



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2020 30 stp
MINA

En undersøkelse av LiDAR sin egnethet for å kartlegge bakkevegetasjon

Ida Øie

Master i skogfag

Forord

Denne masteroppgaven er noe av det siste jeg gjør som student og avslutter dermed 2 fine år på Ås. Denne oppgaven er en del av et prosjekt som er et samarbeid mellom mange aktører i samfunnet bestående av: Norsk Institutt for Bioøkonomi (NIBIO), Skogbrand, Norges Skogeierforbund, Brannvesenet i Skien og Telemark samt Direktoratet for Samfunnssikkerhet (DSB). Takk for at jeg fikk være en del av dette prosjektet. Hovedmålet med prosjektet er å på sikt kunne utvikle et risikokart for skogbrann. I oppgaven min har jeg undersøkt hvorvidt LiDAR kan anvendes til å si noe om bakkevegetasjonen, da det er begrenset med informasjon om dette fra før.

Aller først vil jeg takke mine veiledere: Professor Mikael Ohlson ved NMBU, Forsker Marius Hauglin og Seniorforsker Ken Olaf Storaunet ved NIBIO for mulighet til å samarbeide med dere og for feedback underveis i prosessen. Så vil jeg Kjetil Løge i Skogbrand som satte meg i kontakt med Marius angående masteroppgave. Videre vil jeg takke Even Sveen ved Romedal Almenning for tilgang på informasjon om hvor det befant seg urørt skog i hogstklasse 4 og 5.

Videre vil jeg takke mine feltassistenter – min far, og verdens beste feltassistent Maren. Tusen takk for hjelpen ved gjennomføring av feltarbeid. Jeg vil takke kollektivet for å ha holdt ut med meg under denne rare perioden. Jeg vil også takke øvrige familie og venner. Og sist men ikke minst en stor takk til Lånekassen for 8 år med studiestøtte – det var verdt hver eneste krone. Takk for meg.

Ida Øie

Vallset, 2. juni 2020

Sammendrag

LiDAR er i dag benyttet til mange formål, men er mest benyttet i skoginventering og terrengmodellering. Det sier altså noe om hva som befinner seg i det øverste vegetasjons-sjiktet – skogen, og det som befinner seg helt nederst, altså bakken. Men hva med det som er midt imellom – altså bakkevegetasjonen? Formålet med denne oppgaven var å undersøke om LiDAR kunne anvendes til å finne informasjon om bakkevegetasjonen. Mine funn indikerer at LiDAR kan anvendes til å finne informasjon om bakkevegetasjonen, og at laservariablene for høyde og kronetetthet er bedre egnet til å si noe om bakkevegetasjonen enn laservariablene hvor alle bakketreff og alle treff over 3 meter ikke er med. Grunnene til dette kan være flere ting, men siden LiDAR er mye brukt i skoginventering gir den mye informasjon om trærne, og det kan godt tenkes at informasjonen om trærne også indirekte kan gi oss informasjon om hva som befinner seg under trekronene. En annen er at kronetettheten blant trær vil variere, og noen vil være tettere enn andre og de som har litt sparsomme kroner tillater kanskje flere laserpulser å komme ned gjennom trekronene. Mine funn viser at LiDAR kan brukes til å finne informasjon om bakkevegetasjon.

Abstract

LiDAR is used for many purposes today, but it is mostly used for doing forest inventory and terrain modelling. It tells us something about what the upper vegetation layer meaning the trees and what can be found all the way at the bottom of the forest meaning the ground. But what about the layer in between these two, the ground vegetation? The purpose of this study is examining whether or not LiDAR can be used to find information about the ground vegetation. My findings indicate that LiDAR can be used for finding information about ground vegetation and that the laser variables saying something about height and crown density are better fitted for saying something about ground vegetation than the laser variables where all hits on ground level and all hits above 3 meters are excluded. The reasons for this may be several, but since the LiDAR is much used for doing forest inventory it provides information about the trees, and it might be that the information about the trees also indirectly can provide information about what is hiding underneath the canopies. Another reason for this might be that the canopy density among trees will vary, some of the canopies will be denser than others, and those that have more sparse canopies may allow more of the laser pulses to go through the canopies. My findings show that LiDAR can be used for finding information about ground vegetation.

Innhold

Forord	2
Sammendrag	4
Abstract	4
1. Innledning	8
2. Materiale og metode.....	11
2.1 Studieområde	11
2.2 Studiedesign	12
2.3 Feltarbeid	13
2.4 Generell beskrivelse av datamaterialet	17
2.5 Databehandling	18
2.6 Laserdata	19
2.6.1 Generelt om laserdata.....	19
2.6.2 Laservariabler	20
2.7 Statistiske analyser	21
3. Resultater	22
3.1 Lineære regresjoner	22
3.2 Predikert mot feltmålt vegetasjonsmengde for pdens_veg_0-3	22
3.3 Stepwise modell	26
4 Diskusjon	28
5 Referanser	32

1. Innledning

Skogbrann er en naturlig del av naturens gang, og omfang samt intensitet kan variere. I et klima som stadig forandrer seg, med varierende temperaturer og nedbørsmengder vil skogbrann trolig bli et mer aktuelt tema. Vi har sett de siste årene at klimaet i verden har blitt varmere og tørrere, og dette er en kombinasjon som øker sjansene for skogbrann betraktelig. Med et klima som stadig er i endring kan skogbrannene bli mer intense, få større omfang og menneskeliv kan gå tapt. De siste 10-15 årene har det vært en rekke større skogbranner rundt om i verden som har fått alvorlige konsekvenser (NordiskRåd, 2019; Rodman et al., 2020). Slike endringer i skogbrannregimene har vært tydelige i løpet av de tre siste årene da det har vært flere store og katastrofale branner, som også har krevd flere menneskeliv.

De siste årene har det vært flere alvorlige og store skogbranner. I 2017/2018 sesongen var det mye snakk om skogbrannene i Nord-Amerika som herjet over store områder og kostet mange mennesker livet (Aftenposten, 2018). I slutten av 2019 og begynnelsen av 2020 herjet det skogbranner over store deler av Australia, i en ganske lang periode som gjorde stor skade og krevde en del menneskeliv (Adams, 2013; Nolan et al., 2020). I 2014 og 2018 brant det store skogområder i i Sverige (Gilljam, 2019; NordiskRåd, 2019).

Historisk sett har det vært tradisjon for brenning av skogområder i Norge, før aktiviteten begynte å minke fra rundt 1750 og utover (Øyen, 1998). Majoriteten av avbrenningsvirksomheten i skogsområder i Norge var spesielt rettet mot landbruksformål som å etablere nye beiter, eller å skape et bedre miljø for fremtidig landbruk, da asken fra brenningen fungerte som gjødsel (Bleken et al., 1997; Øyen, 1998). Etter industriens inntog ble det mindre avbrenning av større områder. Skogbrannene oppsto som regel enten på naturlig vis gjennom uvær i form av lynnedslag eller som følge av menneskelig aktivitet, som er de to vanligste årsakene til skogbrann (Bleken et al., 1997; Øyen, 1998).

Hva som kan være ei mulig framtidig brannflate eller ikke bestemmes av en rekke faktorer som for eksempel tilgang til brennbart materiale – lyng blant annet, fuktighetsnivået både i bakken men også i vegetasjonen selv, topografi, og sist men ikke minst vind – både retning og hastighet (Nygaard & Brean, 2014). Internasjonalt har det vært forsket mye på hva fuktighetsnivået i det brennbare materialet kan ha mye å si (Jia et al., 2018; Yebra et al., 2013). En skogbrann kan gjøre stor skade og bidra til tap av store økonomiske verdier, men det finnes også arter i den norske naturen som er avhengige av brente naturområder for å

kunne sikre sin overlevelse (Nygaard & Brean, 2014). Bråtestorknebb er ei plante som gjerne dukker opp raskt etter skogbrann (Nygaard, 1997). Sotpraktbillen (*Melanophila acuminata*, De Geer, 1774) er også en art som har en tendens til å dukke opp etter skogbrann (Bakke 1996, Wikars, 1997 referert i (Øyen, 1998)).

Her til lands har brannfaren økt betraktelig de siste 20 årene, og om vi ser tilbake kan vi se at noen år var spesielt fremtredende hva skogbrann angår, som for eksempel 2006, 2008, 2014 og 2018, hvor sistnevnte var en rekordtørr og varm sommer (Gilljam, 2019; Nygaard & Brean, 2014; Urdahl, 2006). Frolandsbrannen i 2008 huskes ganske godt den dag i dag, hvor et område på 26 km² ble berørt av brannen som gjorde den til den største i Norge på over 100 år (Storaunet et al., 2008). Sommeren 2018 ble skrevet inn i historiebøkene som den tørreste sommeren siden 1900, da registreringen begynte (DSB, 2019). Grunnene til at sommeren 2018 ikke fikk mer alvorlige konsekvenser sies å være mange, for eksempel lite vind, god beredskap – både i lufta og på bakken (DSB, 2019).

God informasjon om skogen og kunnskap om skogstruktur er viktig for skogbrannberedskapen. Et viktig steg for å opparbeide seg slik kunnskap er kartlegge vegetasjonen, og dekningen av denne da skogbranner som oftest går langs med bakken og fuktighetsnivået i vegetasjonen har betydning (Campbell et al., 2018; Granström, 1993; Komarek, 1967). For det finnes flere typer brannforløp, lav løpebrann for eksempel sprer seg langs bakken med en hastighet på 7 til 10 meter per minutt (Skredsvig, 2007). Høy løpebrann derimot sprer seg over bakken som for eksempel oppover langs stammene på trærne med en hastighet på rundt 10-30 meter per minutt (Skredsvig, 2007). Toppbrann er når brannen har spredd i til tretoppene og hastigheten på spredningen er høy med 30-40 meter per minutt eller mer. Fordi toppbrannene sprer seg med en så stor hastighet og energi-nivået er veldig høyt kan brannen «fly» flere hundre meter lengre bort ved at kvister og partikler som brenner blir ført med lufttrykk og vind og dermed starter ny brann der det lander – dette kalles for en flyvebrann (Skredsvig, 2007). Om det er potensiale for at en skogbrann skal utvikles til toppbrann avgjøres blant annet av mengden brennbart materiale som er tilgjengelig på bakken, spesielt under trærne (Campbell et al., 2018; Granström, 1993; Komarek, 1967); Å kartlegge informasjon om andel brennbart materiale i et område gjennom målinger ute i felt er en veldig tidkrevende prosess, men ettersom teknologien har utviklet seg, har det også dukket opp mindre tidkrevende metoder å anvende til vegetasjonskartlegging (Næsset, 2002).

Etter hvert som teknologien har utviklet seg har også mulighetene for å holde oversikt over skogen på andre måter enn feltarbeid som er en ganske tidkrevende prosess. Laserskanning er

en metode som har blitt brukt i skogbruket siden 80-tallet, og teknologien har blitt bedre med årene (Næsset et al., 2004). Norge og resten av de nordiske landene har vært sentrale innen bruk av laserskanning i forbindelse med skoginventering (Næsset, 2002; Næsset et al., 2004). Metoden har blitt brukt i forbindelse med skoginventerings-formål i de nordiske landene siden begynnelsen av 90-tallet (Næsset, 2004; Næsset et al., 2004). Med stadig utvikling i teknologien noe som har skapt rom for bredere bruk av fjernmåling til en rekke formål (Campbell et al., 2018; Næsset, 2002; Næsset et al., 2004). Den har også fått flere nye bruksområder og brukes i dag innen et bredt spekter innen skogindustrien både i skoginventering, kulturminneregistrering for å nevne noe (Næsset et al., 2004; Risbøl et al., 2011).

Over hele verden er det etablert forskjellige kartleggingssystemer med fjernmåling som utgangspunkt i et forsøk på å kartlegge risiko for skogbrann. Det finnes mange metoder som kan benyttes for risikokartlegging. Mest brukt er Normalized Difference Vegetation Index Normalized Difference Water Index , samt registrering med aktive sensorer som for eksempel LiDAR (Light Detection And Ranging) og flybåren laserskanning (Molaudzi & Adelabu, 2018). Bruk av LiDAR til å finne informasjon om brennbart materiale er forholdsvis nytt, men det er gjort noe forskning på det (Campbell et al., 2018). Det meste av forskningen som er gjort på fuel load og fjernmåling relaterer til treet og trekrona, og ikke det som er på bakken (Erdody & Moskal, 2010; Saatchi et al., 2007). Når laseren sender ut pulsene går de ned helt til de treffer et tre, vegetasjon eller bakken, og majoriteten av pulsene som sendes ut treffer som regel tærne før det når lengre ned (Campbell et al., 2018; Næsset et al., 2004; Saatchi et al., 2007).

Flere land utviklet egne risikoberegninger spesielt designet for skogbranner, deriblant både Canada og Sverige. Canada har banet vei for selve prosessen og har et stort datagrunnlag som går langt tilbake i tid, og systemet som blir benyttet i Canada kalles Canadian Forest Fire Weather System (Linåker & Jönsson, 2010). Sverige har latt seg inspirere av metodene som er brukt i Canada (Linåker & Jönsson, 2010). New Zealand har også utviklet sitt eget system for risikokartlegging og har laget en versjon av Canada sitt system med modifikasjoner spesielt tilpasset sine omgivelser (Linåker & Jönsson, 2010). Etter katastrofebrannene i Sverige i 2018 ble det satt i gang tiltak blant svenskene for å kartlegge risikoen for skogbrann bedre (Gilljam, 2019).

Med økende brannfare, er en risikokartlegging av skogbrannfare viktig for samfunnet i sin helhet, både for samfunnssikkerheten, brannsikkerheten og skognæringa selv, men av ulike

grunner (Hauglin, 2018). For å ha et apparat som er godt rustet til å kunne håndtere slike katastrofale hendelser, er det behov for at flere forskjellige etater/bransjer jobber sammen, og bruker den kompetansen de sitter på sammen. For å kunne skaffe oversikt vil det være nødvendig å få en viss oversikt over tilgang på brennbart materiale i skogen, samt mengden av dette (Hauglin, 2018). Det å kunne samle inn informasjon om slik type data er utrolig tidkrevende og det er derfor avgjørende å finne mer tidsbesparende måter å samle inn denne informasjonen på (Campbell et al., 2018).

På bakgrunn av en gammel versjon av et skogressurs-kart i Norge, har Norsk Institutt for Bioøkonomi (NIBIO) i samarbeid med Skogbrand, Norges Skogeierforbund, Brannvesenet i Skien og Telemark samt Direktoratet for Samfunnssikkerhet (DSB) nå gått sammen for å kunne utvikle et risikokart som kan være til store hjelp om katastrofen først skal inntreffe. I dag er det skogressurskartet SAT-SKOG fra NIBIO som blir brukt til dette formålet, men det er dog noe gammelt og er heller ikke spesielt nøyaktig (Hauglin, 2018). For å få et fungerende samarbeid og en beredskap som er forberedt på slike situasjoner, er det viktig at de forskjellige sektorene jobber sammen (Hauglin, 2018).

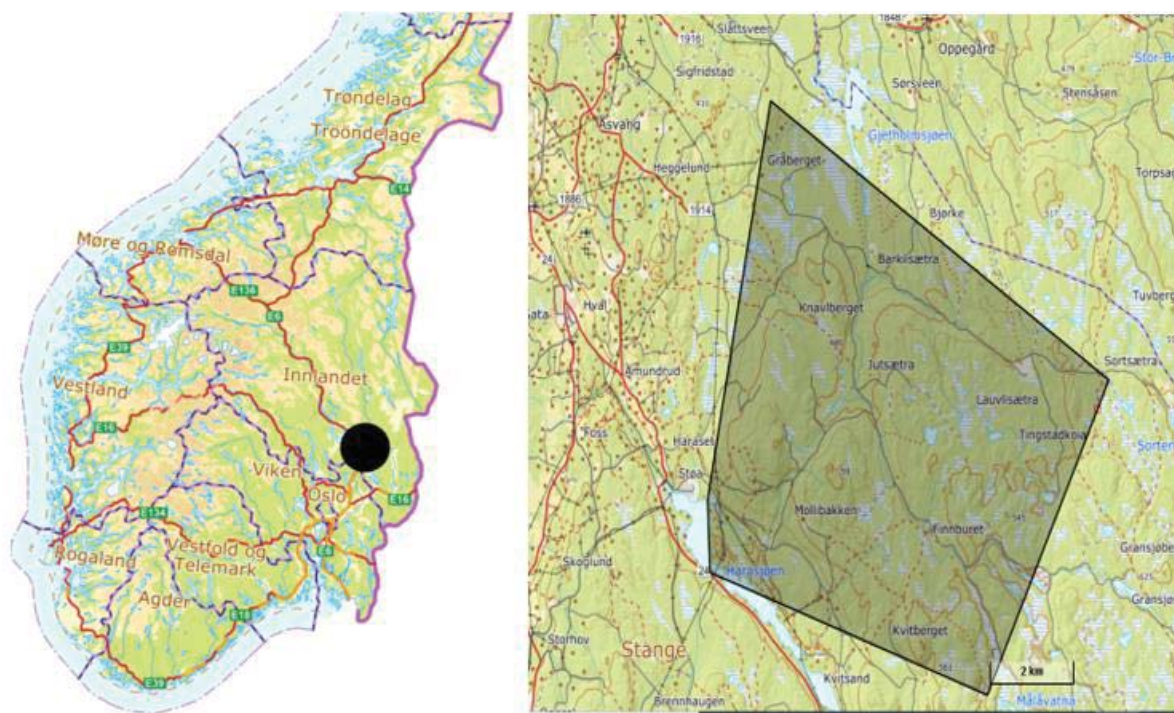
Målet med dette studiet er å undersøke om det er mulig å bruke data fra flybåren laserskanning for å kunne si noe om bakkevegetasjonen, og ikke bare trærne. For å kunne bedre risikokartleggingen i forbindelse med skogbrann her til lands er det viktig å vite hva, og hvor mye, som befinner seg på bakkenivå av brennbart materiale, da de aller fleste skogbranner går mye langs bakken (Komarek, 1967).

2. Materiale og metode

2.1 Studieområde

Feltarbeidet ble gjennomført i tidsrommet juli-november 2019, i Romedal Almenning i Stange kommune (Figur 1). Romedal Almenning forvalter et areal på 243 000 dekar, hvor av

om lag 200 000 dekar er produktiv skog (RASA, Ukjent). Dominerende treslag i området er gran (*Picea abies*), bjørk (*Betula pubescens*) og furu (*Pinus sylvestris*), med hovedtyngde på gran (53%) og furu (43%) da det drives aktivt skogbruk i området. Bjørk står da for de resterende 7 %, merk at treslag fordelingen for området omfatter både Romedal Almenning og Stange Almenning (RASA, Ukjent).



Figur 1. Oversiktskart over hvor prøvetaksområdet befinner seg i Norge (venstre side) og et litt mer detaljert kart som viser området prøvdeflatene ble lokalisert i (skravert med svart). Kart laget med Norge i bilder (2020).

Søndre Fjellsjøhøgda er Romedal Almennings høyeste punkt på 644,3 meter over havet. Romedal Almenning har et typisk innlandsklima, varmt om sommeren og lave temperaturer vinterstid (Rekdal, 2017). Det kommer mellom 552 og 753 mm nedbør på årsbasis i området, da området ligger plassert mellom to offisielle målestasjoner (Rekdal, 2017). Området er lokalisert i et grunnfjellområde som strekker seg opp mot Elverum og Trysil, med næringsfattig og sure typer gneis og granitt er dominerende. Tre av de mest dominerende vegetasjonstyper i kartlagte områder av almenningen er Blåbærgranskog, Blåbærfuruskog og Lav- og lyngrik furuskog (Rekdal, 2017).

2.2 Studiedesign

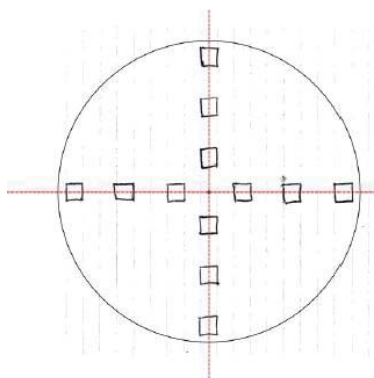
Med Romedal Almenning som utgangspunkt valgte vi bestand som i utgangspunktet skulle være hogstklasse fire og fem. Siste innsamling av laserdata i dette området er fra 2016, altså

er laserdataene som ble brukt for å sammenligne med felldata i dette studie 3 år gamle i forhold til tidspunktet for feltarbeidet (Kartverket, 2019). På grunn av dette, er det ingen garanti for at de områdene som vi hadde plukket ut på forhånd har stått urørt siden den gang, noe som også viste seg å være tilfellet flere ganger. For at data fra lasertakst og felt skal samsvare er det viktig at det ikke har skjedd store endringer på stedet i løpet av de årene), som for eksempel sluttavvirkning eller tynning. På grunn av uvissheten om hvilke områder som var urørte siden 2016 fikk vi oversiktskart fra Romedal Almenning slik at det var lettere å finne fram til aktuelle områder. Designet av studiet gikk ut på å legge ut grupper bestående av syv prøveflater (i hver gruppe) i formasjon av en hestesko. Hver sirkelformet prøveflate hadde et areal på 250 m² (radius 8,92 m), som er likt med landsskogtakseringens standard (Viken, 2017). Prøveflatene er tilfeldig lagt ut i områder med skog som tilsynelatende besto av hogstklasse 4 og 5 på forhånd ved hjelp av kart-laget for hogstklasse på KILDEN fra NIBIO. Innenfor prøveflata ble det ved hjelp av målebånd eller forhåndsmerkede tau lagt ut 12 mindre prøveflater med 3 ruter på 1 m² i hver av himmelretningene – nord, sør, øst og vest på henholdsvis 2,5, 8, 12, 15 og 18 meter (ti meter ut fra flate-sentrum i hver himmelretning, slik at nord-sør utgjør 20 meter og øst-vest utgjør 20 meter) for å kunne gjøre målinger av vegetasjonsmengde. (Figur 3). N = 31. Kart og globalt posisjonssystem (GPS) (GPS-koordinatene til hver enkelt prøveflate ble lagt inn på en håndholdt GPS, slik at det skulle være enkelt å finne fram til punktene ute i skogen. I begynnelsen av feltarbeidet ble hver flate lagt ut slik at de var 250 meter fra hverandre, og minimum 250 meter avstand til veien. Vi oppdaget at dette ble veldig tidkrevende, og det ble tatt en avgjørelse om å korte ned avstanden mellom hvert enkelt prøveflate-sentrum til 50 meter, og kun 50 meter fra veien. Hvert enkelt prøveflate-sentrum ble etablert så fort GPS sa at man var innenfor en rekkevidde på 10 meter fra punktet.

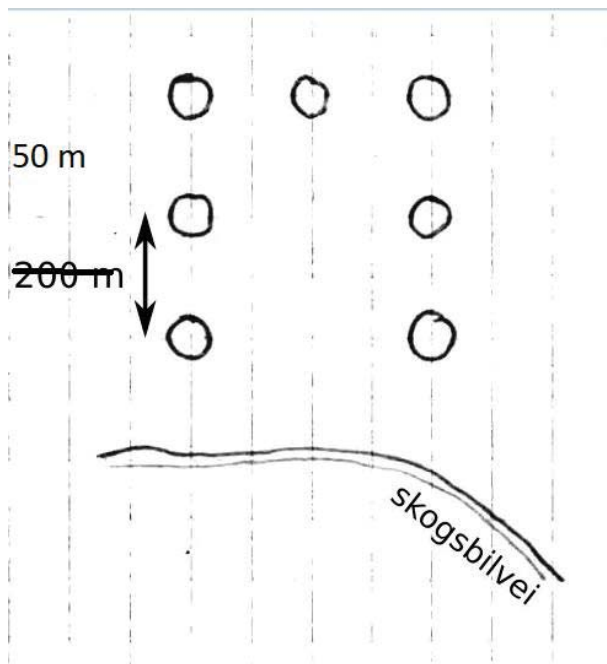
2.3 Feltarbeid

Vi gikk inn i skogen med en håndholdt GPS fra Garmin som stadig fortalte hvor langt unna målet, og prøveflata ble etablert. Videre ble grunnflatesum registrert fra sentrum av prøveflata ved hjelp av et relaskop (Fitje, 1996). For å finne grunnflate ble relaskop med relaskopsfaktor 1 benyttet (Fitje, 1996). For å få sentrum i flata så nøyaktig som mulig ble en nøyaktig GPS posisjonert i sentrum av flata ved hjelp av et stativ hvor antennen ble plassert på toppen av slik at TOPCON kunne begynne å logge posisjonen. TOPCON mottakeren ble koblet til batteriet, så ble mottaker koblet sammen GPS og antenne slik at alle leddene hadde kommunikasjon.

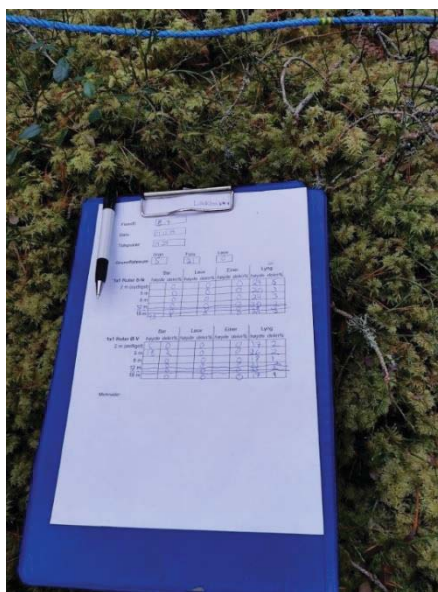
TOPCON trenger å logge i rundt 20 minutter for å kunne registrere korrekt posisjon (Figur 5). Dato og tidspunkt for hver flate ble notert slik at det skal kunne gå an å finne tilbake til den når man skal finne tilhørende GPS posisjoner. Bilde ble tatt inn mot sentrum av flata i hver av himmelretningene – nord, sør, øst, vest. Ut fra sentrum av flata ble det lagt målebånd ut 10 meter i hver himmelretning for å kunne finne 1x1 m² rutene som det skulle gjøres registreringer i. Målinger ble utført som beskrevet i studiedesignet. I hver av rutene på 1x1 meter ble høyde (i cm, maksimal høyde) målt i følgende fire kategorier: bartrær, lauv, einer, og lyng. Andelen vegetasjon varierte veldig for hver flate (Figur 6, 7 og 11). På to av flatene ble det kun gjort målinger i 10 av 12 ruter på grunn av en personlig feil. Trær over 2 meter og trær som var over 5 cm i diameter brysthøyde ble ikke tatt med i vurderingen. I tillegg til høydemåling ble også vegetasjonstypen estimert med utgangspunkt i John Y Larsson sin Veiledning i bestemmelse av Vegetasjonstype i skog (Larsson, 2000). Det ble også gjort et anslag av dekningsgrad for hver av de fire kategoriene målt i % som beskrevet i feltinstruksen fra landsskogtakseringen (Feltinstruks, landsskogstakseringen). Resultatene av målingene ble notert på skjema (Figur 4). Etter endt dag i felt ble GPS-filene lastet over på PC.



Figur 2. Oversiktsbilde over hvordan hver prøveflate så ut ovenfra. Illustrasjon av Marius Hauglin.



Figur 3. Oversiktsbilde over hvordan gruppene ble lagt ut på forhånd. Illustrasjon av Marius Hauglin.



Figur 4. Notatarket med informasjon for hver enkelt flate.



Figur 5. Oppsettet av utstyret på prøveflata.



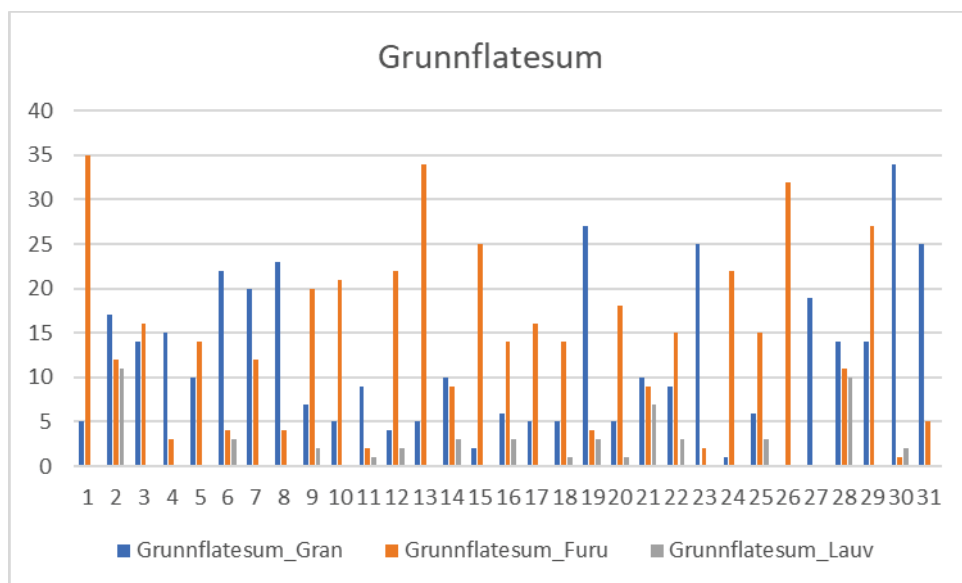
Figur 4. Illustrativt bilde av hvordan vegetasjonsmengden kan variere fra flate til flate, her er det ganske skrint.



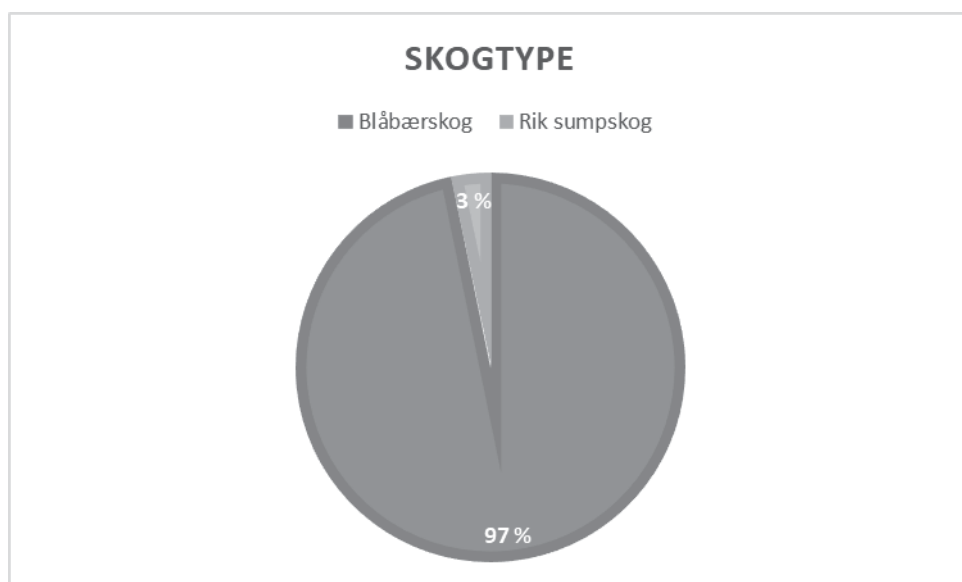
Figur 5. Illustrativt bilde av hvordan vegetasjonsmengden kan variere fra flate til flate, og her er det litt frodigere.

2.4 Generell beskrivelse av datamaterialet

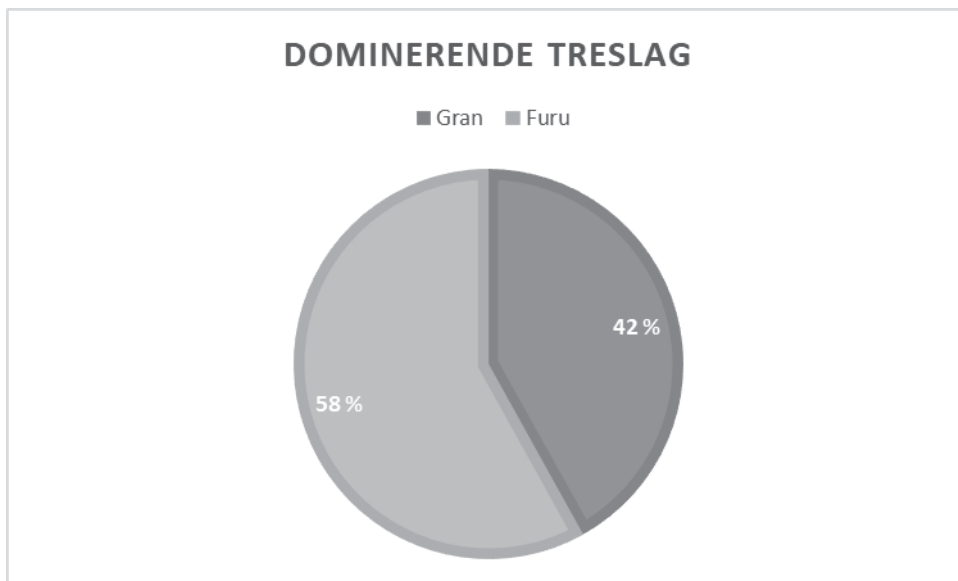
En oversikt over generell informasjon om datamaterialet. Grunnflatesummen for hver av treslagene i datamaterialet varierte mellom 0 og 35 (Figur 8). Vegetasjonstype ble også registrert for hver prøveflate, og det viste seg å være stor overvekt av typen Blåbærskog (Figur 9). Det var flest prøveflater som hadde furu som dominerende treslag (18 flater), mens det var 13 flater som var gran-dominerte (Figur 10). Det var også variasjon mellom flatene i gjennomsnittlig vegetasjonsmengde målt i liter (Figur 11).



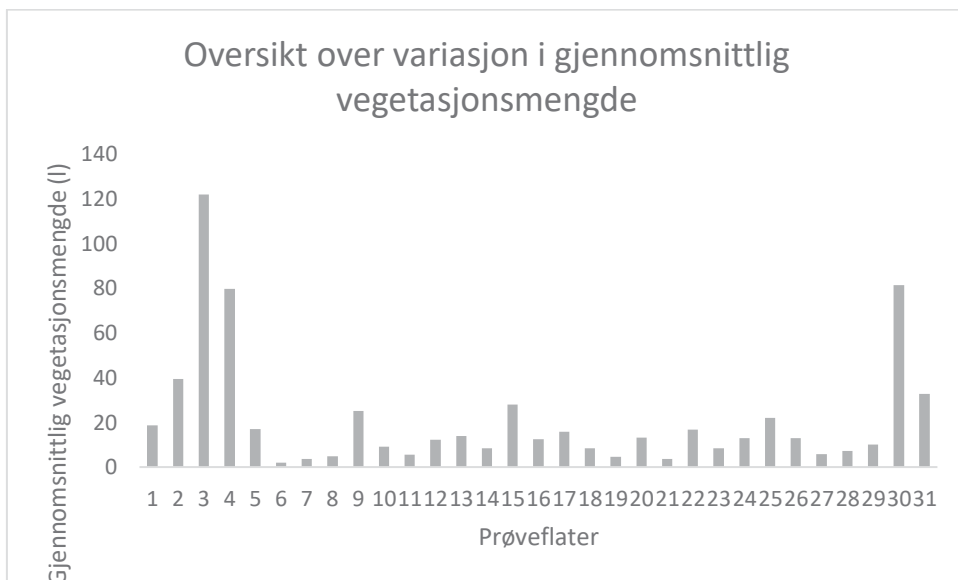
Figur 6. Grunnflatesum for hvert treslag for hver av de 31 prøveflatene. Grunnflatesum gran er merket med blå, grunnflatesum for furu er merket med oransje og grunnflatesummen for bjørk er merket med grå.



Figur 7. Oversikt over andel av hver vegetasjonstype.



Figur 8. Oversikt over andel prøveflater som er dominert av gran (mørk grå) og furu (lysegrå).

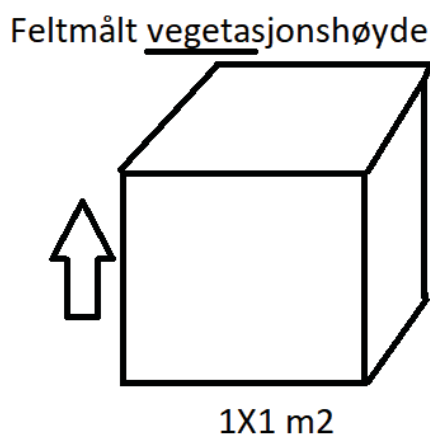


Figur 9. Oversikt over variasjonen i gjennomsnittlig feltmålt vegetasjonsmengde i liter.

2.5 Databehandling

Etter endt feltarbeid ble all informasjonen fra prøvetakingen lagt inn i et Excel ark som var videre grunnlag for analyser. GPS posisjonene fra feltarbeidet ble brukt til å lokalisere laserdataene (Kartverket, 2019; TerraTec, 2016). Basert på de målingene som ble gjort ute i felt, ble dette regnet om til gjennomsnitt, slik at det skulle gi et bilde av situasjonen på flata totalt sett, ved å beregne gjennomsnittet for hver av prøveflatene for dekning og høyde – ikke bare for hver enkelt rute. Etter å ha gjennomført noen analyser ble det bestemt å etablere en ny kolonne for å slå sammen den gjennomsnittlige verdien for både høyde og dekning til én

samlet verdi, uavhengig av type vegetasjon. Ved å ta verdien for maksimal høyde og maksimal dekning for hver rute i flatene, endre høyden fra centimeter til desimeter (dm), og gange høyde i dm med dekningsgraden og dele det på antall ruter innen flata. Da får man et svar i liter og man får en indikasjon på hvor mye vegetasjon i liter denne flata rommer i gjennomsnitt. Ved å bruke liter kan man forestille seg at hver av de 10 eller 12 rutene er kuber som inneholder vegetasjon og ved å «trekke» de oppover til den feltmålte vegetasjonshøyden får man en kube form. Fordi vegetasjonsmengden vil variere vil nok ikke kubene fylles helt, men det kan gi et bedre illustrativt bilde av hvordan det er tenkt i utregningen (Figur 12).



Figur 10. Kuben for hver 1x1 meters rute, hvor bunnen av kubene er ment å illustrere selve ruten, og kubene oppå for å illustrere vegetasjonen den inneholder, mens pilen viser hvordan kubene trekkes oppover mot den feltmålte vegetasjonshøyden.

2.6 Laserdata

Dataene oppgaven er basert på er gjort tilgjengelige av Kartverket og er tilgjengelige for nedlastning på hoydedata.no. Laservariablene ble beregnet for meg, og jeg fikk tildelt disse for hver flate. Laserdatavariablene ble ekstrahert og satt inn i et Excel-ark som ble slått sammen med Excel-arket fra feltarbeidet.

2.6.1 Generelt om laserdata

På hoydedata.no kan allmennheten få tilgang til detaljerte fjernmålingsdata som høydemålinger og terrengmodeller fra over hele landet (Kartverket, 2019). De er en del av et nasjonalt prosjekt som varer fra 2016 til 2022, hvor hovedmålet er å ha en høydemodell som er landsdekkende med 1x1 meters oppløsning. Dataene er samlet inn ved bruk av fly eller helikopter med påmonterte laserskannere (Kartverket.no). Laserskanningen ble gjennomført i Stange i 2016 og var et av de områdene som ble utvalgt for laserskanning med 5 punkter per

m2 der det lot seg gjøre. Mer detaljer om dette se oppdragsrapporten fra TerraTec (TerraTec, 2016).

2.6.2 Laservariabler

Fra laserskanningsmateriale ble det beregnet ut forskjellige variabler basert på høyde over bakken for ekkoene på hver prøveflate. For variablene cc5 og cc10 ble ekkoenes romlige plassering innen flata benyttet. Beregningene ble gjort med tre forskjellige utvalg av laserekkoene. Om det ikke står noe annet refereres det til høyde som i høyde over bakken. `_first`, `_last` og `_all` er forklarende suffikser som forteller hvilke ekko som er benyttet for den spesifikke variabelen.

`_first`: Kun de ekkoene som er først på en laserpuls.

`_last`: De ekkoene som er siste fra en laserpuls

`_all`: Alle laserekko (også laservariabler hvor det ikke er angitt noe).

Hmax: Maks ekkohøyde.

Hmean: Gjennomsnittlig ekkohøyde

Hvar: Varians til høydefordelingen (ekkohøyde)

Hkurt: Kurtosis høydefordelingen.

Hskew: "Skewness" altså skjevhet i høydefordelingen.

Hcv: Variasjonskoeffisient til høydefordelingen.

H5, H10, H25, H50, H75, H90, H95: Høyde-prosentiler, angir for eksempel høyden der 10% av laserekkoene ligger lavere og 90 % ligger høyere (h10).

D0, D2, D4, D6, D8, D9: Tetthetsvariabler hvor det deles inn i ti lag av lik tykkelse i høydeintervallet fra bakken (0) og opp til H95. D2 vil for eksempel vise antall treff i D2 og lavere lag helt ned til bakken (0,1 og 2) for så å dele på totalt antall ekko.

Prop_abmean: andel laserekko med høyde over 2 meter

Pdens0_02, pdens02_04, pdens04_06, pdens06_08, pdens08_1, pdens1_2, pdens2_3: Andel laserekko reflektert innenfor et visst høydeintervall – pdens:0_02 betyr at ekkoet er reflektert mellom 0 og 20 cm over bakken, for eksempel.

Pdens0_02_veg, pdens02_04_veg, pdens04_06_veg, pdens06_08_veg, pdens08_1_veg, pdens1_2_veg og pdens2_3_veg: nesten det samme som nevnt over, men her er kun ekkene som er reflektert fra vegetasjonen tatt med, ikke de treffene som har truffet bakken.

FR – canopy-to-total first return ratio, RR – canopy-to-total returns ratio, IR – an intensity return ratio; BL – Beer's law modified version of IR, hvor alle er metoder for å kunne beregne kronedekningen (Hopkinson & Chasmer, 2007; Hopkinson & Chasmer, 2009; Morsdorf et al., 2006; Solberg et al., 2006).

CRR – canopy relief ratio: et kvantitativt mål av den relative formen til trekrona, som beskriver andelen av pulser sendt tilbake over gjennomsnittsverdi (Mura et al. 2015).

CC5 – all kronedekning som er 5 meter over bakkenivå, hvor andelen går fra 0-1 der 0 er ingen kronedekning og 1 er 100% kronedekning.

CC10 – all kronedekning 10 meter over bakkenivå.

2.7 Statistiske analyser

De statistiske analysene ble gjennomført i Microsoft Excel 2016 og R Studio Versjon 1.2.5033 (RstudioTeam, 2016). De statistiske modellene som ble benyttet var vanlig lineær regresjon og Stepwise modell. Prediksjonsfunksjonen i R studio ble også benyttet. Det ble gjennomført lineære regresjoner hvor det ble testet om det var noen sammenheng mellom den feltmålte vegetasjonsmengden og laservariablene for vegetasjon med 20 cm intervaller. Den lineære regresjonen ble gjennomført ved bruk av lm-funksjonen i R Studio. Det ble også benyttet en stepwise modell hvor R studio kan velge variabler for deg, og da velger den de som den mener forklarer modellen på en best mulig måte. Bruk av stepwise modeller er ganske vanlig og blir omtalt som en måte å finne den beste modellen på, og selv om modellen også har vist seg at den kan ha sine svakheter om man ønsker å teste på mange variabler samtidig er den fortsatt mye brukt (Mundry & Nunn, 2009). Med utgangspunkt i resultatene fra stepwise modellen ble det gjort flere lineære regresjoner for å se om det fantes en mulig sammenheng mellom den feltmålte vegetasjonsmengden og de utvalgte laservariablene.

3. Resultater

3.1 Lineære regresjoner

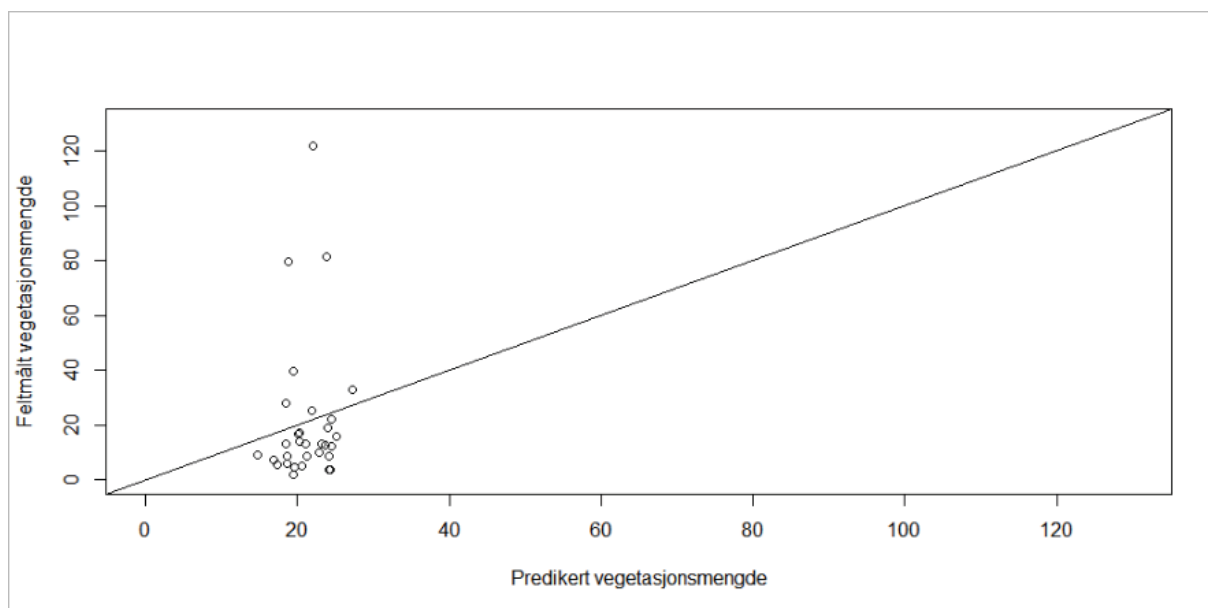
Lineære regresjoner ble gjort for hver enkelt av laservariablene for `pdens_veg` som er mengden treff registrert i vegetasjons-sjiktet (Tabell 1). Som man kan se av tabellen under er verdiene for R^2 veldig lave, som betyr at laservariablene forklarer veldig lite av den feltmålte vegetasjonsmengden (Tabell 1).

Tabell 1. Resultat av regresjonsmodeller med gjennomsnittlig vegetasjonsmengde (L) for hver flate plottet mot hver av de 7 forskjellige laservariablene.

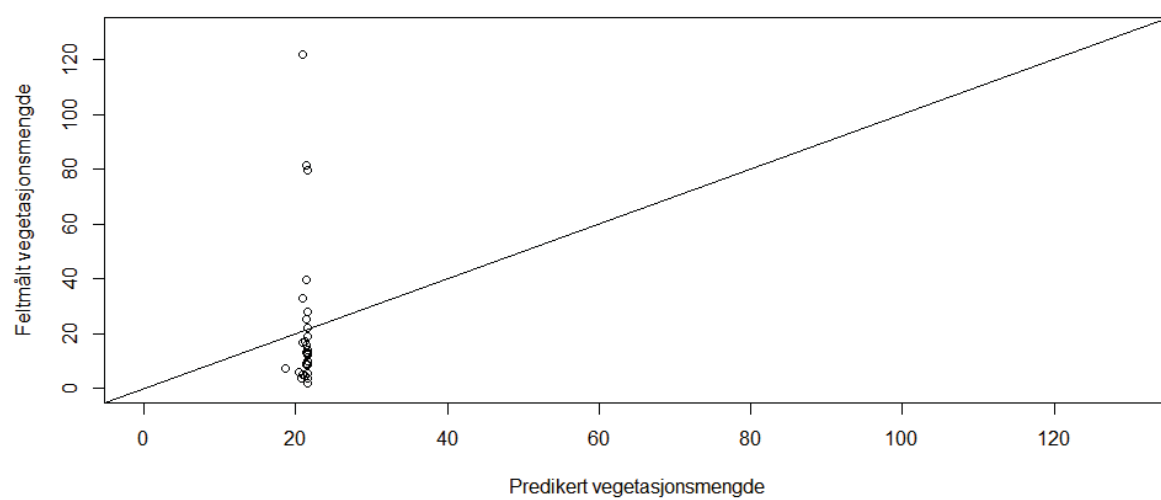
Høydeintervall plottet mot gjennomsnittlig mengde liter per flate		
Regresjonsmodell	Pverdi	R2
Regmodell 02-04	0.9068	-0.03399
Regmodell2 0-02	0.5598	-0.02221
Regmodell3 04-06	0.8842	-0.03371
Regmodell4 06-08	0.7261	-0.03004
Regmodell5 08-1	0.7119	-0.02954
Regmodell 6 1-2	0.3966	-0.008734
Regmodell 7 2-3	0.1837	0.02771

3.2 Predikert mot feltmålt vegetasjonsmengde for `pdens_veg_0-3`

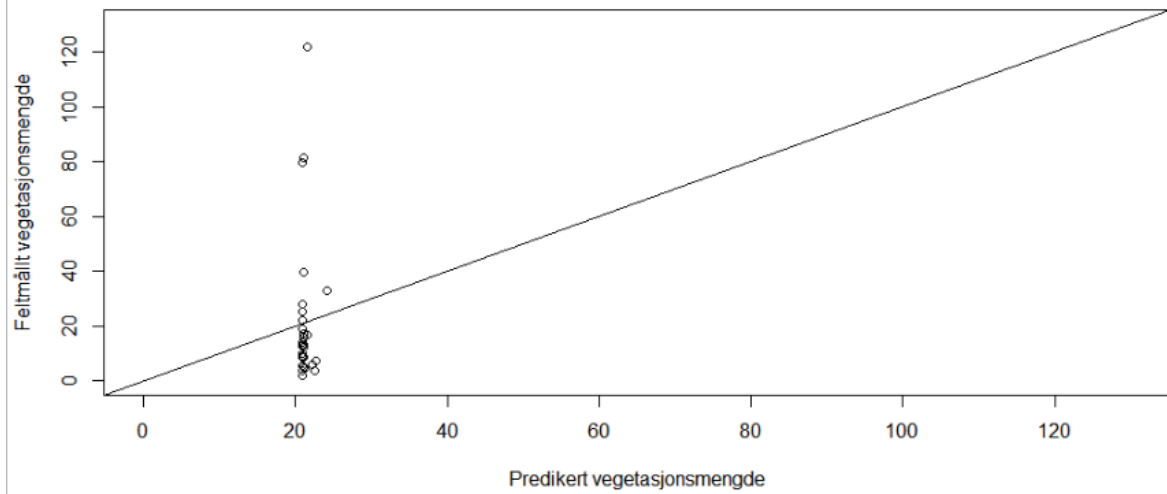
Figurene under viser den feltmålte vegetasjonsmengden mot den predikerte vegetasjonsmengden for hver av de forskjellige laservariablene `pdens_veg` fra 0 til 3 meter som forklaringsvariabler. Det er en figur for hver av de syv laservariablene. Om modellen hadde vært «perfekt» ville alle punktene ligget på linja, og jo lengre unna punktene er fra linja, jo mindre forklarer modellen. Noen av figurene ser ut til å ha en bedre sammenheng mellom predikert vegetasjonsmengde og feltmålt vegetasjonsmengde enn andre, Figur 13, 18 og 19 har noe mer punkter i nærheten av trendlinja enn hva de resterende figurene har, men jevnt over er sammenhengen mellom den predikerte vegetasjonsmengden og den feltmålte vegetasjonsmengden med disse laservariablene som grunnlag (Figur 13-19).



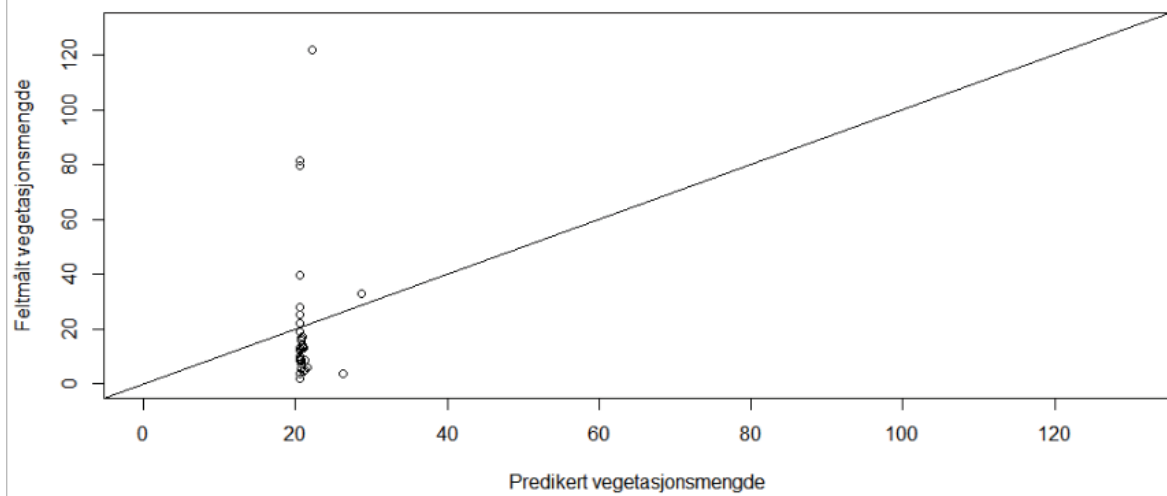
Figur 11. Predikert vegetasjonsmengde mot den feltmålte vegetasjonsmengden for laservariabel `pdens_veg_0_02` altså alle lasertreffene registrert mellom 0 og 20 cm over bakken.



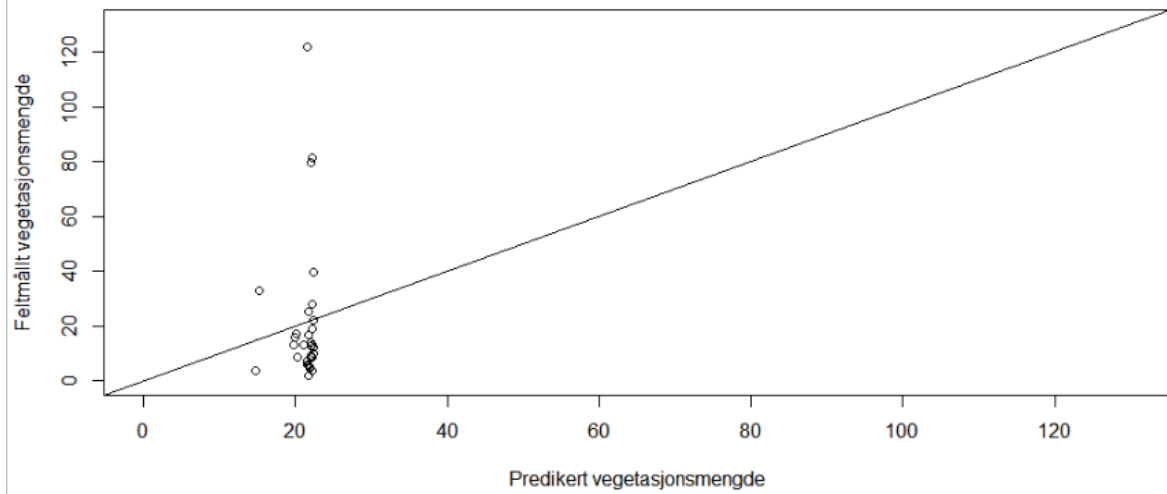
Figur 12. Predikert verdi mot den feltmålte verdien for laservariabel `pdens_veg_02_04`, altså andelen lasertreff mellom 20 og 40 cm over bakkenivå.



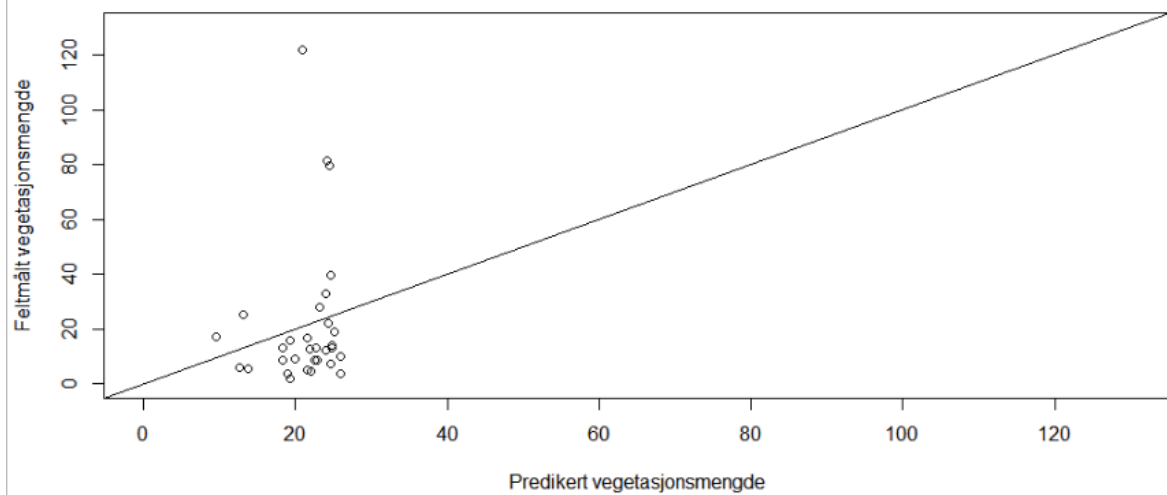
Figur 13. Predikert vegetasjonsmengde mot den feltmålte vegetasjonsmengden for laservariabel *pdens_veg_04_06*, som vil si andelen lasertreff mellom 40 og 60 cm over bakkenivå.



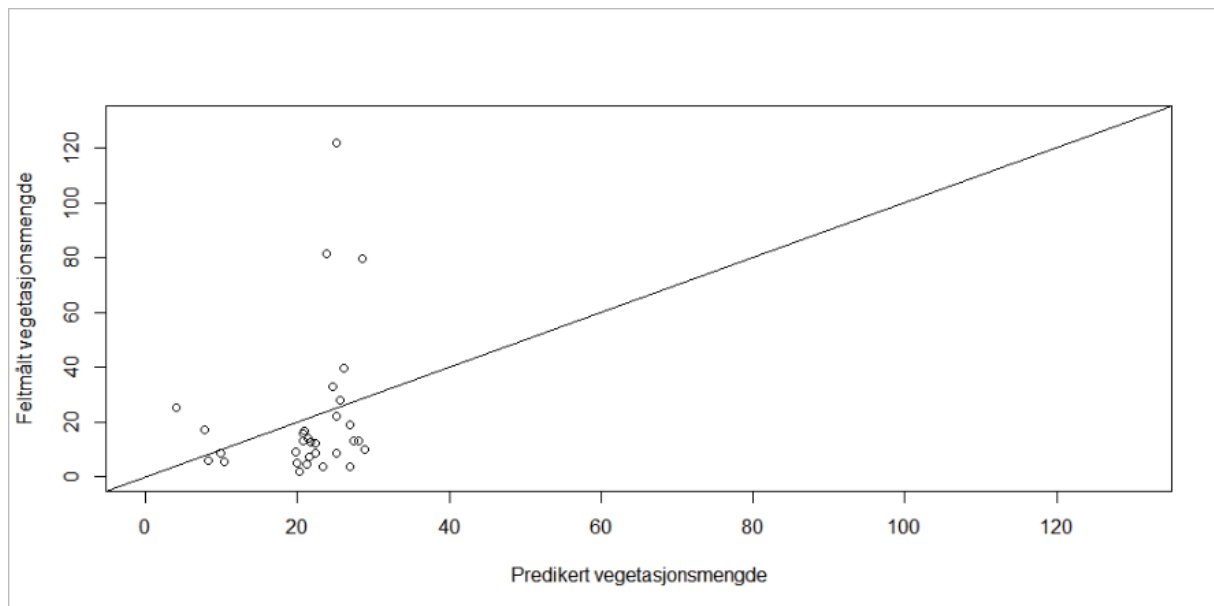
Figur 14. Predikert vegetasjonsmengde mot den feltmålte vegetasjonsmengden for laservariabel *pdens_veg_06_08*, det vil si andelen lasertreff som er registrert mellom 60 og 80 cm over bakkenivå.



Figur 15. Resultat av predikert vegetasjonsmengde mot den feltmålte verdien for laservariabel *pdens_veg_08_1*, altså andelen lasertreff mellom 80 cm og 1 m.



Figur 16. Predikert vegetasjonsmengde verdi mot den feltmålte verdien for laservariabel *pdens_veg_1_2*, som vil si andelen lasertreff mellom 1 og 2m.

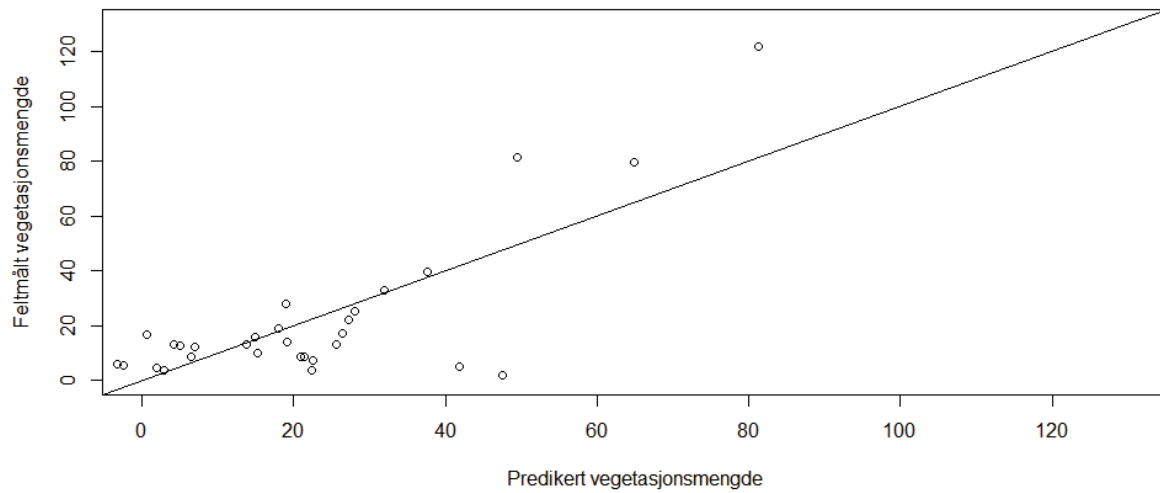


Figur 17. Resultat av predikert verdi mot den feltmålte verdien for laservariabel `pdens_veg_2_3`.

3.3 Stepwise modell

Stepwise modellen valgte ut 7 laservariabler som i kombinasjon med hverandre forklarte sammenhengen mellom den feltmålte vegetasjonsmengden og den predikerte vegetasjonsmengden for disse laservariablene. Laservariablene modellen valgte ut var CC10 som sier noe om all kronedekningen 10 meter over bakkenivå, H50_all høyden hvor 50 % av lasertreffene ligger over og 50 % av lasertreffene ligger under basert på alle laserekko, D0_first er en tetthetsvariabel hvor 0 indikerer at det er på bakkenivå, H50_first er høyden hvor 50 % av lasertreffene ligger over og 50 % av lasertreffene ligger under kun basert på de første laserekkoene, D9_all er en tetthetsvariabel hvor 9 indikerer tettheten ved prosentil H95 som er høyden hvor 95% av lasertreffene er under mens 5% av lasertreffene er over for alle laserekkoene, H25_first er høyden hvor 75 % av lasertreffene ligger over og 25 % av lasertreffene ligger under kun basert på de første laserekkoene og Hskew_first som beskriver skjevheten i høydefordelingen basert på de første laserpulsene. Samlet ga disse variablene en R^2 -verdi på 0,6 som må sies å være ganske bra da perfekt samsvar mellom variablene i modellen vil ha verdien 1. Ved å se på den predikerte vegetasjonsmengden for de syv utvalgte laservariablene mot den feltmålte vegetasjonsmengden kan man se at det er ganske mange av punktene som ligger på eller veldig nærme linja og viser at den predikerte vegetasjonsmengden gjennom de utvalgte laservariablene forklarer den feltmålte

vegetasjonsmengden ganske bra og gir en forholdsvis god modell, noe som forklarer R^2 -verdien på 0,6 (Figur 20).



Figur 18. Predikert vegetasjonsmengde for de utvalgte variablene for Stepwise modellen satt opp mot den feltmålte vegetasjonsmengden.

4 Diskusjon

Formålet med denne studien var å finne ut av om LiDAR data kunne brukes til å si noe om bakkevegetasjonen, noe resultatene mine viste. De lineære regresjonene for predikert vegetasjonsmengde mot den feltmålte vegetasjonsmengden ga generelt veldig lave R^2 -verdier noe som indikerer at laservariablene `pdens_veg` ikke er spesielt godt egnet til å predikere vegetasjonsmengde (Tabell 1). Generelt sett fant vi at laserdata kan anvendes til å predikere vegetasjonsmengde basert på resultatene fra Stewise modellen, da våre funn ga en R^2 -verdi på 0,6, man kan også se av figuren at det er ganske mange av punktene som er på eller i nærheten av trendlinja noe som tyder på at modellen er god (Figur 20). De lineære regresjonene for predikert vegetasjonsmengde mot den feltmålte vegetasjonsmengden ga generelt veldig lave R^2 -verdier noe som indikerer at laservariablene `pdens_veg` ikke er spesielt godt egnet til å predikere vegetasjonsmengde (Tabell 1).

Som forklart i materiale og metode og resultater er laservariablene modellen valgte: `CC10` som sier noe om all kronedekningen 10 meter over bakkenivå, `H50_all` er høyden hvor 50 % av lasertreffene ligger over og 50 % av lasertreffene ligger under basert på alle laserekko, `D0_first` er en tetthetsvariabel hvor 0 indikerer at det er på bakkenivå, `H50_first` er høyden hvor 50 % av lasertreffene ligger over og 50 % av lasertreffene ligger under kun basert på de første laserekkoene, `D9_all` er en tetthetsvariabel hvor 9 indikerer tettheten ved prosentil H95 som er høyden hvor 95% av lasertreffene er under mens 5% av lasertreffene er over for alle laserekkoene, `H25_first` er høyden hvor 75 % av lasertreffene ligger over og 25 % av lasertreffene ligger under kun basert på de første laserekkoene og `Hskew_first` som beskriver skjevheten i høydefordelingen basert på de første laserpulsene. Ved første øyekast kan det se ut som at ingen av disse laservariablene i særlig grad har så mye å gjøre med det som befinner seg nede på bakkenivå, de sier mest om hva som befinner seg over bakkenivå, i alle fall hver for seg. Gjennom disse variablene får man informasjon om både høydefordeling og romlig fordeling på flatene (Campbell et al., 2018; Næsset et al., 2004; Saatchi et al., 2007) og den informasjonen kan også brukes til å si noe om hva som gjemmer seg under.

Messier et al. 1998 fant at høyde på trærne og tettheten av dem påvirker hvor mye lys som når ned til bakkenivå, og dermed også hvor mye som potensielt kan vokse der. Jo tettere skogen er, jo mindre bakkevegetasjon vil det være, og jo lavere tetthet av trær jo mer bakkevegetasjon i teorien (Messier et al., 1998). Skogen er ikke uniform, og vegetasjonsmengden kan variere veldig fra sted til sted. Der prøveflatene ble etablert ble det også etablert et mindre rutenett

innen flata for å gjøre målinger. Disse rutene inneholdt en varierende mengde vegetasjon, noe datamaterialet også bar preg av. Vegetasjonen var veldig flekkvis fordelt, noen ruter kunne for eksempel være helt tomme, mens andre hadde større mengde vegetasjon (Figur 6, 7 og 11).

Tatt i betraktning at laserskanning først og fremst er mye benyttet i forbindelse med terrengmodeller (Kartverket, 2019) og i skoginventering er det ingen overraskelse at den gir god informasjon om trærnes høyde og tetthet (Campbell et al., 2018; Næsset et al., 2004; Saatchi et al., 2007). Avhengig av hvor tett skogen er legger også det føringer for hvor mange av laserpulsens som når ned til vegetasjonen nede på bakken. Dermed er andelen av laserstrålene som trenger gjennom trekronene veldig tetthetsavhengig. Skogens tetthet kan også variere veldig fra sted til sted, dermed også andelen pulser som kommer helt ned på bakkenivå. Kronedekningen varierer og dermed vil også mengdens treff under trekronene variere (Næsset, 2002). Gjennom den informasjonen kan man også få ut mye informasjon om vegetasjonen under trærne. En av grunnene til at de laservariablene som Stepwise modellen ga bedre resultater enn hva `pdens_veg` variablene gjorde kan ha noe med at ved lasertakster så har en stor andel av ekkoene en tendens til å bli reflektert tilbake til senderen på flyet før det når ned på bakkenivå på grunn av alle trærne (Næsset, 2002; Næsset, 2004). På grunn av dette vil antall lasertreff som når ned på bakkenivå være betydelig redusert. Dermed vil antallet lasertreff under trærne vært betydelig lavere enn antall treff som har truffet trærne og siden antallet under trærne er så lavt er det for lavt til at man kan si noe særlig om vegetasjonsmengden som er tilgjengelig.

En annen grunn til at det var nettopp disse variablene som slo ut i Stepwise modellen kan jo være det at trekronene er såpass sparsomme at laserpulsene lettere kan trenge gjennom og ned til bakkevegetasjonen. Det fant i alle fall Campbell et al. 2018 ut at var tilfellet i deres studie.

Feilkilder er noe som dukker opp i de aller fleste studier, og mitt er intet unntak (Campbell et al., 2018). En av de større feilkildene er antallet observasjoner som ikke ble mer enn 31, det er nok et litt lite datasett for å si noe helt konkret om hvorvidt laserdata egner seg til å kartlegge vegetasjonsmengde. En annen svakhet er at ved to av prøveflatene ble det kun registrert vegetasjon i 10 av rutene, ikke i 12 som opprinnelig var tenkt på grunn av en personlig feil. Personlige feil på for eksempel målinger av høyde og dekning kan også ha skjedd.

Som tidligere nevnt i diskusjonen har trærnes høyde og tetthet mye å si for hvor mange av laserpulsene som når igjennom og ned på vegetasjonsnivå, og slik det er per når ser det ut til at andelen av de ekkoene som når ned til vegetasjonen ikke er mange nok til at det går an å si

så mye om hvordan det egentlig ser ut under trekronene (Næsset et al., 2004). Laserdata egner seg altså veldig godt til å si noe om hva som befinner seg helt nede på bakkenivå for å kunne skape terrengmodeller (Kartverket, 2019) og egner seg også svært godt til skoginventering (Næsset, 2002; Næsset, 2004; Næsset et al., 2004). Med andre ord kan laserdata brukes til å fortelle oss ganske mye om bakkeplan og skogen, men virker ikke å være egnet for å si noe særlig om det som befinner seg midt imellom, nemlig vegetasjonen. Dagens laserteknologi tillater ikke at skogen blir behandlet som «gjennomsiktig» slik at man kan se hva som gjemmer seg under. Om det utvikles en laserskanner som kan se rett gjennom trærne og ned på vegetasjonsnivå kan det kanskje være bedre å bruke variabelen `pdens_veg` i framtida for å kunne si noe om vegetasjonsmengden.

Bright et al. 2017 har sett på muligheten for å predikere kronedekningen og overflate fuel (brennbart materiale) ved bruk av blant annet LiDAR i skoger som er påvirket av barkebiller. I likhet med meg fant de at LiDAR kan brukes til å kartlegge vegetasjonsmengde. De fant i tillegg at det var en egnet metode for å beskrive kronedekningen, i tillegg til at de mente at bruk av LiDAR har potensiale til å forbedre modeller for brannoppførsel. De mener også at LiDAR oppfatter tredimensjonal vegetasjonsstruktur som gjør at det gir en mer nøyaktige målinger av vegetasjon og fuel (Bright et al., 2017).

Campbell et al. 2018 så på hvordan de kunne kvantifisere vegetasjonstettheten ved bruk av LiDAR og fant at muligheten for å kartlegge vegetasjonstettheten øker med antall pulser fra laseren. I motsetning til meg fant de at tettheten og kronehøyden på trærne hadde en negativ effekt på prediksjonene, noe som indikerer at kortere og mer sparsomme kroner øker LiDAR sin sjanse til å predikere vegetasjonstettheten (Campbell et al., 2018). Multu et al. 2008 så på mulighetene for å kartlegge bakkevegetasjon ved bruk av blant annet LiDAR. De fant at LiDAR ga nøyaktige estimater for bakkevegetasjon, noe som til en viss grad er det samme som jeg fant men ordet nøyaktig (Mutlu et al., 2008) er noe jeg skal være forsiktig med å kalle mine observasjoner med tanke på blant annet hvor få de er. Det er dog verdt å nevne at Bright et al, 2017, Campbell et al, 2018 og Multu et al. 2008 brukte litt andre variabler i sin studie enn hva som er blitt anvendt i mitt, samt litt annet utsyr og høyere antall observasjoner.

I framtida kan LiDAR brukes til å danne grunnlaget for kart som blant annet kan være til hjelp for brannvesen og andre ved en eventuell skogbrann. Canada har gått foran med sitt eget prosjekt som mange andre land har valgt å ta i bruk med nødvendige tilpasninger for at det skal kunne brukes i andre land enn Canada (Linåker & Jönsson, 2010). Sverige er et av de landene som har adoptert løsningen til Canada for så å tilpasse den til eget bruk, etter den

katastrofale sommeren i 2018 da store skogsområder i Sverige sto i brann (Linåker & Jönsson, 2010). I mine funn var det kun observert to forskjellige vegetasjonstyper; blåbærskog (30 observasjoner) og sumpskog (1 observasjon). I framtida bør det nok vurderes å gjøre undersøkelser med mange forskjellige vegetasjonstyper for å gjøre det litt mer representativt. Det er flere studier som har forsket på hvilke skogtyper som er minst og mest utsatt for eventuelle skogbranner (Jia et al., 2018; Nygaard & Brean, 2014; Yebra et al., 2008) så det kunne vært veldig interessant og hatt flere vegetasjonstyper med i fremtidige studier.

For å konkludere fant jeg at LiDAR data kan anvendes til å si noe om vegetasjonsmengden på bakken og at laservariablene som er med på å beskrive trærnes høyde og kronetetthet egnet seg bedre til det formålet enn laservariablene som beskrev treffene blant vegetasjonen. Det kan være flere grunner til dette, men det kan tenkes at gjennom informasjon om trærnes høyde og kronetetthet også forteller noe om hvordan tilstanden er på bakken. En annen kan være at trekronene er sparsomme og at det dermed øker mengden laserpulser som når bakken. Siden datasettet anvendt i dette studiet var så lite anbefaler jeg mer forskning på dette området i framtida, da helst med litt flere observasjoner enn hva jeg hadde. Mer forskning på området vil også være nødvendig dersom det skal etableres et riksikokart i framtida. Uansett ser det lyst ut for anvendelse av LiDAR til et fremtidig risikokart for å si noe om bakkevegetasjonen.

5 Referanser

- Adams, M. A. (2013). Mega-fires, tipping points and ecosystem services: Managing forests and woodlands in an uncertain future. *Forest Ecology and Management*, 294: 250-261.
- Aftenposten. (2018, 7. august). Rekordstor skogbrann herjer i California. *Aftenposten*. Tilgjengelig fra: <https://www.aftenposten.no/verden/i/p6jVnW/rekordstor-skogbrann-herjer-i-california> (lest 15.05.2020).
- Bleken, E., Mysterud, I. & Mysterud, I. (1997). *Skogbrann og miljøforvaltning. En utredning om skogbrann som økologisk faktor*. 1 utg., b. Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern. Oslo.
- Bright, B. C., Hudak, A. T., Meddens, A. J., Hawbaker, T. J., Briggs, J. S. & Kennedy, R. E. (2017). Prediction of forest canopy and surface fuels from lidar and satellite time series data in a bark beetle-affected forest. *Forests*, 8 (9): 322 (1-22). doi: <https://doi.org/10.3390/f8090322>.
- Campbell, M. J., Dennison, P. E., Hudak, A. T., Parham, L. M. & Butler, B. W. (2018). Quantifying understory vegetation density using small-footprint airborne lidar. *Remote sensing of environment*, 215: 330-342.
- DSB. (2019). *Skogbrannsesongen 2018*. Tilgjengelig fra: <https://www.dsb.no/rapporter-og-evalueringer/skogbrannsesongen-2018/> (lest 15.04.2020).
- Erdody, T. L. & Moskal, L. M. (2010). Fusion of LiDAR and imagery for estimating forest canopy fuels. *Remote Sensing of Environment*, 114 (4): 725-737. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.002>.
- Fitje, A. (1996). *Skogregistrering*. Ås: Landbruksbokhandelen.
- Gilljam, C. A., E. (2019). *Metodutveckling för kartering av brandbränsle i Sverige*. Tilgjengelig fra: <https://www.msb.se/contentassets/33d7dad424104038bce13e1cf0bd59b2/slutrapport-metodutveckling-for-kartering-av-brandbransle-i-sverige.pdf> (lest 20.03.2019).
- Granström, A. (1993). Spatial and temporal variation in lightning ignitions in Sweden. *Journal of vegetation science*, 4 (6): 737-744.
- Hauglin, M. (2018). *Utvikling av et nasjonalt digitalt kart for skogbrannpotensiale*. Upublisert manuskript.
- Hopkinson, C. & Chasmer, L. (2007). Using discrete laser pulse return intensity to model canopy transmittance. *The Photogrammetric Journal of Finland*, 20 (2): 16-26.
- Hopkinson, C. & Chasmer, L. (2009). Testing LiDAR models of fractional cover across multiple forest ecozones. *Remote Sensing of Environment*, 113 (1): 275-288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.012>.
- Jia, S. Y., Kim, S. H., Nghiem, S. V., Cho, W., Kafatos, M. C. & Ieee. (2018). ESTIMATING LIVE FUEL MOISTURE IN SOUTHERN CALIFORNIA USING REMOTE SENSING VEGETATION WATER CONTENT PROXIES. I: IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing IGARSS, *Igarss 2018 - 2018 Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, s. 5887-5890.
- Kartverket. (2019). *Høydedata og terrengmodeller for landområdene*. Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/data/hoydedata-og-terrengmodeller/> (lest 30.05.2020).
- Komarek, E. (1967). The nature of lightning fires. 7: 5-41. Tilgjengelig fra: https://talltimbers.org/wp-content/uploads/2018/09/5-Komarek1967_op-1.pdf.
- Larsson, J. Y. (2000). *Veiledning i bestemmelse av vegetasjonstyper i skog*. Ås: Norsk institutt for jord- og skogkartlegging.
- Linåker, J. & Jönsson, C. (2010). Fördjupningsstudie: Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. *LUTVDG/TVBB--5348--SE*.
- Messier, C., Parent, S. & Bergeron, Y. (1998). Effects of overstory and understory vegetation on the understory light environment in mixed boreal forests. *Journal of Vegetation Science*, 9 (4): 511-520. doi: <https://doi.org/10.2307/3237266>.

- Molaudzi, O. D. & Adelabu, S. A. (2018). Review of the Use of Remote Sensing for Monitoring Wildfire Risk Conditions to Support Fire Risk Assessment in Protected Areas. *South African Journal of Geomatics*, 7 (3): 222-242. doi: 10.4314/sajg.v7i3.2.
- Morsdorf, F., Kötz, B., Meier, E., Itten, K. & Allgöwer, B. (2006). Estimation of LAI and fractional cover from small footprint airborne laser scanning data based on gap fraction. *Remote Sensing of Environment*, 104 (1): 50-61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.04.019>.
- Mundry, R. & Nunn, C. L. (2009). Stepwise model fitting and statistical inference: turning noise into signal pollution. *The American Naturalist*, 173 (1): 119-123. doi: <https://doi.org/10.1086/593303>.
- Mutlu, M., Popescu, S. C., Stripling, C. & Spencer, T. (2008). Mapping surface fuel models using lidar and multispectral data fusion for fire behavior. *Remote Sensing of Environment*, 112 (1): 274-285.
- Nolan, R. H., Boer, M. M., Collins, L., Resco de Dios, V., Clarke, H., Jenkins, M., Kenny, B. & Bradstock, R. A. (2020). Causes and consequences of eastern Australia's 2019-20 season of mega-fires. *Global change biology*, 26: 1039-1041. doi: 10.1111/gcb.14987.
- NordiskRåd. (2019). NORDISK RÅDS STRATEGI FOR SAMFUNNSSIKKERHET.
- Nygaard, P. H. (1997). Virkninger av skogbrann paa vegetasjon og avrenningsvann. *Aktuelt fra Skogforsk* (2).
- Nygaard, P. H. & Brean, R. (2014). *Dokumentasjon og erfaringer etter skogbrannen i Mykland 2008-Sluttrapport*. Rapport fra Skog og Landskap: Norsk institutt for skog og landskap. Tilgjengelig fra: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2444166> (lest 20.04.2020).
- Næsset, E. (2002). Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. *Remote sensing of environment*, 80 (1): 88-99. doi: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00290-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00290-5).
- Næsset, E. (2004). Practical large-scale forest stand inventory using a small-footprint airborne scanning laser. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19 (2): 164-179. doi: <https://doi.org/10.1080/02827580310019257>.
- 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. doi: <https://doi.org/10.1080/02827580410019553>.
- RASA. (Ukjent). *Romedal Almenning*. Tilgjengelig fra: <http://www.rasa.no/om-oss/hva-er-en-allmenning/romedal-almenning/> (lest 15.05.2020).
- Rekdal, Y. (2017). Vegetasjon og beite i deler av Romedal-og Stange almenninger. *NIBIO Rapport*, 3 (24): 1-56.
- Risbøl, O., Amundsen, H. R., Bollandsås, O. M. & Nesbakken, A. (2011). *Flybåren laserskanning til bruk i forskning og til forvaltning av kulturminner og kulturmiljøer. Dokumentasjon og overvåking av kulturminner*. NIKU Rapport, 8281011076. Oslo.
- Rodman, K. C., Veblen, T. T., Chapman, T. B., Rother, M. T., Wion, A. P. & Redmond, M. D. (2020). Limitations to recovery following wildfire in dry forests of southern Colorado and northern New Mexico, USA. *Ecological Applications*, 30 (1): 1-20. doi: <https://doi.org/10.1002/eap.2001>.
- RstudioTeam. (2016). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. Boston.
- Saatchi, S., Halligan, K., Despain, D. G. & Crabtree, R. L. (2007). Estimation of forest fuel load from radar remote sensing. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 45 (6): 1726-1740.
- Skredsvig, E. (2007). *Skogbrann og skogbrannvern*. Tilgjengelig fra: <http://www.brannmannen.no/fagstoff/skogbrann-og-skogbrannvern/> (lest 30.05.2020).
- Solberg, S., Næsset, E., Hanssen, K. H. & Christiansen, E. (2006). Mapping defoliation during a severe insect attack on Scots pine using airborne laser scanning. *Remote Sensing of Environment*, 102 (3-4): 364-376. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.03.001>.

- Storaunet, K. O., Brandrud, T. E., Rolstad, J. & Rolstad, E. (2008). Vurdering av verneverdier og skogshistorie i to områder tilbudt for frivillig vern etter skogbrannen i Mykland i juni 2008. *Oppdragsrapport fra Skog og landskap*.
- TerraTec. (2016). *LASERSKANNINGFOR NASJONAL DETALJERT HØYDEMODELL NDH Stange5pkt 2016*: TerraTec.
- Urdahl, R. S., K. . (2006, 13.06.2006). Skogbrannen sprer seg østover NRK. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/innlandet/skogbrannen-sprer-seg-ostover-1.603546>.
- Viken, K. O. (2017). *Landsskogtakseringens feltinstruks 2017*. NIBIO Bok, b. 3.
- Yebra, M., Chuvieco, E. & Riaño, D. (2008). Estimation of live fuel moisture content from MODIS images for fire risk assessment. *Agricultural and forest meteorology*, 148 (4): 523-536.
- Yebra, M., Dennison, P. E., Chuvieco, E., Riano, D., Zylstra, P., Hunt Jr, E. R., Danson, F. M., Qi, Y. & Jurdao, S. (2013). A global review of remote sensing of live fuel moisture content for fire danger assessment: Moving towards operational products. *Remote Sensing of Environment*, 136: 455-468.
- Øyen, B.-H. (1998). *SKOGBRANN I NORGE DE SISTE 200 ÅR*. 8 utg. Oppdragsrapport fra Norsk institutt for skogforskning. Tilgjengelig fra: http://files.christian-asphaug.webnode.no/200000633-505ea52526/skogbrann_i_norge_de_siste_200_ar.pdf (lest 20.02.2020).



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway