på som et potensielt verktøy til å kartlegge eller overvåke områder, som ikke er lett tilgjengelig eller innehar en høy risiko ved bruk av andre metoder. Denne måten å kartlegge på er også sett på som en kostnadsbesparende metode (Hardin & Hardin 2010). Europakommisjonen og forskere ser at droneteknologien og bruken av disse er kommet for å bli (Hardin & Hardin 2010; Samferdselnytt 2015).

Skogbruksplanleggingen i Norge er i endring, per i dag sliter takstselskapene med å få dette økonomisk gunstig. Det viser seg at behovet for konkurranse er viktig, for å skape god produktutvikling. Dette vil gi økt betalingsvilje for skogbruksplaner (Bøhn et al. 2015b). Et vanlig fly som ble brukt i områdetakster kan kartlegge store områder på kort tid, mens en drone som eBee kun har flytid på maksimum 50 min. Den vil da kunne kartlegge områder på omlag 1 000 daa på en flygning. Dette gjør dronen til et mulig suppleringsverktøy i kartleggingen (Hæhre Entreprenør AS & TerraTec AS 2014). En gjennomsnittlig skogeiendom i Norge er på 550 daa (Statistisk sentralbyrå 2014), noe som gjør dronen til et effektivt verktøy til kartlegging av en enkelt eiendom.

Klimaet er i forandring, noe som vil påvirke økosystemet, og dette kan by på utfordringer. For skogbruket vil det kunne bety økt vekstsesong på opptil 12 uker, og økning av det produktive skogarealet med over 30% inn mot 2100 (Aaheim 2009). Ved at hele økosystemet vil forandre seg vil treslag som gran kunne få større konkurranse fra andre arter. Furu vil trolig bli mer konkurransedyktig, og varmekjære treslag vil få større utbredelse (Fronzek & Carter 2007; Kellomäki et al. 2000). Slike forandringer kan føre til mer skogskader fra for eksempel kraftige stormer eller tørke. Det kan da også oppstå økning i soppsykdommer og kraftige insektsangrep (Aaheim 2009). Slike endringer vil kunne medføre behov for hyppigere kartlegginger i ulike situasjoner.

1.2 Skogbruksplanlegging

Skogbruksplanlegging har en lang historie, der den første planen ble produsert i 1875 (Eid et al. 2002). Denne typen planlegging ble ikke vanlig i Norge før på 1940-tallet, da begynte

Norske Skogselskap å produsere planer. Skogbruksplaner ble godt mottatt hos skogeiere rundt i Norge, siden det var bekymringer for ikke å ha en langsiktig god tømmer-tilgang (Eid et al. 2002).

Det har alltid vært fokus på å redusere kostnadene ved skogkartlegging. Dette ble gjort ved å utnytte teknologi som laserskanning og fototolkning (Næsset 1997b). Fototolkning ble tatt i bruk på 1970-tallet for fremstilling av skogbruksplaner, og ble et viktig verktøy i de neste ti-årene. Ved begynnelsen av årtusenskiftet var denne metoden fremdeles den mest brukte, og ble benyttet på 60-70% av det takserte arealet (Eid et al. 2002). Flybåren laserskanning (FLS) ble brukt til kartlegging av vannforurensing allerede på 1970-tallet (Rayner & O'Neil 1979). Studier med lasertakseringer i skog ble foretatt i USA og Canada utover 1980-tallet (Aldred & Bonnor 1985; Nelson et al. 1984). Utfordringen i disse studiene var unøyaktige koordinatfestete laserpulser. Nøyaktigheten ble forbedret til 0,5m slik at kvaliteten på koordinatfestingen på laserpulsene ble tilfredsstillende (Næsset et al. 2004). Denne metoden ble først utprøvd i storskala i Norge på midten av 1990-tallet i forskningsøyemed med tanke på skogplanlegging (Næsset 1997a; Næsset 1997b). Fra forskningen ble FLS metoden funnet som et lønnsomt verktøy ved planlegging (Eid et al. 2002), og den kom på det kommersielle markedet i 2002 (Næsset et al. 2004). I SKOG22 sin arbeidsgrupperapport (2014) fremheves viktigheten med å rasjonalisere datafangsten ved bruk av nytenkning og teknologi.

På slutten av 1990-tallet ble det satt fokus på at den enkelte skogeier skulle ha mulighet til å bestille skogbruksplan når dette passet den enkelte skogeier (*Skogbruksplanlegging : skogbruksplanlegging som skogpolitisk virkemiddel framover* 1998). Ventetiden for at en skogeier skal få skogbruksplanen sin er på omlag 3 år. Det endelige produktet blir ikke overlevert før 1,5-2 år etter at rådataene fra laser og bilder er ferdige (Kjær & Nilsen 2007). For at skogeieren skal avvirke mer og ha en større aktivitet, er skogbruksplanen en av de viktige insitamentene (Vennesland 2006). Dette viser behovet for effektivisering av skogbrukskartlegging og redusere ventetid på skogbruksplaner til den enkelte skogeier.

1.3 Ungskogspleie

Formålet med ungskogspleie er å optimalisere kvaliteten og produksjonen. Dette blir gjort ved å fjerne uønskete trær og gi god plass til fremtidstrærne. Tidsperioden 2003-2012 i Norge ble det utført ungskogspleie med tilskudd på gjennomsnittlig 267 000 daa per år (Tomter & Dalen 2014). Som tidligere nevnt i Kjær og Nilsen (2007) er ventetiden på skogbruksplan forholdsvis lang, samtidig er tidshorisonten mellom skogbruksplanene på 10-15 år. Med slike

tidsintervaller vil skogens utvikling være stor, spesielt for ungsbogen. Kartlegging av behovet for ungsbogspleie er en av sakene som Skog22 har satt fokus på (Bøhn et al. 2015a). Med en hyppigere oppdatering av skogbruksplanen vil kontrahering av ungsbogspleien kunne bli bedre. Med kontrahering menes kontraktsinngåelse mellom aktør og skogeier, som skaper en kontinuerlig oppfølging av ungsbogspleie.

1.4 Droner

Utviklingen av droner har sin historie helt tilbake til første verdenskrig. Forsvaret i flere land bruker nå droner til overvåkning og krigføring (Tandberg & Jarslett 2013). I Norge har forskning og utvikling av droner kommet langt, der blant annet nanodronen, «Black Hawk», med en vekt på 18 gram blitt skapt som et rekognoseringsverktøy (Dalløkken 2014).

Det finnes utallige andre anvendelsesområder for droner. I NIFS sin rapport om Naturfareprosjektet (2014) kartlegges potensielle bruksområder ved bruk av droneteknologi. Her nevnes segmenter som inspeksjon av kraftlinjer, veger, jernbaner, bruer og utbygninger. I tillegg blir kartlegging av naturskader, skog, snødybde og skredfare ansett som potensielle bruksområder.

I Tyskland er det gjort en studie på bruken av droner under 5 kg med tanke på kartlegging av skog og landbruksarealer. Bruksområder for droner innenfor skog er det nevnt som overvåking av skogbranner og fredete naturskoger, samt kartlegging av skogsdrifter (Grenzdörffer et al. 2008). I Norge har det blitt foretatt en studie på Vestlandet der de kartlegger skog i bratt terreng med drone. Denne undersøkelsen omhandler dronens evne til å kartlegge driftsveier, siden det må graves veier for å få det fremkommelig til å kunne avvirke skogen. Bakgrunnen for undersøkelsen er om droner gjør denne prosessen mer lønnsom, samtidig som at miljøet blir spart (Norsk institutt for skog og landskap 2013). En studie foretatt i Belgia undersøkte om droners evne til å kartlegge løvskog med bruk av fotogrammetri. Nøyaktigheten ble sjekket mot resultater fra FLS. I denne undersøkelsen ble det brukt et «near infrared» (NIR) kamera (Lisein et al. 2013). Bruken av droner ser ut til å være et godt verktøy for å supplement ved kartlegging av skog.

På markedet finnes det flere typer droner, som helikopter-, fastvinge- og multirotdrone. De ulike typer dronene har forskjellige egenskaper, slik at de er tilpasset den enkelte arbeidsoppgave som er aktuell (Grøtli et al. 2014).

1.5 Sensorer

1.5.1 Lasersensor

Sensor som en laserskanner er har som tidligere nevnt blitt brukt som et viktig innsamlingsverktøy siden 1970-tallet (Rayner & O'Neil 1979). En laser fungerer ved at den sender ut flere hundre tusen laserpulser per sekund ned mot overflaten. Pulsene treffer vegetasjon og bakkenivå som reflekterer tilbake til laseren som et ekko. Tiden fra pulsen blir sendt ut til ekkoet returnerer blir målt. Ved å ha kontinuerlig opplysninger om flyets bestemte posisjon og samt vite lysets hastighet blir det beregnet avstanden til treffpunktet på laserpulsen. Disse beregningene har i dag en nøyaktighet fra FLS på 30-40 cm (Næsset 2001). Ut fra disse dataene kan man hente ut laserskyer som de bruker i skogkartlegging. Slik data kan man også hente ut fra bilder.

De siste årene har det kommet lasersensorer på markedet som er tilpasset til bruk med droner. Eksempler på slike lasere er Lidarpod fra Routsene som holder til i Skottland og Yellowscan fra L'Avion Jaune som har tilholdssted i Frankrike. Disse lasersensorene har en høy anskaffelseskostnad (Jaune 2015; Routsene 2015).

1.5.2 Fotogrammetri

Definisjonen for fotogrammetri er læren om målinger av fotografiske bilder. I målingene blir det bestemt de geometriske egenskapene som størrelse, beliggenhet og form av objektene i bildene. Innenfor fotogrammetri regnes registrering, tolkning og tyding av bildene. For kartleggingsformål som skogkartlegging kan flyfotogrammetri brukes (Geomatikkseksjonen et al. 2009; Grøtli et al. 2014)

For kartlegging av skog med bruk av fotogrammetri brukes forskjellige kameratyper ut fra hvilken informasjon som ønskes. De ulike kameraer som blir benyttet til dette formålet registrerer spektret av lys forskjellig, og dette gjør at kameraene fanger opp refleksjonene fra skogen på ulike måter (Colomina & Molina 2014). Synlig lys består av elektromagnetisk stråling med bølgelengde mellom 390 nm til 760 nm. Det synlige lyset gir samlet hvitt lys, men består av flere farger med ulik bølgelengde (Saude 1992). Dette spektret av synlig lys blir fanget opp av et normalt optisk kamera som RGB. Bølgelengdene som er over det synlige lyset er infrarød stråling som egentlig er varmestråling. Dette spektret av stråler har den egenskapen av de ikke blir absorbert av tåke og dis, og er derfor godt egnet til bruk ved kartlegging fra satellitter (Saude 1992). Med bruk IR-kameraer (infrarøde kamera) som «RedEdge» (RE) og «Near infrared» (NIR) kameraer blir dette spektret fanget opp.

Bildematcing brukes ved sammensying av mange bilder av et kartlagt område, dette gjøres ved å finne flest mulig gjenkjenningspunkter mellom bildene. Denne prosessen er bedre ved økende overlapp mellom bildene i området. Fra bildematchingen blir det laget en punktsky som beskriver objektene i det kartlagte området (Baltsavias et al. 2008). Slike datainformasjon over skogområdet blir brukt sammen med laserdata. Fra et studie i Norge med laserassistert seleksjon av prøveflater for arealbasert skogkartlegging ble flyfoto brukt til stratifisering av skogen før oppstart av feltarbeid. Stratifisering er her at skogen ble delt inn i bestemte grupper (Gobakken et al. 2013).

Det er flere aktører på markedet som selger sensorer til bruk på droner. Disse sensorene har en mye lavere anskaffelseskostnad enn for lasersensorene.

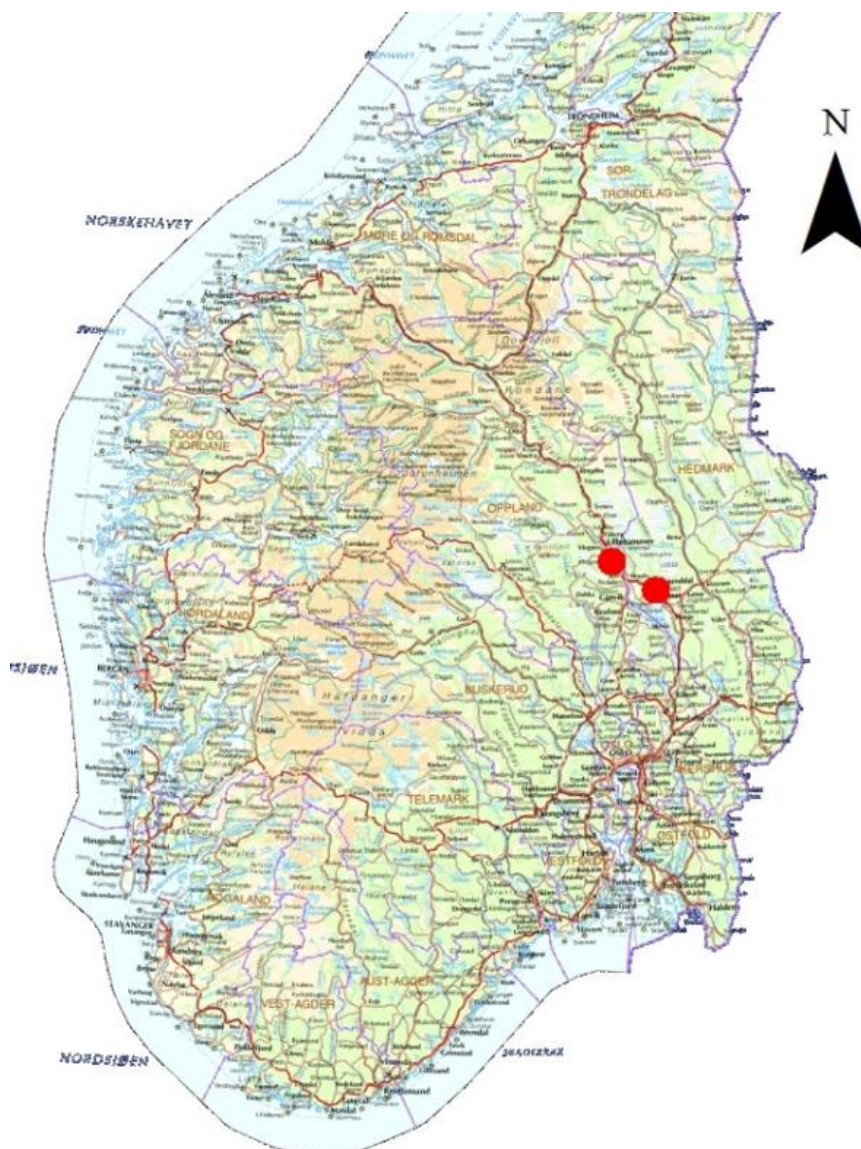
1.6 Problemstilling

Formålet ved denne studien er å se hvilke muligheter droner gir ved kartlegging av ungskog i hogstklasse II. Det blir sett på hvilken flyhøyde og kameratype som gir de beste resultatene. Flyhøydene som blir brukt er 80, 100 og 120 meter, og kameratypene er; RGB, RE og NIR. Alle kameratyper blir flydd i alle flyhøydene. Dronedataene ble kontrollert opp mot feltdataene som viser trehøyde og treantall i prøveflatene.

2. Material og metode

2.1 Studieområde

Forsøksområdene ligger i Ringsaker kommune, i Hedmark fylke. Feltene ligger henholdsvis i Furnes (60°51'40"N 11°0'51"E, 260-300 m.o.h.) og Brøttum (61°1'27"N 10°31'31"E, 250-300 m.o.h.) (Figur 1 og 2). Begge områder ligger vestvendt mot Mjøsa. Begge områdene som ble kartlagt med dronen var på ca. 400 daa. Forsøksfeltene var dominert av gran (*Picea abies*), furu (*Pinus sylvestris*) og bjørk (*Betula betula*). I forsøksområdene i Ringsaker er middeltemperatur mellom 2-4 °C og årsnedbøren 750-1000 mm.

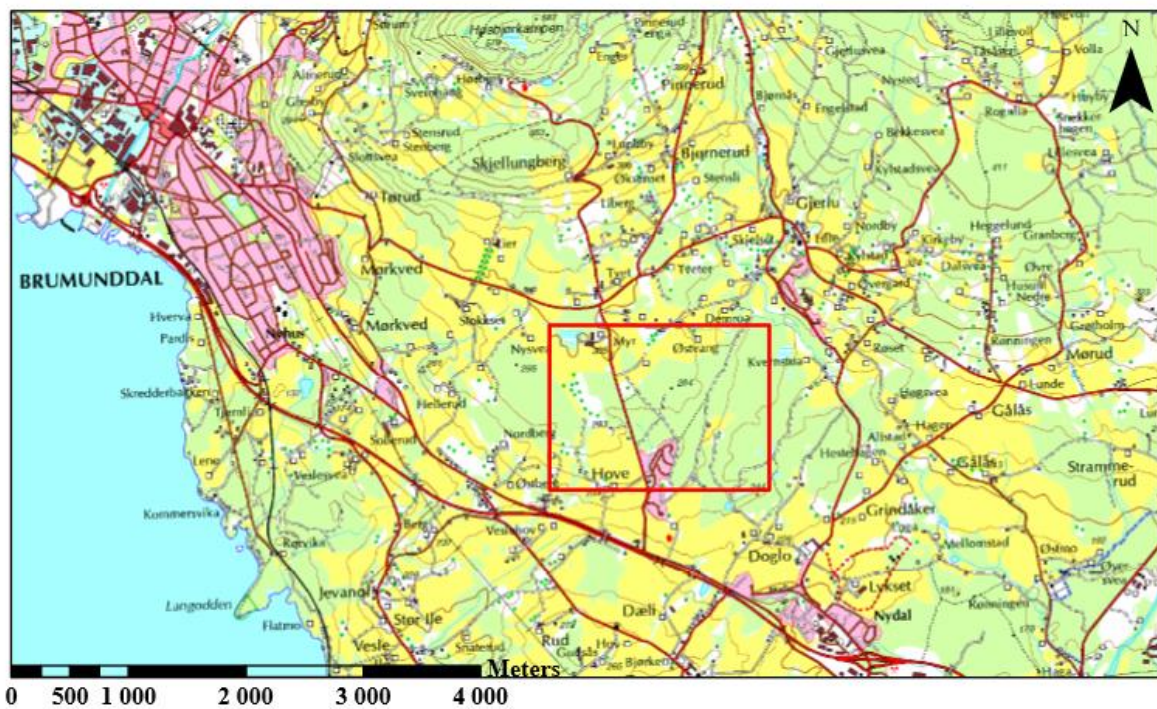


Figur 1: Studieområdene Brøttum og Furnes.

Brøttum



Furnes



Figur 2: Oversikt over forsøksområdene Brøttum og Furnes.

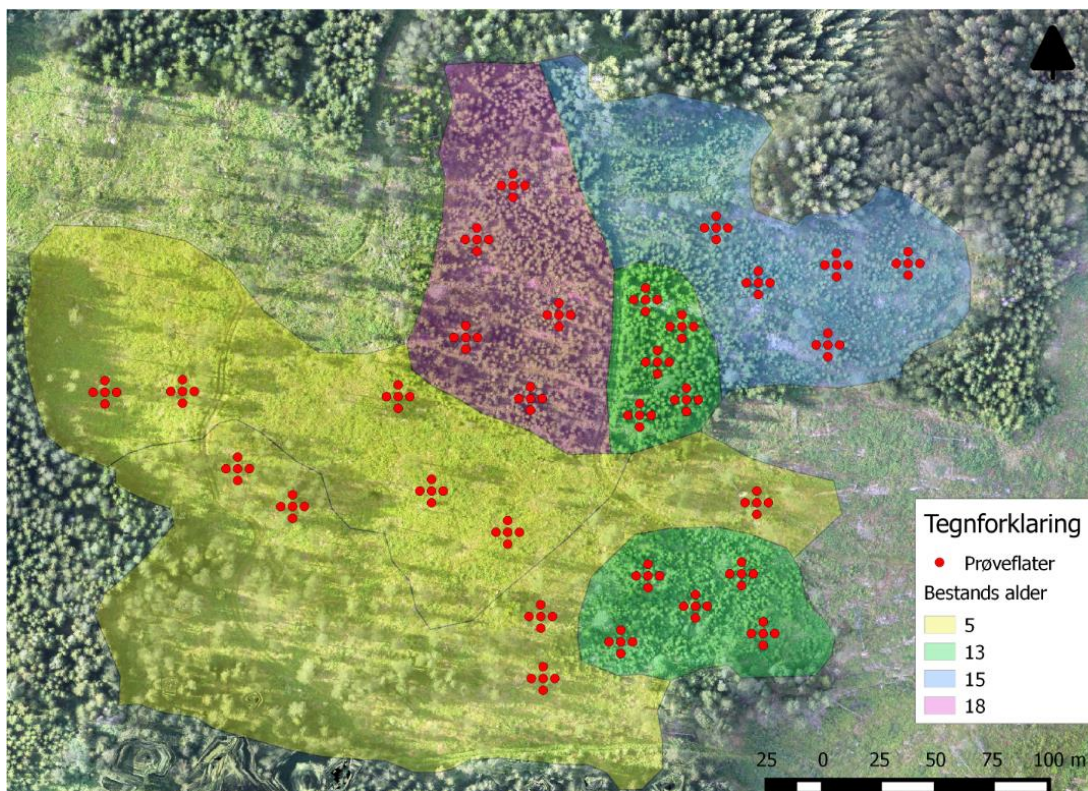
2.2 Feltdata

2.2.1 Bakgrunnsinformasjon over bestandene i forsøksområdet

Bestandskart over eiendommene ble gitt fra Allma i samordnet opplegg for stedfestet informasjon (SOSI format). Filene ble deretter konvertert til «Environmental Systems Research Institute» format (ESRI format) med programmet GISLINE (Norkart 2014). For så senere behandlet i Quantum GIS (Quantum GIS Development Team 2014). I dataene ble det hentet ut informasjon om de aktuelle bestandene. Informasjon som ble hentet ut var bonitet, alder, stamme antall, treslagsfordeling og høyde på bar og løv.

2.2.2 Utvelgelse av prøveflater sin koordinat

Informasjon fra skogbruksplanen lå til grunn for utvelgelsen av prøveflatene i Hkl. II. Kriterier som ble vektlagt var stammeantall, prosent av løvinnslag og høyde. Det ble plukket ut seks bestand i hvert prøveområde, der ble det etablert fem prøveflater, med fire delflater i hver prøveflate. I utvelgelsen av prøveflater ble det brukt QGIS (Quantum GIS Development Team 2014), ved å legge ut fem tilfeldige punkt innenfor hver bestand. Ut fra disse ble det laget fire delflatekoordinater til hver sin himmelretning (figur 3). Det ble gjort på denne måten for å unngå menneskelige påvirkninger av utvelgelsen av flatene.



Figur 3: Oversikt over hovedflater og delflater fordelt i hkl. II med visning av bestandsalder fra eksisterende skogbruksplan.

2.2.3 Praktisk arbeid i felt

Feltinstruksen beskriver hvordan arbeidet med innhenting av kontrolldata ble utført (vedlegg 2), samt de ulike parametere som inngår i kontrolldataene. Kontrolldataene er nødvendig for å kunne sjekke nøyaktigheten i dataene innhentet av dronen. De ulike parameterne som ble samlet inn i felt ble brukt som kontrolldata imot den predikerte trehøyden og treantallet.

Før feltarbeidet ble iverksatt ble skogbruksplanen over eiendommene studert (Allskog et al. 2014). Tilgang til skogbruksplanene ble gitt fra landbrukskontoret i Ringsaker kommune. Dette for grov kartlegging av de ulike egenskapene til bestandene. Prøveflatene ble på forhånd koordinatbestemt på bestandskart i QGIS (Quantum GIS Development Team 2014). Det vil være åtte ulike kombinasjoner innenfor Hkl. II, som består av egenskapene; gamle/unge, glisne/tette og ikke løv/løv. Av hver kombinasjon skal det være 10 prøveflater, fem stykker i hvert prøveområde. Noe som gir til sammen totalt 80 prøveflater, 40 flater i hvert prøveområde. Ligger prøveflatene på bestandsgrensen, blir hele hovedflaten trukket fem meter i rett linje ut fra bestandsgrensen.

Prøveflatene hadde en radius på 8,92m, som tilsvarte en flate på 250 m². Innenfor prøveflatene, ble det lagt ut fire mindre prøveflater med radius 3,57 meter, tilsvarende 50 m². Delflatene ble lagt 4,7 meter i hver sin himmelretning (nord, øst, sør og vest) fra sentrum av hovedflaten. Hovedflatene blir nummerert (1,2,3 osv.), i tillegg får hver delflate et ekstra nummer: N= 1, Ø= 2, S= 3 og V= 4 (eks. flate 1: 11, 12, 13, 14, flate 2: 21, 22, 23, 24). Hver delflate ble deretter delt inn i kvadranter, der første kvadrant startet retning nord.

Innenfor hver delflate ble det målt:

- Antall trær med treslagsfordeling (gran/furu/lauv)
- Høyden til ca. fem prøvetrær på hver delflate (ca.20 prøvetrær per hovedflate) (Bjerknes 2000)

Dronedataene måler høydene på steiner, stubber o.l., for å slippe denne bakgrunnsstøyen ble det ikke telt noen trær som var lavere enn 0,5 meter.

Ved utvelgelse av prøvetrær ble det det gjort et anslag av antall trær innenfor prøveflaten. I den første kvadranten i hver delflate ble det første treet brukt som prøvetre. Etter første

prøvetre blir hvert femte tre av det totale antall trær tatt ut som prøvetre. Hvert prøvetre blir merket med merkeband før det blir målt høyde på.

Prøvetrærnes høyde ble målt med en høydestav opp til 5 meter, mens det for høyere trær blir det brukt Vertex høydemåler. Høyden på prøvetrærne ble målt til nærmeste desimeter. Registreringene ble notert i skjemaet, sammen med treslaget på prøvetreet. Treslagskodene som ble brukt var gran: 1, furu: 2 og lauv: 3. Etter registrering av hver delflate ble flaten beskrevet med en gruppekode, etter hvilken kombinasjon flaten består av. Delflate kodene er; ung/gammel = 100/200, tett/glissen = 010/020 og lauv/ikke lauv = 001/002 (Bjerknes 2000).

2.2.4 GPS instruksen

Samtlige prøveflater ble lastet inn i måleboken Topcon GRS-1 inne på kontoret. GRS-1 er egentlig en liten PC, som innehar en mottaker. Den mottar korreksjonsdata for koordinatene, som gjør posisjoneringen nøyaktig. Dette utstyret innehar programvare slik at utstikking og innmåling av punkter gjøres effektivt (Topcon Europe Positioning 2015). I felten startet vi med opprigging av landmålingsutstyret. GRS-1 ble koblet opp mot den amerikanske «Global Position System» (GPS) og den russiske «Acronym for Global Navigation Satellite System» (GLONASS), samt korreksjonsverdier fra CPOS. Dette er en posisjontjeneste som leverer korreksjonsdata ned på centimeters nøyaktighet (Statens Kartverk 2015). Alle delflatene ble så stukket ut.

Når punktet til en delflate var funnet ble det slått ned et trestikk, og merket med samme ID nummer som var oppført i måleboken. Når trestikkene ble plassert på lite synlige plasser ble de sprayet med en godt synlig farge.

Etter innsamlingen av data i prøveflaten ble alle punktene målt inn som en kontroll på utstikkingen. Dette ble gjort minimum 45 minutter etter siste innmåling, for å korrelere feil. På alle punktenes posisjoner i registreringene ble det brukt datum EUREF89, projeksjonen var «Universal Transversal Merkator» (UTM) sone 32N som koordinatsystem.

2.2.5 Oppsummering av observasjoner i felt

Alle observasjonene i felt ble plottet inn i Microsoft Excel for videre behandling. Området i Furnes og nordre delen av Brøttum bortfalt dessverre fra datasettet, grunnet dårlig kvalitet på dataene. Etter dette gjenstod det kun 30 hovedflater etter prosessering av dronedataene. Hvorfor disse dataene bortfalt blir forklart i 2.5.1 og 2.5.3. Det totale treantallet og antallet i trefordelingen gran, furu og løv i delflatene i hver hovedflate ble summert sammen. Deretter

ble de multiplisert med 6,25 for å få treantallet i dekar. Treantallet fordelt på treslag ble omregnet til prosent utfra det totale treantallet. Gjennomsnittlig trehøyde ble utregnet fra høyden til prøvetrærne samlet i hver hovedflate (tabell 1).

Tabell 1: Viser gjennomsnittshøyde, treantall per dekar og treslagsfordelingen i prosent for hver prøveflate. Nederst er det gjennomsnittet av alle 30 prøveflatene.

ID	Gjennomsnitt høyde (m)	Treantall (per daa)	Gran	Furu	Løv
1	4,06	631,3	54 %	0 %	46 %
2	4,29	300,0	49 %	1 %	50 %
3	3,82	337,5	50 %	2 %	49 %
4	4,05	300,0	72 %	0 %	28 %
5	3,77	406,3	88 %	4 %	8 %
6	1,35	281,3	74 %	2 %	24 %
7	1,11	287,5	38 %	0 %	62 %
8	1,03	356,3	55 %	0 %	45 %
9	1,01	318,8	57 %	0 %	43 %
10	0,73	225,0	51 %	0 %	49 %
11	0,90	250,0	73 %	0 %	27 %
12	1,04	356,3	60 %	5 %	35 %
13	1,07	587,5	70 %	0 %	30 %
14	1,19	237,5	89 %	0 %	11 %
15	0,86	543,8	39 %	1 %	59 %
16	4,24	262,5	31 %	1 %	68 %
17	4,43	431,3	60 %	0 %	40 %
18	5,25	443,8	35 %	0 %	65 %
19	3,55	625,0	39 %	0 %	61 %
20	5,52	662,5	71 %	0 %	29 %
21	5,86	287,5	73 %	3 %	23 %
22	6,35	218,8	66 %	0 %	34 %
23	6,46	375,0	19 %	3 %	78 %
24	6,09	437,5	33 %	12 %	55 %
25	5,65	625,0	28 %	7 %	65 %
26	4,44	350,0	35 %	7 %	59 %
27	4,15	418,8	36 %	2 %	62 %
28	3,59	200,0	34 %	0 %	66 %
29	3,42	187,5	20 %	8 %	73 %
30	4,44	193,8	22 %	3 %	75 %
Gjennomsnitt	3,46	371,3	51 %	2 %	47 %

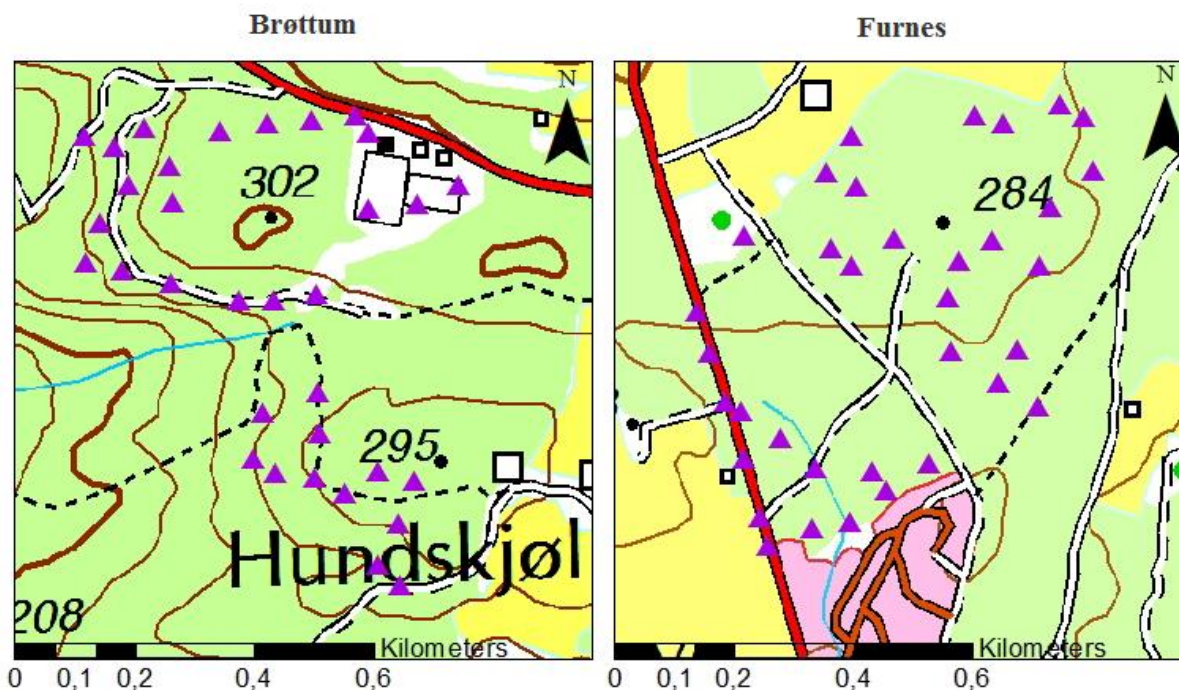
2.2.6 Passpunkter

Signalisering ble brukt ved dronefotografering, slik at prosesseringen av dataene ble optimalisert. Planleggingen av passpunkter er veldig viktig for et godt resultat av rådataene. Antall passpunkter per flygning må minimum være fem. Ved sammenkobling mellom to flygninger må det være minimum to kjente passpunkter i begge datasett (Bygg Control AS 2014). Passpunktene ble brukt i prosesseringen i Postflight Terra 3D for å skape en nøyaktig modell over forsøksområdene.

2.2.7 Utvelgelse av passpunkter i terrenget

Forsøksområdene ble først undersøkt på et web-basert flyfoto (WMS) (Skog og Landskap 2014). Ved bruk av WMS flyfoto ble utlegging av passpunkter enklere, områder som var glisne og åpne var lett synlige. Ut fra kartet ble det planlagt en rute, for utlegging av punkter som fremkommer i tabell 4. Områder med en forhøyning, åpne flater og ikke i nærheten av eldre skog ble foretrukket til passpunktene. Alle punktene i terrenget ble lagt i og rundt aktuelle bestand i Hkl. II, samt at avstanden mellom passpunktene lå mellom 50-150 meter. Disse hensynsfaktorene var viktige, slik at signalene ble synlige på flest mulige bilder fra dronen.

Etter at alle signalene var lagt ut, ble alle passpunktene målt inn med centimeter nøyaktighet (CPOS). Passpunktene ble målt inn to ganger med 45 minutters mellomrom, slik som prøveflatene. De målte passpunktene ble lastet inn fra måleboken til PC i en KOF fil, noe som er en type tekstfil. Filen ble videre eksportert til en tekstfil via Microsoft Excel for å kunne benyttes i prosesseringsprogrammet Postflight Terra 3D (Pix4D 2014).



Figur 4: Oversikt over passpunktene på Brøttum med 35 punkter og i Furnes som har 34 passpunkter.

2.2.8 Type signaler

I forsøket ble det brukt ulike typer signaler. I terrenget var det hovedsakelig benyttet hvite plastikkstrimler i kors, strimlene var 20x130 cm (figur 5). Til festing av punktene ble det benyttet pinner som stakk gjennom plasten eller steiner liggende oppå plasten. Slik at pinnene og steinene skulle ha samme farge som plastikkorset ble de sprayet hvite. Langs veien ble de langsgående hvite stripene brukt som passpunkter. Disse ble sprayet med en ekstra tverrgående stripe, slik at det ble seende ut som et kors. Forsøksfeltet på Brøttum ble kumlokk og godt synlige svaberg brukt til passpunkter. Her ble det laget hvite tydelige kors med spray. Inntil samme forsøksområdet ligger det en fotballbane som ble brukt aktivt. Her kunne passpunkter ikke ligge flere dager, så det ble brukt ferdigproduserte passpunkter i aluminium. Disse passpunktene ble utlagt og målt inn samme dag som flygningen. Passpunktene sin synlighet var forskjellig mellom kameratypene. Der kameraene RE og NIR var enkelt å

lokalisere, mens RGB var noe vanskeligere. Når man zoomet inn på passpunktene var NIR bildene mer uklare, og for RE og RGB bildene var disse mindre kornete.



Figur 5: Bilder av passpunkter mellom kameraene RE, NIR og RGB. Bildene viser fire ulike passpunkter, først er et ferdiglagde passpunktene, deretter kumlokket, plastikkors og passpunkt langs etter veien.

2.2.9 RMSE-verdier for passpunkter

Etter hver prosessering fra hver flygning ble det i Postflight Terra 3D (Pix4D 2014) produsert en rapport med informasjon om prosesseringens nøyaktigheter. I denne rapporten fremkommer det RMSE-verdiene for passpunktene. Denne informasjonen sier hvor stor nøyaktighet koordinatene er til passpunktene (tabell 2).

Tabell 2: Viser RMSE-verdiene for hver enkel koordinat, X, Y og Z for passpunktene i hver prosessering.

Koordinater	X	Y	Z
NIR 80	0,006	0,007	0,015
NIR 100	0,008	0,011	0,022
NIR 120	0,013	0,014	0,033
RE 80	0,008	0,006	0,011
RE 100	0,007	0,006	0,006
RE 120	0,007	0,010	0,006
RE 120	0,007	0,009	0,008
RE 120	0,012	0,009	0,014
RE 120	0,010	0,011	0,031

2.3 Drone og sensor data

I dette prosjektet ble det brukt en drone av type eBee produsert og utviklet av SenseFly som holder til i Sveits. Dette er en fastvingedrone som har et godt opparbeidet system, som gjør den til et hendig verktøy. I dronen og dens programvare er det laget sikringsystemer for ulike situasjoner. Hvis dronen skulle komme for nære bakkenivå vil den automatisk stige opp. Den varsler om det kommer andre droner fra SenseFly i umiddelbar nærhet (SenseFly 2014b). Før start kan man også stille inn at dronen skal returnere eller fullføre oppdraget om radiolinken mellom dronen og PC`n skulle falle ut.

I tabell 3 kan man finne spesifikasjoner om den sveitsiske dronen eBee, mer informasjon finnes på SenseFly sin hjemmeside (SenseFly 2014b).

Tabell 3: Operasjonsspesifikasjoner til eBee (SenseFly 2014b).

Vekt	0,7 kg
Vingespenn	96 cm
Maksimum flytid	50 min
Hastighet	36-57 km/h
Radiorekkevidde	Opptil 3 km
Maksimum dekning	10 km ²
Bakkeprøvetakningsavstand	Ned til 1,5 cm
Ortomosaik nøyaktighet	Ned til 3 cm
Digital høydemodellnøyaktighet	Ned til 5 cm
3D flyvningsplanlegger	Ja

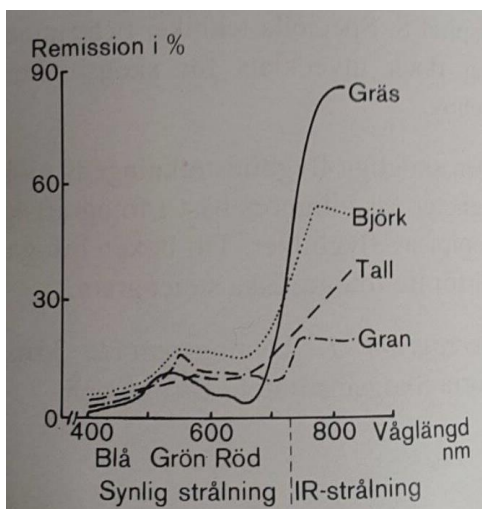
2.2.1 Spesifikasjoner til kameraer

RGB-kamera

Et RGB-kamera er et vanlig optisk digitalt kamera som bruker synlig lys. RGB står for fargene rødt, grønt og blått. RGB-kameraene har blitt mye brukt til å lage digitale elovasjonsmodeller (Grøtli et al. 2014). Forskjellen mellom de ulike treslagene er ganske liten innenfor bølglengdeområdet som er aktuelt med vanlig digitalt kamera. Det kan derfor være vanskelig å skille treslag fra hverandre (Axelson & Nämnden för skoglig 1980).

IR-kamera (NIR- og RE-kamera)

NIR er en forkortelse for «near-infrared» og RE for «red edge», og begge er infrarøde kameraer. Et infrarødt kamera vil bruke infrarød stråling, som ligger inntil det synlige spekteret med større bølgelengder enn rødt lys. I det infrarøde området, 750 nm til 900 nm, er forskjellen mellom de ulike treslagene i bølgelengde mye større. Det er derfor enklere å skille treslagene med infrarød avbildning (Axelson & Nämnden för skoglig 1980) (figur 6). For eksempel vil løvtrær få en rød-rosa farge om våren og en mer gulhvit om høsten, forutsatt at det infrarøde blir gjengitt som rødt, rødt som grønt og grønt som blått. Ung barskog vil ha et større innslag av rødt enn eldre barskog som vil være nærmere grå-blå. Infrarødt lys kan absorberes av glass, men ikke så mye av dis og tåke. Dette er en stor fordel når det kommer til fotografering fra lufta (Saude 1992).



Figur 6: Spektral refleksjonsevnen, det vil si refleksjonen i forskjellige bølglengdeområdet, for noen forskjellige treslag og gress. Treslagsrefleksjonen er størst i IR-området (Axelson & Nämnden för skoglig, 1980).

NIR-kamera responderer mest på lys med bølglengde 550 nm (grønt), 625 nm (rødt) og 850 nm (near infrared). Det gir gode bilder for vurdering av biomasse, vekstkontroll og nitrogen.

RE- kamera responderer mest på lys med bølgelengde 450 nm (blått), 500 nm (grønt) og 715 nm (red edge). Det gir gode bilder for vurdering av plantestress og pigmentkonsentrasjon. For detaljert informasjon om de ulike kameraene brukt i eBee (tabell 4 og vedlegg nr. 1).

Tabell 4: Tekniske egenskaper til kameraene RGB, RE og NIR. Se også vedlegg nr. 1.

Oppløsning	12 Mp
Bakkeoppløsning ved 100 m	3,5 cm/pix
Sensorstørrelse	7,44 x 5,58 mm
Pixelavstand	1,33 μ m
Bildeformat	JPEG eller RAW

2.2.2 Innsamling av dronedata

Ved planlegging av flyrute over forsøksområdene ble det gått igjennom prosedyrene som er skrevet i operasjonsmanualen til Blinken AS (Johannessen 2014). Dette for å påse at sikkerheten ble ivaretatt. Operasjonsmanualen beskriver prosedyrene som Blinken AS må følge når de bruker dronen. Det er fastsatte lover og regler for luftfart generelt. Ved flygning med ubemannet fly må operatøren inneha en «Remotely Piloted Aircraft System» (RPAS) godkjenning i henhold til luftfartsloven § 8-8 og § 2-2 første ledd nr. 4. Ved en Visual Line Of Sight (VLOS) er det ikke lov til å fly høyere en 400 fot (120 meter) over bakkehøyde. Med dette begrepet menes at dronen må alltid være under oppsikt (Luftfartstilsynet 2014). Programmet eMotion 2.4.6 (SenseFly 2014d) som blir levert med dronen ble benyttet når selve flyplanen skulle lages.

2.2.3 Prosedyrer og planlegging

En uke før flygningen ble kommunale kart og Google maps brukt til å planlegge flygningen. Fra starten av ble det evaluert alternativer og muligheter for hjemme posisjon og nødlanding steder. I denne evalueringen ble det sett etter farlige områder (antennes, bygninger, høyspentlinjer o.l.)

Under utleggelsen av passpunktene ble det som var kartlagt tidligere, visuelt kontrollert ute i felten. Under dette arbeidet ble det sjekket om det var andre farlige hindringer i området (byggearbeid, kommende arrangementer, trafikk i området og eventuelt nye bygninger). Værmeldingen over områdene ble sjekket daglig, de siste dagene før flygningstidspunktet. Det ville vært uaktuelt å fly hvis det var tåkete, regn eller sterkere vind en 12 s/m. På forhånd ble programvaren eMotion brukt, for å simulere flygningene over forsøksområdene.

Parameterne som vind, høydekurver og maksimum avstand fra piloten ble puttet inn i programmet for å skape simuleringen.

2.2.4 Flygning med drone

Flygningen over forsøksområdet ble foretatt den 16/7-2014 fra kl. 08:00 til 20:00. Været den dagen var overskyet og sol. Skogområdet i Furnes ble flydd først, frem til klokken ca. 14:00. Oppstart av flygningen ble startet på igjen på Brøttum fra kl. ca. 15:30 og frem til kl. 20:00. Over forsøksområdet i Furnes ble det flydd med tre droner samtidig, mens området på Brøttum ble det kun flydd med to droner. Det ble alltid flydd med ulike kameratyper i ulike høyder over bakken. Slik at tidsrommet det ble flydd skal kunne sammenlignes.

Området som flyvningene ble utført fra ble valgt ut med hensyn til høyde og beliggenhet, slik at dronen kunne bli holdt under oppsikt under flyvningene.

Dronen ble flydd i tre forskjellige høyder over bakken. Høydene var 80, 100 og 120 meter. Alle de tre høydene ble flydd med tre ulike kamera typer; RGB, RE og NIR. Forsøksområdet på Brøttum hadde store forskjellige topografier, slik at den ble delt inn i to flygninger. Alle flygningene hadde en lengde- og breddeoverlapp på 70%.

Etter hver flygning ble bildene lastet over fra minnekortet i kamera, og dronen sin flylogg ble lastet over på datamaskinen. Disse dataene ble lagret i hver sine mapper merket med kameratype og flyhøyde for å ha kontroll.

Under flygningene oppsto det flere problemer av ukjent årsak. Linsen på kamera lukket seg eller kamera sluttet å ta bilder. Denne situasjonen ga store utfordringer, slik at SenseFly support ble kontaktet. Løsningen for å få gjennomført alle flygningene ble å oppdatere programvaren i dronen for hver flygning.

2.4 Laser data

Det ble innhentet laserdata fra Statens Kartverket over forsøksområdene. Dataene ble innhentet for å benyttes som referanse for bakkenivå, dette for å lage en nøyaktig bakkemodell. Laserpulsene ble videre bearbeidet til en digital terrengmodell (DTM) basert på den eksisterende bakkeklassifiseringen. Ved oppbyggingen av DTM ble det brukt to pixelstørrelser, som var henholdsvis på 5 og 0,5, denne prosessen ble kun gjort en gang.

2.5 Prosessering og bearbeidelse av data

Ved prosesseringen av rådataene fra dronen ble programvaren Postflight Terra 3D (Pix4D 2014) benyttet. Dette er programvaren som dronen eBee blir levert med fra SenseFly.

Bearbeidelse av dataene etter prosesseringen ble gjort i det statistiske analyseprogrammet R (R Core Team 2015) og Fusion (McGaughey 2015). Programmet Fusion sine arbeidsoppgaver ble kjørt gjennom programmet R. Bearbeidelsen med prøveflatene ble gjort i ArcGIS (Esri 2014), QGIS (Quantum GIS Development Team 2014) og Gisline (Norkart 2014).

2.5.1 Prosesseringen av dronedata med passpunkter

Prosesseringsdelen:

1. Starten av prosesseringen av rådataene ble opprettet i et prosjekt i Postflight, deretter lastet inn alle bildene tatt under flyturen. I samme prosess ble droneloggen lastet inn slik at bildene ble georeferert. Georeferering er å gi en nøyaktig stedfesting av objektet, her er objektet bilder.
2. For merking av alle passpunktene som er synlige på bildene ble det kjørt en innledende prosessering. Når dette var gjort gikk vi inn på Ground control point (GCP) som er på menyen. GCP er det samme som passpunkter.
3. Inne på GCP ble tekstfilen med passpunkter lastet inn. Deretter blir koordinatsystemet bestemt. Her ble EUREF89 UTM sone 32N brukt. Til slutt trykkes ok.
4. Bildene i datasettet kategoriserer seg ut fra hvor nære de er koordinatene til passpunktene. Bildene som ligger nærmest er de første. Det må zoomes inn mot passpunktene på bildet, og merke nøyaktig et punkt i senter av passpunktet. På alle bildene som har de aktuelle passpunktene i seg måtte dette gjøres.
5. Før det ble satt i gang full prosessering ble det gått gjennom innstillingene. Her ble det kontrollert at glatting og filtrering av bildene ikke ble gjort. Dette for at ujevnheter skulle kunne komme frem. Minimum av antall like treff mellom bildene måtte være to og punktettheten ville være høy i prosesseringen. Samtidig ble det haket av for å produsere ortofoto (Geo TIFF fil) og punktsky (LAS fil). Ortofoto er flybilder med samme egenskapene som kart. Ved full prosessering ble det foretatt en bildematcing av alle dronebildene. Ut fra dette ble det produsert en punktsky og ortofoto.

Forsøksområdet på Brøttum ble prosessert først, siden feltbefaringen skulle starte her.

Området på Brøttum besto av 18 prosesseringer, siden området ble delt inn i 2 flygninger per høyde og kameratype. I løpet av denne fasen ble det funnet at den nordlige delen av området

fikk dårlige resultater i prosesseringen. Store deler av området hadde falt ut i bildematchingen. Samme prosesseringsfeil oppsto på forsøksområdet på Furnes. Alt feltarbeid hadde allerede blitt utført før alle prosesseringene av rådataene var ferdig. Dette medførte til at kun søndre delen av forsøksfeltet på Brøttum ble benyttet i dette prosjektet.

2.5.2 Bearbeidelse av data i R

For hvert kamera og hver flyhøyde ble det produsert en delta Z (DZ). Disse er bygget og klippet sammen fra DTM og den digitale overflatemodellen (DSM) fra dronen. En DZ er differansen av høydepulsene fra laserdataene og høyden til punktskyen.

Av koordinatene til prøveflatene ble det laget en buffer på 8,92 meter i ArcMap. Bufferen til flatene ble brukt til å klippe ut DZ av de enkelte prøveflatene. Man sitter igjen med 30 LAS filer som presenterer de 30 prøveflatene i datasettet. Disse filene blir behandlet videre til tekstfiler (.txt).

Alle tekstfilene ble deretter slått sammen til en tekstfil med fire kolonner som inneholdt informasjonen til alle pulsene fra DZ fordelt på koordinatens x, y og z verdi, samt dens ID fra prøveflate ID. Før funksjonen laser metric ble kjørt ble negative pulser i datasettet fjernet. Denne funksjonen lager potensielle forklaringsvariabler ut av DZ. Hvilken type variabler som blir produsert blir videre forklart i 3.5.4 punktskyvariabler.

Fra variablene som funksjonen laser metric produserte ble sammenkoblet med feltdataene til en tekstfil.

2.5.3 Kvalitetssikring av punktskydata

Det ble foretatt en gjennomgang av delta Z for kontroll av prøveflatenes kvalitet. Enkelte av flatene viste seg å ha en veldig lav punkttetthet. Prøveflate nr.14 ble tatt ut som en optimal prøveflate og brukt som referanse (tabell 5). Alle prøveflatene ble vektet i prosent opp mot referanseflaten. Deretter ble alle prøveflater som hadde mindre enn 62 % punkttetthet tatt ut av datasettet. Årsaken til at eksakt 62 % ble valgt var tap av for mange prøveflater. Denne oppgaven ville derfor ikke kunne blitt gjennomført med et strengere kvalitetskrav. Det ble foretatt analyser med og uten uttakning av prøveflater.

Tabell 5: Tetthet av punkter per m² fra referanseflaten (prøveflatenr. 14)

Kamera	Flyhøyde	Punkthet (per m ²)
RGB	80	885,8
RGB	100	670,7
RGB	120	497,6
NIR	80	787,2
NIR	100	544,4
NIR	120	401,3
RE	80	565,5
RE	100	571,5
RE	120	405,5

2.5.4 Punktskyvariabler

Fra de 30 prøveflatenes kjente og nøyaktige koordinater ble det hentet ut punktskyer over 250 m². Siden denne studien omhandlet kartlegging av ungskog var det viktig å ha en lav grense for vegetasjonstreff. Grensen på vegetasjonstreff ble satt til 0,5 meter, noe som samsvarer med feltregistreringene. Der ble alle trær fra en 0,5 meter registrert. Punktene som lå under den nedre grensen ble registrert som bakketreff.

Fra punktskyen sine registreringer over nedre grensen på vegetasjonstreff ble det beregnet 25 variabler for hver prøveflate. Dette ble gjort via pakken lasR (Ørka 2013), der funksjonen «laser metric» ble brukt via R. Av disse variablene er det ti tetthetsvariabler, d_0 , d_1 , ... og d_9 . Laveste og høyeste punkt av tetthetsvariablene er delt inn på ti like høydedeler, der d_4 viser prosentvis mange punkter det er ved fire tideler og d_9 viser prosentvis andel punkter over ni tideler. Variablene h_{10} , h_{20} , ... og h_{90} er høydepersentiler. Disse viser høyden fra punktskyen for hver 10 %, for eksempel er h_{30} høyden på punktet ved 30 %, mens h_{90} er høyden ved 90 % (Næsset 2011).

h_{\max} er definert som høyeste punkt fra punktskyen, mens h_{mean} er gjennomsnittlig høyden for punktene i punktskyen. h_{kurt} viser en sannsynlighetsfordeling, disse er bygget opp av gjennomsnitt, varians og skjevhet i datasettet. Kurtose er derfor et mål på hvordan fordelingen er spredt mellom ytterpunktene. Variabelen h_{cv} er variasjonskoeffisienten til høydepunktene i punktskyen. Dette er spredningsmålet på variasjonen i punktskyen. Standardavviket som er presentert her ved h_{sd} er spredningen av verdiene i prøveflaten. Variabelen h_{skewness} beskriver asymmetrien i sannsynlighetsfordelingen av den enkelte prøveflate. Disse variablene har blitt

brukt i flere studier for estimering av ulike skoglige parametere ved laserskanning. Der de har blitt brukt som uavhengige variabler ved regresjonsmodelleringer (Næsset 2011).

2.6 Statistisk analyse

Alle statistiske analyser ble utført ved bruk av statistikkprogrammet R (R Core Team 2015).

Ved vurdering av nøyaktigheten til en modell brukes ofte Root Mean Square Error (RMSE). Denne er også brukt i denne oppgaven. RMSE-verdiene forklares ved kvadratroten av gjennomsnittet til de kvadrerte residualene. Får man en av RMSE-verdi tyder dette på en liten differanse som er hos gode modeller.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{\sum \bar{n}}}$$

ε = Residualene

n = Antall observasjoner

\bar{n} = Gjennomsnittet av observasjonene

Modellene ble kontrollert mot hverandre, dette ved å se på den justerte R^2 . Denne verdien indikerer tilpasningen til regresjonsmodellen til observerte verdier. Andelen av variasjonene i regresjonsmodellen som blir forklart i forhold til den totale variasjonen er denne verdien. Ved en modell med justert R^2 nærmest verdien en er å foretrekke. Brukes det kun R^2 vil verdien ved flere forklaringsvariabler bare øke. Derfor er det best å bruke den justerte R^2 .

$$\text{Justert } R^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{(n-1)}{(n-(df-1))}$$

- R^2 = forklaringssevnen av variablene i modellen
- n = antall observasjoner
- df = antall frihetsgrader

Residualene fra høyde og tetthetsmodellene ble testet mellom kamera og flyhøyder ved anova (Analysis of Variance). Post Hoc Tukeys HSD (Honest Significant Difference) test ble kjørt for forskjell innad mellom kameraene og flyhøydene.

2.6.1 Statistisk analyse ved trehøyde

For trehøyde med 30 og 21 prøveflater ble det brukt 25 forklaringsvariabler. Det ble foretatt en lineær regresjonsanalyse med bruk av BIC (Bayesian information criterion) som modellseleksjon. En BIC-verdi nærmere null tilsier en bedre modell. En BIC blir definert ut fra formel:

$$BIC = -2 * \ln \hat{L} + k * \ln(n)$$

- n = Antall observerte data
- \ln = Naturlig logaritme
- k = Antall estimerte variabler
- \hat{L} = maksimale verdien for sannsynlighetsfunksjonen i modellen

2.6.2 Statistisk analyse ved treantall

For treantall ble det brukt en lineær regresjonsanalyse med bruk av AIC (Akaike information criterion) som modellseleksjon. Først ble det brukt 25 potensielle forklaringsvariabler i modelltestingen. Dette resulterte i dårlige modeller, og ble derfor testet uten høydepersentilene, h_{10} , h_{20} , ... og h_{90} . Uttaket av disse forklaringsvariablene bedret modellene betydelig. Med eller uten uttak av forklaringsvariabler ga modeller med svært mange forklaringsvariabler i seg.

AIC kan definert ved formel:

$$AIC = 2k - 2\ln(L)$$

- k = Antall estimerte variabler
- \ln = Naturlig logaritme.
- \hat{L} = maksimale verdien for sannsynlighetsfunksjonen i modellen

En annen metode ble også forsøkt. Her ble det utført en generalisert lineær modell med en Poisson fordeling. På grunn av overdispersion i datasettet var det nødvendig å benytte en quasipoisson. Overdispersion oppstår når datasettet har større variasjon enn det som er forventet å kunne forklares av modellen. Poisson fordelingen antar at variasjonen ikke er større enn gjennomsnittet, en quasi-sannsynlighet løser dette ved å tillate en større varians. Modelltilpasning ved tilbakeselektering med en p-verdi $<0,05$. Disse resultatene var ikke særlig gode.

3. Resultater

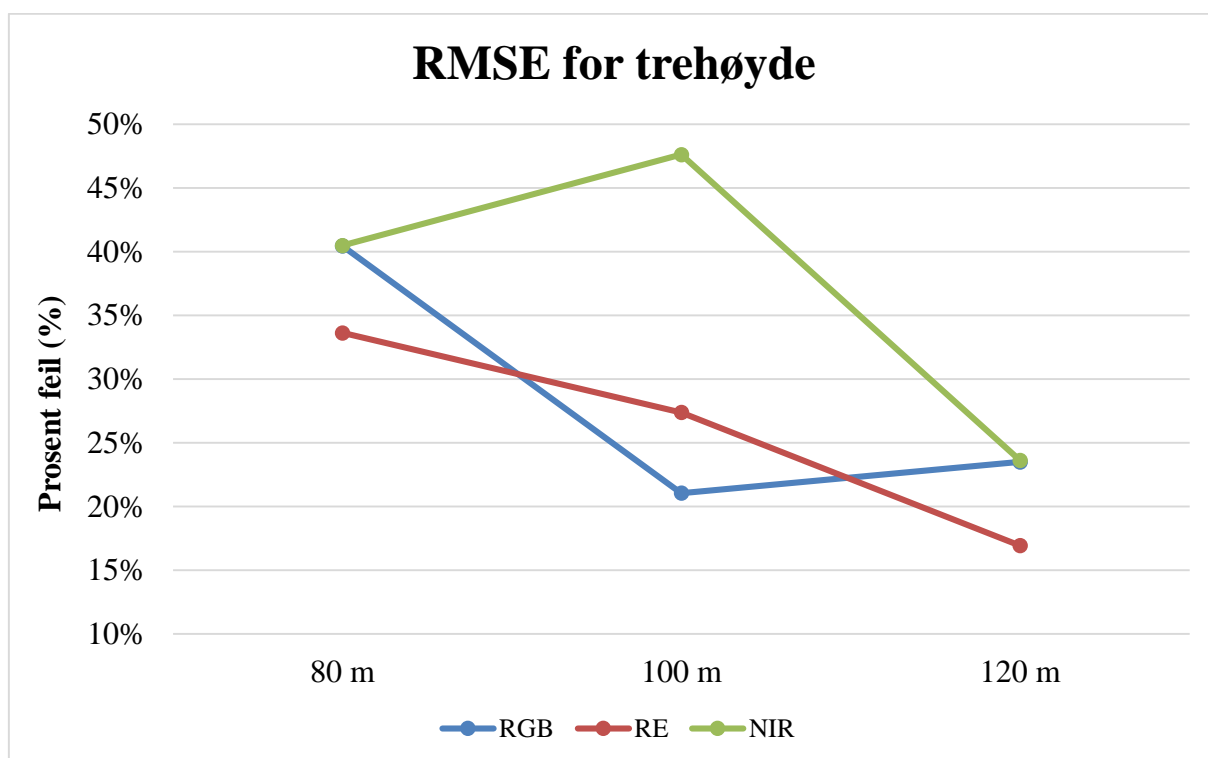
3.1 Høydemodeller

3.1.1 Høydemodeller med 30 prøveflater

For RGB kamera var det flyhøyde 100 meter som hadde den beste modellen, med en justert R^2 -verdi på 0,84 og RMSE-verdi på 21,1. Dette var den beste modellen for alle kameraene i flyhøyden 100 meter. Mens for NIR var det 120 meter som var best med kun en forklaringsvariabel. Her var RMSE-verdien på 23,6, mens justert R^2 -verdi på 0,81. De andre modellene for NIR ved flyhøyde på 80 og 100 meter, der de justerte R^2 - og RMSE-verdiene var lave. Justert R^2 var henholdsvis 0,43 og 0,21, RMSE på 40,5 og 47,6. Beste regresjonsmodellen for trehøyde med bruk av 30 prøveflater var RE med flyhøyde på 120 meter. Modellen besto av fire forklaringsvariabler og hadde en R^2 justert på 0,89, og RMSE-verdi på 16,9 (tabell 6, figur 7).

Tabell 6: Potensielle regresjonsmodeller for trehøyde fordelt på kameratype og flyhøyde. Modellene blir vist med forklaringsvariablene, samt justert R^2 , RMSE og BIC. Disse er beregnet ut fra 30 prøveflater.

Kamera	Høyde	Forklaringsvariabel	Justert R2	RMSE	BIC
RGB	80	Hcv+H70	0,41	40,5	113,4
RGB	100	H70+D0	0,84	21,1	79,7
RGB	120	H80	0,81	23,5	82,9
NIR	80	D8	0,43	40,5	110,1
NIR	100	D9	0,21	47,6	125,3
NIR	120	H90	0,81	23,6	83,2
RE	80	Hskevness+H90	0,59	33,6	107,8
RE	100	Hsd+D0	0,73	27,4	95,4
RE	120	Hcv+Hkurt+H30+D0	0,89	16,9	73,4



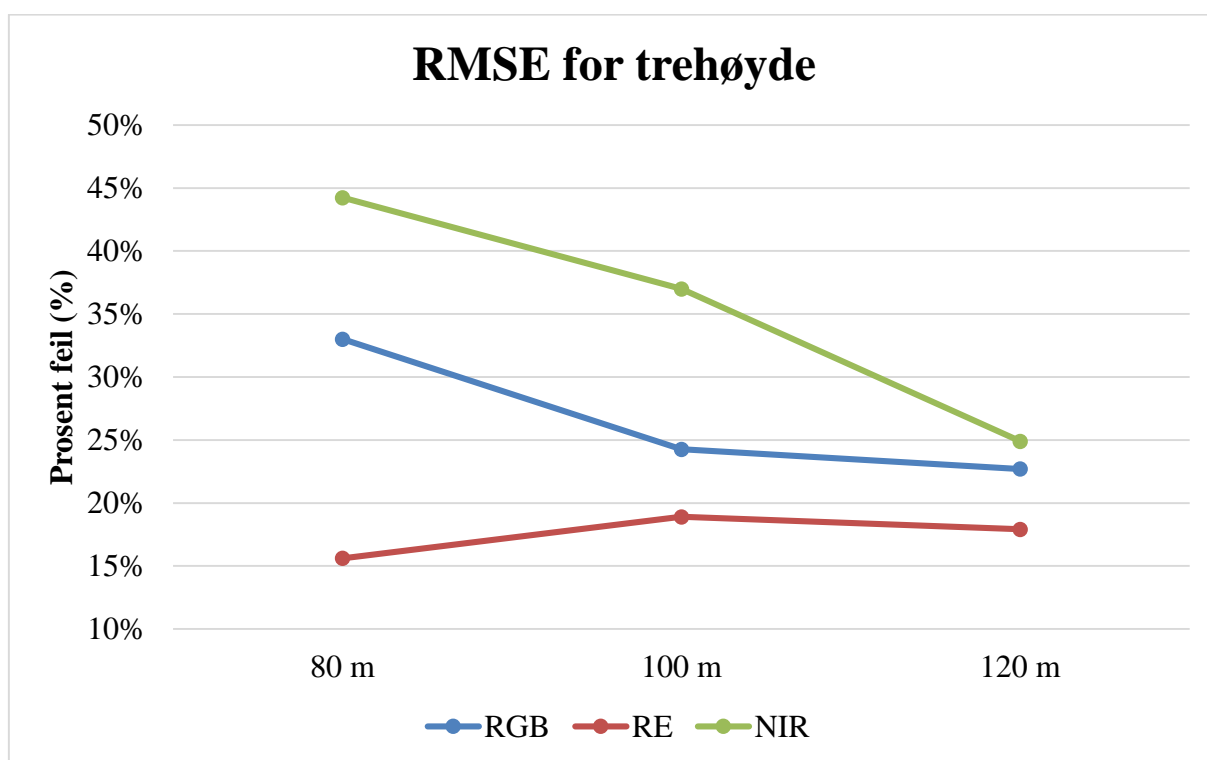
Figur 7: På Y-aksen vises det prosentvis feil mellom de predikerte og observerte verdiene for regresjonsmodellene ved trehøyde. X-aksen viser fordelingen mellom kameratype og flyhøyde ved 30 prøveflater.

3.1.2 Høydemodeller med 21 prøveflater

Kamera RE hadde totalt de beste modellene for trehøyde i alle flyhøydene. Beste modellen av disse var ved 80 meters flyhøyde og den dårligste på 100 meter. Her var justert R^2 - og RMSE-verdiene henholdsvis 0,92 mot 0,88 og 15,6 mot 18,9. For RGB er det ved flyhøyde på 120 meter som hadde den beste modellen. Denne modellen har to forklaringsvariabler, der den ene er D_0 som er en tetthetsvariabel. RMSE-verdien her var på 22,7 mens den justerte R^2 -verdien er på 0,83. samtlige modeller for RGB har mindre prosent feil enn NIR modellene ved gitt høyde. Modellene for NIR er forklaringsvariablene kun en høydepersentil (H80 og H90). Modellen for NIR ved 120 meters flyhøyde er den beste for NIR kameraene. Den justerte R^2 - og RMSE-verdien er 0,81 og 24,9 (tabell 7, figur 8).

Tabell 7: Potensielle regresjonsmodeller for trehøyder, fordelt på kameratype og flyhøyde. Modellene blir vist med forklaringsvariablene, samt justert R^2 , RMSE og BIC. Disse er beregnet ut fra 21 prøveflater.

Kamera	Høyde	Forklaringsvariabel	Justert R2	RMSE	BIC
RGB	80	Hmax+H70	0,64	33,0	64,8
RGB	100	Hsd+H70	0,81	24,3	51,9
RGB	120	H80+D0	0,83	22,7	49,1
NIR	80	H80	0,39	44,2	74,1
NIR	100	H80	0,57	37,0	66,6
NIR	120	H90	0,81	24,9	50,0
RE	80	Hmax+H80	0,92	15,6	33,4
RE	100	Hkurt+H90	0,88	18,9	41,4
RE	120	Hcv+Hkurt+D8	0,89	17,9	42,2



Figur 8: På Y-aksen vises det prosentvis feil mellom de predikerte og observerte verdiene for regresjonsmodellene ved trehøyde. X-aksen viser fordelingen mellom kameratype og flyhøyde ved 21 prøveflater.

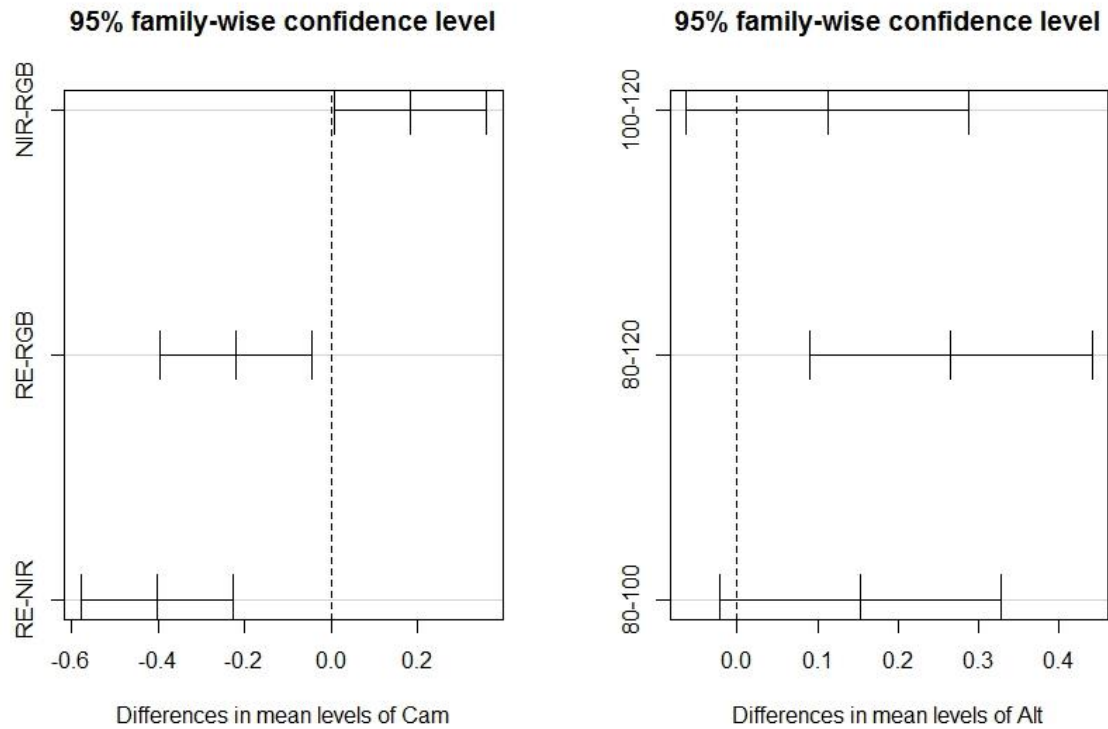
Det var en signifikant forskjell for trehøyde med 21 prøveflater mellom kamera (Anova: $F_{2,188} = 15,53$, $p < 0,05$), flyhøyde (Anova: $F_{2,188} = 6,75$, $p < 0,05$) og interaksjonen mellom kamera og flyhøyde (Anova: $F_{4,188} = 3,18$, $p < 0,05$) (Figur 5).

Tukey post hoc analysen viste at RGB er bedre enn NIR (Tukey HSD, $p = 0,032$), RE er bedre enn RGB (Tukey HSD, $p = 0,007$) og NIR (Tukey HSD, $p < 0,001$). For flyhøyde er 120 meter å foretrekke enn for 80 meter (Tukey HSD, $p < 0,001$). Det var ingen signifikant forskjell mellom 100-120 meter og 80-100 meter. (Tukey HSD, $p > 0,05$) (Figur 5).

Analysen av 36 interaksjoner viste ti signifikante verdier. Av disse signifikante interaksjonene var det syv av disse RE kamera å foretrekke ved ulike flyhøyder. Mellom kameraene NIR og RGB er det signifikant interaksjon, der kamera RGB er å foretrekke. Eneste signifikante verdiene NIR hadde var med eget kamera, der flyhøyden på 120 meter var å foretrekke (Tabell 8). Forklaringen av hvordan man skal lese tabell 6 er ved en negativ differanse er den førstnevnte kamera og flyhøyde å foretrekke. For positive verdier vil det andre kamera og flyhøyde være best. Det blir vist P-verdi som sier hvor signifikant interaksjonene er mellom de aktuelle kameraene og flyhøydene.

Tabell 8: Oversikt over signifikante interaksjoner mellom ulike kameraer og flyhøyder for trehøydemodeller. Med forklarende differanse og p-verdi.

Kamera:Flyhøyde	Differanse	P-verdi
RE:80-NIR:80	-0,710	2,181E-06
NIR:80-RE:120	0,676	8,012E-06
NIR:80-RE:100	0,661	1,426E-05
NIR:80-NIR:120	0,571	3,383E-04
NIR:80-RGB:120	0,554	5,925E-04
NIR:80-RGB:100	0,539	9,635E-04
RE:80-NIR:100	-0,445	1,444E-02
RE:80-RGB:80	-0,415	3,070E-02
NIR:100-RE:120	0,411	3,363E-02
RE:100-NIR:100	-0,396	4,812E-02



Figur 9: Residualer med 95% koeffisientintervall (Tukey HSD) ved tre høyde med 21 prøveflater.

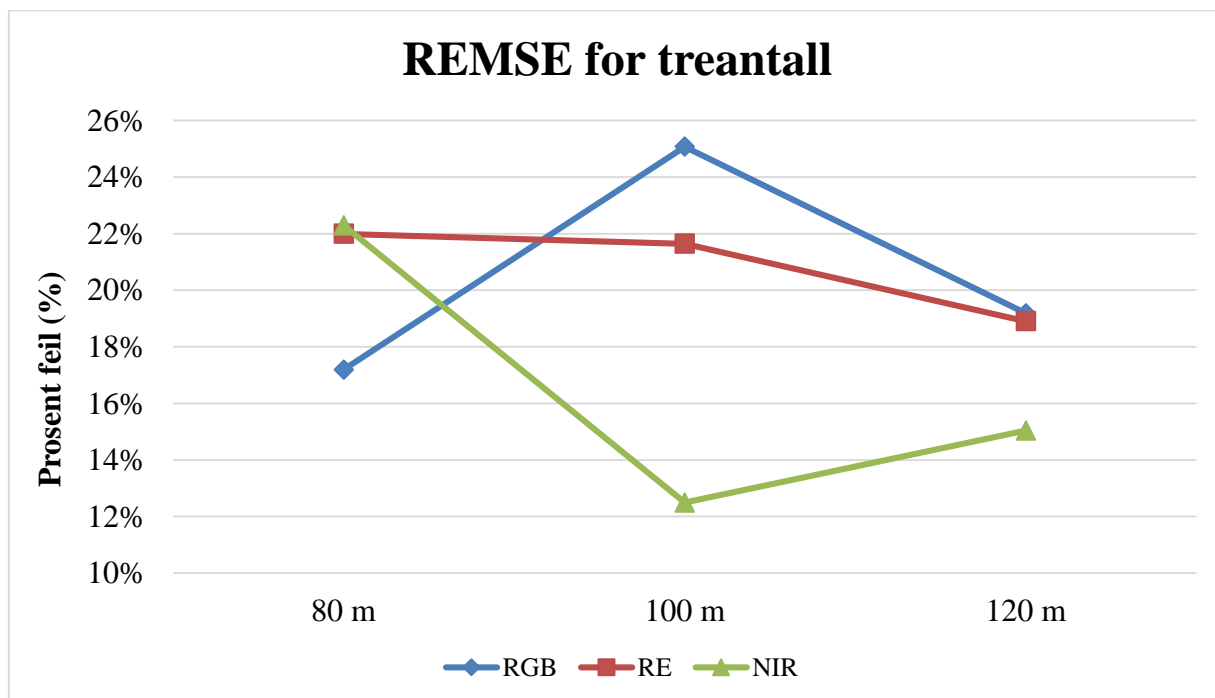
3.2 Tetthetsmodeller

3.2.1. Tetthetsmodeller med 21 prøveflater

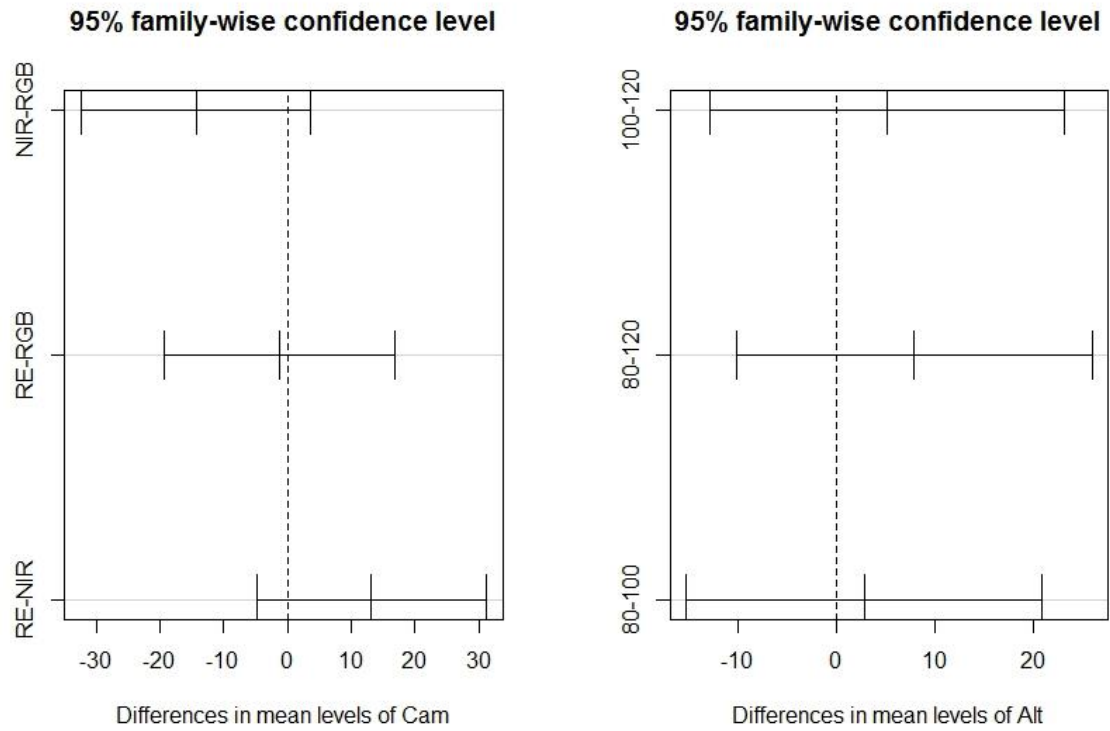
Ved regresjonsmodellering av treantall var det NIR ved 100 meters flyhøyde som var den beste. RMSE-verdien var her på 12,5, mens den justerte R^2 -verdien var 0,75. Denne modellen hadde totalt 12 forklaringsvariabler. Dårligste forklarte modellen er med RE kamera ved 80 meters flyhøyde. Der var R^2 -verdien var på -0,05, mens feilprosenten var på 22. Den beste modellen av RE kameraene var ved 120 meter, der ble R^2 - og RMSE-verdien henholdsvis på 0,54 og 18,9. Ved RGB modellene kom flyhøyden 80 meter best ut med en justert R^2 -verdi på 0,65, mens RMSE var på 17,2 (tabell 9 og figur 10).

Tabell 9: Beste regresjonsmodellene for treantall med bruk av 21 prøveflater forklaringsvariabler med justert R^2 , RMSE og AIC fordelt mellom kameratype og flyhøyde.

Kamera	Høyde	Forklaringsvariabel	Justert R^2	RMSE	AIC
RGB	80	Hmax+Hmean+Hkurt+Hskewness+ D2+D3+D5+D7+D9	0,65	17,2	253,49
RGB	100	Hmax+Hcv+Hkurt+Hskewness+ D2+D3+D6+D8	0,32	25,1	267,34
RGB	120	Hmean+Hsd+Hcv+Hskewness+ D1+D2+D4+D5+D8+D9	0,52	19,2	260,10
NIR	80	Hmax+Hsd+Hcv+Hkurt+D1+D3+ D4+D6+D7+D9	0,35	22,3	266,41
NIR	100	Hmax+Hmean+Hsd+Hkurt+Hskewness+ D1+D2+D3+D4+D5+D7+D9	0,75	12,5	246,06
NIR	120	Hmax+Hmean+Hsd+Hcv+Hkurt+ D2+D3+D4+D5+D6+D7+D8+D9	0,58	15,0	255,88
RE	80	Hmax+Hmean+Hsd+Hcv+Hkurt+Hskewness+ D1+D2+D3+D5+D6+D7+D8+D9	-0,05	22,0	273,83
RE	100	Hmean+Hsd+Hcv+Hkurt+Hskewness+ D1+D2+D3+D4+D6+D7+D8+D9	0,13	21,6	271,16
RE	120	Hmean+Hsd+Hcv+Hkurt+Hskewness+ D1+D3+D5+D6+D8	0,54	18,9	259,47



Figur 10: På Y-aksen vises det prosentvis feil mellom de predikerte og observerte verdiene for regresjonsmodellene ved treantall. X-aksen viser fordelingen mellom kameratype og flyhøyde ved 21 prøveflater.



Figur 11: Viser residualer med 95% koeffisientintervall (Tukey HSD) ved treantall med 21 prøveflater.

For treantall ble det ikke funnet noen signifikant interaksjon mellom kamera og flyhøyde. For kameratypene og flyhøydene ble det ikke funnet noen signifikante forskjeller (Tukey HSD, $p > 0,05$) (Figur 11).

4. Diskusjon

Formålet med denne studien var å se mulighetene for å benytte droner ved kartlegging av yngre skog i hkl. II. Innsamlingen av feltdata og flyfotogrammetri med drone ble gjort sommeren 2014. Det er ingen kjente publiseringer med kartlegging av ungskog ved bruk av drone og kamera i Norge. Fra utlandet er det funnet enkelte publiseringer der kartlegging av annen type skog ved bruk av droner er foretatt (Fritz et al. 2013; Lisein et al. 2013; Zahawi et al. 2015). Derfor er dette en nyskapende og innovativ oppgave med tanke på denne type kartleggingsmetode.

4.1 Innhenting og prosessering av dronedata

Ved økende datafangst øker også mulighetene for å få bedre datakvalitet. Dette gjelder også med flygningsteknikken i denne oppgaven. Flygningen her ble kun flydd en lengderetning. Kryssflygning av områdene ville trolig ha bedret kvaliteten på dataene drastisk. Hvis det hadde blitt flydd på denne måten er det stor sannsynlighet for at det hadde oppstått mindre problemer ved prosessering av dataene, grunnet større datagrunnlag. Videre er det viktig hvilken lengde- og breddeoverlapp som blir brukt. Under dette prosjektet ble det stilt inn en lengde- og breddeoverlapp på 70 % for flygningene. I etterkant har det vist seg at denne overlappen ikke er reell, lengden mellom hver gang dronen tok et bilde var varierende. Noe som medførte en ujevn overlapp. Feilen som har fremkommet har blitt rettet opp av SenseFly, etter at datainnsamlingen var avsluttet (SenseFly 2015). Ved vanlig flyfototakninger med store fly er det brukt en bredde- og lengdeoverlapp på 60-80 % (Fritz et al. 2013). Dette er en stor feilkilde i dataene, noe som kan være en av faktorene som gjorde at deler av datasettet i forsøksområdene falt ut i prosesseringene. Ved planleggingen av flyrute vil det også være viktig å se på topografien. Forsøksområdet i Furnes hadde ingen store forskjeller i topografien. Men på Brøttum var høydeforskjellene store over hele forsøksområdet, slik at området måtte deles inn i flere flygninger. Dette ble gjort for å gjøre kartleggingen optimal i tanke på kvaliteten på dataene. Ved kartlegging av større områder vil dette kunne skape utfordringer for flyplanleggingen. Det kan medføre behov for flere flygninger, slik at hele det planlagte arealet blir kartlagt. Ved denne type topografi ser det ut til å være viktig å fly langs med høydekonturene, slik at høydeforskjellene blir minst mulig. Variasjonen i topografien har vist seg å være en aktuell utfordring for kartlegging med laser fra store fly. I Norge kan topografien variere fra 100-1000 meter over havnivå på relativt korte avstander, noe som gjør det vanskelig å ha liten høydevariasjon i terrenget som blir kartlagt (Næsset & Bjerknes 2001).

I punktskyene oppsto det negative pulser, altså pulser under bakkenivå. I ortomosaikken ble disse negative pulsene vist som «svarte hull». De negative pulsene var mest konsentrert i ytterkantene av det prosesserte området, men også funnet andre steder i forsøksområdet. Sannsynlig er dette grunnen til at flere prøveflater hadde minimalt med punkttetthet.

Punktskytettheten var varierende mellom kameratype og flyhøyde. Ved flyhøyde på 120m lå den gjennomsnittlige punktettheten i referanseflaten mellom 401,3-497 punkter per m². For flyhøyde på 80 meter var gjennomsnittet av punkter høyest, der den lå mellom 571,5-885 punkter per m². Kameratype RE hadde den minste variasjonen av punkter mellom flyhøydene. Mens RGB kamera hadde generelt et høyere gjennomsnitt av punkter ved de forskjellige flyhøydene. Det ser ut til at det ikke er noen sammenheng mellom økende punktetthet for å få et god modell på trehøyde. Dette siden RE kamera har en punktetthet i referanseflaten ved 80 meters flyhøyde på 565,5 per m² og på 120 meter er den på det laveste 405,5 punkter per m² (tabell 5), fikk de beste modellene (tabell 7, figur 8).

Ved en lav flyhøyde og spesielt i ytterkanten kunne man i ortomosaikken se at skogen legger seg på bildene, på 120 meters flyhøyde ble dette problemet borte. Forekomsten av dette var mest utbredt i den eldre skogen. Det skapte da ikke noen problemer for prosjektet, siden det var ungskog i hkl. II som ble kartlagt. Enkelte eldre trær som har stått igjen etter hogst, for eksempel frøtrær ble ikke godt synlig i punktskydataene eller i ortomosaikken.

Noen av problemene ovenfor kunne trolig ha blitt unngått hvis innstillingene i prosesseringen hadde blitt justert. Dette har ikke blitt utprøvd i denne oppgaven.

Tidsrommet for innhenting av dataene var fra kl: 08:00 til 20:00. På ortofotoene fra dronedataene kunne man se områder som var skyggelagt i nærheten av eldre skog.

Flygningene på morgen og kveld hadde større områder skyggelagt enn de som ble flydd midt på dagen, når solen står høyest på himmelen. I fotogrammetri er skyggelegging et kjent problem, siden mye informasjon blir borte på områdene med skygge. I Kina har de dette problemet i urbane strøk med høye bygninger, derfor er det gjort en studie der de fjerner skyggene og bedrer datakvaliteten (Li et al. 2005). Blir det flydd på de årstidene solen står lavt på himmelen vil dette trolig skape store utfordringer. Det vil derfor trolig være å foretrekke å fly på dager som er overskyet. Ved dagens områdetakster der bemannet fly blir benyttet, kan ventingen på pent vær for å kunne fly være lang. Med en drone er ikke dette et problem siden den flyr under skyene.

Prosesseringen av dronedataene i Postflight Terra 3D var tidkrevende. Denne prosesseringen krevde mye datakraft for å være effektiv. Derfor ble det kjøpt inn en PC med i7 prosessor med fire kjerner og dual 2,5Ghz, samt 32 GB RAM. Dette kuttet kraftig ned på prosesseringstiden.

4.2 Passpunkter

I denne studien ble det brukt flere typer passpunkter som vist i metoden (figur 4). Utleggelsen av passpunktene synes å ha vært optimalt, både synlighet og antall passpunkter, i og rundt forsøksområdet. Passpunkter ble benyttet for å oppnå størst mulig nøyaktighet i prosesseringen av dronedataene, som til slutt gir en bedre punktsky. Passpunkter ble lagt ut i samråd med en erfaren landmåler. Mjøsplan AS målte inn samtlige passpunkter i forsøksområdene. Ved å benytte dette firma til innmålingen sikret det at innmålingen av passpunktene ble utført korrekt, og at det fikk best mulig kvalitet på passpunktene. Denne utførelsen av utleggelse og innmåling av passpunktene ser ut til å være optimal, siden RMSE-verdiene er minimale (tabell 2)

Passpunktene ble ulikt synlig visuelt ved forskjellige kameratyper. Plastikkors var veldig godt synlig i terrenget, og ble lett funnet igjen på bildene. Bredden og lengden på plastikkstrimlene kan trolig reduseres ytterligere. De langsgående stripene etter veien med med sprayet kors, og det merkede kumløkket ble godt synlig på bildene. De hvitmerkete steinene ble ikke synlig på bildene. Trolig ville en mørk stein med hvitt kors vært mer synlig. Passpunktene er lettere synlig ved bruk av kameratypene RE og NIR enn ved å benytte RGB kamera. Årsaken kan være at det blir større kontrast mellom vegetasjon som innehar klorofyll, enn for eksempel plastikkorsene. De ferdige produserte passpunktene var veldig tydelige på bildene, disse ser også ut til å foretrekkes. I bildene hos NIR var passpunktene lett å lokalisere, men de var mer utydelige enn ved kamerabildene til RE og RGB (figur 5).

SenseFly har kommet med en ny droneutgave som heter eBee RTK. Denne dronen har nesten samme spesifikasjoner som den vanlige eBee, det nye her er RTK (Real Time Kinematic). Dronens RTK mottaker tar imot korreksjonsdata og korrigerer georefereringen av bildene ned på 3cm nøyaktighet ved X/Y koordinatene og for Z er det 5cm. Ved bruk av en slik type drone vil behovet for passpunkter nesten trolig bli borte (SenseFly 2014c).

4.3 Feltobservasjoner

Utvelgelsen av prøveflatene ble gjort i QGIS, ved tilfeldig utvelgelse av punkter. Det ble gjort på denne måten for å unngå menneskelige påvirkninger av utvelgelsen av flatene. Hadde prøveflatene blitt utvalgt med menneskelig påvirkning ville disse trolig blitt lagt i områder

med mindre vegetasjon. På denne måten vil man kunne beholde bestandenes forskjellige sammensetninger.

Innmålingen av prøveflatene ble det brukt landmålingsutstyr med CPOS, som gir en stor nøyaktighet. Etter innmåling ble det plassert et trestikk som ble oppsøkt senere for registrering av data. Utstikkingen av prøveflatene ble gjort etappevis, for hver gang ble det utstukket 30 prøveflater. Ved denne metoden ble det prøvd å skape en effektiv arbeidssyklus av feltarbeidet.

4.4 Statistisk analyse

Ved å ta ut høydepersentilene på modelltestingen av treantall ga en bedre modell med tanke på RMSE- og justert R^2 -verdiene. Det ga ingen signifikante verdier mellom kamera typer eller mellom flyhøydene, det ble heller ikke funnet signifikante interaksjoner mellom kamera og flyhøyde. Modelltesting med og uten uttak av potensielle forklaringsvariabler ga modeller med mange forklaringsvariabler. Ved å ha mange forklaringsvariabler som i disse modellene vil trolig kunne gi sterk korrelasjon mellom forklaringsvariablene. Det å ha mange korrelerte variabler vil gi dårlige modeller.

Det ble utført en ekstra modelltesting for treantall. Det ble gjort en generalisert lineær modell med poisson distribusjon. Datasettet hadde en overdispersion som gjorde det viktig å benytte quasipoisson. Denne metoden er en god statistisk riktig måte å gjøre det på. Resultatene var allikevel veldig dårlig, så det ble valgt å gå bort i fra denne metoden.

4.5 Resultater

Det ble foretatt analyser med 30 og 21 prøveflater for trehøyde med RMSE- og justert R^2 -verdiene. Selv ved uttak av prøveflater etter kvalitetssikringen var det ved fire regresjonsmodeller en bedre RMSE-verdi enn ved 30 prøveflater. Forskjellen mellom disse modellene ved 30 og 21 prøveflater var dog liten. Den beste modellen for trehøyde var kamera RE best ved forskjellige antall prøveflater, flyhøydene var da 120 meter ved 30 prøveflater og 80 meter ved 21 flater (tabell 6 og 7, figur 7 og 8). Det kan se ut som at RE kameraet er å foretrekke ved kartlegging av trehøyde. RE kamera vil også være aktuell til kartlegging av andre ting. For eksempel ved bruk av slik kamera vil det også være mulighet for å kartlegge treslagsfordeling. Konsentrasjonen av klorofyllet er forskjellig mellom ulike arter, bjørk, gran og furu. Det skal derfor være mulighet for å skille disse. Skogens stress kan også bli funnet ut med bruk av RE kamera (Gitelson et al. 1996).

Videre ble alle analyser gjort på 21 prøveflater. Ved bruk av ANOVA analyse ble det funnet signifikante forskjeller mellom kameratypene og mellom flyhøydene. Det var også signifikant interaksjon mellom kamera og flyhøyde. Ved en post hoc Tukey HSD analyse var RGB å foretrekke fremfor NIR, mens RE var bedre enn RGB og NIR. Slik de signifikante verdier viser kan man med dette si at RE kameraet er best å bruke for kartlegging av trehøyde. Mellom flyhøydene for RE kamera kan man si det er best å bruke flyhøyde 80m. Ved bruk av annet kamera er det derfor best å bruke RGB kamera, men da ved en flyhøyde på 120 meter (tabell 8, figur 9). Hvis det er ønskelig med flyfoto for visuelt bruk vil der være best å bruke det vanlige optiske kamera RGB. Ut fra hvilke behov det er for tilleggsinformasjon utenom trehøyde bør kameratype vurderes i hvert enkelt tilfelle.

Med regresjonsanalyse av treantallet hadde modellen NIR ved en flyhøyde på 100 meter den beste RMSE-verdien. Mens den beste R^2 -verdien var det modellen med kameratype RGB ved 80 meter. I denne modelltestingen ble det brukt 16 potensielle forklaringsvariabler, siden høydepersentilene hadde blitt utelatt. I samtlige modeller fremkom det mange forklaringsvariabler til hver modell. Modellen for kamera RE med flyhøyde 80 meter hadde 14 av 16 mulige forklaringsvariabler, noe som er veldig mange for disse dataene (tabell 9, figur 10). De potensielle forklaringsvariablene er laget av punktskyens datagrunnlag, noe som vil kunne skape en høy korrelasjon mellom variablene. Modellene for treantall er derfor veldig dårlige. At det ikke ble funnet noen signifikante verdier i ANOVA analysen eller i Tukey HSD post hoc testen er derfor ikke spesielt merkelig (figur 11). Ut fra disse resultatene kan man ikke fremheve et kamera eller en flyhøyde som er å foretrekke.

I denne oppgaven ble det kun brukt kun 21 prøveflater som datagrunnlag, noe som er for dårlig. Resultatet ville trolig sett noe annerledes ut hvis datasettet hadde vært større.

5. Konklusjon

Resultatene fra denne studien viser at det er potensiale i kartlegging av trehøyde i hkl II med drone, der RE kamera ga de beste modellene. Beste flyhøyden for dette kamera var 80 meter. For kartlegging av treantall er det vanskelig å få et tilfredsstillende resultat. Det ble her ikke funnet noen gode modeller for denne type kartlegging. Det ses behov for ytterligere forskning og uttesting av denne metoden.

Datagrunnlaget var lite siden det oppsto problemer av ukjent årsak ved innhenting av dronedataene. Det bør derfor ikke konkluderes endelig basert på denne studien. Den bør heller ses på som et pilotprosjekt som har gitt verdifull informasjon for videre uttesting. Metoden som ble brukt for trehøydemodellene ser ut til å ha et potensiale for å forklare høyden korrekt i ungskog. For treantallmodellene er det behov for mer testing for å finne en god metode.

6. Referanser

- Aaheim, A. (2009). *Konsekvenser av klimaendringer, tilpasning og sårbarhet i Norge*, 2009:04. Oslo: CICERO.
- Aldred, A. & Bonnor, G. (1985). *Application of airborne lasers to forest surveys*, b. 51.
- Allskog, Mjøsen Skog & AT plan. (2014). *Allma Eiendom*. Lillehammer.
- Axelsson, H. & Nämnden för skoglig, f. (1980). *Flygbildsteknik och fjärranalys : en handbok*. Gävle: Nämnden.
- Baltsavias, E., Gruen, A., Eisenbeiss, H., Zhang, L. & Waser, L. (2008). High-quality image matching and automated generation of 3D tree models. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (5): 1243-1259.
- Bjerknes, K.-O. (2000). *Flybåren laser til bestemmelse av gjennomsnittshøyde og treantall i hogstklasse II = Determination of mean tree height and number of trees of cutting class II using airborne laser*. Determination of mean tree height and number of trees of cutting class II using airborne laser. Ås: K.-O. Bjerknes.
- Bygg Control AS. (2014). *Fotogrammetri med droner*. Karttreff i Rogaland 2014. Rogaland. Tilgjengelig fra: <http://wpstatic.idium.no/www.geoforum.no/2014/10/Fotogrammetri-med-droner.pdf> (lest 21.04.2015).
- Bøhn, N., Bergsaker, E., Bergene Holm, R., Randin Klokkeengen, O., Evjen, B. H., Hjort, F., Rognstad, Ø., Berget, T., Brustad Moe, A. C., Kinderås, K., et al. (2015a). SKOG22 Nasjonal strategi for skog- og trenæringen. Oslo: Innovasjon Norge, Norges forskningsråd.
- Bøhn, N., Bergsaker, E., Bergene Holm, R., Randin Klokkeengen, O., Evjen, B. H., Hjort, F., Rognstad, Ø., Berget, T., Brustad Moe, A. C., Kinderås, K., et al. (2015b). SKOG22 Rapport fra arbeidsgruppe SKOG. Oslo: Innovasjon Norge, Norges forskningsråd.
- Colomina, I. & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92: 79-97.
- Dalløkken, P. E. (2014, 25.11). Norsk minidrone har fått overhaling - så mye bedre har den blitt. *Teknisk ukeblad*.
- Eid, T., Fitje, A. & Hoen, H. F. (2002). *Økonomi og planlegging : teknisk fagskole : fordypningsområde skogbruk*. Oslo: Gan.
- Esri. (2014). *ArcGIS*. 10.2.2 utg. Redlands, California.

- Fritz, A., Kattenborn, T. & Koch, B. (2013). UAV-based photogrammetric point clouds—Tree stem mapping in open stands in comparison to terrestrial laser scanner point clouds. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 40: 141-146.
- Fronzek, S. & Carter, T. R. (2007). Assessing uncertainties in climate change impacts on resource potential for Europe based on projections from RCMs and GCMs. *Climatic Change*, 81 (1): 357-371.
- Geomatikkseksjonen, Institutt for matematiske realfag og teknologi & Universitetet for miljø- og biovitenskap. (2009). *Fotogrammetri: Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fotogrammetri> (lest 15.06.2015).
- Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N. & Lichtenthaler, H. K. (1996). Detection of red edge position and chlorophyll content by reflectance measurements near 700 nm. *Journal of Plant Physiology*, 148 (3): 501-508.
- Gobakken, T., Korhonen, L. & Næsset, E. (2013). Laser-assisted selection of field plots for an area-based forest inventory. *Silva Fennica*, 47 (5).
- Grenzdörffer, G., Engel, A. & Teichert, B. (2008). The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31 (B3): 1207-1214.
- Grøtli, E. I., Transeth, A. A., Gylland, A., Risholm, P. & Bergh, I. S. B. (2014). *Naturfareprosjektet: Kartlegging av status og potensiale for dronebasert teknologi*. energidirektorat, N. v. o., vegvesen, S. & Jernbaneverket. Trondheim: SINTEF IKT. 76 s.
- Hardin, P. J. & Hardin, T. J. (2010). Small-Scale Remotely Piloted Vehicles in Environmental Research. *Geography Compass*, 4 (9): 1297-1311.
- Hæhre Entreprenør AS & TerraTec AS. (2014). *Rapport om dronetest på Ørgenvika*. 43 s. Upublisert manuskript.
- Jaune, L. A. (2015). *Yellowscan*. Montferrier sur Lez. Tilgjengelig fra: <http://yellowscan.lavionjaune.com/> (lest 14.06).
- Johannessen, P. (2014). *Operasjonsmanual*. Fredrikstad. Upublisert manuskript.
- Kellomäki, S., Karjalainen, T., Mohren, F. & Lapveteläinen, T. (2000). *Expert assessments of the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe*: European Forest Institute.
- Kjær, R. & Nilsen, J. E. (2007). *Skogbruksplanlegging, Metoder og behov for grunnlagsdata*. Ås: Statens kartverk. Tilgjengelig fra:






- http://kartverket.no/Documents/Om%20Kartverket/Geovekst/Veiledningsdokumentasjon/Vedlegg1_laserscanning.pdf (lest 03.06.2015).
- Li, Y., Gong, P. & Sasagawa, T. (2005). Integrated shadow removal based on photogrammetry and image analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (18): 3911-3929.
- Lisein, J., Pierrot-Deseilligny, M., Bonnet, S. & Lejeune, P. (2013). A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery. *forests*, 4 (4): 922-944.
- Luftfartstilsynet. (2014). *Bruk av ubemannede luftfartøy i Norge*. Tilgjengelig fra: <http://www.luftfartstilsynet.no/regelverk/aic-n/article10861.ece> (lest 23.05.15).
- McGaughey, R. J. (2015). *Fusion*. 3.42 utg. Washington DC: US Department of agriculture, Forest service, Pacific northwest research station.
- Nelson, R., Krabill, W. & MacLean, G. (1984). Determining forest canopy characteristics using airborne laser data. *Remote Sensing of Environment*, 15 (3): 201-212.
- Norkart. (2014). Gisline.
- Norsk institutt for skog og landskap. (2013). *Droner kan gi bedre skogbruk i bratt terreng*. Tilgjengelig fra: <http://forskning.no/skog-skogbruk-luftfart/2013/11/droner-kan-gi-bedre-skogbruk-i-bratt-terreng> (lest 25.03.2015).
- Næsset, E. (1997a). Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52 (2): 49-56.
- Næsset, E. (1997b). Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 61 (2): 246-253.
- Næsset, E. (2001). Ressurskartlegging med flybåren laser-scanner: -Snart virkelighet. *Norsk Skogbruk*, 5.
- Næsset, E. & Bjercknes, K.-O. (2001). Estimating tree heights and number of stems in young forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 78 (3): 328-340.
- Næsset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyypä, H., Hyypä, J., Maltamo, M., Nilsson, M., Olsson, H., Persson, Å. & Söderman, U. (2004). Laser scanning of forest resources: the nordic experience. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19 (6): 482-499.
- Næsset, E. (2011). Estimating above-ground biomass in young forests with airborne laser scanning. *International Journal of Remote Sensing*, 32 (2): 473-501.
- Pix4D. (2014). *Postflight Terra 3D*. 3.2.101 utg. Lausanne.

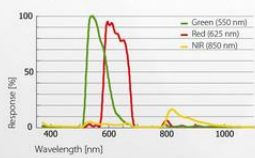
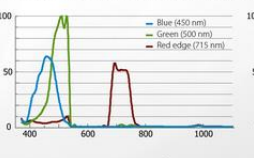
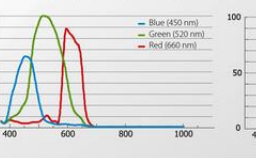
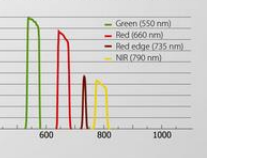
- Quantum GIS Development Team. (2014). *Quantum GIS Geographic Information System*.
2.8.2 utg.: Open Source Geospatial Foundation Project.
- R Core Team. (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for statistical computing.
- Rayner, D. M. & O'Neil, R. (1979). Laser Fluorosensors for Remote Environmental Monitoring. *Optics News*, 5 (3): 13-17.
- Routescene. (2015). *Lidarpod*. Edinburgh. Tilgjengelig fra: <http://www.routescene.com/> (lest 14.06).
- Samferdselnytt. (2015). *Utvikling av droner ønskes velkommen av Europakommisjonen: Samferdselnytt*. Tilgjengelig fra: <http://samferdselinfra.no/flyplass/utvikling-av-droner-onskes-velkommen-av-europakommisjonen/> (lest 14.06).
- Saude, T. (1992). *Øyets anatomi og fysiologi*. Asker: Tell.
- SenseFly. (2014a). *Camera*. Lausanne: SenseFly. Tilgjengelig fra: <http://sensefly.com> (lest 05.06.2014).
- SenseFly. (2014b). *eBee - The professional mapping drone*,. Lausanne: SenseFly.
Tilgjengelig fra:
https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/documents/brochures/eBee_en.pdf
(lest 17.06.2014).
- SenseFly. (2014c). *eBee RTK - The survey-grade mapping drone*,. Lausanne: SenseFly.
Tilgjengelig fra:
[https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/documents/brochures/eBee RTK_en.pdf](https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/documents/brochures/eBee_RTK_en.pdf) (lest 21.11.2014).
- SenseFly. (2014d). *eMotion*. 2.4.6 utg. Lausanne.
- SenseFly. (2015). *eMotion - Release Notes*. Lausanne: SenseFly. Tilgjengelig fra:
<https://www.sensefly.com> (lest 17.06.2015).
- Skog og Landskap. (2014). *Gardskart på internett*. Ås. Tilgjengelig fra:
<http://www.skogoglandskap.no/> (lest 10.06).
- Skogbruksplanlegging : skogbruksplanlegging som skogpolitisk virkemiddel framover*. (1998).
NIJOS-rapport (trykt utg.), b. 13/98. Ås: Norsk institutt for jord- og skogkartlegging.
- Statens Kartverk. (2015). *CPOS*. Hønefoss: Statens Kartverk. Tilgjengelig fra:
<http://kartverket.no/Posisjonstjenester/CPOS/> (lest 15.06.2015).
- Statistisk sentralbyrå. (2014). *Strukturen i skogbruket, 2013*. Tilgjengelig fra:
<https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/stskog/aar/2014-09-30> (lest 25.05.2015).

- Tandberg, E. & Jarslett, Y. (2013). *Drone*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/drone> (lest 28.05.2015).
- Tomter, S. M. & Dalen, L. (2014). *Bærekraftig skogbruk i Norge*. Ås: Norsk institutt for skog og landskap.
- Topcon Europe Positioning. (2015). *GRS-1 with Vanguard Technology*. Capelle: Topcon Europe Positioning,. Tilgjengelig fra: http://www.topconpositioning.eu/sites/default/files/product_files/grs-1_survey_brochure_d_team_en_eu_low.pdf (lest 25.05.2015).
- Vennesland, B. (2006). *Skogressursene i Norge 2006 : muligheter og aktuelle strategier for økt avvirkning*. Viten fra Skog og landskap, b. 03/2006. Ås: Norsk institutt for skog og landskap.
- Zahawi, R. A., Dandois, J. P., Holl, K. D., Nadwodny, D., Reid, J. L. & Ellis, E. C. (2015). Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. *Biological Conservation*, 186: 287-295.
- Ørka, H. O. (2013). *lasR: Handy functions for forest inventory researches using airborne laser scanning*. R package version 0.3.3.

Vedlegg

Vedlegg 1:

	Near infrared camera S110 NIR Default eBee Ag camera	Red edge camera S110 RE Optional camera	Standard camera S110 RGB Optional camera	Multispectral camera multiSPEC 4C Optional camera
Technical features				
Resolution		12 Mp		4 sensors of 1.2 Mp
Ground resolution at 100m		3.5 cm/px		10 cm/px
Sensor size		7.44 x 5.58 mm		4.8 x 3.6 mm per sensor
Pixel pitch		1.86 µm		3.75 µm
Image format		JPEG and/or RAW		RAW
Flight time		up to 45 minutes		up to 30 minutes
Upward looking irradiance sensor		No		Yes
Characteristics				
High wind & low light condition	★★★	★★★★	★★★★	★★★★★
Usability	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Single image sharpness & visual quality	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Mission flight time	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★
Orthoimage & DSM	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★
Ground sampling distance (GSD)	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★
Band precision	★★★	★★★	★★★	★★★★★
Ag applications				
Biomass indicator	★★★★	★★★	-	★★★★★
Leaf area indexing	★★★★	★★★	-	★★★★★
Plant stress assessment	★★★	★★★★	-	★★★★★
Growth monitoring	★★★★	★★★	-	★★★★★
Pigment concentration analysis	★★★	★★★★	★★★	★★★★★
Nitrogen recommendation	★★★	★★	-	★★★★★
Band responses				
These graphs show the response rate of each camera's bands (normalized) at different light wavelengths.				
				

www.sensefly.com

(SenseFly 2014a)

Vedlegg 2:

Feltinstruks

Feltinstruksen beskriver hvordan arbeidet med innhenting av referansedata er utført, samt de ulike parametere som inngår i kontrolldataene. Kontrolldataene er nødvendig for å sjekke nøyaktigheten i dataene innhentet av dronen. De ulike parameterne som samles inn i felt, og som brukes for å kontrollere og således sammenligne dataene som fremkommer av dronen, er gjennomsnittlig trehøyde, treantall totalt og treslagsfordeling.

Før feltarbeidet iverksettes blir skogbruksplanen brukt til å fordele prøveflatene på ulike strata. Prøveflatene skal ligge i hogstklasse II og disse skal på forhånd være koordinat bestemt før det blir oppsøkt i felt. Det vil være 8 ulike strata innenfor Hkl. II, som består av egenskapene; gamle/unge, glisne/tette og ikke løv/løv. Av hver kombinasjon skal det være 10 prøveflater, 5 stk i hvert prøveområde. Noe som gir til sammen totalt 80 prøveflater, 40 flater i hvert prøveområde. Finner man ut at prøveflatene er lagt inntil eller på bestandsgrensen, skal hovedflaten flyttes 5 meter i rett linje ut fra bestandsgrense.

Prøveflatene har en radius på 8,92 meter som tilsvarer en flate på 250 m². Innefor prøveflaten blir det igjen lagt ut 4 mindre prøveflater på 3,57 meter, som tilsvarer 40 m². Delflatene blir lagt 4,8 meter i hver sin himmelretning (nord, øst, sør og vest) fra sentrum av hovedflaten. Hovedflatene blir nummerert oppover (1,2,3 osv.), i tillegg får hver dele flate et ekstra nummer: N= 1, Ø= 2, S= 3 og V= 4 (eks. flate 1: 11, 12, 13, 14, flate 2: 21, 22, 23, 24). i tillegg får hver delflate et ekstra nummer: N= 1, Ø= 2, S= 3 og V= 4 (eks. flate 1: 11, 12, 13, 14, flate 2: 21, 22, 23, 24). Hver delflate ble deretter delt inn i kvadranter, der første kvadrant startet retning nord.

Innenfor hver delflate ble det målt:

- Antall trær med treslagsfordeling (gran/furu/lauv)
- Høyden til ca. fem prøvetrær på hver delflate (ca.20 prøvetrær per hovedflate)

Dronedataene måles høydene på steiner, stubber o.l., for å slippe denne bakgrunnsstøyen ble det ikke telt noen trær som var lavere enn 0,5 meter.

Når prøvetrær skal bestemmes, blir det gjort et anslag av antall trær innenfor prøveflaten. I hver kvadrant skal første treet bli brukt som prøvetre. Deretter blir hvert 5 tre valgt ut som prøvetre. Samtlige prøvetrær innen hver flate blir merket med merkebånd, deretter måles høyden til nærmeste desimeter. Det skal bli brukt en høydestav på 5 meter, der trærne er høyere skal det bli brukt en Vertex høydemåler. Dette noteres i skjemaet, sammen med treslaget på prøvetreet. Treslagskodene som brukes er gran: 1, furu: 2 og lauv: 3.

Etter registrering av hver delflate i felt, skal flaten bli beskrevet med en gruppekode, etter hvilken kombinasjon denne består av. Delflate kodene er; ung/gammel = 100/200, tett/glissen = 010/020 og lauv/ikke lauv = 001/002.

GPS instruksen

Prøveflatene blir målt inn med oppmålingsutstyr fra Topcon, der en GRS-1 blir brukt (Topcon Europe Positioning 2015). Dette utstyret bruker en CPOS tjeneste som er levert av Statens Kartverk som gir korreksjonsdata, som gir nøyaktigheten til innmålingen ned på centimeteren.

Når man har målt inn prøveflatens sentrum, skal en trestikk slås ned og sprayes med tydelig farge, slik at den er lett synlig. Etter innsamlingen av dataene i prøveflaten blir punktet målt inn på nytt. Dette må da være minimum 45 min etter første innmåling, for å korrelere for feil.

For alle punktene til prøveflatene blir det brukt EUREF89, UTM sone 32N som koordinatsystem.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no