



Prosjektrapport

Aldersuavhengig bonitering med bruk av historiske flybilder



Tittel: Aldersuavhengig bonitering med bruk av historiske flybilder
Forfatter: Luis Barreiro, Floris Groesz
Prosjektleder: Floris Groesz
Oppdragsgiver: ALLSKOG / Skogtiltaksfondet
Blom posjektnr: 2173

Versjon	Dato
1	19.03.2021

Blom Norway AS

Fornebuveien 7

1366 Lysaker Epost:

Org nr 982 725 402

Kontaktperson: Floris Groesz

floris.groesz@blom.no

Telefon: 98630541

BLOM NORWAY AS

Fornebuveien 7
Postboks 219
NO-1326 Lysaker
Norway
info@blom.no



INNHOOLD

Innhold	3
Forord.....	4
Sammenfatning	5
1 Introduksjon	6
2 Prosjektområde og datagrunnlag	8
3 Metoder	11
4 Resultater og diskusjon.....	14
5 konklusjon og anbefalinger.....	23
Referanser	24

FORORD

Dette prosjektet ble gjennomført av Luis Barreiro, Inge Myklebust og Floris Groesz i Blom, i tett samarbeid med ALLSKOG. ALLSKOG har gjort feltarbeid, levert nødvendige skogtaskstdata og gitt nyttig innspill underveis i prosjektet.

Vi ønsker og takke Sentralarkivet for flyfoto og satellittbilder hos Kartverket og særlig Hardy Buller for å kostnadsfritt levere de nødvendige flyfotodatasettene.

Til slutt ønsker vi å takke Skogtiltaksfondet for finansieringen.

SAMMENFATNING

Dagens metode for estimering av bonitet er enten ressurskrevende (feltmålinger) eller unøyaktige og subjektive (fototolkning). Ny forskning viser at man kan estimere bonitet med bruk av to laserdatasett med 7-10 års mellomrom. Metoden viser gode resultater, men utfordringen er at det finnes svært få områder i Norge som har dekning av to laserdatasett. Bildematching kan brukes for å skape 3D-punktskyer som kan brukes på samme måten som laserdata til å estimere bonitet. Nesten i hele Norge finnes det flere deknings med flyfoto med mange års mellomrom.

I dette prosjektet har vi testet om ulike historiske flyfotodatasett kan bildematches og om resulterende punktskyene kan brukes til å estimere bonitet. Prosjektområde var Orkdal kommunen.

Det mulig å bruke historiske flybilder til bildematching og lage punktskyer med bra nok kvalitet. Noen flyfotoprojekt kan være vanskelige å matche og det er ikke sikkert at man kan få et bra nok resultat overalt. Det er ikke mulig (enda) og forutse dette før man setter i gang bildematchingen. Det er viktig å ha en systematisk og heldekkende kontroll av bildematchingsdataene. Det er enkelt å gjennomføre ved å sammenligne punktskyen med eksisterende laserdata. Resultatet er dokumentert kvalitet av bildematchingspunktskyen.

I vår test klarte vi å estimere bonitet med bra nøyaktighet. RMSE for modellene varierte fra 2.65 meter til 3.38 meter. Estimaten basert på bitemporale laserdata gir bedre resultater (Noordermeer et al. 2020), men det er få steder i Norge hvor det finnes bitemporale laserdata: laserdata fra to tidspunkter med minst 7 til 10 års mellomrom.

Metoden ser ut til å kunne estimere bonitet like bra som en tradisjonell skogtaksering vil kunne gi. Historiske flyfotodatasett finnes. Eneste ekstra kostnad er bildematchingskostnaden, aldersmålinger i prøveflatene og litt ekstra modelleringsarbeid. Metoden bør derfor være interessant å implementere i skogtaskeringene framover.

1 INTRODUKSJON

1.1 Bakgrunn og behov

Dagens metode for estimering av bonitet er basert på måling av høyde av de grøvste trær i bestandet og deres alder i brysthøyde. Flere ulemper er forbundet med denne metode:

Faglige ulemper:

- Bonitet er ikke statisk, men varierer over tid. Denne variasjonen fanges ikke opp med dagens estimering.
- Metoden er avhengig av alder uten undertrykking og det er vanskelig å framskaffe data for dette.

Økonomiske ulemper:

- Bestandsvise målinger i felt av overhøyde og alder er for kostbare.
- Estimering med bruk av fototolkning og noen stikkprøver er mer effektiv, men går bekostning av nøyaktighet. Dessuten kan det være en fare for subjektivitet

Aldersfri bonitering unngår disse ulempene ved å beregne bonitet ut fra høydevekst over en viss periode. Fjernmåling gjør det mulig å anvende aldersfri bonitering over store områder. Det finnes to ulike tilnærminger:

1. Å utnytte høydemålinger fra to ulike tidspunkter fra flybåren laserskanning.
2. Å utnytte høydemålinger fra to eller flere tidspunkter fra fotogrammetriske punktskyer.

Det har vært og pågår forsøk i Norge med lasermetoden (Noordermeer et al. 2020 og Kvaalen et al. 2015). Fordelen med lasermetoden er at høydemålingene fra laseren er svært nøyaktige og stabile. Det finnes derimot to ulemper lasermetoden:

- Tidsperioden mellom 2 lasermålingene er ikke store. De første laserdatasettene i Norge er fra cirka 2003. Typisk tidsperiode i forsøkene er 10 år. Det er en kort periode for å måle høydevekst.
- Det finnes lite laserdekning fra før 2005-2007 i Norge. Samtidig finnes det fortsatt mange områder uten laserdekning. Metoden krever at områdene er dekket 2 ganger, gjerne med 10 eller flere år imellom. Det betyr at man må ikke kan forvente brukbare data før 2025-2030 for hele Norge.

Fotogrammetrisk metode krever flybilder som datakilde. Den største fordelen med dette er at det finnes et anvendbart bildearkiv tilbake i tid. Helt ned til omtrent 1950.

Det betyr at man nesten har heldekkende data per i dag og at man gjerne har flere dekninger over samme område. Svakheten i fotogrammetrisk metode er at nøyaktigheten på punktskyen er ofte lavere enn fra laserskanningen. For 10 år siden var det problematisk å kjøre bilematching over større områder på grund av algoritmer og manglende datakraft. Det har vært en revolusjon i programvarer og algoritmer som gjør bildematching raskere og mer pålitelig. Samtidig kan man utnytte faktumet at prosesseringskraft har blitt stadig billigere over tid.

Metodene og teknikkene for å kontrollere resultatene fra bildematching har også fått en stor forbedring i de siste årene. Det gjør at man kan få en bedre kvalitetssikring av resultatene enn tidligere.

1.2 Mål

Hovedmålet var å teste om historiske flyfoto kan anvendes for å lage aldersuavhengig bonitetskart.

For å oppnå dette målet hadde prosjektet følgende delmål:

- Å teste nøyaktighet og pålitelighet av 3D punktdata generert av bildematching av ulike historiske flyfoto datasett.
- Utvikle systematiske metoder for kvalitetskontroll av bildematchingsresultater av historiske flyfoto datasett.
- Framstille demonstrasjonsprodukter: heldekkende, bestandsuavhengige bonitetskart.

2 PROSJEKTOMRÅDE OG DATAGRUNNLAG

2.1 Prosjektområde

Orkdal kommune i Trøndelag ble valgt som prosjektområde. ALLSKOG gjennomførte en skogtaksering i Orkdal, slik at feltarbeidet til dette prosjektet kunne kombineres med feltarbeidet til skogtaksten. Dessuten finnes det flere gode datasett med historiske flybilder over Orkdal som er digitale og tilgjengelige i sentralarkivet til Kartverket.

2.2 Feltdata

ALLSKOG har utført en prøveflatetakst for Orkdal kommune i sommeren av 2018. I tillegg til alle målingene som utføres i en standard prøveflatetakst bestemte ALLSKOG alderen på 61 prøveflater ved å bore i brysthøyde for det første prøvetreet per flate. Kun bestand og prøveflater med treslaget gran ble med.

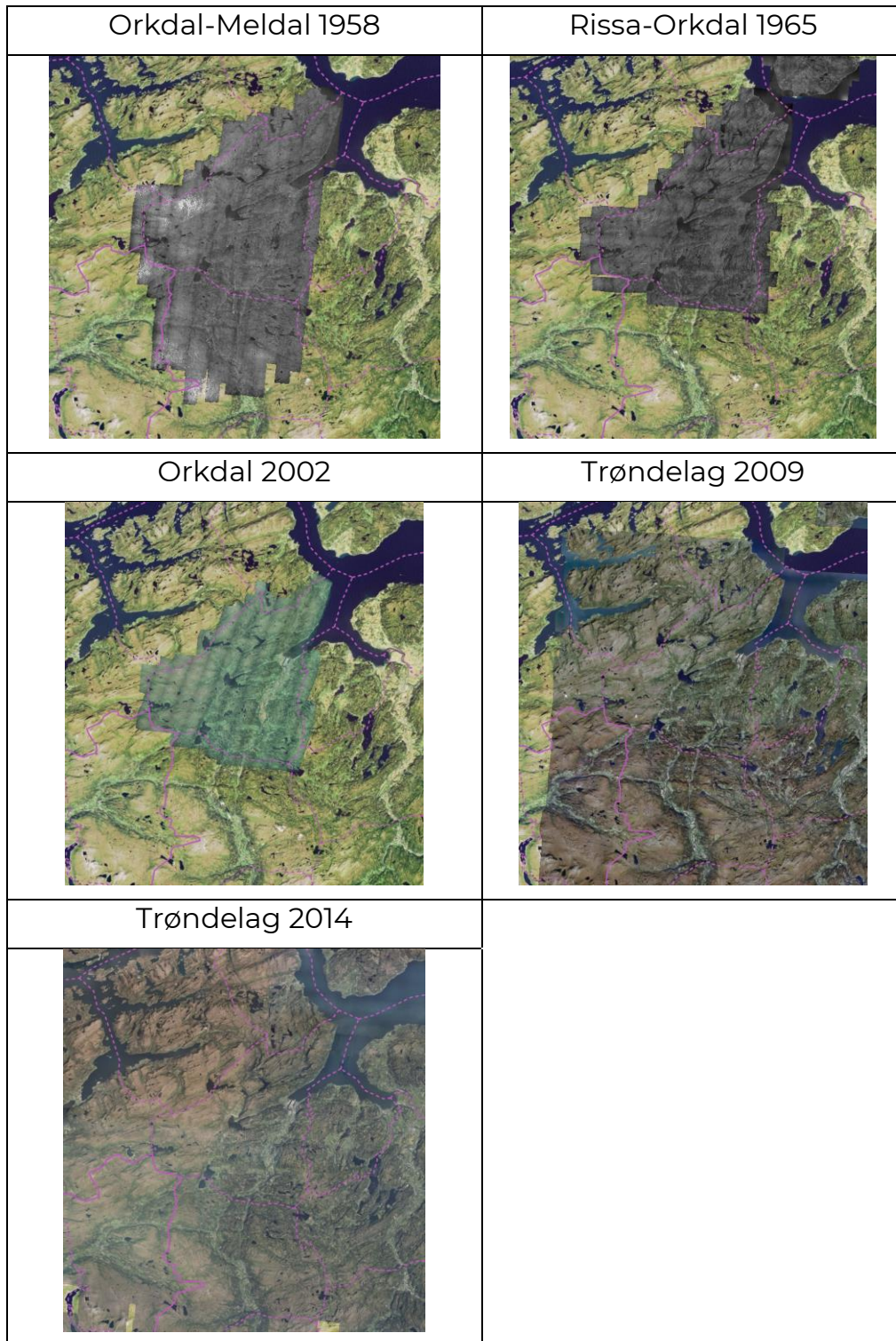
2.3 Flybilder

Fem datasett med historiske flybilder var gjort tilgjengelig av Kartverket. Tabell 1 og Figur 1 viser mer informasjon og oversikt over datasettene.

Tabell 1. Flyfotodatasettene som var tilgjengelige i prosjektet.

Navn / årstall	Dekningsnummer	GSD (Oppløsning) cm
Orkdal-Meldal 1958	WF-0998 GSD	20
Rissa-Orkdal 1965	WF-1664 GSD	20
Orkdal 2002	FWG-12815	20
Trøndelag 2009	TT-13815	50
Trøndelag 2014*	BNO14012-01-04	25

* Trøndelag 2014 datasettet ble ikke levert som flybilder, men ferdig bildematchet datasett ble lastet ned fra hoydedata.no. Blom har matchet dette datasettet tidligere for Kartverket.



Figur 1. Oversikt over datasett med historiske flyfoto

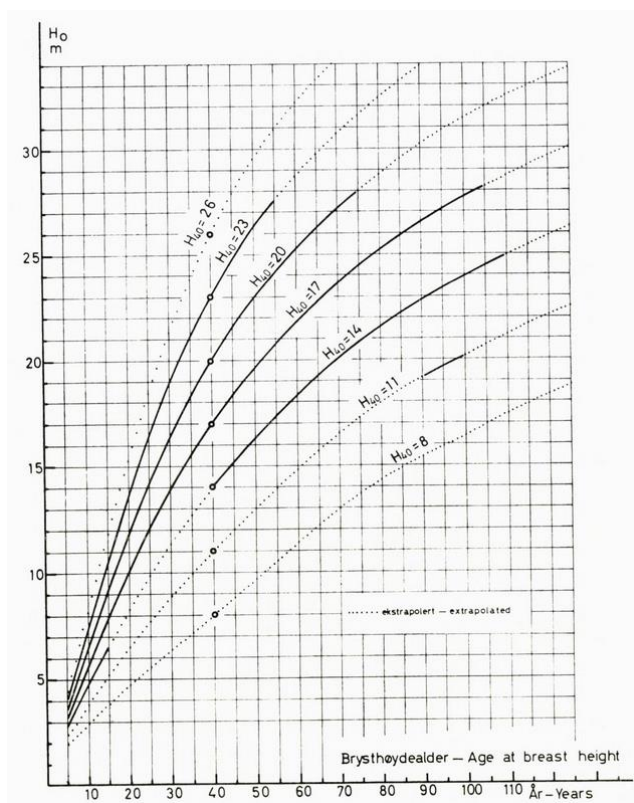
2.4 Laserdata

Et laserdatasett fra 2016 ble brukt i prosjektet. Datasettet dekker hele Orkdal kommune og har i gjennomsnitt en punkttetthet på 2 punkt/m². Datasettet er tilgjengelig på hoydedata.no.

3 METODER

3.1 Bearbeiding av felldataene

På 61 prøveflater har ALLSKOG bestemt alder (boret i brysthøyde for det første prøvetreet per flate. Blom har kubert prøveflater. Overhøyde ble beregnet som aritmetisk middelhøyde for den 2 grøvste trær per prøveflate. Etter det ble boniteten bestemt med bruk av Tveite (1977) treslag spesifikk alder-høyde kurver for Norge. Vi brukte alder fra prøvetreet og overhøyde fra prøveflaten.



Figur 2. Bonitetskurver for gran (Tveite, 1977)

3.2 Bildematching, kontroller, og terrengnormalisering

3.2.1 Bildematching

Bildematching utnytter overlapp mellom flybildene for å beregne x-, y-, og z-koordinater for hver piksel eller for en gruppe av piksler. Resultatet er en 3D-punktsky som beskriver overflaten. Programvaren Match-T fra Info ble brukt. Resultatet ble lagret i LAS formatet.

3.2.2 Kontroller

3D-punktskyene ble kontrollert på flere måter:

- Ved å tolke kvalitetsrapporten som generes av matchingsprogramvaren.
- Ved å sammenligne terrenghøyder i åpne områder med terrenghøyder fra det 2016 laserdatasettet. Resulterende avviksplokkene ble undersøkt.

Hvis bildematchingsdatasettet viste et konstant høydeavvik, har vi justert høydene tilsvarende.

3.2.3 Terrengnormalisering av punktskyen

3D-punktskyene ble normalisert med bruk av terrengmodellen fra 2016 laserdataene. Prosessen trekker terrenghøyden fra hvert punkt i punktskyen. Resulterende punktskyen inneholder høyder over terrenget (i stedet for absolutte høyder over havet).

3.3 Estimering av bonitet

3.3.1 Beregning av punktskyvariabler

For de terrenghøyde normaliserte 3D-punktskyene ble det beregnet høyde- og tetthetsvariabler på samme måten som i standard lasertakster. Variablene beskriver høyde- og tetthetsfordelingen av punktene i 3D-punktskyen. Variable ble beregnet for ruter med en størrelse på 16 x 16 meter.

3.3.2 Modellering og evaluering

Vi har estimert bonitet ved å bruke bildematchingsdata fra to tidspunkter og vi har analysert tre kombinasjoner av tidspunkter:

- 1958 og 2002
- 1958 og 2014
- 2002 og 2014

Det hadde vært interessant å teste flere kombinasjoner av tidspunkter, men det hadde vi ikke tid til.

Det ble brukt regresjonsmodeller for å estimere bonitet. Responsvariabel var bonitet (H40 basert på prøveflatene fra 2018) og som forklarende variabler ble punktskyvariablene brukt. Vi har brukt algoritmen «regsubsets» fra leaps pakken i programvaren R for utvalg av variablene. Alle forklarende variablene som ble valgt i modellene hadde en p-verdi < 0.05 . Ordinary Least Squares (OLS) metoden ble brukt for den endelige modellen. Modellene ble evaluert med kryssvalidering (Leave-One-Out-Cross-Validation). Vi bruker Root Mean Squared Error (RMSE) for å vurdere nøyaktigheten av prediksjonene.

3.3.3 Implementering av modellene for å generere heldekkende kart

Modellen fra 2002-2014 ble brukt for å generere estimater på bonitet i hele prosjektområdet. Standard rutiner for arealbasert lasertakst ble brukt.

Bestandskartet som ALLSKOG hadde lagt i forbindelse med skogtakseringen ble brukt som en maske. Vi estimerte bonitet for hver 16x16 meter beregningsrute og aggregerte resultatene også på bestandsnivå. Beregningsruter med negativ høydeendring i observert tidsperioden ble ikke med i aggregeringen.

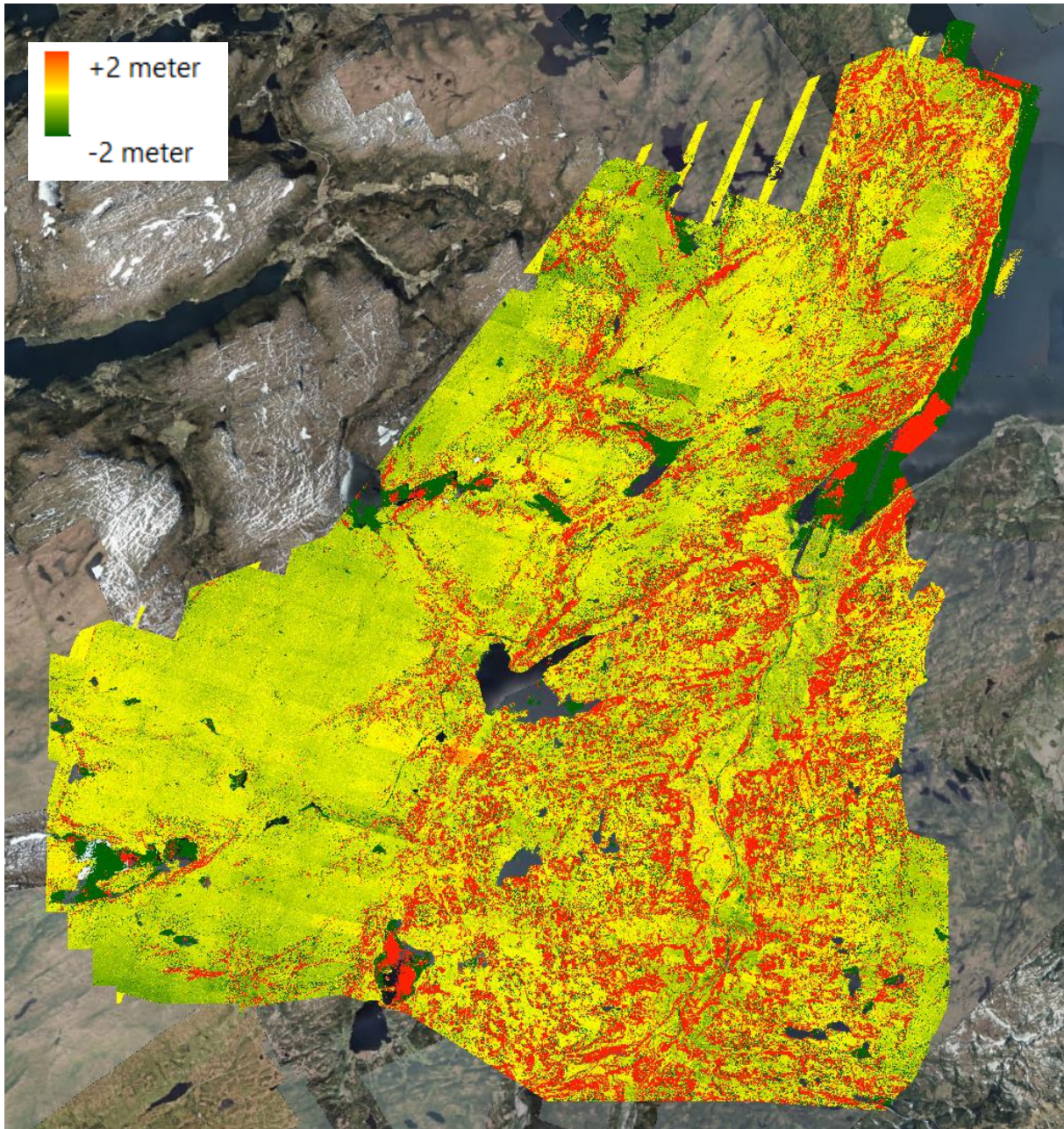
4 RESULTATER OG DISKUSJON

4.1 Bildematching og kontroller

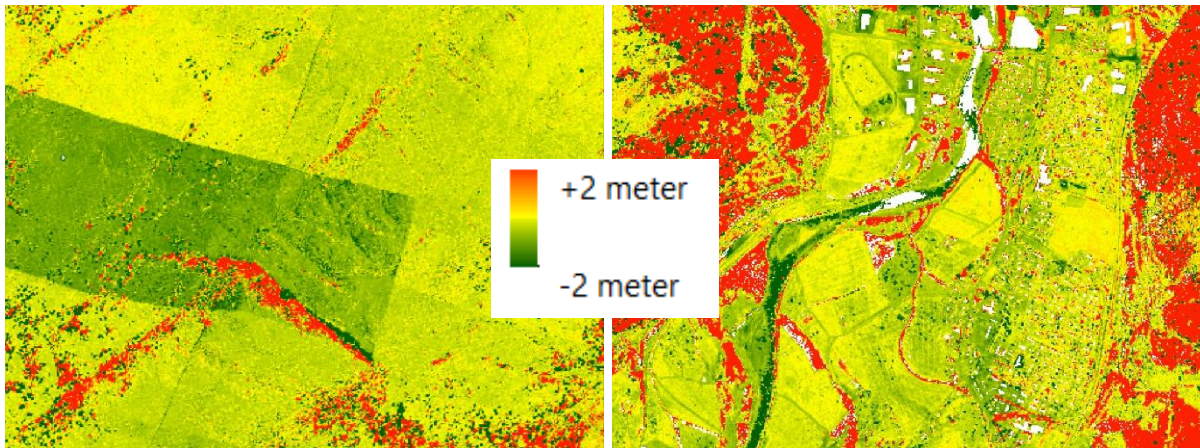
Figur 3 viser oversikt over avvik mellom overflatemodellen lagt med bildematching (bilder fra 2002) og terrengmodellen fra laserdata (2016). Røde områder har større avvik enn 2 meter og er stort sett dekket av skog. Avviket forklares at bildematchingsdata beskriver overflaten, det vil si tretoppene, mens terrengmodellen fra laserdata beskriver terrengmodellen. Det vil ikke si at bildematchingsmodellen er feil, kun at vi ikke kan kontrollere det i disse områdene. vannområder gir også store avvik.

Verdiene mellom -2 og 2 meter er interessante å undersøke. Her kan man se eventuelle avvik forårsaket av dårlig matchingsresultat og av dårlig Aerotriangulering.

Vi kan ikke sammenligne terrengmodellen fra bildematching og fra laserdata i områder med skog, fordi bildematchingsdataene ikke finner terrenget under trekronene. Vi kan derimot anta at bildematchingsdataene er gode hvis vi ser at de ikke viser store avvik i områder med harde uendrete overflater, som veier, parkeringsplasser og terreng uten vegetasjon.



Figur 3. Avvik mellom overflatemodellen fra bildematchingen (2002) og terrengmodellen fra laserdata (2016)



Figur 4. Avvik mellom overflatemodellen fra bildematchingen (2002) og terrengmodellen fra laserdata (2016). Til venstre ser vi en effekt av dårlig Aerotriangulering eller bildematching. En skarp kan som faller sammen med en flyfotokant. Til høyre ser vi lite avvik (gult) på harde, uendrete flater. Større avvik i områder med vegetasjon.

4.2 Estimering av bonitet.

4.2.1 Modelleringsresultater

Perioden 2002-2014

Totalt antall prøveflater brukt i modellering var 47.

Regresjonsfunksjonen brukt videre:

$$3.82969 + 1.43592 * d_H90 + 1.45623 * H20_02 - 0.10537 * D5_02$$

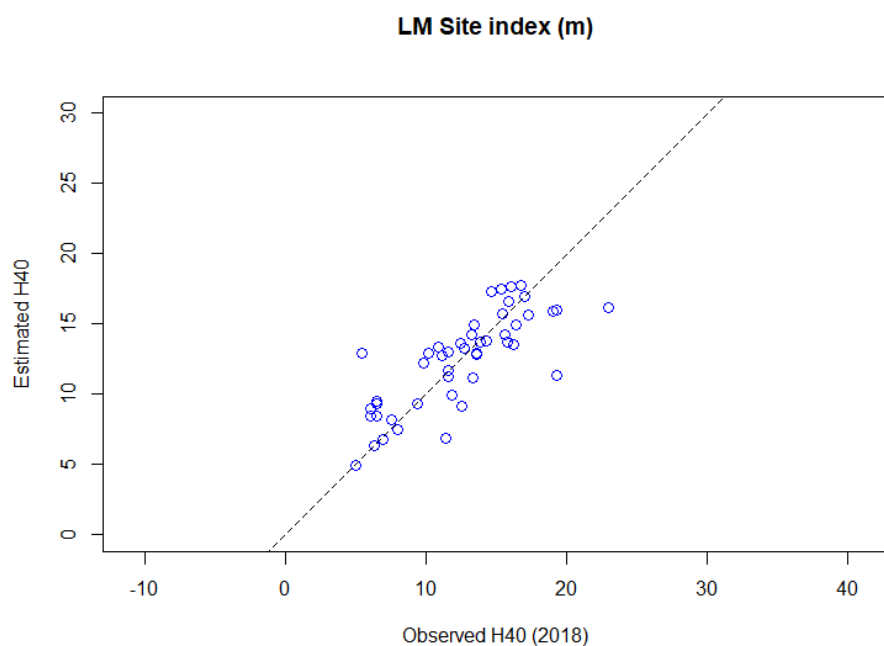
Adj.R2 0.59

RMSE=2.65m

Hvor d_H90 = tilvekst av 90 høyde persentil mellom 2002 og 2014

$H20_02$ = høyde persentil 20

$D5_02$ = krontaksdensitet tilsvarende fraksjonen 50 % av totale antallet piksel over cutoff (2m)



Figur 5. Feltobservert bonitet mot direkte estimert bonitet for periode 1958-2002

Perioden 1958-2002

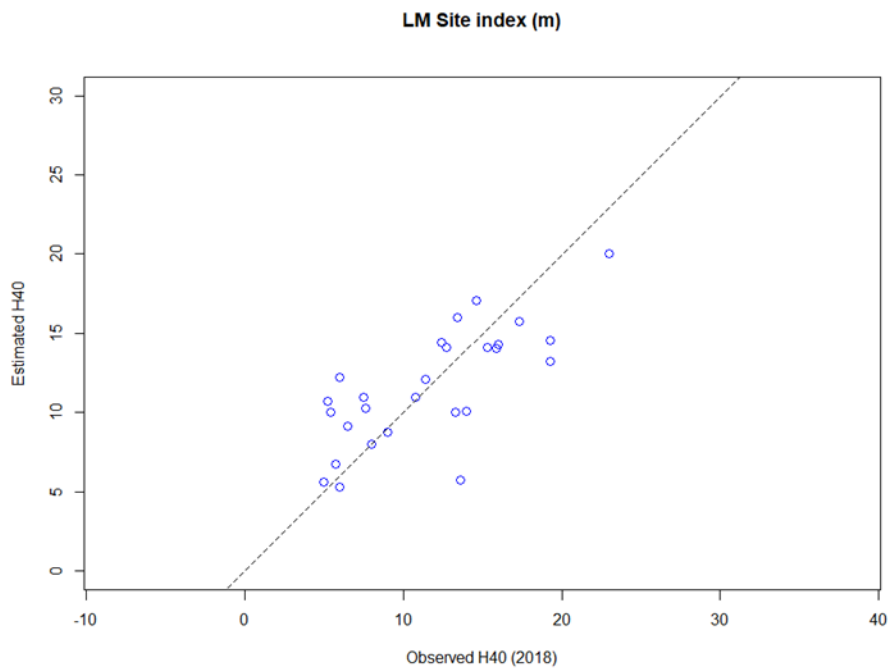
Totalt antall prøveflater brukt i modellering var 27.

Regresjonsfunksjonen brukt videre:

$$0.52936 + 1.90095 * H60_{58} - 0.21606 * D4_{58} + 0.11168 * d_{D2}$$

Adj.R2 0.48

RMSE=3.35m



Figur 6. Feltobservert bonitet mot direkte estimert bonitet for periode 1958-2002

Perioden 1958-2014

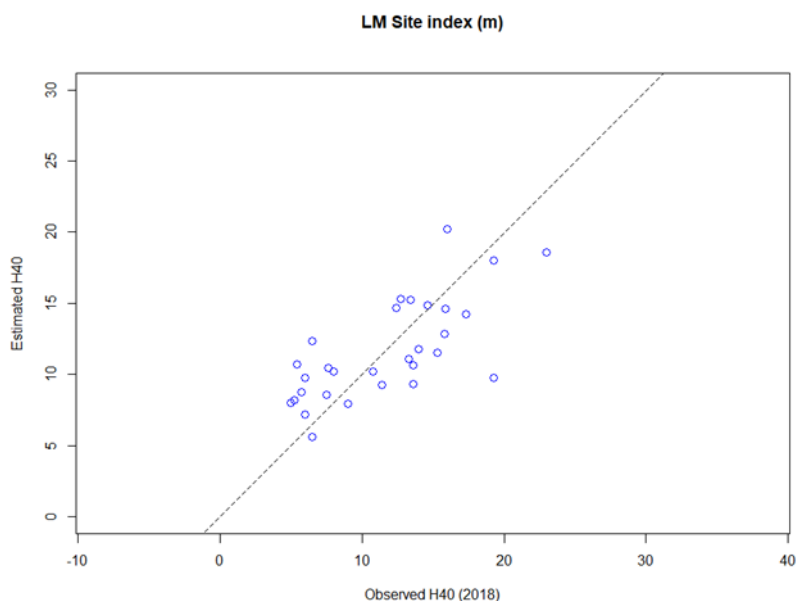
Totalt antall prøveflater brukt i modellering var 30.

Regresjonsfunksjonen brukt videre:

$$3.81609 + -2.00748 * H70_{58} + 1.83761 * H80_{14} + -0.86941 * d_{H80}$$

Adj.R2 0.46

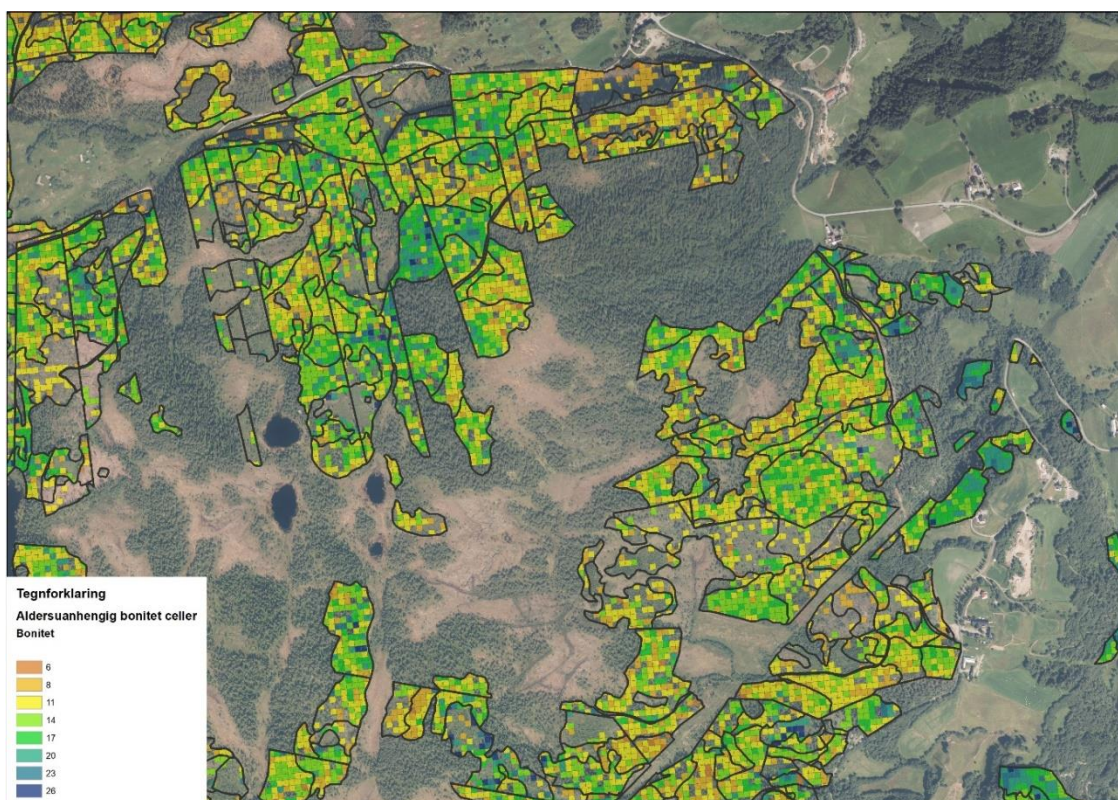
RMSE=3.38m



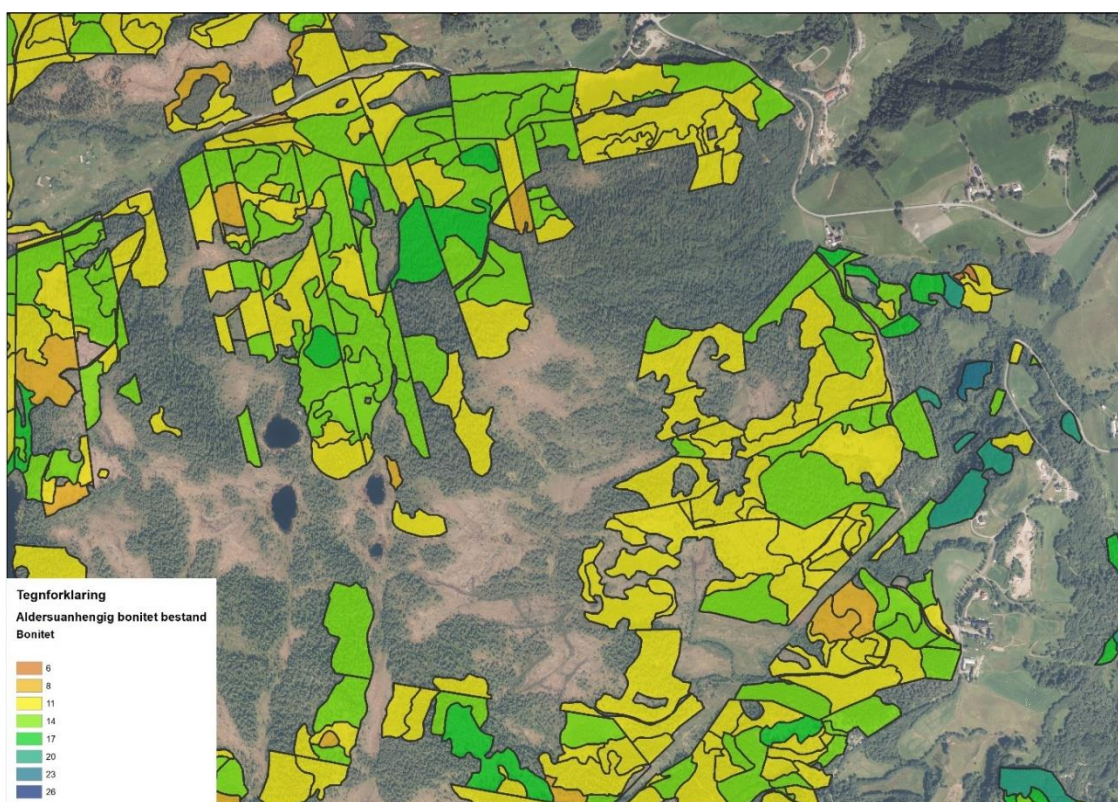
Figur 7. Feltobservert bonitet mot direkte estimert bonitet for periode 1958-2014

4.2.2 Heldekkende kart

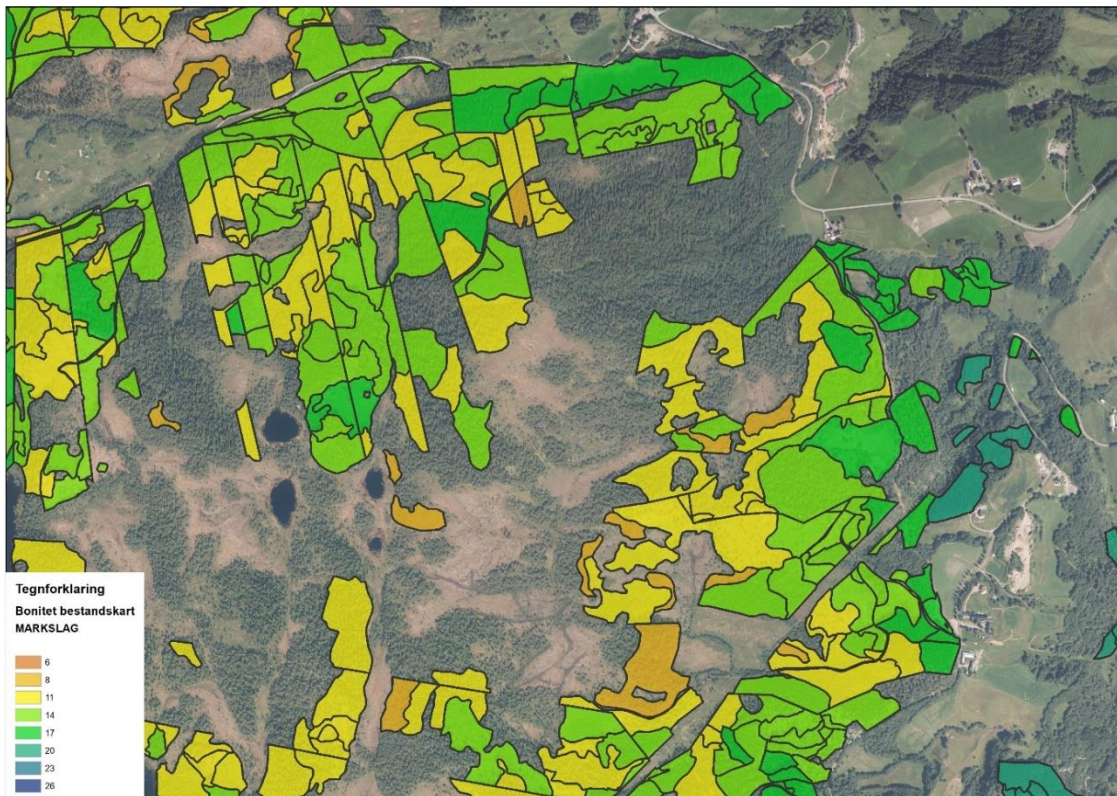
På eksempler figur 5 og 6 vi har brukt funksjon fra 2002-2014 periode. Figur 7 brukes for å sammenligne aldersuavhengig direkte metode med ALLSKOG foto tolkning. For å bli mulig å sammenligne, aldersuavhengig bonitet ble oppsummert til 3 meters klasser, som brukes vanligvis på foto tolkning.



Figur 8. Aldersuavhengig bonitet beregnet på rutenivå og fargelagt i 3-meters klasser.



Figur 9. Aldersuavhengig bonitet aggregert på bestandsnivå og fargelagt i 3-meters klasser.



Figur 10. Bonitet fra bestandskartet estimert ved bruk av fototolkning (ALLSKOG) og fargelagt i 3-meters klasser.

4.3 Diskusjon

4.3.1 Bildematching

Bildematching av historiske flybilder kan være utfordrende. Aerotrianguleringen er ikke alltid gjort med høy kvalitet. Informasjon om kamera stemmer ikke heller ikke alltid og kjentpunktene som ble brukt er ikke alltid bra fordelt over hele prosjektområdet. I noen tilfeller får man et bra resultat uten problemer, mens i andre tilfeller får man store avvik eller feiler bildematchingen totalt. Det er nesten ikke mulig å forutse hva kvaliteten blir før man har prøvd å bildematche. En annen utfordring er at kvaliteten til overflatemodellen kan variere innenfor et flyfotodatasett. Derfor er det viktig å gjøre en heldekkende kontroll mot nyere laserdata som vi har gjort. Det kan i hvert fall avdekke eventuelle avvik, selv om ikke alle avvik kan fjernes.

Det skjer også stadig at bildematchingsresultatene har et konstant høydeavvik (skift). Sammenligning med laserdata kan avdekke dette skifte og det er lett å korrigere z-koordinatene i bildematchingspunktene med en konstant verdi.

Vår test besto av tre flyfotodatasett i Orkdal kommunen. Vi har sett på to datasett til, men ikke prosessert de. Opptaksårene varierte fra 1958 til 2014. Det har gitt oss

et innblikk i utfordringene man kan møte, men samtidig er dette utvalget for liten for å kunne konkludere hvor bra bildematchingen kommer til å fungere i andre områder.

4.3.2 Estimering av bonitet

Resultatene fra regresjonsberegningene var forholdsvis gode. root mean squared error av den beste modellen var 2.65 meter, akkurat innenfor 1 bonitetsklasse. Dette er feilen på prøveflatenivået. Aggregerer man opp til bestand vil feilen bli en del mindre.

Noordermeer et al. (2020) viser root mean square errors fra 1.72 to 2.84 meter for granskog og denne metoden er basert på laserdata fra to tidspunkter.

Vi så dårligst resultat i modellen fra 1958-2002 og 1958-2014 og vi antar at flere faktorer forårsaker det. Selve bildematchingspunktstyken fra 1958 har antagelig dårligere kvalitet en nyere bildematchingsdata. Dessuten er det større sannsynlighet at det har vært forstyrrelser i skogen i den lange perioden fra 1958 til 2002/2014. Man kan tenke på plukkhogst, vindfall, toppbrekk eller andre skader. En siste faktor er at vi hadde færre prøveflater med i modellen når vi analyserte 1958 datasettet. Prøveflater som viste ulogiske verdier for 1958-2002/2014 måtte ekskluderes.

Eneste fordel med å bruke en lang periode for bonitering at man kan observere stor høydevekst og det kan være gunstig i modelleringen.

5 KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

5.1 Konklusjon

Det mulig å bruke historiske flybilder til bildematching og lage punktskyer med bra nok kvalitet.

Noen flyfotoprojekt kan være vanskelige å matche og det er ikke sikkert at man kan få et bra nok resultat overalt. Det er ikke mulig (enda) og forutse dette før man setter i gang bildematchingen.

Det er viktig å ha en systematisk og heldekkende kontroll av bildematchingsdataene. Det er enkelt å gjennomføre ved å sammenligne punktskyen med eksisterende laserdata. Resultatet er dokumentert kvalitet av bildematchingspunktskyen.

I vår test klarte vi å estimere bonitet med bra nøyaktighet. RMSE for modellene varierte fra 2.65 meter til 3.38 meter.

Estimatene basert på bitemporale laserdata gir bedre resultater (Noordermeer et al. 2020), men det er få steder i Norge hvor det finnes bitemporale laserdata: laserdata fra to tidspunkter med minst 7 til 10 års mellomrom.

Metoden ser ut til å kunne estimere bonitet like bra som en tradisjonell skogtaksering vil kunne gi. Historiske flyfotodatasett finnes. Eneste ekstra kostnad er bildematchingskostnaden, aldersmålinger i prøveflatene og litt ekstra modelleringsarbeid. Metoden bør derfor være interessant å implementere i skogtaskeringene framover.

5.2 Anbefalinger

Som beskrevet i diskusjon har vi analysert ulike flyfotodatasett fra ulike år. Det ga et visst innblikk i utfordringene man kan møte når man bildematcher historiske flybilder, men det fornuftig å utvide testen til andre områder og flere opptaks-år.

NMBU har hatt en del aktivitet innenfor bildematching i mellomtiden. Det er interessant å teste metodene på områder hvor det er mer felldata tilgjengelig

REFERANSER

Kvaalen, H., Solberg, S., May, J. (2015). Aldersuavhengig bonitering med laserscanning av enkelttrær. NIBIO rapport 1/67/2015.

Noordermeer, L., Gobakken, T., Næsset, E., & Bollandsås, O. M. (2020). Predicting and mapping site index in operational forest inventories using bitemporal airborne laser scanner data. *Forest Ecology and Management*, 457, 117768. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117768>

Tveite, B. 1977. Bonitetskurver for gran. (Site index curves for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)). *Medd. Norsk Inst. Skogforsk.* 33.11-84.