



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Aldersuavhengig bonitering med arealbasert laserdata fra to tidspunkt

Axel Berlin
Skogfag

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på min utdannelse innen skogfag ved Norges miljø og biovitenskapelige universitet (NMBU). I oppgaven har jeg valgt å se på en potensiell ny metode for bonitering av skog ved fremtidige skogtakseringer.

Jeg vil med dette rette en stor takk til min veileder, Dr. Ole Martin Bollandsås for god veiledning og et hyggelig samarbeid. Takk til medstudenter for en hyggelig studietid og takk til medarbeidere under feltarbeidet.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 12. mai 2017

Axel Berlin

Sammendrag

Rasjonell forvaltning av skogressurser krever god informasjon om skogen og skogarealet. Beslutninger om tiltak i skogen tas på grunnlag av informasjonen man har, og eventuelle feil i informasjonen kan føre til at beslutninger tas på feil grunnlag. For en profittmaksimerende skogeier har tidligere studier vist at feil i alder og bonitet gir størst negativt utslag i nåverdi på bestandsnivå. Grunnen til dette er at tidspunkt for avvirkning og valg av foryngelsesmetode og tetthet ved eventuell planting avhenger sterkt av boniteten.

Bonitet beregnes tradisjonelt i Norge ved bruk høyde og brysthøydealder til de 100 grøvste trærne pr. hektar (haa.). Denne metoden har noen svakheter, blant annet at den krever feltarbeid og dermed er kostbar. En alternativ måte å bonitere på er å bruke skogens vekst over en periode samt høyden ved starten av perioden. Dette kalles aldersuavhengig bonitering. Bruk av flybåren laserskanning (FLS) gjør at vi i de fleste operative skogtakster i fremtiden vil ha tilgang på laserdata fra to tidspunkt. Disse dataene kan potensielt benyttes til aldersuavhengig bonitering.

Hovedmålet med denne oppgaven var å teste to forskjellige metoder (direkte og indirekte) for aldersuavhengig bonitering med bruk av arealbasert FLS-data fra to tidspunkt (T1 og T2). Dataene er fra et forsøksområde i Krødsherad kommune i Buskerud. Den direkte metoden besto av lineære og ikke-lineære regresjonsmodeller til prediksjon av bonitet med direkte utgangspunkt i laservariabler. Den indirekte metoden benyttet predikert overhøyde (H_o) for T1 og T2 og beregnet så boniteten med utgangspunkt i H_o ved T1 og differansen i H_o mellom T2 og T1. Det ble laget egne modeller for gran (*Picea Abies*) og furu (*Pinus Sylvestris*). Modellene ble validert i 17 kontrollflater bestående av 16 ruter (233 m²) hver. Boniteten er også målt i felt og differansen mellom predikert og feltmålt bonitet er brukt som modellens «feil». Den gjennomsnittlige feilen for lineær direkte modell, ikke-lineær direkte modell og indirekte metode ble på henholdsvis: -0,07, 0,13 og 0,66 i gran og -0,06, -0,37 og -0,97 i furu og var ikke signifikant ulik null for alle modeller i begge treslag. Alle metoder og modeller utenom indirekte metode i gran hadde tendens til å overpredikere boniteten i lave bonitesklasser og underpredikere i høye. Som konklusjon har aldersuavhengig bonitering ved bruk av arealbasert laserdata fra to tidspunkt potensiale til å kunne inngå i skogtaksering i fremtiden. Kostnadene tilknyttet dette bør være relativt små.

Abstract

Sustainable forest management requires good information about the forest and its area. Decisions on forest treatment are taken on basis of the information you have, and errors in the information can lead to decisions being made on the wrong basis. For a profit-maximizing forest owner, previous studies have shown that errors in age and site index (SI), gives the highest negative impact on present value in a single stand. This is because SI is important for deciding what time to harvest, the type of regeneration and the optionally number of plants if planting is required.

The SI is usually decided based on tree height and the age of the 100 largest trees per hectare (haa.) according to stem diameter. This method has some weaknesses, and one of them is that it requires fieldwork and therefor is expensive. An alternative way to decide the SI, which also is independent of the forests age, is to use the forest's growth over a period and the height at the start of the period. The use of airborne laser scanning (ALS) means that we in forest inventory in the future will have access to tree heights for the same area from two different times. These data can potentially be used to decide the SI.

The present study aimed to demonstrate and validate two different methodologies (directly and indirectly) for determination of SI independent of age. The data used in the study is area-based ALS- data from different times (T1 and T2) from an experimental area in the municipality of Krødsherad, Norway. The direct method utilizes linear (DLM) and nonlinear (DNLM) regression models to predict SI with input values directly from ALS-data. The indirect method (IM) uses the predicted height of the dominant trees (H_0) for T1 and T2 and then calculates the SI based on H_0 at T1 and the difference in H_0 between T2 and T1. There were made specific models for Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). The models were validated in 17 control areas consisting of 16 routes (233 m²) each. The models "error" was set as the difference between predicted SI and SI measured in field. The average error for DLM, DNLM and IM was respectively: -0.07, 0.13 and 0.66 in Norway spruce and -0.06, -0.37 and -0.97 in Scots pine and was not significant different from zero for all models. All methods and models, except IM in spruce, tended to overpredict the SI on sites with low observed SI and underpredict places with high. In conclusion, age-independent deciding of SI using ALS-data from two times has the potential to be part of forest inventory in the future. The costs associated with this should be relatively small.

Innholdsfortegnelse

Forord	iii
Sammendrag	v
Abstract	vii
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Flybåren laserskanning (FLS)	2
1.3 Bonitet	4
1.4 Aldersuavhengig bonitering	5
1.5 Problemstilling	6
2. Materiale og metode	7
2.1 Studieområdet	7
2.2 Datagrunnlag	7
2.3 Feltdata	8
2.4 Laserdata	12
2.5 Metode	13
3. Resultater	18
3.1 Modeller	18
3.2 Resultattabeller	19
3.3 Plott	21
4. Diskusjon	24
4.1 Materiale	24
4.2 Metode	26
4.3 Resultater	27
5. Litteratur	30
6. Vedlegg	32

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Rasjonell forvaltning av skogressurser krever god informasjon om skogen og skogarealet. For å framskaffe slik informasjon, kreves det at det gjøres registreringer, vanligvis en kombinasjon av registreringer gjort i felt og registreringer gjort fra fly (flybilder og laserskanning). Med bakgrunn i disse registreringene beregnes en rekke skoglige parametere, som kan presenteres i en resursoversikt eller skogbruksplan. Dette kalles skogtaksering, og utføres vanligvis for større områder, ofte bestående av mange eiendommer, samtidig. For at skogbruksplanen skal være et best mulig verktøy og bidra til bærekraftig forvaltning av skogressursene er det med hjemmel i Skogbrukslova, 2005 §2 utarbeidet en «forskrift om tilskudd til skogbruksplanlegging med miljøregistreringer» der det stilles spesifikke krav til hva slags informasjon en skogbruksplan må inneholde for å være tilskuddsberettiget. På bestandsnivå kreves det at følgende informasjon er med: areal, hogstklasse, bonitet, volum fordelt på treslag, alder, tilvekst og MIS-registreringer. I tillegg kreves følgende informasjon på eiendomsnivå: totalt areal fordelt på markslag, produktivt skogareal fordelt på boniteter og hogstklasser, volum fordelt på treslag, boniteter og hogstklasser, tilvekst og produksjonsevne.

Skogbruksplanen skal være et verktøy for skogeieren for å ta de riktige valgene med hensyn på skogbehandling for å nå sitt overordnede mål for driften av skogeiendommen. Ulike skogeiere kan ha svært forskjellige mål med driften av eiendommene sine. Eksempler på ulike målsetninger kan være: maksimering av nåverdi, jevn inntekt fra skogen, tilretteleggelse for jaktbart vilt eller størst mulig biologisk mangfold. Hva som er optimal skogbehandling vil være forskjellig for ulike målsetninger, men uavhengig av målsetting vil man alltid være avhengig av at informasjonen man har om skogen er riktig slik at beslutninger om tiltak blir tatt på korrekt grunnlag. Imidlertid er det slik at feil ikke har like stor betydning for all type informasjon. F.eks. vil feil i volumberegninger mest sannsynlig ha mindre konsekvenser for en skogeier som ønsker størst mulig biologisk mangfold enn en profittmaksimerende skogeier. For en skogeier som ønsker å maksimere nåverdien av skogen vil spesielt feil som kan påvirke avvirkningstidspunkt og foryngelsesmetode/plantetall gi store konsekvenser, hvis de resulterer i feil skogbehandling (Eid et al. 2004). Eid (2000) viste at alder og bonitet var de to parameterne hvor feil hadde

størst betydning for skogens nåverdi. I studien til Eid et al. gav 15 % feil i bonitet et nåverditap på 21 kr/daa, mens 15% feil i alder gav tap på 24 kr/daa. (3% diskonteringsrente). Det er flere årsaker til at feil i informasjonsgrunnet får betydning for nåverdien. På bestandsnivå er skogbehandlingen sterkt tilknyttet boniteten. Økonomisk optimal hogstmodenhetsalder gitt en viss diskonteringsrente avhenger av treslag og bonitet. For høy oppgitt bonitet kan da føre til at teoretisk tidspunkt for avvirkning eller tynning settes for tidlig, mens for lav bonitet kan føre til at det settes for sent. Ved befaring vil man gjerne oppdage feilen, men man kan da være for sent ute. Problemet blir størst der man i stor grad baserer seg på at informasjonen i skogbruksplanen er riktig, og ikke kjenner skogen godt. Når det gjelder foryngelsesmetode og plantantall, for gran, bestemmes dette også ut fra boniteten både ved «tilråd» og «minste lovlige» plantetall/daa. i skogbrukslova (2005). Riktig bonitet er altså viktig både ved kortsiktig (f.eks. behandlingsforslag for enkeltbestand) og langsiktig (f.eks. prognoser) skogbruksplanlegging.

1.2 Flybåren laserskanning (FLS)

Solodukhin (et al. 1977) begynte på 70-tallet å gjøre studier knyttet til bruk av profilerende laser til skogtakseringsformål. Arbeidet med bruk av laserskanning til beregning av skoglige parametere, som f.eks. middel høyde og grunnflate, fortsatte i USA og Canada utover 80-tallet, men en av de store utfordringene var dårlig nøyaktighet i koordinatfestingen av laserpulsene. Koordinatfesting av fly og laserinstrument med en nøyaktighet på 0,5 m ved bruk av Inertial Navigation System (INS) (flyets tredimensjonale orientering) og Global Positioning System (GPS) (flyets tredimensjonale posisjon) ble etter hvert mulig (Næsset et al. 2004), og i 1995 ble verdens første studie av FLS til beregning av skoglige parametere over et større område gjennomført i Norge (Næsset 1997a; Næsset 1997b). Siden 2002 har FLS blitt brukt operativt til områdetaksering i Norge (Næsset et al. 2004) og i dag utføres tilnærmet all skogtaksering i Norge ved bruk av FLS. Eid et al. (2004) sammenliknet lasertakst og fototakst i en kostnads- og tapsanalyse og kom fram til at total kostnaden (takstkostand + nåverditap som følge av feil behandling grunnet feil i informasjonen) ble halvert ved bruk av FLS sammenliknet med fototakst.

Det er i dag hovedsakelig to ulike systemer av flybårne lasere på markedet, kontinuerligbølgesystem (continuous wave system) og diskretpulssystem (pulse ranging

system / discrete return system) (Næsset et al. 2004). Kontinuerligbølgesystemet sender kontinuerlige lyspulser hvor radien til den sirkulære lyspuls som treffer bakken er på 8 meter eller mer (såkalt stort fotavtrykk/large footprint) (Lim et al. 2003). Dette systemet er lite brukt til skogregistreringsformål i Norge i dag. Diskretpulssystemet er det som i størst grad brukes og hovedforskjellen er at dette systemet sender ut mange korte laserpulser med såkalt lite fotavtrykk (small footprint) i en korridor på tvers av flyets flyveretning.

Diskretpulssystem gir oss en punktsky med treff fra bakke og vegetasjon med en viss tetthet av punkter og dekning pr. flystripe avhengig av pulsfrekvens, skannervinkel, flyhastighet og høyde. Typiske verdier for disse variablene er pulsfrekvens på 100.000 – 200.000 pulser pr. sekund, skannervinkel på ca. 20 grader, flyhastighet og høyde på ca. 75 m/sek og 1200 m. over terreng. Dette gir en punkttetthet på ca. 2 punkt/m² og stripebredde på ca. 1000 m. I tillegg er det vanlig med et visst overlapp mellom flystriper (ca. 20%) slik at netto dekning pr. flystripe blir på ca. 800 m (Kartverket 2017). Når en laserpuls treffer bakken, vegetasjonen eller andre hindringer, reflekteres et ekko som registreres av skanneren. Posisjonen til treffpunktene og avstanden mellom treffpunktet og skanneren kan regnes ut ved hjelp av informasjonen fra GPS, INS og skannevinkel, med en nøyaktighet på henholdsvis 30-40 og 10-20 cm (Næsset 2001b). Retursignalene som stammer fra treff på bakken brukes til å konstruere en digital terrengmodell (DTM). Lasetreff fra fremmedobjekter (f.eks. bygg eller fugler) fjernes og med DTM som utgangspunkt kan høyde over bakken beregnes for laserpulsene som har truffet vegetasjonen. Disse treffene brukes videre i variabler som forklarer skogens tetthet og høyde og kan brukes til å beregne ulike skoglige parametere som f.eks. overhøyde og volum.

Ved bruk av FLS-data til skogregistrering skiller det hovedsakelig mellom to metoder: arealmetoden (Næsset et al. 2004) og enkelttremetoden (Hyypä & Inkinen 1999). Arealmetoden er den som brukes mest i Norge i dag og den benytter seg av regresjonsmodeller, basert på laser- og feltdata, til å estimere ulike parametere på bestands- eller cellenivå. I enkelttremetoden identifiserer man hvert enkelt tre, estimerer enkelttreparametere og setter så sammen dataene for enkelttrær pr. bestand. Bestandsgrensene bestemmes her ved bruk av flybilder i tillegg til laserdata. Når det gjelder nøyaktigheten til bestandsparametere beregnet med bakgrunn i FLS-data er det gjort flere

undersøkelser som sammenlikner disse med målinger gjort i felt hvor nøyaktigheten er god (Eid 2000) og (Næsset & Solberg 2005). Hyyppa et al. (2003) testet FLS-data til prediksjon av trehøyder og fant en gjennomsnittlig differanse mellom estimert og feltobservert trehøyde på 0,55 m

1.3 Bonitet

Produksjonsevnen eller boniteten, kan uttrykkes som hvor mange kubikkmeter trevirke et areal kan produsere, pr. arealenhet pr. år, når skogen er skjøttet på en optimal måte. Dette defineres i skogbruket som "voksestedets evne til å produsere trevirke" (e.g. Børset 1998) og oppgis vanligvis på bestandsnivå som middeltilvekst ved kulminasjonsalder, forutsatt optimal tetthet og skjøtsel. Selve produksjonen påvirkes av en rekke skogøkologiske faktorer som varierer i forskjellig grad mellom voksesteder. Børset (1998) deler disse faktorene i varme, vann, lys, vind, luft- og jordforhold. Det er komplekst å skulle forholde seg til alle disse faktorene, og bonitetsverdien blir derfor en forenkling av disse sett i sammenheng. Selve produksjonsevnen er omfattende å måle i praksis, men den har vist seg å ha en sterk sammenheng med bestandets høydevekst (Fitje 1989). Det finnes forskjellige måter å måle og oppgi bonitet på og i Norge i dag registreres boniteten vanligvis etter H40-systemet ved bruk av Tveite & Braastad sine retningslinjer og bonitetskurver (Tveite 1977; Tveite & Braastad 1981). Bonitetskurvene angir overhøydens utvikling over brysthøydealder (Tveite 1977) og oppgis som overhøyde ved brysthøydealder 40 år. H40-verdien er en kontinuerlig verdi, men i praktisk bruk er den vanligvis oppgitt klassevis med verdier fra en klassemidt og skilt mellom treslag. Det finnes imidlertid en rekke andre måter å måle og oppgi bonitetsverdien på som f.eks. H100-systemet, som benytter brystehøydealder 100 år eller intercept-metoden som baserer seg på toppskuddlengder og er mye brukt i ungskog. Bonitering etter H40-systemet krever treslag, brysthøydealder og overhøyde som inngangsverdier. Brysthøydealder måles 1,3 m over midlere marknivå og korrigeres for eventuell undertrykkelse i ung alder mens overhøyde (H_o) er aritmetisk gjennomsnittshøyde for de 100 grøveste trærne pr. haa. Innhenting av disse variablene krever feltarbeid og er dermed ressurskrevende og kostbart. Ved bonitering under nye takstprosjekter i Norge i dag benyttes stort sett tidligere taksts bonitets-verdi som grunnlag sammen med nye trehøyder. Tidligere takster er da som regel bestandsinndelt ved fototolkning, og bonitert bestandsvis

ved bruk av feltmålt alder og høyde. Dette brukes så som grunnlag i et fototakstinstrument sammen med nye trehøyder. Det forutsettes at tidligere målt alder er korrekt, og ny bonitetsverdi beregnes med utgangspunkt i fremskrevet alder og nye trehøyder. Dette fører i mange tilfeller til bonitetsverdien fra tidligere takst må endres for å ha logisk sammenheng med periodens vekst (Svein Dypsund. Avdelingsleder for strategisk planlegging i Viken Skog. Skriftlig og muntlig kommunikasjon 21.04.17). Årsak til eventuelle endringer kan være feil gjort ved tidligere taksering, variasjoner innad i bestandet og/eller endrede vekstvilkår.

Det må også nevnes at bestand som boniteres ved bruk av H40-systemet må oppfylle visse krav for å være gyldig (Tveite & Braastad 1981). Disse kravene innebærer at bestandet ikke må være tynnet fra toppen eller hindret av overstandere, grøftet eller gjødslet samt at det bør være minst 20 år i brysthøydealder og at hovedtreslaget bør utgjøre minst 80 % av grunnflatesummen.

1.4 Aldersuavhengig bonitering

Det er mulig å bonitere skog uten å være avhengig av feltmålt alder. Aldersuavhengig bonitering baserer seg på et referansepunkt (gjerne i form av høyde ved starten av en periode) og høydevekst over en gitt tidsperiode (Bull 1931, Wakeley and Marrero 1958). Eid og Moen (1993) gjorde det første arbeidet i Norge på dette området da de brukte intercept-metoden i yngre bestand. For å måle høydevekst over en gitt periode finnes det flere fremgangsmåter f.eks. måling av toppskuddlengder eller høydemålinger fra to tidspunkt der differansen er periodens vekst. Med utgangspunkt i høyden ved starten av en periode og periodens vekst får man et vekstforløp som kan matches med vekstforløp hos forskjellige bonitetsklasser i Tveites bonitetskurver. Når et skogområde takseres for andre gang ved bruk av FLS-data vil man ha data som kan brukes til slik aldersuavhengig bonitering. Dette kan gjøres med utgangspunkt i datamaterialet som allerede eksisterer og det er derfor ikke knyttet store ekstra kostnader til en slik måte å bonitere på. Det er tidligere gjort vellykkede forsøk på dette ved bruk av enkelttrebasert lasertakst av Hollaus et al. (2015) og Kvaalen et al. (2015), men det er ikke gjort studier på dette ved bruk av arealbasert lasertakst. I en arealbasert takst vil aldersuavhengig bonitering kunne gi bonitetsverdier på cellenivå og dermed være uavhengig av tidligere bestandsinndeling. Den vil også være godt egnet til å fange opp endring i bonitet over tid som følge av endrede miljøforhold (Kvaalen et al. 2015),

i motsetning til bruk av brysthøydealder og overhøyde som vurderer bestandets gjennomsnittlige bonitet over hele brysthøydealderen.

1.5 Problemstilling

Formålet med oppgaven er å teste to ulike metoder for aldersuavhengig bonitering i arealbasert skogtaksering: en direkte og en indirekte metode. I den direkte metoden skal jeg sammenlikne en lineær og en ikke lineær modell og i den indirekte metoden skal utviklingen i Ho mellom to tidspunkt samt verdien på Ho ved det første tidspunktet sammenliknes med Tveites vekstkurver for å predikere boniteten. Datagrunnlaget som skal brukes er standard FLS-data fra arealbaserte skogtakster fra to tidspunkt. Dette er data vi uansett har tilgang til ved skogtaksering og det er ingen ekstra kostnader knyttet til innhenting av data som skal brukes. Estimering av bonitet ved bruk av disse dataene krever dermed små ekstra investeringer og burde kunne tilbys f.eks. i en skogbruksplan uten store ekstra kostnader dersom nøyaktigheten er tilfredsstillende.

Nøyaktigheten til de forskjellige metodene og modellene skal vurderes ut fra kriterier som gjennomsnittlig feil og standardavvik, men også med hensyn på om disse kriteriene er påvirket av hvor høy boniteten på stedet er. FLS-dataene som benyttes kommer fra to arealbaserte skogtakster og boniteten skal predikeres på celle-nivå pr. rute i kontrollflate. Det er arealbaserte takster som er dominerende i skogregistrering i Norge i dag, men det er ikke gjort tidligere forsøk på aldersuavhengig bonitering med bakgrunn i slike takster i Norge.

2. Materiale og metode

2.1 Studieområdet

Oppgaven baserer seg på FLS-data med tilhørende feltregistreringer fra to tidspunkt for et forsøksområde på 50 000 daa. lokalisert i Krødsherad kommune i Buskerud ($60^{\circ}10'45''N$ $9^{\circ}37'17''\text{Ø}$, 130 – 660 moh.). Krødsherad har et areal på 375 km² og omgir søndre og midtre del av innsjøen Krøderen (132 moh.). Området består av enkelte flatere partier omkring søndre deler av Krøderen og brattere dalsider som strekker seg opp i fjellområder på over 1400 moh. lengre nord. Totalt skogareal i Krødsherad er på 322 000 daa. hvorav 234 000 daa. produktivt. Bonitetsfordelingen viser at 29% av skogarealet er på høy bonitet, 52% på middels og 19% på lav. Treslagsfordelingen av stående kubikkmasse viser 52% gran, 39% furu og 9% lauv (Erik Bjøre. Skogbrukssjef i Krødsherad. Skriftlig kommunikasjon 06.02.17)



Kart, 2017. Til venstre, Norges fylker med Buskerud markert. Til høyre, kommunene i Buskerud

2.2 Datagrunnlag

Som en del av takseringen i 2001 ble studieområdet inndelt i bestand på bakgrunn av flyfoto fra 15 mai 2000. Bestandene ble avgrenset ved hjelp av stereoskopisk fototolkning med en Wild B8 stereo og grense-koordinater ble lagret i et geografisk informasjonssystem (GIS) ved hjelp av EUREF89 geodetisk datum. Bestandene ble avgrenset i henhold til kriterier som

alder, bonitet og treslag (Næsset 2004). I forbindelse med oppgaven er to forskjellige datasett med feltregistreringer benyttet. Til utvikling av modeller for prediksjon av bonitet og overhøyde er det benyttet laser- og feltdata fra 2001 (T1) og 2016 (T2) i systematisk utplasserte prøveflater. Validering av modellene er utført med tilsvarende data fra kontrollflater, utplassert i utvalgte bestand.

Prøve- og kontrollflatene ble posisjonsbestemt og merket i T1. Ved innsamling av feltdata i T2 var målet å finne tilbake til de eksakt samme punktene og taksere de samme flatene på nytt. Ved bruk av sanntids-GPS ble flatene forsøkt gjenfunnet og der hvor man hadde gode korreksjonsdata over GSM-nettet og/eller fant merket fra T1, antok man å ha funnet tilbake til samme punkt. Flater hvor man av ulike årsaker fikk dårlig korreksjonsdata og/eller ikke fant gammelt merke ble posisjonsbestemt på nytt med Topcon-mottaker i T2. I T2 ble 281 punkter, hvorav 160 prøveflater og 132 hjørnepunkter for kontrollflater (enkelte prøveflater er også hjørnepunkter for kontrollflater) etablert på nytt. Av disse 281 punktene ble 143 punkter logget på nytt ved oppmåling i 2016, mens 138 ikke ble logget. På punkter som ikke ble logget ble det antatt at samme punkt ble gjenfunnet fordi: (1) Det var tilfredsstillende korreksjonsdata for sanntids-GPSen og merket fra T1 ble gjenfunnet (36 punkter). (2) Tilfredsstillende korreksjonsdata, men ikke gjenfunnet merket (92 punkter). (3) Ikke tilfredsstillende korreksjonsdata, men gjenfunnet merke (10 punkter).

2.3 Feltdata

Prøveflater:

Til utarbeiding av prediksjonsmodeller for H40-bonitet og Ho er det benyttet laser- og feltdata fra prøveflater. Flatene ble lagt ut i T1 i uavhengige systematiske grid i tre ulike strata over et område på ca. 50 000 daa. Hver enkelt prøveflate er sirkulær med et areal på 233 m², dvs. radius lik 8,61 m i horisontalplanet. Forskjellige registreringer ble gjort på flatene avhengig av hvilken hogstklasse (HK) den befant seg i. Ved utvikling av modeller for bonitering og overhøyde ble kun data fra flater i HK III - V benyttet. Dette betyr at det ikke er de eksakt samme flatene som danner grunnlaget for de forskjellig prediksjonsmodellene. Flater som befant seg i HK II i 2001 er ikke med i Ho-modeller for T1, og flater som befant seg i HK II i T2 er ikke med i Ho-modeller for T2 eller H40-modeller. Feltregistreringer som ble utført i flater i HK III - V var som følger:

- Totalklaving innenfor flaten: Alle trær med diameter 4 cm og større i HK III og diameter 10 cm og større i HK IV-V ble registrert treslagsvis i 2 cm diameterklasser. Trærne ble klavet i brysthøyde (1,3 m over midlere marknivå) med klavearmen pekende mot sentrum.
- Utvelgelse av prøvetrær ved bruk av relaskop. Ca. 10 prøvetrær pr. flate (prøvetrær kan også befinne seg utenfor flaten): For hvert av de utvalgte prøvetrærne ble det registrert treslag, høyde (dm) og diameter (mm). Diameteren ble målt med klavearmen pekende mot sentrum.
- Bonitering: Bonitet ble bestemt i T2 ved høydebonitering hovedsakelig av de to grøvste (størst diameter) trærne på flata. Skjønnsmessige vurderinger kunne gjøres ved valg av boniteringstrær. Borprøve ble tatt i brysthøyde, og husholdningsalder ble bestemt og registrert. Høyden på trærne ble målt med Vertex og registret i dm. Diameter på boniteringstrærne ble også registrert.

I Tabell 1 presenteres sentrale parametere basert på feltdata for prøveflatene.

Kontrollflater:

Til validering av modellene er det brukt data fra kontrollflater i HK III - V. Kontrollflatene ble lagt ut subjektivt i T1 for å representere utvalgte bestand. Hver kontrollflate skulle etter instruksjonen fra T1, være et kvadrat på 3721 m² (61*61 m), som tilsvarer størrelsen av 16 prøveflater. Det viste seg imidlertid at det var svært krevende og holde alle sidekanter parallelle ved etablering av flatene i felt. Noen av flatene har derfor former som avviker noe fra kvadratisk. I T1 ble feltregistreringer gjort pr. flate, mens i T2 ble hver flate delt opp i 16 ruter som skulle vært på 15,25*15,25 m (tilsvarende arealet på en prøveflate), og registreringer ble gjort pr. rute. Inndelingen av disse rutene ble gjort ved å trekke ut snorer som delte hver kontrollflate i 16 ruter. Avstanden mellom snorene ble målt med Vertex høydemåler og i tillegg er koordinater for alle kryssingspunkter mellom snorene (danner hjørner i rutene) beregnet manuelt for å kunne knytte FLS-data til hver rute. Koordinatene ble regnet ut med forutsetning om at snorene som delte inn rutene var som målt med Vertex høydemåler (noe avvikende fra 15,25 i enkelte tilfeller). Feltregistreringer som ble gjort pr. kontrollflate var som følger:

- Totalklaving av hver rute (16 stk.) innenfor flata. Alle trær med diameter 4 cm og større i hogstklasse III og diameter 10 cm og større i hogstklasse IV-V ble registrert treslagsvis i 2 cm diameterklasser. Trærne ble klavet i brysthøyde (1,3 m over midlere marknivå).
- Prøvetrærne ble valgt ut som hvert n'te klavetre, uavhengig av treslag, i hver diameterklasse, der n varierte mellom diameterklassene og flatens grunnflate. For hvert av de utvalgte prøvetrærne ble treslag, høyde (dm) og diameter (mm) registrert.
- Boniteringen ble utført på ett tre i hver rute – til sammen 16 trær på hver kontrollflate. Treet som ble valgt skulle være det grøvste i ruta, men skjønnsmessige vurderinger kunne gjøres. Husholdningsalder ble registrert ved hjelp av borprøve og høyden ble målet og registrert i dm. Diameter ble også registrert.

I arbeidet med validering av modeller ble det oppdaget at en del flater mest sannsynlig var forstyrret av inngrep som tynning og at dermed bonitering etter H40-systemet ikke var gyldig (Tveite & Braastad 1981). Vår boniteringsmåte baserer seg på endring i Ho, som kan bli sterkt påvirket av tynning, og er derfor ekstra sårbar for forstyrelse av endringen i Ho. Det ble besluttet at nedgang i treantall på over 6% mellom T1 og T2 var så mye større enn hva som forventes av naturlig avgang at vi kunne anta at disse kontrollflatene var tynnet (Øyen, B.-H. 2000.). Tynning behøver ikke å ha påvirket utviklingen i Ho, hvis det f.eks. var en lavtynning, men det er vanskelig å bestemme hvordan de forskjellige kontrollflatene eventuelt var tynnet. I mange av kontrollflatene som ble fjernet ble det observert meget lav og i noen tilfeller negativ utvikling i Ho. Mange av flatene som ble slettet hadde langt større nedgang en 6% og vi så det som meget usannsynlig at nedgangen kunne skyldes naturlig avgang. Dette førte til at 12 av de 29 oppmålte kontrollflatene ble slettet. I validering av de forskjellige modellene er et ulikt antall ruter benyttet. Tilfeldigheter som at overhøyde eller H40-bonitet mangler i en rute eller at rute-ID er usikker gjør at enkelte ruter måtte fjernes som valideringsgrunnlag for en eller flere modeller. Feltdata fra T2 er på rutenivå (16 stk.) pr. kontrollflate, mens feltdata fra T1 kun eksisterer pr. flate (Dette spiller kun inn i utviklingen av Ho-modeller for T1).

I tabell 2 presenteres sentrale parametere basert på feltdata for prøveflatene.

Tabell 1: Sammendrag av bestands-parametere fra prøveflatene. Kun flater i HK III – V på aktuelt tidspunkt inngår i dette materialet og dataene er derfor ikke basert på de eksakt samme flatene for 2001 og 2016.

	Min	Max	Snitt
2001			
Ho	9,2	30,2	18,6
Hm	8,0	26,7	16,6
N	17	193	79,0
Gr	5,4	62,7	27,2
DG	8,7	34,1	19,9
Vol	2,8	67,4	22,7
-Gran %	0	100	47
-Furu %	0	100	42
-Lauv %	0	99	12
2016			
H40	3,5	26,1	16,3
Ho	11,1	30,3	19,5
Hm	8,6	25,9	17,1
N	4	541	112,0
Gr	1,5	72,8	29,4
DG	7,8	35,6	20,5
Vol	1,4	90,9	25,1
-Gran %	0	100	46
-Furu %	0	100	37
-Lauv %	0	100	17

Ho: Overhøyde, meter. Hm: Middelhøyde, meter. N: Treantall, trær/daa. Gr: Grunnflate, m²/haa. DG: Grunnflatemiddeldiameter, cm. Vol: Volum, m³/daa. H40: H40-bonitet, kun målt i 2016

Tabell 2: Sammendrag av feltdata fra kontrollflatene. Kun flater i HK III – V på aktuelt tidspunkt inngår i dette materialet og dataene er derfor ikke basert på de eksakt samme flatene for 2001 og 2016.

	Min	Max	Snitt
2001			
Ho	13,20	21,91	17,45
Hm	10,17	18,11	15,10
N	24	104	64,06
Gr	11,89	29,73	19,30
DG	11,68	25,01	18,70
Vol	6,19	23,75	14,44
-Gran %	2	86	39
-Furu %	2	98	52
-Lauv %	0	26	9
2016			
H40	3,2	29,4	15,1
Ho	12,15	26,11	18,65
Hm	10,12	22,95	16,36
N	4	179	78,32
Gr	3,12	57,01	24,33
DG	9,28	34,64	20,05
Vol	2,33	53,12	19,68
-Gran %	0	100	49
-Furu %	0	100	41
-Lauv %	0	100	10

Ho: Overhøyde, meter. Hm: Middelhøyde, meter. N: Treantall, trær/daa. Gr: Grunnflate, m²/haa. DG: Grunnflatemiddeldiameter, cm. Vol: Volum, m³/daa. H40: H40-bonitet, kun målt i 2016.

2.4 Laserdata

FLS-data ble samlet inn i perioden mellom 23. juli og 1. august i 2001 for T1 og mellom 7. juni og 31. juli i 2016 for T2. Begge skanninger ble altså utført i en periode av året hvor bladene sitter på trærne, etter knoppskyting og den største høydeveksten. Det ble med bakgrunn i dette forutsatt at skogen hadde vokst i 15 hele vekstsesonger mellom T1 og T2. I Tabell 3 presenteres sentrale oppsettparametere for laserskanningene ved begge tidspunkt. Begge takseringer er utført ved bruk av en areal-basert metode, som innebærer at variabler er utviklet på areal/rute-nivå. Med bakgrunn i ekkoene fra laserskanningen ble det beregnet høyde- og tetthetsvariabler. Høydevariablene er ulike persentiler av høydefordelingen til ekkoene der f.eks. PF90 er den høyden som 90% av ekkoene har truffet under.

Tetthetsvariablene er andeler ekko i forskjellige sjikt med lik høyde, fordelt mellom 1,3

meter over bakken og 95% av maksimal ekkohøyde. Det er disse variablene som inngår som forklaringsvariabler i modellene som ble utviklet.

Tabell 3. Sentrale parametere for lasertakst i 2001 og 2016.

	2001	2016
<i>Tidsperiode for skanning</i>	23/6 - 1/8	7/6 - 31/8
<i>Lasersensor</i>	ALTM 1210 (Optech)	LMS Q-1560 (Riegl)
<i>Skannervinkel</i>	+/- 15°	+/- 20°
<i>Skannefrekvens</i>	30 Hz	115 Hz
<i>Gjennomsnittlig flyhøyde (mob.)</i>	650	1280
<i>Gjennomsnittlig flyhastighet (m/s)</i>	75	69
<i>Overlapp mellom striper</i>	50 %	20%
<i>Punktetthet (punkt/m²)</i>	1	>5*

*Det ble utført en analyse av punktsetthet ved å måle antall første-ruter innenfor ruter på 10x10m. 99,1% av rutene hadde punktsetthet/m² > 5

2.5 Metode

Formålet med oppgaven var å estimere H40-bonitet med utgangspunkt i laservariabler fra to tidspunkt ved bruk av to forskjellige metoder – en direkte og en indirekte metode. Den felt-observerte boniteten ble brukt som «fasit», og i vurderingen av metodene og modellene er differansen mellom predikert og observert H40-bonitet sett på som modellens «feil». Alle prediksjonsmodeller er utviklet i prøveflatene og validert på kontrollflatene. Det er stratifisert mellom gran og furu, slik at det er egne modeller for hver av de to treslagene. Måten det er stratifisert på er den samme for prøve- og kontrollflater, ved at det treslaget det er prosentvis mest av (i volum) ble valgt som hovedtreslag for den aktuelle flate eller rute. I resultattabellene er det for alle modeller lagd resultater inndelt i klasser for lav, middels og høy observert H40-bonitet. Etter de klassevise resultatene presenteres de totale resultatene for hver modell. Grunnen til klasseinndelingen er å fremheve at enkelte modeller har store tendenser til over/underprediksjon avhengig av om den observerte H40-boniteten er lav eller høy. Dette vises også tydelig ved at det legges ved plott der «feilen» plottes mot observert H40-bonitet. Det er utviklet lineære og ikke-lineære direkte regresjonsmodeller for H40-bonitet og lineære, log-transformerte modeller for H_0 ved begge tidspunkt. De direkte H40-modellene og de log-transformerte H_0 -modellene har laservariabler fra begge tidspunkt som forklaringsvariabler. Det er også benyttet en indirekte metode der den estimerte endringen i overhøyde mellom de to tidspunktene er brukt til å beregne H40-

bonitet. Modeller og modellparametere for modellene som ble valgt presenteres i Tabell 4. Der vises R^2 justert og root mean square error (RMSE) for lineære modeller og standard avvik (SA) for ikke-lineære modeller. SA er definert som kvadratroten av variansen og sier noe om hvor langt unna de observerte verdiene ligger modellens prediksjon. R^2 justert uttrykker modellens forklaringsgrad med en verdi mellom 0 og 1 der 1 er perfekt sammenheng mellom predikert og observert verdi. Grunnen til at jeg presenterer denne verdien i stedet for R^2 er at R^2 justert tar hensyn til antallet forklaringsvariabler i modellene. Vi ønsker en modell med så få forklaringsvariabler som mulig. RMSE er et estimat på kvadratroten av variansen til prediksjonsmodellen. Statistikkprogrammet SAS 9.4 (SAS Institute Inc. 2016) er benyttet til alt statistikkarbeid.

Ho-modeller:

Til bruk i den indirekte metoden ble det utviklet Ho-modeller for begge tidspunkt. Ho-modellene var lineære og i transformert form som naturlige logaritmer av respons- og forklaringsvariabler. For utvelgelse av laser-variabler til lineære modeller er prosedyren *proc reg* i SAS benyttet. Den statistiske betegnelsen på metoden for variabelutvelgelse er *stepwise selection*. Ved *stepwise selection* settes det et visst krav til signifikansnivå for en variabel til å bli inkludert i modellen og et visst krav til signifikansnivå for å bli beholdt etter å ha blitt inkludert i modellen. Det er i mine beregninger stilt krav til signifikansnivå på 0,7 for å bli inkludert i modellen og krav til signifikansnivå på 0,95 for å bli beholdt etter å ha blitt inkludert i modellen. Grunnen til at signifikansnivået er satt lavere for at variabler skal vurderes i modellen er at dette fører til at flere modeller blir vurdert. Etter estimering av Ho ble resultatene tilbaketransformert til original skala og korrigeret for såkalt logaritmisk bias. Korreksjonsfaktoren ble beregnet ved å ta gjennomsnittlig observert Ho for alle flater dividert på gjennomsnittet av tilbaketransformert modelltilpasset verdi for alle flater (Snowdon, 1991). Grunnen til at det ble besluttet å bruke transformerte variabler var at tidligere utvikling av regresjonsmodeller for estimering av skoglige parametere ved bruk av FLS-data har beskrevet bedre tilpasningen ved bruk av ulike transformasjoner (Means et al. 2000; Næsset, 1997).

Ho-modellene var på formen:

$$\ln y = \beta_0 + \ln \beta_1 x_1 + \ln \beta_2 x_2 + \dots \ln \beta_a x_a + \varepsilon$$

Der:

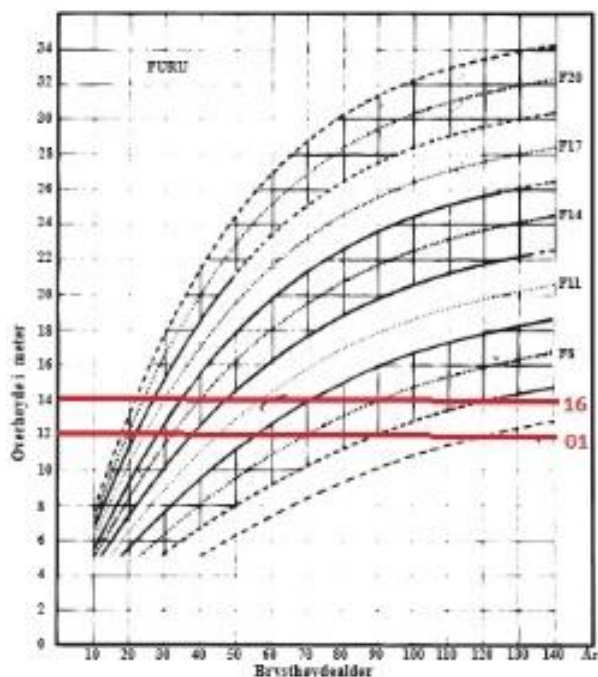
$\ln y$ = naturlig logaritme av observert H40-bonitet

$\ln \beta_a x_a$ = naturlig logaritme av forklaringsvariabler fra FLS-data

ε = feilleddet

Indirekte prediksjon av H40-bonitet:

Den indirekte metoden tar utgangspunkt i predikerte Ho-verdier. Ho ved T1 brukes som utgangsverdi før vekst, og periodens vekst ble beregnet som differansen mellom Ho ved T2 og T1. Neste steg var å finne den bonitetsverdien som i henhold til Tveites og Braastads bonitetsfunksjoner, stemte overens med den predikerte overhøyden på T1 og den predikerte veksten. Dette ble gjort ved å først bruke bonitetsfunksjonene til å beregne potensiell høydevekst for H40-verdier mellom 5 og 29 med 2 meters intervall gitt predikert overhøyde på T1 og 15 års vekstperiode. Deretter ble faktiske veksten matchet med teoretisk vekst for de forskjellige bonitetsklassene og interpolert mellom de klassene verdien lå mellom og oppgitt som en kontinuerlig verdi (f.eks. G16,35). Se Figur 1 for eksempel.



Figur 1: Overhøyden er her estimert til 12 m i 2001 og 14 m i 2016. Vi vet ikke den totale alderen på noen av tidspunktene og kan befinne seg hvor som helst langs de røde linjene. I dette tilfellet ville vi regnet ut hvilken bonitetsverdi som har en utvikling i overhøyde på 2 m ila. en vekstperiode på 15 år ved en overhøyde på 12 m ved vekstperiodens start.

Direkte prediksjon av H40-bonitet:

Det var usikkert om sammenhengen mellom laservariabler og H40-bonitet ville ha en tilnærmet lineær eller en ikke-lineær sammenheng og det ble derfor besluttet å utvikle en lineær og en ikke-lineær regresjonsmodell for direkte prediksjon av H40-bonitet, med direkte utgangspunkt i laservariabler. Feltnålt H40-bonitet ble satt som responsvariabel og laservariablene som forklaringsvariabler. Utvelgelse av variabler til den lineære modellen ble gjort ved bruk av *proc reg* og *stepwise selection* med samme forutsetninger som for Ho-modellene. Den ikke-lineære modellen ble utviklet ved å først kjøre *stepwise selection* for log-transformerte forklarings- og responsvariabler. Log-transformerte forklaringsvariabler som ble valgt ved *stepwise selection* ble antatt å burde inngå i en ikke-lineær modell og ble brukt videre i *proc nlin* for å komme frem til de endelige modellene. *Proc nlin* estimerer parameterestimatene til forklaringsvariablene ved hjelp av en iterativ prosedyre der tilpassingen til ulike alternative modeller evalueres ved hjelp av summerte, kvadrerte avvik (SSE) mellom observerte og modelltilpassede verdier av responsvariabelen. Den modellen med lavest SSE blir valgt. Det er et uendelig antall ulike kombinasjoner av

parameterestimer, og for å begrense utfallsrommet, ble det for hver forklaringsvariabel, definert et intervall for hvilken verdi parameterestimatet kunne ha. Disse intervallene ble satt i området rundt parameterestimatet fra *proc reg* for log-transformerte variabler.

De lineære H40-modellene var på formen:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_a x_a + \varepsilon$$

Der:

y = observert H40-bonitet

$\beta_a x_a$ = forklaringsvariabler fra FLS-data

ε = feilleddet

De ikke-lineære H40-modellene var på formen:

$$y = \beta_0 + x_1^{\beta_1} + x_2^{\beta_2} + \dots + x_a^{\beta_a} + \varepsilon$$

Der:

y = observert H40-bonitet

$x_1^{\beta_1}$ = forklaringsvariabler fra FLS-data

ε = feilleddet

3. Resultater

Resultattabeller og plot presenteres her for alle modeller validert i kontrollflatene.

Tilsvarende resultater presenteres for de samme modellene testet i prøveflatene i Vedlegg

1. Som det fremgår av Tabell 5 har den direkte metoden en feil som er ikke signifikant ulik null for begge modeller for begge treslag totalt. Når vi ser på klassene lav, middels og høy ser vi at feilen er signifikant ulik null, og at det er en tydelig trend til overpredikering i lave bonitetsklasser og underpredikasjon i høye bonitetsklasser (fremgår også tydelig av Figur 2-5). For den indirekte metoden (Tabell 6) ser vi at feilen i gran er ikke signifikant ulik null for middels, høy og total klasse. Mye av trenden til over/underpredikasjon er borte, noe vi også tydelig kan se i Figur 7. I furu er resultatene veldig like for den direkte og den indirekte metoden – her blir vi ikke kvitt trenden (Tabell 6 og Figur 6). Vi ser også at feilen i Ho-modellene i gran er ikke signifikant ulik null for alle klasser (unntatt middels 2001). I furu er feilen i alle Ho-modeller (unntatt høy 2001) signifikant ulik null. I Tabell 7 presenteres resultater for gjennomsnittsverdier for ruter pr. flate. Feilen er her ikke signifikant ulik null i gran og signifikant ulik null i furu.

3.1 Modeller

Modeller og forklaringsvariabler presenteres i tabell 4.

Tabell 4:

Respons	Modell	R ² justert	RMSE
Gran			
H40	$8.3033 + (\text{pf}90_1_01 * -3.2244) + (\text{pf}80_1_01 * 2.18963) + (\text{pf}90_1_16 * 1.46638)$	0,621	2,652
HO_01 - Log	$0.12229 + (\text{lnpf}90_01 * 0.90217) + (\text{Intf}9_01 * -0.14697)$	0,881	0,076
HO_16 - Log	$0.81922 + (\text{lnpf}90_16 * 0.77348) + (\text{Intf}5_16 * -1.35634) + (\text{Intf}4_16 * 3.33951) + (\text{Intf}3_16 * -1.92662)$	0,848	0,068
Furu			
H40	$-0.32985 + (\text{pf}90_1_01 * -1.28137) + (\text{pf}90_1_16 * 1.78133) + (\text{tf}1_1_16 * 8.95241) + (\text{tf}1_1_01 * -7.00431)$	0,734	2,373
HO_01 - Log	$0.33035 + (\text{lnpf}90_01 * 0.88872) + (\text{Intf}9_01 * -0.07721) + (\text{Intf}3_01 * 0.19581)$	0,946	0,058
HO_16 - Log	$1.14787 + (\text{lnpf}90_16 * 0.66930) + (\text{Intf}6_16 * 0.14505)$	0,924	0,064
Respons	Modell		SA
Gran			
H40*	$6.1503 + (\text{pf}90_1_16^0.7342) + (\text{pf}90_1_01^0.3645) + (\text{tf}5_1_16^0.2337)$		2,86
Furu			
H40*	$0.3939 + (\text{pf}90_1_16^2.5981) + (\text{pf}90_1_01^1.473) + (\text{tf}5_1_01^0.05)$		2,34

3.2 Resultattabeller

Respons: *= modell som inneholder 2-grads ledd. Ho=overhøyde. H40= H40-bonitet

Klasse: Inndelt etter observert bonitet. Lav, middels, høy og totalt

N: antall observasjoner – flater/ruter

\bar{D} : Gjennomsnittlig feil for predikert H40 verdi

SA: Standardavvik for feil

Min: Største negative feil (underestimering) for predikert verdi

Max: Største positive feil (overestimering) for predikert verdi

P: Om feilen (\bar{D}) er signifikant forskjellig fra 0. IS= $p>0,05$ *= $p<0,05$ **= $p<0,01$ ***= $p<0,001$

Tabell 5. Resultater for direkte metode

Respons	Klasse	N	\bar{D}	SA	Min	Max	p-verdi
Gran							
H40	15>	34	3,76	3,52	-9,00	10,17	***
	15-21	50	-0,77	2,66	-11,00	5,46	**
	21<	45	-2,19	1,91	-6,45	1,81	***
	Totalt	129	-0,07	3,58	-11,00	10,17	IS
H40*	15>	34	5,41	2,61	0,06	12,49	***
	15-21	50	-1,12	2,46	-8,71	4,69	**
	21<	45	-2,48	2,41	-10,08	1,63	***
	Totalt	129	0,13	4,06	-10,08	12,49	IS
Furu							
H40	10>	46	1,30	1,98	-2,12	5,27	***
	10-14	48	-0,25	1,76	-5,00	4,04	IS
	14<	33	-1,67	2,06	-6,57	1,77	***
	Totalt	127	-0,06	2,24	-6,57	5,27	IS
H40*	10>	46	1,06	1,97	-2,49	4,73	***
	10-14	48	-0,81	1,71	-4,26	3,54	**
	14<	33	-1,73	1,81	-5,95	1,53	***
	Totalt	127	-0,37	2,15	-5,95	4,73	IS

Tabell 6: Resultater for Ho-modeller og indirekte metode

Respons	Klasse	N	\bar{D}	SA	Min	Max	P
Gran							
Ho_01	14>	28	0,28	1,45	-2,06	4,20	IS
	14-21	25	-1,07	2,23	-4,42	5,10	*
	21<	9	-1,22	2,69	-4,21	3,54	IS
	Totalt	62	-0,48	2,08	-4,42	5,10	IS
Ho_16	14>	32	-0,25	1,79	-3,48	3,00	IS
	14-21	53	0,08	1,69	-3,54	4,29	IS
	21<	45	-0,08	1,87	-5,59	3,59	IS
	Totalt	130	-0,06	1,77	-5,59	4,29	IS
H40	14>	23	2,55	2,70	-2,25	8,50	***
	14-21	47	-0,22	4,39	-12,29	12,50	IS
	21<	27	0,59	5,86	-13,01	7,78	IS
	Totalt	97	0,66	4,63	-13,01	12,50	IS
Furu							
Ho_01	10>	47	-1,71	1,82	-6,72	2,11	***
	12-14	47	-1,09	1,33	-3,86	2,11	***
	14<	23	-0,61	1,65	-6,35	1,33	IS
	Totalt	117	-1,24	1,65	-6,72	2,11	***
Ho_16	10>	47	-0,93	1,58	-6,06	2,75	***
	12-14	47	-0,58	1,33	-3,56	2,22	**
	14<	24	-0,54	1,38	-4,48	1,59	*
	Totalt	118	-0,71	1,44	-6,06	2,75	***
H40	10>	33	0,35	2,07	-3,62	4,19	IS
	12-14	41	-1,49	2,40	-5,57	4,03	***
	14<	22	-1,97	2,13	-7,00	0,78	***
	Totalt	96	-0,97	2,41	-7,00	4,19	***

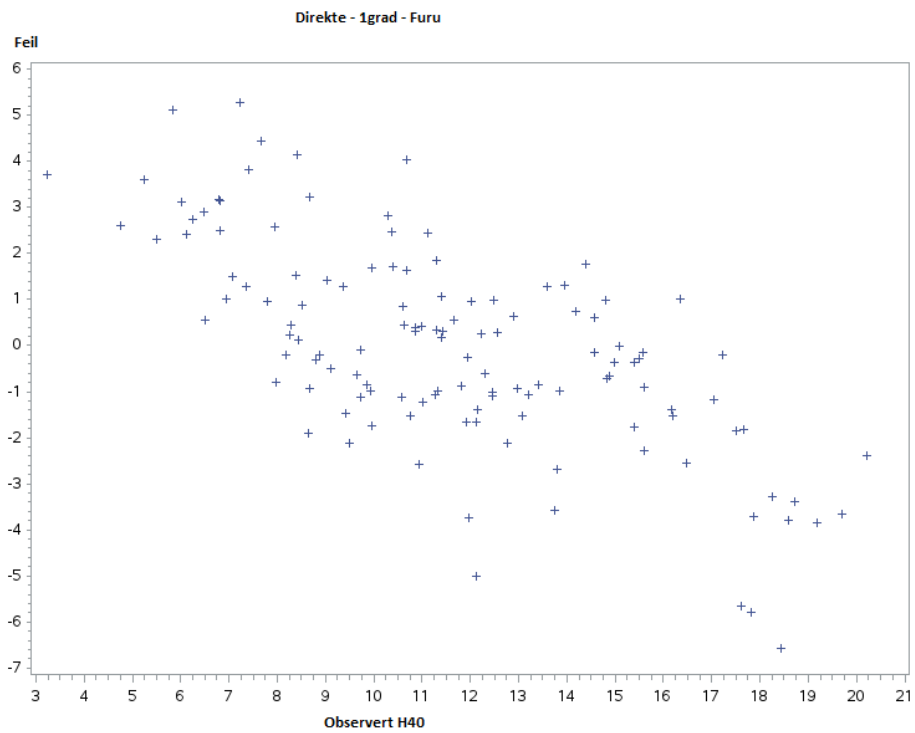
Tabell 7. Resultater for indirekte metode pr. flate.

Respons	Klasse	N	\bar{D}	SA	Min	Max	P
Gran							
H40	Totalt	12	1,45	3,16	-4,68	5,84	IS
Furu							
H40	Totalt	9	-0,83	1,00	-2,23	1,02	*

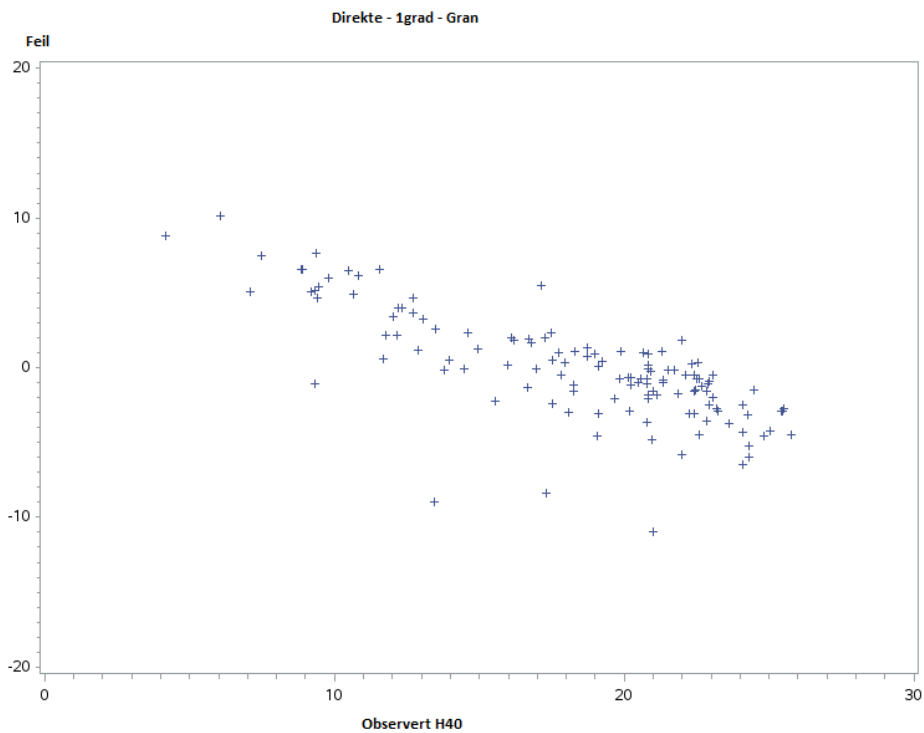
3.3 Plott

Feil på x-aksen og observert H40-bonitet på y-aksen.

Direkte metode: 1grads-modell

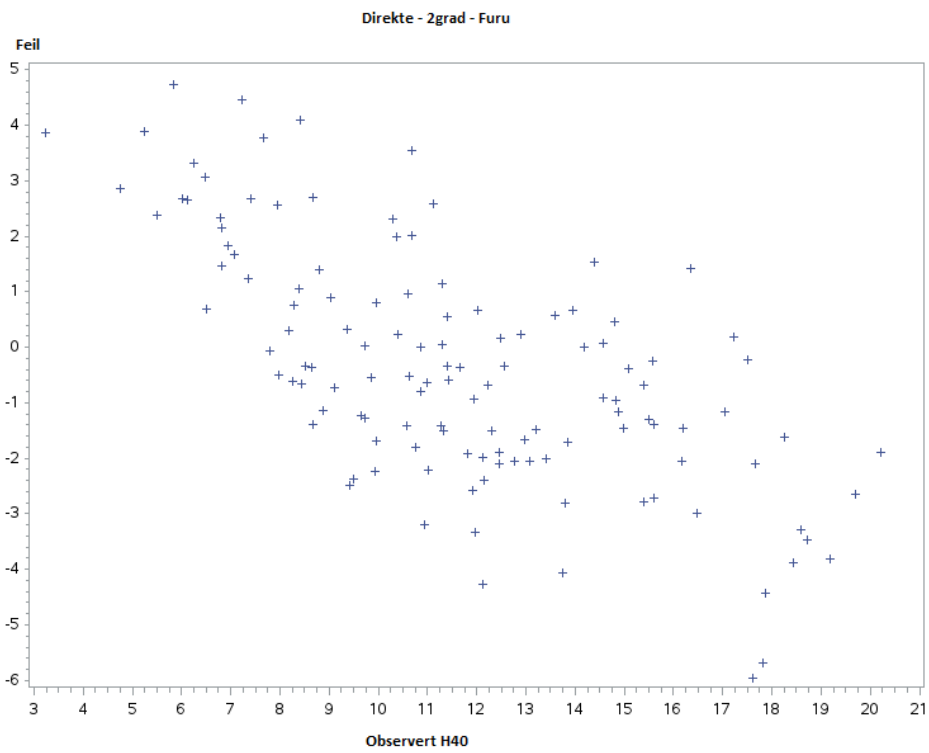


Figur 2.

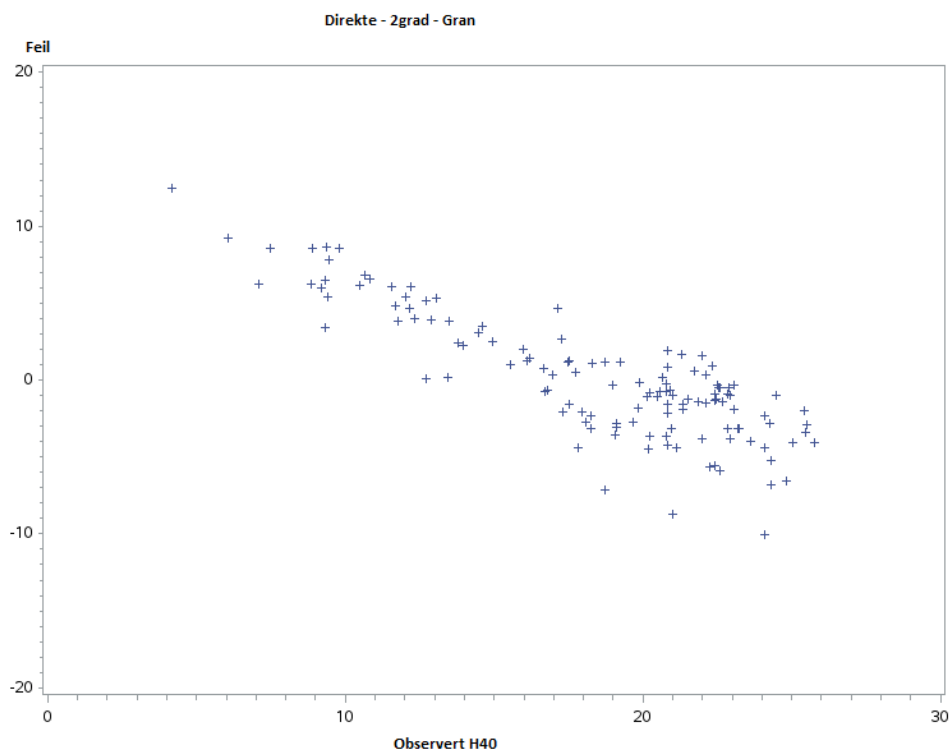


Figur 3.

Direkte metode: 2grads-modell

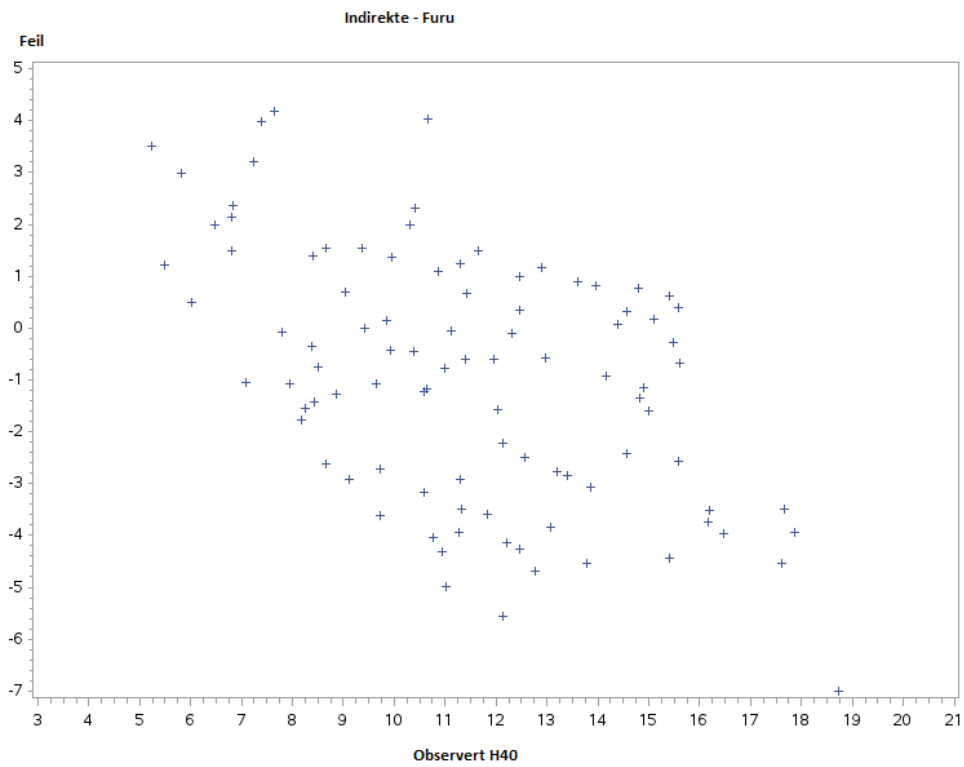


Figur 4.

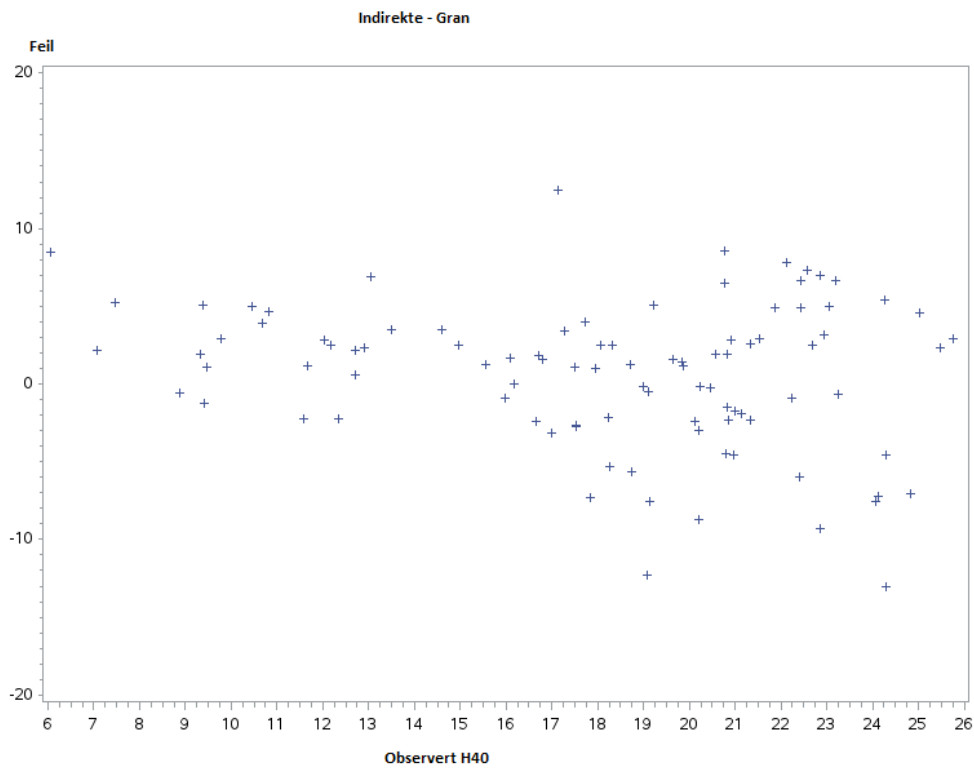


Figur 5.

Indirekte metode



Figur 6.



Figur 7.

4. Diskusjon

4.1 Materiale

Valideringsgrunnlag:

For at bonitering etter H40-sysytemet skal være gyldig stilles det noen krav (Tveite & Braastad 1981). To av disse kravene har vært sentrale i denne oppgaven og vil bli diskutert. Det ene er kravet om å være upåvirket av tynning. Dette betyr spesielt mye i denne oppgaven, siden vi baserer oss på utvikling i Ho, og denne kan bli påvirket av tynning. Vi antok at alle ruter med nedgang i treantall mellom de to tidspunktene på over 6% var påvirket av tynning. Dette førte til at 12 av de 29 oppmålte kontrollflatene ble fjernet og valideringsgrunnlaget ble mindre enn planlagt. Det andre gjelder at hovedtreslaget bør utgjøre minst 80% av grunnflatesummen. Ingen kontrollflater ble slette som følge av dette. Valideringsgrunnlaget var ca. like stort for furu og gran, men i furu var det lite data i høye observerte H40-klasser for den indirekte metoden (Figur 6). I gran er valideringsgrunnlaget godt spredt fra lave til høye observerte H40-boniteter for begge modeller (Figur 3,5 og 7). Det at det er stor romlig korrelasjon mellom rutene på hver flate kan også ha påvirket resultatene hvis det har vært spesielle forhold på enkelte kontrollflater.

Tynning:

Alle de 12 kontrollflatene som ble ekskludert på grunn av nedgang i treantall utover det som ble antatt som naturlig avgang, hadde furu som hovedtreslag. Dette styrker antakelsen om at de var tynnet, da 90-95% av arealene som tynnes i Krødsherad er furubestand (Tommy Berget. Skogbruksleder i Krødsherad. Viken Skog. Skriftlig kommunikasjon 06.05.2017). Grunnen til at disse flatene ble fjernet er at tynning kan påvirke den naturlige utviklingen av Ho. Mange slike flater hadde derfor svært liten, og i enkelte tilfeller, negativ utvikling i Ho mellom T1 og T2. Det er ikke gitt at alle tilfeller av tynning vil endre Ho (f.eks. lavtynning), men det er vanskelig å bestemme hvordan det eventuelt har blitt tynnet, og jeg vil konkludere med at aldersuavhengig bonitering ikke egner seg, eller er svært usikkert, i skog som er tynnet.

Hovedtreslag:

Tveite & Braastad (1981) stiller krav til at hovedtreslaget må utgjøre minst 80% av grunnflatesummen for at bonitering etter H40-systemet skal være gyldig. Dette kravet har jeg valgt å se bort fra i denne oppgaven fordi svært få ruter i kontrollflatene oppfyller dette kravet. I en eventuell operativ takst vil dette også være et problem da store deler av skogen ikke oppfyller et slik krav – jeg mener derfor det er interessant å se på resultatene når disse flatene inkluderes. I valideringen ble det oppdaget at 2 ruter i datasettet for furu og 10 ruter i datasettet for gran var blitt bonitert på «feil» treslag i forhold til hva stratifiseringen tilsa (beslutninger om hvilket treslag det skulle boniteres på ble gjort under feltarbeidet og ble basert på skjønn). Disse flatene har jeg valgt å slette fra resultatene fordi differansen mellom predikert og observert verdi er en differanse mellom en gran- og en furubonitet og ikke kan sammenliknes. Enkelte av disse tilfellene hadde veldig store feil. Jeg forsøkte å konvertere bonitetsverdiene mellom treslag ved å konvertere høydebonitet ved treslagsskifte (NIBIO 2017 og Braastad 1983) men besluttet å ikke bruke disse verdiene da de baserer seg på skifte i hovedtreslag og ikke er for å konvertere bonitets-verdier mellom treslag i blandingsbestand.

Cellestørrelser:

Arealet på prøveflatene og rutene i kontrollflatene er på 233 m² (noe avvikende i enkelte ruter). H40-bonitet beregnes med utgangspunkt i gjennomsnittlig høyde for de 100 grøvste trærne pr. haa. ved brysthøydealder 40 år. Tveites Bonitetskurver er basert på 1 daa. store prøveflater, som betyr at bonitesbestemmelsen er knyttet til de 10 grøvste trærne på den 1 daa. store prøveflata. Når vi da har mindre prøveflater, men fortsatt bruker definisjonen 100 grøvste trær pr. haa. vil vi i gjennomsnitt få litt lavere bonitetsverdier, men dette beskrives av Fitje (1989) til å være av liten betydning. Vanlig cellestørrelse ved en arealbasert skogtakst er 200-250 m².

Laserdata:

FLS-data fra de to tidspunktene er basert på registreringer gjort med forskjellige laserskannere med forskjellige oppsettparametere, som betyr at vi er avhengige av kalibreringsdata for hver skanning. De to skanningene har forskjellig punkttetthet og kan også ha forskjellig gjennomtrengingen for laserpulser. I Tabell 6 presenteres resultatene for Ho-modellene og vi ser at det ikke er noen forskjell i signifikansnivåer for samme treslag på ulike tidspunkt. Det ser altså ikke ut til at det er stor forskjell i nøyaktigheten til laserdataene fra de forskjellige tidspunktene. Videre ser vi at det er forskjell mellom gran og furu. I gran er feilen ikke signifikant forskjellig fra 0 for begge tidspunkt i alle klasser (unntatt middels 2001), men for furu er feilen signifikant forskjellig fra 0 på begge tidspunkt for alle klasser (unntatt høy 2001). Forskjellig kroneform for de to treslagene og laserpulsenes tetthet og gjennomtrengning kan være årsaken til dette. Dårligere Ho-modeller for furu gir dårligere estimat på vekst og påvirker resultatene i indirekte metode.

4.2 Metode

Takstmetode

Det er arealbasert takst som dominerer den operative skogtakseringen i Norge i dag. Denne oppgaven baserer seg på arealbaserte takster, noe det ikke er gjort tilsvarende studier på i Norge tidligere. Dette gjør resultatene ekstra interessante. Fordeler/ulempene ved at taksten er arealbasert kontra enkelttrebasert når det kommer til aldersuavhengig bonitering er:

1. Hvis man ved enkelttrebasert-takst velger det høyeste treet, så er ikke dette i henhold til definisjonen av overhøyden for et areal j.fr. Tveites & Braastads definisjon av H40-bonitet
2. I en enkelttrebasert takst er det ikke sikkert at et tre som representerer Ho på tidspunkt 1 også gjør det ved tidspunkt 2.
3. Ved enkelttrebasert takst må man bestemme seg for hvilket areal rundt treet boniteten skal gjelde for. Det blir da nærliggende å bruke tidligere bestandsgrenser. Med en arealbasert takst står man friere til å oppdatere boniteten når bestandsgrenser endres.

4. Det er mindre sannsynlig at inngrep som endrer Ho (f.eks. tynning) får konsekvenser i en enkelttrebasert takst, siden området det boniteres på er mindre (f.eks. bare rundt treet). I en arealbasert takst bruker man typisk beregningsceller på 200-250 m² og er avhengig at Ho ikke forstyrres innenfor dette området.

Boniteten er i denne oppgaven predikert på cellenivå, og er dermed bestandsuavhengig. Tradisjonelt blir bonitering gjort på bestandsnivå. Bestandsinndeling er ofte gjort med utgangspunkt i hogstklasse og er derfor i stor grad basert på hvor det er blitt hogd en gang i tiden og ikke nødvendigvis de naturgitte egenskapene knyttet til forskjellige lokaliteter i skogen (i mange tilfeller henger dette sterkt sammen, men ikke alltid). Potensielle fordeler med å knytte en egenskap som bonitet til en arealenhet i stedet for et bestand er at dataene kan få lengre levetid (brukes for flere omløp og eventuell ny bestandsinndeling) og bedre nøyaktighet (bonitet innad i et bestand kan variere mye). Bonitering pr. beregningscelle kan gi grunnlag for ny bestandsinndeling, og dersom ny bestandsinndeling skulle forekomme av andre årsaker, vil det kunne gi grunnlag for å bonitere de nye bestandene. Spørsmålet blir da om det er praktisk nyttig med finere bestandsinndeling og mer nøyaktig data – eller om det er best å forholde seg til gjennomsnittsverdier pr. bestand.

Vekstperiode

Vekstperioden er i denne oppgaven på 15 år. Bonitering ved bruk av brysthøydealder og overhøyde baserer seg på veksten over hele treet brysthøydealder, og dermed en mye lengre vekstperiode. Fordelen med å se på boniteten over en kortere vekstperiode er at vi raskere kan fange opp endringer i boniteten. Slike endringer blir «dempet» når vi ser på boniteten over treet totale brysthøydealder, og særlig når denne er høy. En fordel med dette er at vi raskere kan fange opp endringer som følge av endrede miljøforhold mens en ulempe er at vi for eksempel kan få stor effekt av tilfeldigheter som år med fordelaktige eller ufordelaktige værforhold/fenomen (ikke klima).

4.3 Resultater

Vi ser i Tabell 5 og 6 at det er forskjell mellom de to metodene, men at det ikke er spesielt store forskjeller mellom lineær og ikke-lineær modell i den direkte metoden. I Tabell 5 ser vi

på resultatene for den direkte metoden har en feil som ikke er signifikant ulik null totalt for begge modeller i begge treslag. Her fremgår det også at spredningen for feilen er større for begge modeller i gran der SA er nesten dobbelt så stor i gran som i furu (se også Figur 2-5). Det er mange kriterier som kan legges til grunn for å bedømme modellene. Det er naturlig å se på nøyaktighet (\bar{D} og p-verdi) og spredning (SA og min/max) totalt, men jeg syntes det er vel så viktig å vektlegge resultatene for klassene lav, middels og høy. Vi ser at alle modellene har god nøyaktighet totalt, men når vi ser på resultatene for lav middels og høy klasse ser vi en tydelig trend. Ingen klasser (unntatt middels klasse, lineær modell, furu) har feil som er ikke signifikant forskjellig fra null og vi ser på den gjennomsnittlige feilen at det er en sterk tendens til overprediksjon i lave bonitetsklasser og underprediksjon i høye bonitetsklasser. Dette fremgår også tydelig i Figur 2-5. I Tabell 6 ser vi at feilen er ikke signifikant forskjellig fra null også for middels og høy klasse. Den gjennomgående trenden vi hadde i den direkte metoden er altså mye svakere i den indirekte metoden for gran (se Figur 7). For den indirekte metoden i furu er fortsatt ikke feilen ikke signifikant ulik null for lav, middels og høy klasse (se også Figur 6). Spredningen for feilen er fortsatt mindre i furu og SA er ca. halvparten så stor i furu som i gran for alle klasser, utenom lav. Hvorfor vi klarer å bli kvitt trenden i indirekte metode for gran, men ikke for furu kan ha flere årsaker. En årsak som åpenbart kan ha sammenheng med dette er at Ho-modellene som benyttes i den indirekte metoden er dårligere for furu en gran (Tabell 6). En annen årsak kan være tilfeldigheter og romlig avhengighet mellom ruter i kontrollflater som kan gjøre at ruter fra samme kontrollflate blir feilpredikert i samme retning. Hvis mange av de store feilene kommer fra ruter i samme kontrollflate kan dette være med å «skape» trender, spesielt når valideringsgrunnlaget er lite. En siste mulig årsak jeg vil nevne er at vi har svært lite valideringsgrunnlag for furu i høye observerte boniteter for den indirekte metoden (Figur 6) og muligens resultatene kan bli bedre med et større og mer spredt valideringsgrunnlag i furu (gjennomsnittlig observert bonitet er $H_{40}=11,32$ for furu og $H_{40}=17,96$ for gran)

Det er som nevnt gjort lignende forsøk knyttet til aldersuavhengig bonitering tidligere (Hollaus et al. 2015 og Kvaalen et al. 2015), men da med data fra enkelttrebasert lasertakst. Hollaus et al. (2015) kom fram til modeller som hadde tendens til å overpredikere boniteten i eldre skog og underpredikere i yngre skog (det kan se ut til at mye av skogen jeg har i lave bonitetsklasser er gammel og at skogen i høye bonitetsklasser er ung - dette peker mot at vi

muligens kan ha noe av det samme problemet), men konkluderte likevel med at metoden hadde potensial til å forbedre eksisterende bonitets-kart i Norge. Kvaalen et al. (2015) presenterte resultatene på en annen måte. Der var gjennomsnittet for predikert bonitet G24,4 og for feltmålt G19,7. Endringen var ca. den samme i ung og gammel skog. Her ble det konkludert med at den predikert boniteten var den «riktige» og at resultatene underbygget en hypotese om at «høydeveksten er bedre enn før».

En masteroppgave fra 2016 (Husby, B. 2016) kontrollerte feilen i skogbruksplandata i Melhus kommune. Den gjennomsnittlige feilen i bonitets-data på bestandsnivå ble i dette arbeidet målt til +8,9% og nåverditapet knyttet til dette ble beregnet til å være på 45 kr/daa. Den gjennomsnittlige feilen for bonitering i gran, ved indirekte metode på rutenivå, er i denne oppgaven på +3,7% (Tabell 6). I denne oppgaven er bonitetsverdiene regnet ut på cellenivå kontra bestandsnivå i skogbruksplanen i Melhus. For å gjøre et forsøk på å fremstille resultatene på bestandsnivå har jeg regnet ut gjennomsnittsverdier av alle rutene pr. kontrollflate (tabell 7) og feilen blir da på 8%. Dette blir ikke en helt riktig fremstilling siden gjennomsnittet for alle flater vektet likt selv om noen av flatene inneholder færre enn 16 ruter. For furu ble tilsvarende feil på -8,6% og -7,3%.

All modellering i denne oppgaven er basert på laservariabler som er vanlig å prosessere ved operativ skogtaksering. For de fleste områder som skal takseres i fremtiden vil taksten bli takst nr.2 med bruk av FLS-data. Da vil man uansett sitte med laserdata fra to tidspunkt og eventuell bruk av disse dataene til aldersuavhengig bonitering bør ikke være tilknyttet store kostnader. Skal det være grunn til å benytte aldersuavhengig bonitering i operativ skogplanlegging bør det kunne vises at den gir bedre resultater enn dagens praksis og/eller at bonitering på arealnivå (celle) er ønskelig. Undersøkelser som ser på forskjellen i feil for bonitering for denne og andre metoder bør gjennomføres med et større datagrunnlag. Det bør også vurderes hva som er den mest hensiktsmessige måten å måle modellenes nøyaktighet på da «feilen» som er brukt i denne oppgaven både er utsatt for feil under feltarbeid og mulige endringer i bonitet. Denne oppgaven baserer seg på et lite datagrunnlag, men resultatene for den indirekte metoden i gran viser lovende resultater. Videre arbeid med et større datamateriale vil gi svar på om dette bør være fremtidens måte å bonitere på ved skogtaksering. Det ser ut til at det kan være gode muligheter for dette.

5. Litteratur

- Braastad, H. (1983). Forholdet mellom høydebonitet og produksjonsevne for gran, furu, bjørk på samme voksested. *Akt. Stat. Fagtenesten for Landbruket*. 1983(3), 50-59.
- Bull, H. (1931). The use of polymorphic curves in determining site quality in young red pine plantations. *Journal of Agricultural Research*, 43, 1-28.
- Børset, O. (1998). *Skogskjøtsel 1-Skogøkologi*. 2 utg. Oslo: Landbruksforlaget. 494 s
- Eid, T. & Moen, P. A. (1993). Bonitering i unge skogbestand. *Rapport fra Skogforsk 15/93: Norsk Inst. for Skogforskning*.
- Eid, T. (2000). Use of uncertain inventory data in forestry scenario models and consequential incorrect harvest decisions. *Silva Fennica* 34(2): 89–100.
- Eid, T., Gobakken, T. & Næsset, E. (2004). Comparing stand inventories for large areas based on photo-interpretation and laser scanning by means of cost-plus-loss analyses. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19 (6): 512-523.
- Fitje, A., (1989). *Tremåling*. Landbruksforl.
- Huseby, B. (2016). *Kontroll av skogbruksplandata i Melhus kommune*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø og biovitenskapelige universitet
- Hollaus, M., Eysn, L., Maier, B. & Pfeifer, N. (2015) Site index assessment based on multi-temporal ALS data. *SilviLaser 2015*. 159-161.
- Hyypä, J. & Inkinen, M. (1999). Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. *The Photogrammetric Journal of Finland*, 16 (2): 27-42.
- Hyypä, J., X. Yu, P. Rönholm, H. Kaartinen, and H. Hyypä, (2003). Factors affecting laser-derived object-oriented forest height growth estimation, *The Photogrammetric Journal of Finland*,
- Kart [Bilde] (2017). Hentet fra: [https://www.allkunne.no/framside/geografi/noreg/fylka-i-noreg/buskerud-fylke/2002/83761/\(lest 06.02.17\)](https://www.allkunne.no/framside/geografi/noreg/fylka-i-noreg/buskerud-fylke/2002/83761/(lest 06.02.17)).
- Kartverket. (2017). *Sluttrapport. Forprosjekt «nasjonal, detaljert høydemodell»*. Tilgjengelig fra: <http://www.kartverket.no/globalassets/kart/nasjonal-hoydemodell/nasjonal-detaljert-hoydedatamodel--sluttrapport-20140210.pdf> (lest 03.03.2017).
- Kvaalen, H., Solberg, S., May, J. (2015). Aldersuavhengig bonitering med laserscanning av enkelttrær.
- Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B. & Flood, M. (2003). LiDAR remote sensing of forest structure. *Progress in Physical Geography*, 27 (1): 88-106.
- Means, J. E., Acker, S. A., Brandon, J. F., Renslow, M., Emerson, L., & Hendrix, C. J. (2000). Predicting forest stand characteristics with airborne scanning lidar. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, 1367–1371.
- Nibio. (2017). Konvertering av treslag – skogstrøk. Tilgjengelig fra: http://www.skogoglandskap.no/kalkulator/konvertering_treslag/skiftKalk (lest 01.04.2017)
- 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). Ressursregistrering med flybåren laser-scanner: snart virkelighet (Resource inventory with airborne laser scanner: soon a reality). *Norsk Skogbruk*, 47(5), pp.20-23.
- Næsset, E., 2004. Practical large-scale forest stand inventory using a small-footprint airborne scanning laser. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(2), pp.164-179.
- Næsset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyypä, H., Hyypä, J., Maltamo, M., Nilsson, M., Olsson, H., Pr.sson, Å. & Söderman, U. (2004). Laser scanning of forest resources: the Nordic experience. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19 (6): 482-499.
- scanning laser, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19:2, 164-179
- Næsset, E. & Solberg, S. (2005). Kartlegging av skogøkosystemer med flybåren laser-Nye muligheter. *Norsk Skogbruk*, 7.
- Pr.sson, A., Holmgren, J. & Söderman, U. (2002). Detecting and measuring individual trees using an

- airborne laser scanner. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68 (9): 925-932.
- SAS Institute Inc. (2016). SAS® 9.4 Statements: Reference, Fifth Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Solodukhin, V., Zukov, A. & Mazugin, I. (1977). Possibilities of laser aerial photography for forest profiling. *Lesnoe Khozyaisto (Forest Management)*, 10: 53-58.18(2):16–31.
- Snowdon P. 1991. A ratio estimator for bias correction in logarithmic regressions. *Can J For Res.* 21: 720-724.
- Tveite, B. (1977). Bonitetskurver for gran (Site-index curves for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)). *Meddelser fra Norsk Institutt for Skogforskning*, 33: 84.
- Tveite, B. & Braastad, H. (1981). Bonitering for gran, furu og bjørk. *Norsk Skogbruk*, 27: 17-22.
- Skogbrukslova. (2005). Forskrift om berekraftig skogbruk. FOR-2006-06-07-593.
Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-06-07-593> (lest 01.04.2017)
- Skogbrukslova. (2005). Forskrift om tilskudd til skogbruksplanlegging med miljøregistreringer .Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-02-04-449?q=forskrift%20om%20tilskudd%20til%20skogbruksplanlegging> (lest 10.04.2017)
- Wakeley, P. C. & Marrero, J. (1958). Five-year intercept as site index in southern pine plantations. *Journal of Forestry*, 56, 332-336.
- Øyen, B.-H. (2000). Naturlig avgang i gran- og furuskog. *Rapport fra skogforskningen* 3/00: 24 s.

6. Vedlegg

Modeller testet i prøveflatene hvor de er utviklet. Direkte metode i Tabell 8 og indirekte metode i Tabell 9. Plott for indirekte metode.

Tabeller

Tabell 8.

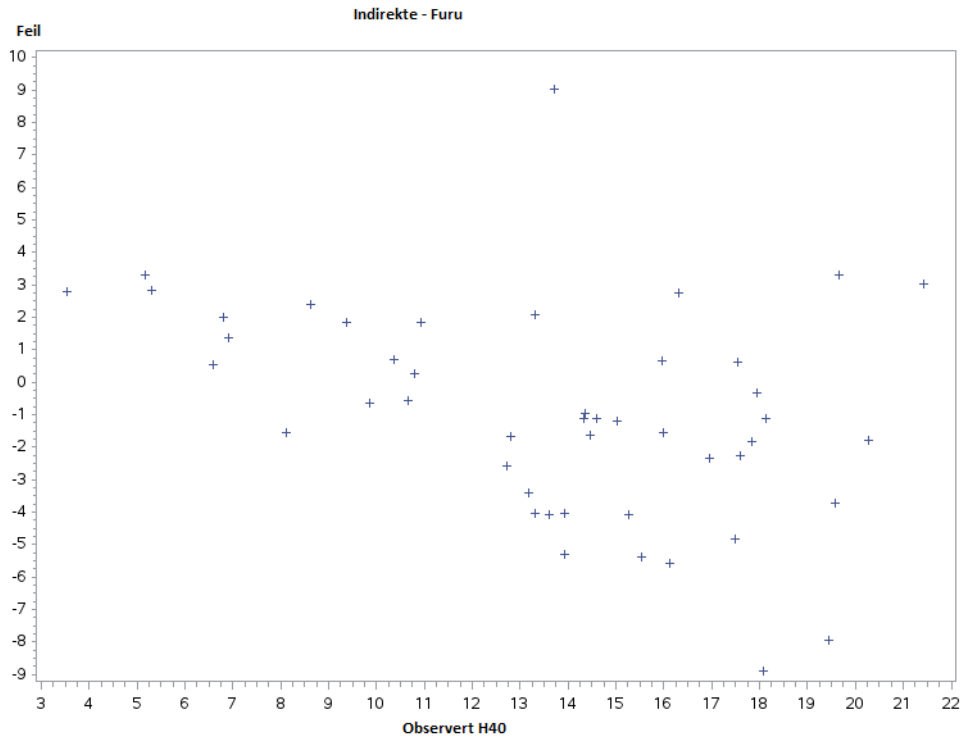
Respons	Klasse	N	\bar{D}	SA	Min	Max	P
Gran							
H40	17>	20	1,81	2,55	-2,90	7,75	**
	17-22	26	-0,65	2,42	-6,55	4,18	IS
	22<	18	-1,08	1,78	-5,41	1,72	**
	Totalt	64	0,00	2,59	-6,55	7,75	IS
H40*	17>	20	2,63	2,34	-2,49	6,63	***
	17-22	26	-0,89	2,33	-7,16	3,78	IS
	22<	18	-1,62	2,04	-5,88	1,48	**
	Totalt	64	0,00	2,86	-7,16	6,63	IS
<hr/>							
Furu							
H40	11>	19	1,38	2,56	-7,80	3,93	*
	11-16	20	-0,10	1,74	-2,64	4,16	IS
	16<	15	-1,61	1,35	-4,54	0,21	***
	Totalt	54	0,00	2,28	-7,80	4,16	IS
H40*	11>	19	1,56	1,70	-4,00	3,51	***
	11-16	20	-0,32	2,24	-4,09	5,58	IS
	16<	15	-1,57	2,03	-7,33	0,86	**
	Totalt	54	0,00	2,34	-7,33	5,58	IS

Tabell 9.

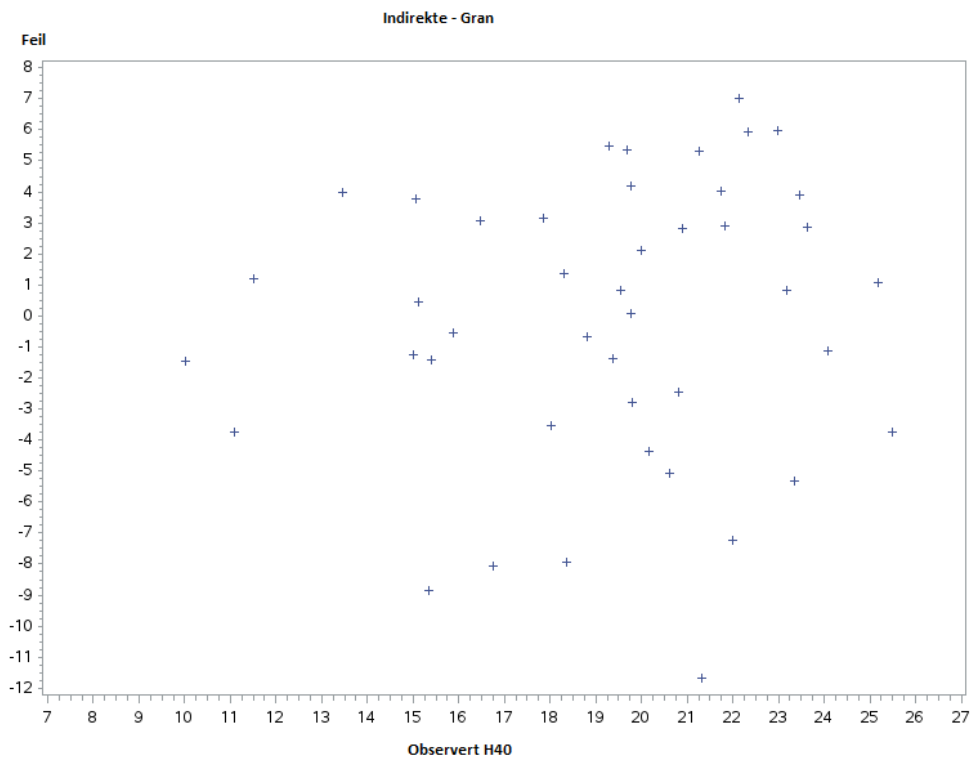
Respons	Klasse	N	\bar{D}	SA	Min	Max	P
Gran							
HO_01	17>	17	0,15	1,45	-2,15	3,22	IS
	17-21	12	-0,43	1,12	-2,05	1,36	IS
	21<	9	0,29	1,22	-1,71	2,31	IS
	Totalt	38	0,00	1,30	-2,15	3,22	IS
HO_16	17>	19	-0,11	1,25	-2,95	2,96	IS
	17-21	21	-0,24	1,33	-2,56	2,56	IS
	21<	23	0,07	1,46	-3,18	3,48	IS
	Totalt	63	-0,09	1,34	-3,18	3,48	IS
H40	17>	12	-1,06	4,16	-8,84	3,99	IS
	17-21	17	-0,16	3,85	-7,95	5,48	IS
	21<	15	0,71	5,49	-11,66	7,01	IS
	Totalt	44	-0,11	4,50	-11,66	7,01	IS
<hr/>							
Furu							
HO_01	12>	21	0,39	0,92	-1,07	2,56	*
	12-16	18	-0,13	0,77	-1,78	1,57	*
	16<	13	-0,42	0,86	-1,46	1,60	IS
	Totalt	52	0,01	0,91	-1,78	2,56	IS
HO_16	12>	22	0,58	1,05	-1,24	3,14	**
	12-16	18	-0,39	0,89	-2,75	1,08	IS
	16<	15	-0,59	1,75	-2,82	4,34	IS
	Totalt	55	-0,06	1,32	-2,82	4,34	IS
H40	12>	14	1,22	1,47	-1,57	3,30	**
	12-16	18	-1,69	3,33	-5,38	9,02	*
	16<	15	-2,06	3,71	-8,88	3,31	*
	47	-0,94	3,31	-8,88	9,02	IS	IS

Plott

Indirekte metode



Figur 8.



Figur 9.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway