



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

NIBIO RAPPORT | NIBIO REPORT

**VOL.: 1, NR.: 67, 2015**

## Aldersuavhengig bonitering med laserskanning av enkeltrær

HARALD KVAALEN, SVEIN SOLBERG, JOHANNES MAY

divisjon for skog og utmark

## TITTEL/TITLE

ALDERSUAVHENGIG BONITERING MED LASERSKANNING AV ENKELTTRÆR

## FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

HARALD KVAALEN, SVEIN SOLBERG, JOHANNES MAY

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
02.02.2016	1/67/2015	Åpen	Prosjektnr 347037	Arkivnr
ISBN-NR./ISBN-NO:	ISBN DIGITAL VERSJON/ ISBN DIGITAL VERSION:	ISSN-NR./ISSN-NO:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
ISBN 978-82-17-01528-4	Versjon nr	ISSN 2464-1162	Antall sider	0

## OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

FMLA Vestfold

## KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Knut Ivar Løken

## STIKKORD/KEYWORDS:

bonitet, laserskanning

## FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

skog, bonitet

## SAMMENDRAG/SUMMARY:

## Sammendrag:

I Norge beregnes skogens produksjonsevne, bonitet, ut fra høyden til de grøvste trærne i bestandet og deres alder i brysthøyde. Denne metoden har to svakheter: Den fanger i liten grad opp variasjon i bonitet over tid, inkludert gradvise langtids-endringer forårsaket av endringer i miljøforhold. I tillegg er den avhengig av alder uten undertrykking, og det kan være vanskelig å framskaffe gode data for det. En alternativ metode er å beregne bonitet ut fra høyden ved starten og slutten av en gitt periode. Denne metoden kalles aldersfri bonitering, og kan brukes selv om skogens alder er ukjent eller usikkert bestemt. Metoden kan i dag gjennomføres på stor skala ved å utnytte enkelttre-informasjon fra flybåren laserskanning. Hovedmålet med denne studien var å prøve ut aldersfri bonitering med slike laserdata. Vi har brukt trehøyder målt på 8416 overhøydetrær bestemt med flybåren laser i 2009 og 2014 i atten granbestand i Lardal i Vestfold til å regne ut boniteten med de to metodene, og for to tilvekstperioder. Første periode er fra bestandene ble plantet fram til 2009, og her brukte vi konvensjonell bonitering. Andre periode er de seks vekstsesongene fra våren 2009 til høsten 2014, og her brukte vi aldersfri bonitering. Fram til 2009 hadde disse bestandene i gjennomsnitt vokst til bonitet G19,7, mens boniteten etter skogbruksplanen var G17. I perioden fra 2009 til 2014 var høydeveksten betydelig større og tilsvarte G24,4. Denne bonitets-økningen på omkring 5 m i H40-systemet tilsvarer om lag 40 prosent større produksjonsevne. Både gamle og unge bestand viste om lag samme endring, med unntak av ett ungt bestand. Dette tyder på at forskjellen ikke skyldes mangler ved selve



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

boniteringssystemet, eller feil i aldersbestemmelsen for den første tilvekstperioden, men er en konsekvens av bedre vekstvilkår. Når det gjelder forskjellene mellom skogbruksplanens bonitet og våre målinger skyldes nok avviket i hovedsak aldersbestemmelsen. Boring av to prøvetrær i hvert bestand og gransking av gamle flybilder viste at der må ha vært en del overstandere i flere bestand som skaper problemer for aldersbestemmelsen. Undersøkelsen viser at det mulig å beregne boniteten på grunnlag av lasermålte høyder uten å kjenne alderen. Den viser også at slike data kan benyttes til å påvise endringer i bonitet over tid. Resultatene er lovende med tanke på å få objektiv, representativ måling av boniteten, basert på store utvalg av overhøydetrær, uten å gjøre omfattende og kostbart feltarbeid.

LAND: Norge  
FYLKE: Vestfold  
KOMMUNE: Lardal  
STED/LOKALITET: Løvås

GODKJENT

PROSJEKTLEDER

AKSEL GRANHUS

SVEIN SOLBERG



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# FORORD

Dette er sluttrapport for prosjektet «Enkelttre-laser og bonitets-endringer i Vestfold» (ELBON), som er finansiert av fylkesmannens landbruksavdeling i Vestfold. Prosjektet er et pilotprosjekt for å undersøke mulighetene for å gjøre aldersfri og mer nøyaktig bonitering basert på data fra enkelttre-lasertakst.

Ås, 22.12.2015

Svein Solberg

# INNHold

1	INNLEDNING.....	6
1.1	Formål .....	7
2	MATERIALE OG METODER.....	8
3	RESULTATER .....	12
3.1	Bonitet.....	12
3.2	Alder .....	13
3.3	Vurdering av feilkilder .....	17
3.3.1	Underestimering av trehøyde med laser .....	17
3.3.2	Forskjell i laserskanningenes penetrering.....	18
3.3.3	Feilkobling av trær 2009 – 2014.....	19
3.3.4	Er 6 år for kort periode til å si noe om langtidsutvikling? .....	20
4	DISKUSJON .....	21
5	KONKLUSJONER.....	24

# 1 INNLEDNING

Bonitering er å klassifisere voksestedets «godhet» eller produksjonspotensial. Dette gjøres i Norge ved å måle høyden av de ti grøvste trærne per dekar, som kalles overhøyde, og deres tilhørende alder målt i brysthøyde (Tveite 1977). Overhøyden og alderen relateres deretter til høyde- eller bonitetskurver (funksjoner) for det enkelte treslag. Vanligvis tenker vi oss at vekstvilkårene på et sted er gitt av nærings-, vann- og temperaturforhold og er tilnærmet konstante over tid. Dersom vekstvilkårene drives systematisk til det bedre eller verre vil det påvirke den årlige høydeveksten og dermed også målingene av bonitet ved bruk av høyde og alder. Boniteringssystemet skulle derved kunne brukes ikke bare til å karakterisere voksestedets produksjonspotensial, men også til å studere om dette endrer seg over tid.

En alternativ boniteringsmetode er «aldersfri bonitering». Dette er en metode hvor boniteten beregnes ut fra høyde og høydevekst, i stedet for alder og høyde. Fordi høyden ved en gitt alder bare er den kumulative årsveksten fram til denne alderen, er det også mulig å benytte høydetilveksten i en gitt tilvekstperiode til å beregne boniteten, når høyden ved starten av perioden og periodens lengde er kjent. Ideen er ikke ny og ble diskutert blant annet av Erling Eide allerede i 1930 årene (Tveite pers. medd.). Harald Opdahl ved Norsk institutt for skogforskning startet å arbeide med dette på 1990 tallet. Her bygger vi videre på deres ideer og arbeid.

Når det nå har blitt mulig å måle alle trær i en skog med bruk av laserskanning åpner denne metoden muligheter for å bonitere i skog der alderen er usikkert bestemt, dersom en har målinger av høydene på to tidspunkt med tilstrekkelig lang tid mellom til at målefeilen blir relativt liten. Ved målinger over mange perioder vil det også være mulig å påvise endringer i høydeveksten og derved boniteten over tid.

Med data fra to lasertakster i plantede bestand hos Fritzøe skoger i Lardal i Vestfold har vi testet denne metoden. Vi har sammenlignet boniteten i perioden fra planting frem til våren 2009 og fra 2009 til 2014. Anslått bonitet er også sammenlignet med hva som er oppgitt i skogbruksplanen.

Ideen til prosjektet kom fra FMLA-Vestfold. Det har bakgrunn i to forhold. For det første, mye tyder på at bonitet er en egenskap som er mer usikker og variabel enn tidligere antatt. Betydelige bonitets-økninger er registrert i Europa i seinere år, og særlig synes nitrogennedfallet å være av stor betydning. I Vestfold ligger nedfallet på omkring 7 kg/ha/år, noe som tilsvarer 1/3-del av tidligere anbefalte gjødslingsdoser for skog. Nedfallet av nitrogen kommer som ammonium og nitrat, dvs. det samme som i handelsgjødsel, og oppløst som ioner i nedbøren. I tillegg kommer klimaendringene med økt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon, økt temperatur og økt nedbørmengde, og indirekte økt lengde på vekstsesongen, og disse faktorene kan også bidra til bonitets-økning. En annen side av bonitet, som gjør det til en ustabil egenskap, er tidligere feilbonitering. I mange tilfeller i den gamle naturskogen er alder overvurdert og bonitet dermed undervurdert som en følge av undertrykking av trærne i ungdommen. Det er vanskelig å korrigere nok for dette ved bestemmelse av såkalt husholdningsalder på bor-prøver. For det andre, hos Fritzøe skoger i Vestfold finnes et unikt datasett for å studere dette nærmere. Det er tatt opp laserdata for takst fra fly både i 2009 og i 2014. Disse laserdataene har svært mye detaljinformasjon fordi de er tatt opp med 10 pulser per m<sup>2</sup>, og takstfirmaet har gjort såkalt enkelttre-segmentering fra dataene. Dette gjør at det mulig å se detaljert på overhøydetrærnes høyde og utvikling, og dermed bonitet og bonitetsendringer.

## 1.1 Formål

Formålet med prosjektet er å

1. vurdere om aldersfri bonitering basert på laserskanning i dag er en bedre metode enn konvensjonell bonitering ved at den fanger opp langtidsendringer og ved at den ikke er avhengig av aldersbestemmelse,
2. vurdere om bestandsaldre i en skogbruksplan kan være feil fordi de er avledet av bonitet og fordi bonitet ofte er undervurdert, og
3. vurdere årsaker til avvik mellom konvensjonell bonitetsverdi fram til år 2009 og aldersfri bonitet for perioden 2009-2015.

## 2 MATERIALE OG METODER

Undersøkelsen er gjort hos Fritzøe skoger og nærmere bestemt i området omkring Løvås i Lardal kommune. Området ble flydd med laserskanner 21-25 mai 2009 (før strekningsveksten i 2009) og i august-september 2014 (etter strekningsveksten i 2014). Høydeendringen som er målt med laser dekker derfor 6 vekstsesonger. Det var en høy tetthet på skanningene med 10 pulser per m<sup>2</sup>. Foran Remote Sensing har prosessert dataene som enkelttre-takst, dvs de har identifisert enkelttrær i punktskyen og sammen med flybilder har de produsert et datasett med slike enkelttrær, hvor hvert tre har posisjon (x,y,z) og estimert treslag, diameter i brysthøyde, høyde og kronestørrelse (Fig. 1).



Fig. 1. Utsnitt av området med punkter som representerer enkelttrær i 2009 (oransje) og 2014 (grønn). Et forstørret utsnitt med trehøyder er vist til høyre.

Vi har benyttet bestandsinndelingen fra taksten i 2014. Ut fra denne har vi valgt ut 18 plantede og tilnærmet ensaldrede granbestand. De var fordelt på 3 hogstklasser, dvs III-V, og med 6 gjentak i hver (Fig. 2).



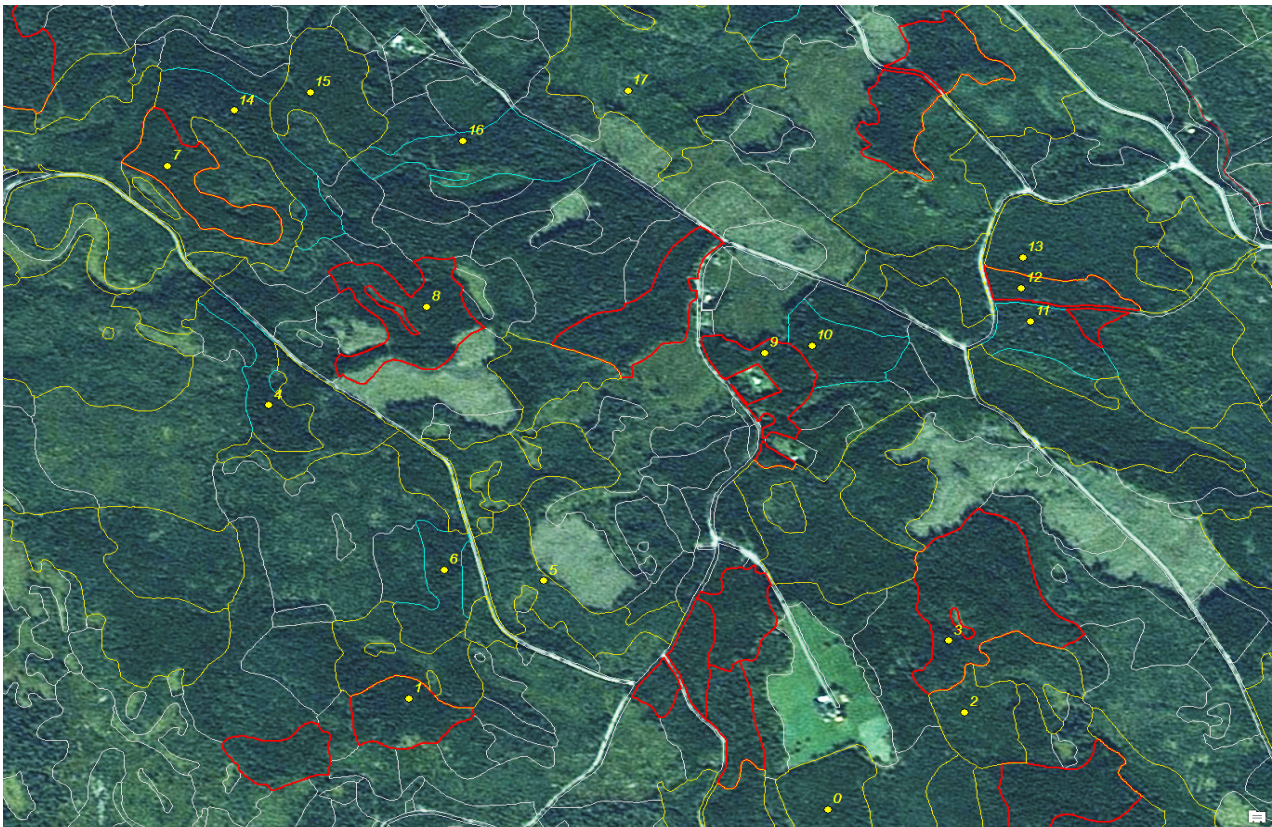


Fig. 2. Området rundt Løvås. Utvalgte bestand har et gult punkt. Hogstklasse er angitt ved farge på omrisset, hvor gul = hkl 3, rød = hkl 4 og blå = hkl 5, og der bestand ligger inntil hverandre er fargene blandet.

### Beregning av overhøyde

I hvert bestand har vi valgt ut overhøydetrær av gran fra lasertaksten i 2014. Antallet har variert proporsjonalt med bestandsstørrelse og har utgjort de 100 grøvste trær pr ha. Med 'grøvste' mener vi her de som hadde størst estimert diameter i lasertaksten. Disse trærne ble gjenfunnet i taksten fra våren 2009 med en såkalt 'spatial join', slik at vi fikk høyde og høydevekst på overhøydetrærne for perioden 2009 – 2014. Dette gav et datasett på 8416 trær. I gjennomsnitt hadde høydeveksten på disse trærne vært 2,6 m i 6-års perioden, dvs gjennomsnittlige toppskuddlengder har vært 43 cm per år. Aritmetisk middelhøyde for 2009 og 2014 ble beregnet per bestand for disse trærne. Hvert tre hadde en høyde i 2014 og en høyde i 2009. Det var litt mer usikkerhet på terrenghøyden i 2014 pga. en feilinnstilling i laseren. Vi har derfor korrigert høydene fra 2014 ved å legge til terrenghøyden fra 2014 og trekke fra terrenghøyden fra samme tre for 2009 slik:

$$H_{\text{moh}_{2014}} = H_{2014} + z_{\text{pos}_{2014}} \quad , \text{ og}$$

$$H_{2014_{\text{corr}}} = H_{\text{moh}_{2014}} - z_{\text{pos}_{2009}} \quad ,$$

hvor  $H_{\text{moh}_{2014}}$  er høyde på toppen av treet i 2014 målt i m over havet,  $H_{2014}$  er høyde i m over bakken,  $z_{\text{pos}_{2014}}$  er terrenghøyde for rota til treet i 2014,  $H_{2014_{\text{corr}}}$  er korrigert trehøyde i 2014,  $z_{\text{pos}_{2009}}$  er terrenghøyde for rota til treet i 2009.

## Aldersbegreper og bestemmelse

Det er som nevnt vanlig å bonitere utfra brysthøydealder. I dette tilfellet var brysthøydealder angitt basert planteår og/eller høyde og bonitet etter skogbruksplanen ( $T_{13p}$ ). Til denne alderen hører en totalalder ( $T_{tp}$ ) som er  $T_{13p}$  pluss 13 år på G14, 10 år på G17 og G20 og 9 år på G23. Boringen av to overhøydetrær i hvert bestand ga en annen brysthøydealder ( $T_{13m}$ ) og en annen totalalder ( $T_{tm}$ ) beregnet med tilsvarende tidstillegg for hver bonitetsklasse. I tillegg har vi en tredje totalalder ( $T_{ts}$ ) som er alderen basert på planteår der det er ganske sikkert bestemt. Til denne alderen må det legges til fire år for barrotplanter før 1975 og to for pluggplanter etter 1975. Vi har kalkulert differansene mellom  $T_{tp}$  og  $T_{tm}$ ,  $T_{ts}$  og  $T_{tm}$  samt  $T_{ts}$  og  $T_{tp}$  for å se hvordan disse bestandsaldrene samsvarer med hverandre.

## Aldersuavhengig bonitering for perioden 2009 - 2015

Enhver høydmodell hvor høyden er en funksjon av treets alder, kan i prinsippet brukes for å bonitere ved bruk av høyden målt på to tidspunkt og tilvekstperiodens lengde.

Høyden er da:

$$H=f(t),$$

hvor  $H$  er overhøyde og  $t$  er alder. Denne løses med hensyn på  $t$  slik at  $t=f(H)$ . Deretter skrives tilvekstperiodens lengde  $p$

$$p= t_2 - t_1,$$

Der  $t_2$  er alderen tilsvarende sist måletidspunkt og  $t_1$  der første. Vi får da:

$$P=f(H_2) - f(H_1)$$

Flere nye høydmodeller kan løses analytisk på denne måten, blant annet modell 10 og 15 i Sharma et al. (2011). Vi har valgt å bruke Tveite (1977) sin høydmodell i dette arbeidet fordi den er brukt i alle takster og fordi den bygger på data fra et strengt utvalg av ensaldrede bestand. Overhøyden for en bonitet er i denne modellen er gitt ved likningene VII.8 og VII.9 i (Tveite 1977).

$$H_0 = (H_{40} - 17) * (Diff/3.0) + H_{17} ,$$

hvor  $H_0$  er overhøyden,  $H_{40}$  er boniteten,  $Diff$  er en variabel som styrer spredningen av de ulike bonitetskurvene, mens  $H_{17}$  er overhøyden for grunnkurven  $H_{40}=17$ . Fordi variabelen  $Diff$  er et femtegradspolynom er det ikke mulig å omform Tveite sin modell til aldersuavhengig bonitering analytisk som skissert ovenfor. Men boniteten kan i stedet bestemmes ved interpolasjon mellom linjene i en figur hvor høydetilvekst er plottet mot høyde, slik som vist i Figur 3 i resultatkapitlet. En interpolering mellom høydetilvekstverdier for to bonitetsklasser kan gjøres når høyden ved starten av perioden er kjent ved å skrive:

$$H_0 = b * Diff + H_{17}$$

Hvor  $b$  er  $(H_{40}-17)/3$ . For å finne den  $H_{40}$  som korresponderer til en gitt høydetilvekst over en tidsperiode beregnes først høyde og høydetilvekst for en lav bonitetsklasse for eksempel  $H_{40}=14$  og for en høy,  $H_{40}=29$ , deretter kobles starthøydene for de to kurvene med den observerte høyden ved starttidspunktet. Hvis observert høydetilvekst er mindre enn for  $H_{17}$  divideres den observerte høydetilveksten med verdien for  $H_{14}$ , er tilveksten større enn for  $H_{17}$  divideres den med verdien

for H29. Dette forholdstallet tilsvarende  $b$  i likning og settes inn i denne for å gi den interpolerte H40 verdi ved 40 års alder for Diff og H17. Interpoleringen er gjort i et dataprogram.

For å undersøke hvordan bonitering ved bruk av vanlig høyde og aldersbonitering samt aldersuavhengig bonitering etter Tveite sitt system stemmer overens med andre boniteringssystem for plantet gran beregnet vi også boniteten ved bruk av Nord Larsen (2009) sin funksjon for plantet gran. Denne funksjonen er utviklet med data fra danske plantinger og har totalalder som inngang. Elleve bestand hadde sikkert kjent totalalder og i disse ble boniteten beregnet som høyde ved 50 års totalalder (H50) på grunnlag av totalalder og overhøyde målt i 2009 og tilsvarende i 2014.

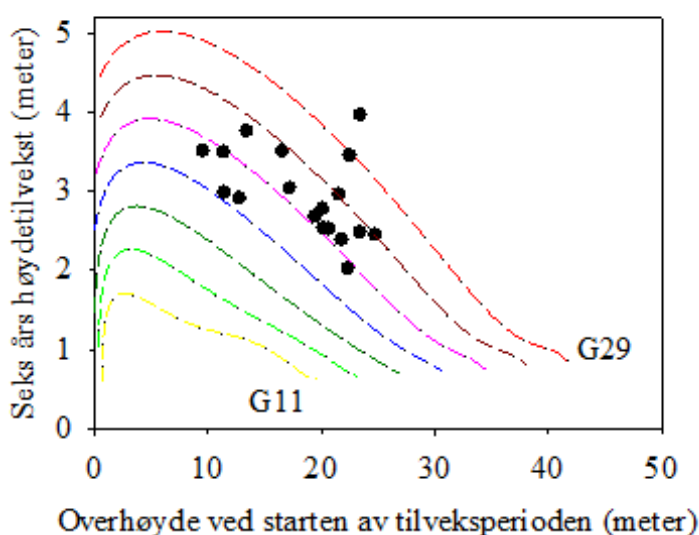
### Bonitering på ordinær måte for perioden fram til 2009

Vi beregnet bonitet på ordinær måte for 2009, dvs ved å bruke alder og overhøyde. Alder ble tatt fra skogbruksplanen. Bestandene var plantet og planteåret var oftest godt kjent, men for flere bestand så vi fra flyfoto at der måtte ha vært overstandere som vil være overrepresentert blant overhøydeetrerne og gi usikker totalalder og brysthøydelader. Det ble derfor tatt ut borprøver i brysthøyde på et par trær i hvert bestand for å sjekk samsvaret med total alder oppgitt i skogbruksplan. Denne brysthøydealderen ble brukt til å beregne boniteten fra bestandet ble etablert frem til våren 2009, etter formel VII.11 i Tveite (1977).

## 3 RESULTATER

### 3.1 Bonitet

Basert på overhøyde og tilvekst i overhøyde så hadde de utvalgte bestandene bonitetsverdier fra G20 (blå linje) og høyere, med fire bestand fra G26 (brun linje) og høyere. Linjene i figuren er basert på Tveites (1977) H40 system. Dette er ment som en visualisering av hvordan aldersuavhengig bonitering gjøres. Figur 3 viser dette med overhøyde på x-aksen og høydetilvekst på y-aksen. Observerte verdier er overhøyde målt våren 2009 og høydetilvekst i seks års perioden fram til høsten 2014.



Figur 3. Plot av seks års høydetilvekst for Tveite sine høydekurver for G11 (gul) til G29 (rød) og observert middel av overhøyder i 2009 og høydetilvekst fra våren 2009 til høsten 2014 i atten bestand i Lardal. Totalt er der målt 8416 overhøydetrær, varierende fra 221 til 1133 i hvert bestand.

Bonitetsverdien var 5 m høyere i perioden 2009-2014, enn i perioden før 2009. Middelverdien for bonitet i alle atten bestand for perioden 2009-2014 var G24,4 mot G19,8 for perioden fra planting til 2009. I Tabell 1 har vi satt opp H40-verdier basert på bonitering ut fra overhøyde og målt alder i brysthøyde (TH40\_09) for perioden fram til våren 2009, og med aldersfri bonitering for perioden våren 2009 til 2014 basert på høyde ved starten, høyde-tilvekst og tilvekstperiodens lengde (TH40\_14). Tallene er gruppert på hogstklasse. Dersom vi legger til 0,5 meter på høydene i 2009 for å fjerne effekten av laserens penetrering, så har dette kun en liten effekt (se nedenfor). Bonitetsverdien for perioden fram til 2009 øker da fra 19,8 til 20,4 meter, og dette er 4,6 m lavere enn i perioden 2009-2014.

Totalalderen  $T_t$  er tatt ut fra oppgitt hogsttidspunkt, mens  $T_{13}$  er brysthøydealder fra borprøver av to trær i hvert bestand. De seks bestandene i hogstklasse III har gjennomsnittsverdien  $H40 = 20,1$  i første tilvekstperiode og 23,2 for perioden deretter. I hogstklasse IV er gjennomsnittsverdien 19,4

for første periode og 24,9 for andre periode. Tilsvarende H40 verdier i hogstklasse V er 19,8 og 24,4. Både unge og eldre bestand har således vokst bedre i den siste seks års perioden enn de gjorde før. Men der er et unntak, bestand 5038 som har totalalder 25 år har mye høyere H40 verdi i første periode. Ellers har alle bestand høyere H40 verdi i andre periode.

I elleve bestand der totalalderen var sikkert kjent beregnet vi også boniteten ved bruk av Nord Larsen (2009) sin funksjon for plantet gran i Danmark. For perioden fra planting fram til 2009 gav dette middelverdien  $H50=19,6$ . For perioden fra planting til 2014 gav den  $H50=20,6$ . Alle disse elleve bestandene synte en ganske lik økning når boniteten ble beregnet på denne måten.

Variasjonskoeffisient for brysthøydealderen varierte fra 0 til 9 prosent i ulike bestand, basert på de to trærne som ble boret i hvert bestand.

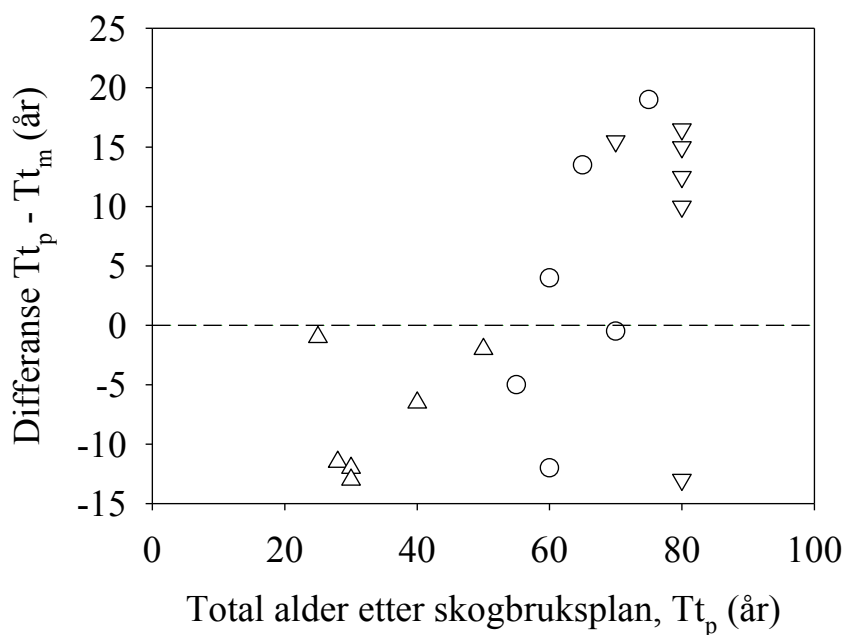
Konvensjonell bonitering fram til 2009, basert på lasermålte overhøyder i 2009 og målt brysthøydealder ga som nevnt middel  $H40=19,8$  etter Tveite sin funksjon. I skogbruksplanene var H40 i middel 16,7. Omregning av høydetilveksten fra 2009 til 2014 til H40 ga verdien 24,4. Av Figur 3 ser vi at høydetilveksten i denne perioden har tilsvart meget høy bonitet også i de eldste og høyeste bestandene. Dette tyder på at det er tale om en reell økning i skogens produksjonsevne de siste femten, kanskje tjue årene. Produksjonsevnen for G17,7 er  $7,2 \text{ m}^3$  per hektar og år, for G19,8 er den 9,6 og for G24,4 er den 13,7.

## 3.2 Alder

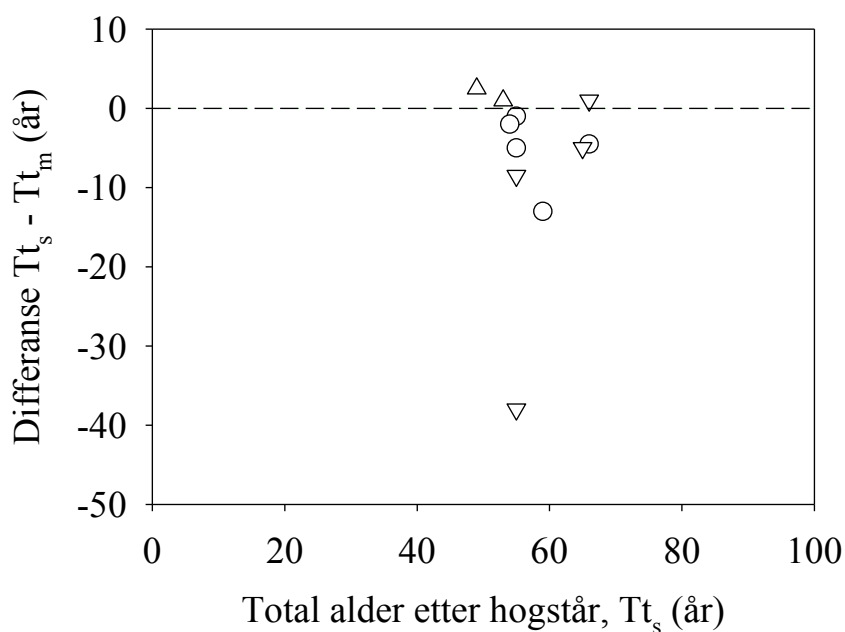
Den totalalderen som er oppgitt i Tabell 1 er hentet fra skogbruksplanen og skal være basert dels på opplysninger om hogsttidspunkt, dels på beregninger av alder ut i fra overhøyde og bonitet. I Figur 2 har vi plottet differansen mellom totalalder hentet fra skogbruksplanen ( $T_{tp}$ ) og totalalder beregnet fra gjennomsnittet av den alderen vi målte i brysthøyde tillagt estimert tid for å nå brysthøyde ( $T_{tm}$ ). I gjennomsnitt var  $T_{tp}$  58 år, se Tabell 1, mens  $T_{tm}$  var 57 år, men vi ser av figuren at variasjonen er svært stor, med en klar tendens til at differansen øker med oppgitt totalalder. I en del av de eldre bestandene kunne vi med ganske stor sikkerhet fastslå hogsttidspunktet ut fra flybilder, opplysninger i tidligere takster og fra tidligere skogbestyrer Hans Sjulstad. Differansen mellom  $T_{ts}$ , som er den sikreste totalaldren og  $T_{tm}$  som er basert på målt brysthøydealder er plottet i mot  $T_{ts}$  i Figur 3. I gjennomsnitt var  $T_{tm}$  64 år mot 57 år for  $T_{ts}$ , men som det fremgår av figuren skyldes differansen et par bestand med svært store avvik. Endelig har vi differansen mellom  $T_{ts}$  og  $T_{tp}$  som er vist i Figur 4. I gjennomsnitt var  $T_{tp}$  var 66 år, mot 57 år for  $T_{ts}$ . Også disse avvikene så ut til å øke med økende alder.

Tabell 1. Resultater for hvert bestand, og middelveier for hver hogstklasse. Hoh er høyde over havet, Hkl er hogstklasse, trær er antall overhøydeetrær som er målt i 2009 og 2014, Tt er totalalder etter plan, T13 er målt brysthøydealder (middel av to trær i hvert bestand T13<sub>m</sub>), H\_09 er aritmetisk middel av overhøydeetrær våren 2009, H\_14 er tilsvarende for høsten 2014, TH40\_09 er bonitet fra planting til 2009 beregnet ved bruk av brysthøydealder, overhøyde og Tveite sin funksjon. TH40\_14 er bonitet beregnet ved bruk av overhøydene våren 2009 og høsten 2014 og tilvekstperiodens lengde.

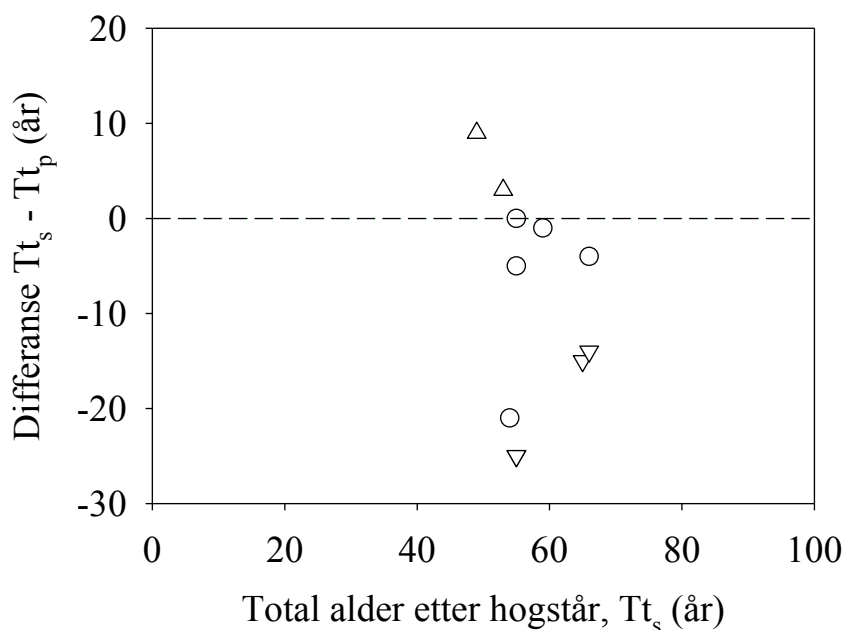
Bestand	hoh	Hkl	Trær	Tt	T13	H_09	H_14	Bon	TH40_09	TH40_14
5038	285	III	1133	25	16	9.6	13.1	20	31.2	22.7
4931.2	248	III	672	28	30	13.4	17.2	20	20.1	25.4
4956	374	III	305	30	29	11.4	14.9	14	17.4	23.3
4961.1	400	III	558	30	30	11.4	14.4	14	16.9	20.9
4893	394	III	894	40	34	12.8	15.7	14	17.0	21.2
5030	373	III	426	50	42	16.5	20.1	17	18.0	25.7
<b>Middel Hkl III</b>				<b>34</b>	<b>30</b>	<b>12.5</b>	<b>15.9</b>	<b>17</b>	<b>20.1</b>	<b>23.2</b>
5025	396	IV	479	55	50	19.4	22.1	17	18.4	23.3
4264	432	IV	353	60	43	17.2	20.2	14	18.3	23.8
4951	357	IV	787	60	62	20.1	22.9	17	16.4	24.1
4934	268	IV	221	65	42	21.5	24.5	17	23.5	25.9
4870	455	IV	287	70	58	20.2	22.7	14	17.3	23.0
4969	362	IV	288	75	46	22.5	26.0	17	22.7	29.3
<b>Middel Hkl IV</b>				<b>60</b>	<b>47</b>	<b>20.2</b>	<b>23.1</b>	<b>16</b>	<b>19.4</b>	<b>24.9</b>
4978	334	V	288	70	45	23.4	27.4	20	24.2	32.7
4266	415	V	461	80	60	23.4	25.9	17	19.7	24.5
4935	275	V	265	80	54	24.8	27.2	17	22.5	25.4
5017	435	V	270	80	55	20.7	23.2	17	18.3	23.3
5019	458	V	279	80	58	21.8	24.2	17	18.8	23.1
5032.1	357	V	450	80	83	22.4	24.4	17	15.1	21.7
<b>Middel Hkl V</b>				<b>76</b>	<b>57</b>	<b>22.7</b>	<b>25.4</b>	<b>18</b>	<b>19.8</b>	<b>25.1</b>
<b>Middel</b>	<b>368</b>			<b>58</b>	<b>46</b>	<b>18.3</b>	<b>21.2</b>	<b>17</b>	<b>19.8</b>	<b>24.4</b>



Figur 4. Differansen mellom bestandsalder oppgitt i skogbruksplan ( $TT_p$ ) og totalalder ( $T_{tm}$ ) beregnet fra brysthøydealder etter Tveite (1977) målt på to trær i hvert bestand i forhold til førstnevnte i atten bestand. Oppovervendte triangler er Hkl III, sirkler er Hkl IV og nedovervendte triangler er Hkl V.



Figur 5. Differansen mellom bestandsalder der hogsttidspunktet var rimelig sikkert kjent ( $TT_s$ ) og totalalder ( $T_{tm}$ ) beregnet fra brysthøydealder etter Tveite (1977) målt på to trær i hvert bestand i forhold til førstnevnte i atten bestand. Oppovervendte triangler er Hkl III, sirkler er Hkl IV og nedovervendte triangler er Hkl V.



Figur 6. Differansen mellom bestandsalder der hogsttidspunktet var rimelig sikkert kjent ( $Tt_s$ ) og totalalder ( $Tt_p$ ) hentet fra skogbruksplan. Oppovervendte triangler er Hkl III, sirkler er Hkl IV og nedovervendte triangler er Hkl V.

Der var dermed betydelige systematiske avvik oppover for  $Tt_p$  og  $Tt_m$  i forhold til  $Tt_s$  som vi må anta at er den sikreste alderen. Hvis vi ser på aldersvariasjonen mellom bestand for disse tre totalalderne, så var standardavvikene 5,7, 12,5 og 14,1 år for henholdsvis  $Tt_s$ ,  $Tt_m$  og  $Tt_p$  (elleve bestand). Hvilket betyr at den sikreste aldersbestemmelsen også hadde minst variasjon mellom bestand.

Tabell 2. Middeltall for beregnet H40 bonitet som i Tabell 1, samt totalalder anslått etter tre forskjellige metoder;  $Tt_s$  som antas å være sann alder,  $Tt_p$  som er alder etter skogbruksplan, og  $Tt_m$  som er totalalder anslått fra boret brysthøydealder i bestand med innslag av naturlig foryngelse blant plantene og i rent plantede bestand.

Opphav	Antall	TH40_09	TH40_14	Differanse	$Tt_s$	$Tt_p$	$Tt_m$
Blanda	4	18.4	23.9	5.49	58.5	75.0	74.6
Planta	7	18.6	24.2	5.65	56.9	61.4	58.0



## 3.3 Vurdering av feilkilder

### 3.3.1 Underestimering av trehøyde med laser

Feil på høydemålingene med laser har påvirket resultatene noe. Lasermålte trehøyder ligger noe under virkelige høyder, og det fører til en systematisk underestimering av bonitetet fra bestandets fødsel og fram til i dag. Vi har her brukt felldata fra en registrering som ble gjort i Larvik våren 2015, og innenfor det samme område for laserskanning som ble gjort i Lardal. En underestimering av trehøyder har liten betydning for bonitetsverdien i 6-årsperioden 2009 – 2015, dersom vi forutsetter at underestimeringen er like stor på begge tidspunkter. Samlet sett vil dette føre til at den beregnede økning i bonitet over tid er noe mindre enn resultatene tilsier. Dersom det er forskjeller mellom 2009 og 2014 i laserens penetrering ned i kronetaket, så vil det kunne gi en systematisk feil på boniteringen i 6-årsperioden. Fra selskapet FORAN Remote Sensing har vi fått oppgitt at det ikke skal være slike feil i datasettet. De har imidlertid oppgitt at sensoren var noe feilinnstilt i 2014, og at det førte til en noe mer usikker DTM, og man bør derfor vurdere dette nærmere i en eventuell videre studie.

Laserhøydene var omkring 50 cm lavere enn feltmålte trehøyder. Ettersom vi ikke hadde posisjon på de feltmålte trærne så kunne vi ikke sammenlikne høyder for enkeltrær. Vi så i stedet på 2 aggregerte høydeuttrykk for prøveflater på 250 m<sup>2</sup>. Det var grunnflateveiet middelhøyde,  $H_g$ , og maksimum høyde,  $H_{max}$ . Høydemålingene i felt var gjort på prøvetrær tatt ut med relaskop, og gjennomsnittet av trehøyder på et slikt utvalg av trær skal gi  $H_g$ , og dette er en størrelse som også lot seg beregne ut fra lasermålte høyder. Grunnflateveiet middelhøyde,  $H_g$ , var i gjennomsnitt 42 cm lavere for laser enn for feltmålt (Fig. 4). Det var enkelte uteliggere i datasettet hvor laserhøydene lå mye høyere enn feltmålte høyder, og det skyldes trolig hogst eller snø-/vindskader mellom tidspunktet for laserskanningen og tidspunktet for feltmålingene, dvs. gjennom vinteren 2014-15. Ved å ta ut 3 prøveflater med mer enn 5 m forskjell, ble høydeforskjellen noe større, dvs. i gjennomsnitt 52 cm. En underestimering på omkring 0.5 m ble også funnet i en studie i Norge (Solberg et al. 2006). For maksimum trehøyde var det omvendt, - den var 63 cm høyere med laser enn i felldata. Dette skyldes trolig to forhold, og det står ikke i motsetning til resultatet for grunnflateveiet middelhøyde. For det første har alle trær en høydemåling med laser, mens bare et utvalg har feltmålt høyde. Det medfører at ikke alle de høyeste trærne er målt i felt, sjøl om prøvetrærne ble plukket ut med relaskop. I tillegg er det en større tilfeldig feil på høyder målt med laser, og en tilfeldig feil vil føre til en økning i variabelen maksimumshøyde målt med laser.

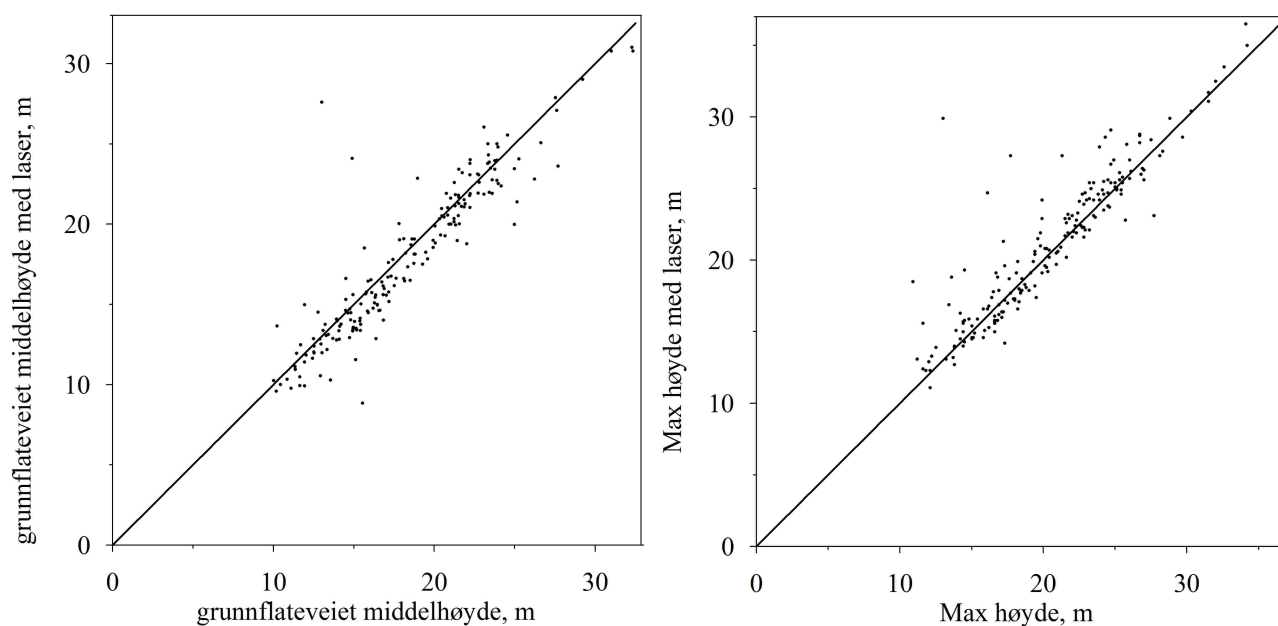


Fig. 7. Sammenlikning av feltmålte og lasermålte trehøyde på 250 m<sup>2</sup> store prøveflater. Grunnflateveiet middelhøyde (venstre) og max høyde (høyre). Korrelasjonskoeffisientene var henholdsvis  $r=0.92$  og  $r=0.91$ .

### 3.3.2 Forskjell i laserskanningenes penetrering

Mulige forskjeller i laserskanningens tekniske egenskaper ser ikke ut til å ha påvirket resultatene. Vi har undersøkt dette på 4 av landsskogtakseringens felt i Lardal. Det var felt nr c05108, c05107, c05104 og c05101. Vi valgte her ut grantrær som hadde nesten identiske koordinater i landsskogtakseringen og i lasertaksten. Dette ble 25 trær. I gjennomsnitt var forskjellen i høydevekst 28 cm, dvs laser-høydeveksten var 28 cm høyere når vi utelukket 2 trær som hadde negativ høydevekst i laser- eller feltdataene. I gjennomsnitt var høydeveksten med laser 1,9 m og høydeveksten med feltmåling var 1,6 m. Hvis vi regner dette om til årlig vekst, og regner 6 vekstsesonger mellom laseropptakene og 5 vekstsesonger mellom feltmålingene, så får vi samme årlige høydevekst (32 cm) både med laser- og feltmålinger for disse trærne. Dette kan undersøkes nærmere med flere trær i et større prosjekt. Det var en noe svak sammenheng mellom høydevekst på enkeltrær (Fig. 8), men det skyldes tilfeldige målefeil som alltid vil forekomme.

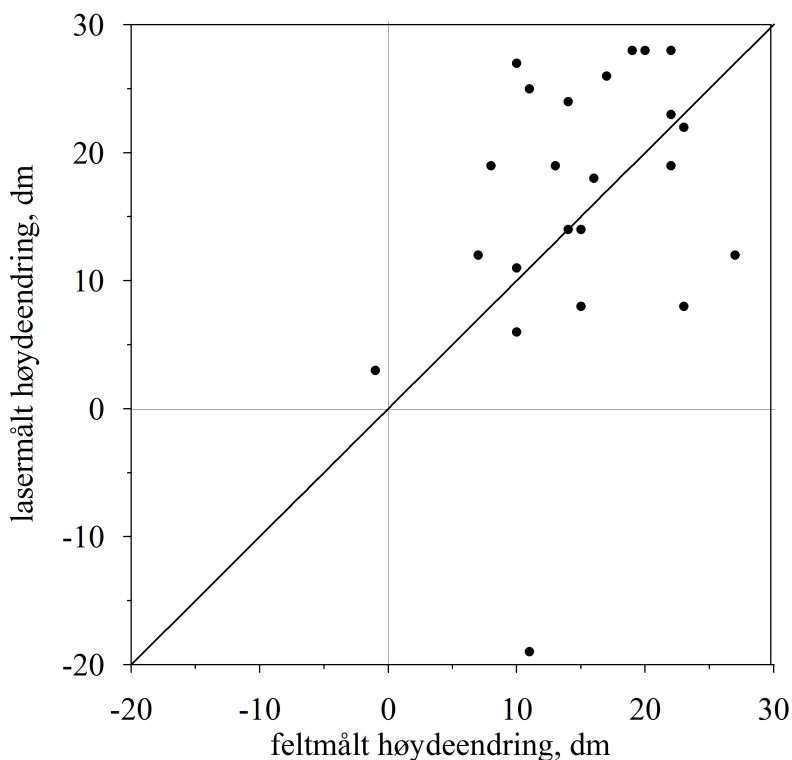


Fig. 8. Lasermålt høydeendring plottet mot feltmålt høydeendring. To av trærne hadde en negativ tilvekstverdi, og det skyldes målefeil.

### 3.3.3 Feilkobling av trær 2009 – 2014

Feil kobling av enkeltrær fra 2009 mot enkeltrær fra 2014 har hatt ubetydelig innvirkning på resultatene. Som nevnt over var det en gjennomsnittlig høydeforskjell på 2,5 m mellom 2014 og 2009, - målt med laser. En del av disse høydeforskjellene skyldes feilkobling mellom enkelttre-segmenter. Denne koblingen ble gjort automatisk med en såkalt spatial join. Noen urimelige verdier skyldes også tilfeldige feil på lasermålingene. Minste verdi var -8,5 m og høyeste verdi var 23,6 m. De aller fleste trærne (94%) hadde høydeendring mellom 0 og 5m (Fig. 6). Vi har i denne studien ikke forkastet noen data, slik at åpenbart feilkoblede trær er med. Dette har imidlertid liten betydning for resultatene, fordi slike feil representerer en tilfeldig feil og ikke en systematisk feil. Det betyr at disse feilene går i begge retninger, og slike tilfeldige feil vil derfor oppveie hverandre i det store resultatbildet. Vi ser også av hovedresultatene i tabell 1 at resultatene for de ulike bestandene er ganske like, og det tyder på at vi ikke har fått noen ekstreme utslag av slike feilkoblinger.

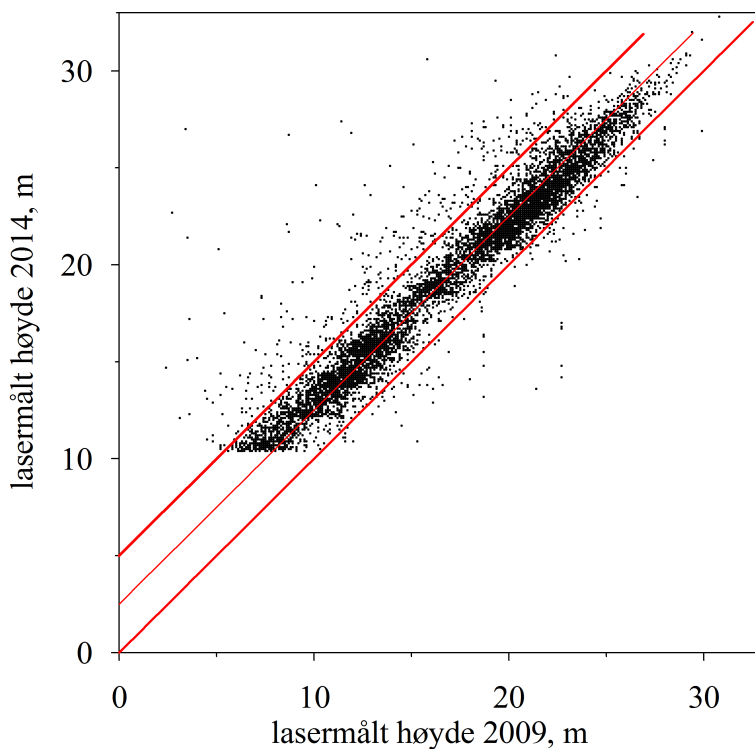


Fig. 9. Lasermålte trehøyder i 2014 plottet mot lasermålte trehøyder i 2009. Merk at i 2014 er det ikke gitt høyder under 10 m. De røde linjene angir et område som inneholdt 94% av trærne, og er gitt ved en høydevekst på 0 m og 5 m, samt 2,5 m som var gjennomsnittet.

### 3.3.4 Er 6 år for kort periode til å si noe om langtidsutvikling?

En tilvekstperiode på seks år, fra 2009-2014, er for kort tid til å si om den økte høydeveksten representerer en varig heving av produksjonsevnen eller bare er et periodisk fenomen på grunn av gunstige klimaforhold, selv om økningen var konsistent i 17 av 18 undersøkte bestand.

## 4 DISKUSJON

Resultatene viser at bonitering ved bruk av lasermålte høyder av enkeltrær er mulig og gir ganske godt samsvar med boniteten i skogbruksplanen, selv om skogbruksplanen gir betydelig lavere bonitets verdier i dette tilfellet. Den aldersuavhengige boniteringen for perioden 2009 til 2014 gir mye høyere verdier enn for perioden fra planting til 2009. Dette er i samsvar med hva vi fant i grantørkeprosjektet i Vestfold (Solberg et al. 2013), der det var en klar økning i H40 de siste femten årene i data fra NIBIO sine produksjonsflater i lavereliggende skog på Østlandet. På disse flatene er overhøydene målt med svært liten feil, slik at vi kan gå ut fra at der har vært en reell økning i høydeveksten sammenlignet med Tveites H40-system og med de data han bygget på. Vi ser også at Tabell 1 at økningen er om lag like stor i alle tre hogstklasser. Dette taler igjen for at økningen er reell og ikke skyldes at Tveites modell eventuelt predikerte feil høyder i noen alders- og bonitetsgrupper. At også Nord Larsen (2009) sin modell viste en økning i H50 fra 2009 til 2014 underbygger også at der har vært en økning i høyde-boniteten. Om den høye tilveksten i perioden 2009 til 2014 er en varig endring i produksjonsevnen så vil det ha stor betydning for skogbruksplanleggingen, skogbruket og grunnlaget for skogbasert industri: Produksjonsevnen for G19,8 er 9,6 kubikkmeter per hektar og år, for G24,4 er den 13,7. Det vil si ca førti prosent økning i produksjonsevnen. I forhold til boniteten fastsatt i skogbruksplanen er det snakk om en dobling.

Målingen her bygger på et stort antall overhøydetrær i atten bestand. Selv om avvikene på høydetilveksten i noen tilfeller kan være svært stor og variasjonskoeffesientene for overhøydene innen bestand varierte fra ca 6 til over 25 prosentpoeng, så ser det ut til at når boniteten beregnes på grunnlag av gjennomsnittsverdiene for overhøydetrænes høyde og deres tilvekst så blir resultatet rimelig bra. Vi har ikke undersøkt hvordan målefeilen på høydene er relatert til topografien i det enkelte bestand. Vi har heller ikke undersøkt den romlige fordelingen av overhøydetrærne. Men laserskanning av enkeltrær vil det være mulig å stratifisere bestandet på grunnlag av terrengmodellen, eller legge ut et rutenett før overhøydetrærne plukkes ut slik at en er sikker på at hele bestandet er representert. Derved vil et helt objektiv og representativt utvalg av overhøydetrær som en sjelden vil greie å få til ved vanlige takster uten omfattende feltarbeid med et større antall tilfeldig utlagte prøveflater.

Den tilfeldige feilen på selve høydemålingene er selvsagt en viktig feilkilde ved all bonitering. Men bestandsalderen er en minst like viktig feilkilde, spesielt i unge bestand (Tveite 1977). I Norge har det vært vanlig å bruke brysthøydealder til bonitering fordi vi har hatt mye gammel skog som er oppkommet etter naturlig foryngelse og som sjelden er helt ensaldret. Boring av to trær i hvert bestand må vel karakteriseres som et absolutt minimum for å bestemme brysthøydealder. Avvikene mellom totalalder beregnet fra boring og skogbruksplanens alder så ut til å øke med alderen. Årsaken kan være at alderen i skogbruksplanen i en del tilfeller er fastsatt på grunnlag av overhøyde og bonitet. Hvis boniteten blir satt noe lavt vil alderen bli høyere enn den egentlig er. Fritzø Skoger er nok blant de skogeiendommene som har best informasjon om hogst og etablering av nye bestand over lang tid. I noen tilfeller var det vanskelig å bestemme hogståret sikkert fordi bestandet så ut til å være hogd over flere år. Derved blir totalalderen også usikker og vanskelig å bruke til bonitering.

Men i de eldre bestandene hvor tidligere skogbestyrer kunne sikkert bestemme hogståret og plantetidspunkt, viste totalalderen mindre variasjon mellom bestand enn alder fastsatt ved boring eller ved bruk av høyde og bonitet. Dette viser at sikker informasjon om hogst- og plantetidspunkt kan ha betydelig verdi for bonitering og derved for planleggingen. Dessuten var alderen i skogbruksplanen nesten ti år høyere enn hva vi må anta at var reell alder. Vi er ikke sikre på opphavet til dette, men en mulig forklaring er, som nevnt ovenfor, at alderen har blitt estimert på grunnlag av målt overhøyde og en bonitet som er justert noe nedover. Totalalder beregnet på grunnlag av brysthøydealder gav også høyere verdier enn den «sanne» alderen. Årsaken til dette er trolig at selv om dette er plantet skog hadde noen bestand hatt endel forhåndsgjenvækst og overstandere. Slike trær vil tendere til ha større diameter enn plantede trær ved et gitt tidspunkt etter hogst, og vil derfor ha større sannsynlighet for å bli plukket ut som overhøyde trær i en senere taksering. Selv om de er eldre enn resten av bestandet vil høyden jevnes ut både fordi høydeveksten avtar med alderen. Boniteten vil tendere til å bli satt for lavt hvis den bygger på slik forhåndsgjenvækst som er noe eldre enn selve plantingene.

Brysthøydealder er også brukt i de nye høydefunksjonene til (Sharma et al. 2011). Selv i plantede bestand der totalalderen er helt sikkert kjent og har ingen variasjon, vil brysthøydealderen kunne variere en hel del på grunn av ulike vekstvilkår. Presis fastsetting av brysthøydealderen vil derfor kreve boring av flere trær noe som er ganske arbeidskrevende når det må gjøres i mange bestand. Med aldersuavhengig bonitering basert på lasermålte høyder målt ved to tidspunkt med tilstrekkelig lang tilvekstperiode i mellom, kan dette feltarbeidet unngås samtidig som en kan få god arealrepresentativitet.

Når vi her har vist at det er mulig å beregne boniteten med bruk av lasermålte høyder på to tidspunkt uten å kjenne brysthøydealderen, er det på tide å utvikle nye høydefunksjoner som har totalalder som inngang. Disse må bruke data utelukkende fra ensaldrede bestand som har vært fri for undertrykking i ungdomen og har sikkert kjent totalalderen. NIBIO og Skogfrøverket har et meget stort antall forsøksfelt med god geografisk spredning som er egnet til dette. Ved utvikling av nye funksjoner for eksempel basert på Cieszewskies & Bailey (2000) sitt Generalized Algebraic Difference Approach (GADA), bør det også legges vekt på å velge funksjoner som kan løses analytisk for aldersfri bonitering. Dette fordi analytiske løsninger gir mye raskere beregninger av boniteten enn numeriske løsninger, noe som er av betydning når det er snakk om hundretusener, ja millioner av trær.

Dersom det i skogsertifiseringen også stilles krav til dokumentasjon av tidspunkt for foryngelse vil en i framtida kunne beregne boniteten nøyaktig også i ung skog ved bruk av laserskanning av enkeltrær basert på en høyde og sann totalalder, uten å måtte måle brysthøydealder i felt.

Når det gjelder årsakene til at H40 er så mye høyere etter 2009 enn fra planting til 2009 så kan vi ikke si noe sikkert om dette, men noen faktorer kan langt på vei utelukkes. Disse bestandene er plantet, de er ryddet og godt skjøttet. Undertrykking i ungdommen må kan umulig ha stor betydning. Dette i sterk motsetning til hva som er tilfelle i nesten all gammel naturlig foryngt skog, noe som kan underbygges med høyde- og høydetilvekstdata fra den første Landstaksten i Vestfold og andre fylker i 1920 årene. Dette er også drøftet av (Sharma et al. 2012), som har påvist

at gammel skog boniteres til mye lavere verdier enn ung skog som har tilsvarende vekstvilkår. Det er heller neppe store utslag av at Tveite sine funksjoner skulle være feil for eldre skog. For de bonitetsklassene og høydene det er tale om her hadde han god dekning i data og høydeveksten i hans modeller ser ut til å være vel så utholdende som i Nord Larsen (2009) sine modeller for danske plantninger. Dette innebærer at vi bør se etter reelle endringer i vekstvilkårene. Klimadata fra Blindern viser at den frostfrie perioden har blitt betydelig lengre fra om lag 1995 og til nå. Høstene har blitt varmere, mens junitemperaturen ikke har økt. Det ser også ut til å ha blitt noe mer nedbør, slik at forsommertørken kanskje er et mindre problem enn det var. Forholdet mellom nedbør og temperatur har stor betydning for granas vekst. Mork (1941) utviklet en metode for å gjøre ekstremt nøyaktige målinger av strekningsveksten og påviste at der det var god vanntilgang økte den sterkt og linært med temperaturen til over 26 °C, målt de seks varmeste timene om dagen (Mork 1960). Der vanntilgangen var dårligere flatet strekningsveksten av alt ved ca 20 °C. Jarle Bergan (1994) som brukte samme metode og temperaturdefinisjon viste at strekningsveksten i gran fra Rana som vokste i veksthus i indre Troms hadde en optimumstemperatur på 33 grader. Økningen i CO<sub>2</sub> konsentrasjonen i atmosfæren samvirker med vanntilgangen ved at trærne kan få mer effektiv vannhusholdning (Saurer et al. 2004). I tillegg kommer det at C<sub>3</sub> planter, som gran, bjørk og furu er, blir mer effektive til å fiksere CO<sub>2</sub> når konsentrasjonen øker fordi fotorespirasjonen undertrykkes (Zu et al. 2008). Endelig har vi endringer i nedbørkjemien, der det tidligere er påvist store effekter av økt nitrogendeposisjon (Solberg et al. 2004; 2009).

Om klimaet som har vært gjeldene siste ti femten årene fortsetter, kan vi regne med at tilveksten vil holde seg på et høyere nivå enn før. Men i Sitkagran er det påvist at kosmisk stråling påvirker skydekket som igjen påvirker tilveksten ved at det blir mer diffust lys i skyet vær som gjør at de dypere delene av krona får mer lys (Drengel et al. 2009). Dette kan gjøre at tilveksten er høy i perioder for så å falle igjen. Det er selvsagt umulig å beregne hvor mye hver og en av disse faktorene betyr med bare en tilvekstperiode. Men ved å måle høydeveksten innen hvert år innen tre i ensaldrede bestand med kjent opphav, og standardisere denne til en bonitetsverdi som vist her, vil det ved bruk av standard regresjonsmodeller og gode data for klima- og N-deposisjon, la seg gjøre å estimere hvor mye disse kjente faktorene har å si for høydeveksten.

Hva er så veien videre for forskning og skogforvaltning basert på disse resultatene? Resultatene er lovende med tanke på bruk av aldersfri bonitering, og særlig å basere dette på enkelttre-laser. Dette var et pilotprosjekt, og det vil være naturlig å gå noe dypere inn i dette i et større prosjekt. Av særlig stor verdi vil det være å supplere dette med en nærmere undersøkelse av årlig høydevekst på enkelt-trær, dvs å framskaffe tidsserier av høydevekstdata. Dette kan gjøres ved å splitte trær etter margin og identifisere stedene i marginen hvor det har vært overvintrede topp-knopper, - såkalte nodale diafragma. Slike tidsserier vil dels kunne underbygge at det er utviklingstrender i bonitet, samt identifisere årsakene ved korrelative studier. Videre, vil en betydelig bonitets-økning, som resultatene som tyder på, ha potensielt store konsekvenser for langsiktig planlegging i skogbruket, - inkludert skalering av driftsapparatet og skogindustrien.

## 5 KONKLUSJONER

Det er mulig å bonitere på grunnlag av lasermålte høyder av enkeltrær på to tidspunkt.

Lasermåling av enkeltrær vil gi objektive data med god arealrepresentativitet.

Norske høydefunksjoner har brysthøydealder som inngang. Dette er en ulempe ved bonitering i plantede bestand fordi totalalderen der er sikkert kjent, mens brysthøydealderen enten må anslås eller finnes ved boring og det er kostbart når store områder skal takseres.

Det må utvikles nye høydefunksjoner som har totalalder som inngang og som bare bygger på data fra plantet velskjøttet skog.

Resultatene underbygger også hypotesen i Grantørkeprosjektet; høydeveksten er bedre enn før.

Fordi økningen i høydevekst ser ut til å være så stor, bør årsakene undersøkes grundig slik at vi har bedre grunnlag for å vurdere om dette er varig og hva framtida vil bringe hvis klimaet endres enda mer. Dette krever at det skaffes lange tidsserier med årlige høydevekstdata slik at vi kan beregne effektene av klimaendringer, CO<sub>2</sub>-økning og nitrogendeposisjon.



# LITTERATURREFERANSER

- Bergan, J. 1994. Temperaturenens betydning for veksttid, vekstrytme, streknings- og årringveskt hos Norsk Gran (*Picea abies*) utplantet i Troms. I: Bergan. Red. Faglige emner innen primærproduksjonen i skogbruket i Nord-Norge. Norsk Institutt for Skogforskning.
- Cieszewski, C., Bailey RL. 2000. Generalized algebraic difference approach; theory based derivation of dynamic site index equations with polymorphism and variable asymptotes. *For. Sci.* 46: 116-126.
- Drengel, S., Aeby, D., Grace, J. 2009. Relationship between galactic cosmic radiation and tree rings. *New Phytologist*. 184: 545–551.
- Mork, E. 1941. Om sambandet mellom temperature og vekst. (Über den Zusammenhang zwischen Temperatur und Wachstum.) *Meddr norske Skogfors Ves.* 8(1): 1-89.
- Mork, E. 1960 Om sambandet mellom temperatur, toppskuddtilvekst og årringenes forvedning hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.). (On the relationship between temperature, leading shoot, increment and the growth and lignification of the annual ring in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Medr norske Skogfors Ves.* 16(4) 225-333.
- Saurer, M., Siegwolf, RG., Schweingruber, FH. 2004. Carbon isotope discrimination indicates improving water-use efficiency of trees in northern Eurasia over the last 100 years. *Global Change Biology*. 10: 2109-2120.
- Sharma, RP. Brunner A., Eid, T., Øyen, BH. 2011. Modelling dominant height growth from national forest inventory individual tree data with short time series and large errors. *For. Ecol. Manag.* 262: 2162-2175.
- Sharma, RP. Brunner A., Eid, T. 2012. Site index prediction from site and climate variables for Norway spruce and Scots pine in Norway. *Scand. J. For. Res.* 1-18.
- Solberg, S., Andreassen, K., Anton, C., Børja, I., Cermak, J., Dalsgård, L., Eklundh, L., Garcia, M., Gessler, A., Godbold, D., Hentschel, R., Kayler, Z., Madsen, P., Nadezhdina, N., Rosner, S., Svetlik, J., Tollefsrud, M.M., Tveito, O.E., Øyen, B.H. 2013. Grantørkeprosjektet. Sluttrapport. Rapport fra Skog og landskap 22/2013: 1-27.
- Solberg, S, Andreassen, K., Clarke, N., Tørseth, K., Tveito, O.E., Strand, G.H. & Tomter, S. 2004. The possible influence of nitrogen and acid deposition on forest growth in Norway. *Forest Ecology and Management*. 192: 241-249.
- Solberg, S., Næsset, E. & Bollandsås, O.M. 2006. Single-tree segmentation using airborne laser scanner data in a structurally heterogeneous spruce forest. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 72: 1369-1378.
- Solberg, S., Dobbertin, M., Reinds, G.J., Lange, H., Andreassen, K., Garcia Fernandez, P., Hildingsson, A., & deVries, W. 2009. Analyses of the impact of changes in atmospheric

deposition and climate on forest growth in European monitoring plots: A stand growth approach. *Forest Ecology and Management*, 258: 1735–1750.

Tveite, B. 1977. Bonitetskurver for gran. (Site index curves for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)). *Medd. Norsk Inst. Skogforsk.* 33.1 1-84.

Zhu, XG., Long, SP, Ort, DR. 2008. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? *Current Opinion in Biotechnology.* 19:153–159

# ETTERORD

Vi takker FMLA-Vestfold for finansieringen av prosjektet. Videre takker vi for bistand i arbeidet fra Fritzøe skoger, fra tidligere skogbestyrer i Fritzøe skoger Hans Sjulstad, fra Foran Remote Sensing, og fra ingeniør Erik Sørensen, NIBIO.

[Sett inn tekst]

Nøkkelord:	Skog, bonitet, laser, flybåren laserskanning, alder
Key words:	Forestry, site index, laser, airborne laser scanning, age
Andre aktuelle publikasjoner fra prosjekt:	

# TEKNISKE RETNINGSLINJER FOR NIBIOS PUBLIKASJONER

## Forkortelser, nomenklatur, enheter m.m.

Forkortelser skal forklares samtidig med at de brukes første gangen. Det brukes bare SI-enheter og forkortelser for disse. N, P, K etc. for grunnstoffer,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{32}\text{P}$  etc. for isotoper,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  etc. for ioner, N og M i kursiv for normal og molar konsentrasjon. Vitenskapelige art- og slektsnavn (f. eks. *Phleum pratense*) skrives i kursiv, andre taksonomiske nivåer skal ikke kursiveres. Dersom autornavnet legges til, skal dette ikke skrives i kursiv (f. eks. *Fragaria muricata* Miller). Følg for øvrig International Code of Botanical Nomenclature, International Code of Zoological Nomenclature og International Code of Nomenclature of Bacteria. Kommersielle produkter som er brukt i undersøkelsen skal ha formell referanse. Ang. forkortelser anbefales Språkrådet.

Mengdeangivelser per enhet angis som for eksempel kg/daa i norskspråklige artikler.

I norskspråklige artikler brukes komma som desimaltegn.

## Tabeller

1. Unngå tabeller som ikke følger skriftretningen.
2. I teksten skal henvising til tabell skrives med arabiske tegn (Tabell 1, Figur 1).
3. Det skal være en kort og selvforklarende tekst over den enkelte tabell. Nødvendige forklaringer for å forstå tabellen skal gis som fotnote under tabellen.
4. Desimaler i tabeller skrives i henhold til språkform. Høyrestill sifrene i kolonnene.
5. Lag tabellene med tabellfunksjon i Word (ikke tabulator).
6. Tabellen skal ha strek over og under tabellhodet og en avsluttende strek.
7. Tabeller bør fylle skrivebredden eller ha en bredde som gir god plass til tekst ved siden av tabellen.

Tabell: NIBIO venstre justert tabell – tabellstil

asdfasd	Venstre justert	Venstre justert	Venstre justert	Venstre justert
asdfasdf	asdfasd	asdfasd	asdfasd	asdfasdf
asdfasdf	asdfasdf	asdfasdf	asdfasfd	asdfasdf
Sdfasd	asdf	asdf	asdf	asdf

Tabell: NIBIO høyre justert tabell for tall – tabellstil

asdfasd	Midtstilt tekst	Midtstilt tekst	Midtstilt tekst	Midtstilt tekst
asdfasdf	1234	1234	1234	1234
asdfasdf	1234	1234	1234	1234
Sdfasd	1234	1234	1234	1234

Figur er (bilder, grafer, diagrammer, tegninger og andre illustrasjoner)

1. Figurer, bilder, tegninger og lignende skal være tydelige og ha god kontrast.
2. Teksten skal stå under figuren. For øvrig gjelder punkt 2, 3, 4 og 7 under Tabeller

Referanser i tekst og referanseliste

1. All litteratur som er sitert i teksten skal gjengis under Referanser.
2. I teksten refereres det til forfatter(e) (uten initialer) og år for publikasjonen. Hvis referansen er skrevet av flere enn to personer, brukes førsteforfatterens navn fulgt av «et al.» i kursiv, «m.fl.» på norsk. Når det refereres til flere forfattere samtidig, refereres det etter stigende årstall (kronologisk). Publikasjoner fra samme forfatter(e) samme år, angis med 2002a, 2002a,b etc.

Når det ikke er angitt forfatter nyttes Anonymous (Anon). Når det refereres til ikke publiserte, men antatte manus, nyttes under trykking/in press. Upublisert kunnskap refereres til som personlig kommunikasjon/«personal communication».

Eksempler:

..... Norderhaug (2001), Klingen et al. (2001) eller Klingen m.fl. (2001), Bergjord & Hermansen (2001), ..... (Vangdal & Børve 2001), ..... (Norderhaug 2001, Rosef 2001, Sickel et al. 2001), ..... (Lunnan 2000, 2001, 2002), .... (Sekse 2001a,b), Nesheim, L. pers. kommunikasjon, Stensvand, A. upubl. Data

3. Referanselisten settes opp i alfabetisk og kronologisk rekkefølge. For en og samme forfatter ordnes publikasjonene i rekkefølge slik at eneforfatterskap kommer først, deretter publikasjoner med vedkommende som førsteforfatter og en eller flere medforfattere.

Eksempler:

Standard artikkel i en journal/periodika

- Monni, S., Uhlig, C., Hansen, E. & Magel, E. 2001. Ecophysiological responses of *Empetrum nigrum* to heavy metals pollution. *Environmental Pollution* 112:121-129.

- Lunnan, T. & Nesheim, L. 2002. Response to different nitrogen application patterns on grassland in a two-cut system. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B, Soil & Plant Science* 52(1):1-7.

Artikkel i supplement til en journal

- Grylls, N.E. & Waterford, C.J. 1976. Transmission of the causal agent of clover striate mosaic disease by insect injection and membrane feeding. *Australian Plant Pathological Society Newsletter* 5 (suppl. 1):89.

### On-line journal

- Klingen, I. 2001. Nyttessopp mot skadeinsekter. Ny viten. [www.viten.com/nyviten/klingen.htm](http://www.viten.com/nyviten/klingen.htm)
- Gibbs, M.J., Ziegler, A., Robinson, D.J., Waterhouse P.M. & Cooper, J.I. 1996. Carrot mottle mimic virus (CmoMV): a second umbravirus associated with carrot motley dwarf disease recognized by nucleic acid hybridization. Molecular Plant Pathology On-line (<http://www.bspp.org.uk/mppol>) 1996/1111gibbs.

### Bok

- Thomas, B. & Vince-Prue, D. 1997. Photoperiodism in plants (second edition), 428 pp. Academic Press, San Diego, California, USA.

### Kapittel i bok

- Fageria, N.K. 1990. Iron requirement of cereals and legumes in solution culture. *In*: van Beusichem, M.L. (ed.), Plant Nutrition-Physiology and Applications, pp. 213-217. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Baker, J. 1993. Insects. *In*: de Hertogh, A. & Le Nard, M. (eds.). The Physiology of Flower Bulbs, pp. 101-153. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

### Publikasjoner i proceedings

- Bonesmo, H., Belanger, G. & Charmeley, E. 2002. Timothy Growth and Nutritive Value by the CATIMO model. *In*: Durand, J.-L. et al. (eds). Multi-function grasslands - Quality Forages, Animal Products and Landscapes, Grassland Science in Europe 7:280-281. Proceedings of 19<sup>th</sup> General meeting, EGF, La Rochelle, France, 27-30 May 2002.
- Johansen, A. & Todnem, J. 2002. Effects of cattle and sheep slurry on grass silage quality. The XIIIth international Silage conference, Scotland 11-14 September 2002. Abstract.

### Doktoravhandling

- Bakken, A.K. 1992. The influence of photoperiod on nitrate assimilation and nitrogen status in timothy (*Phleum pratense* L.). Dr. scient. thesis, 96 pp. Department of Botany, Faculty of Science, University of Trondheim, Norway.

### Aviser, blader

- Almås, R. 2002. Mordet på småbonden. Adresseavisen 2002(220):14.
- Bonesmo, H. 2001. Informasjonslandbruket. Trønder-Avisa 2001(220):2.

### Offentlige publikasjoner

- Miljøverndepartementet. 2001. Biologisk mangfold – Sektoransvar og samordning. St.meld.nr. 42, 220 s.

- Det kongelige landbruksdepartement. 1999. Spesielle tiltak i landbrukets kulturlandskap med freda og verneverdige bygningar. Forskrift av 26. februar 1999, med kommentarer, 21 s.

4. For tidsskrifter som det refereres til, kan enten hele navnet på tidsskriftet eller forkortelser brukes.

5. Bruk p. og pp. for sidetall i engelske henvisninger og s. for sider i norske henvisninger

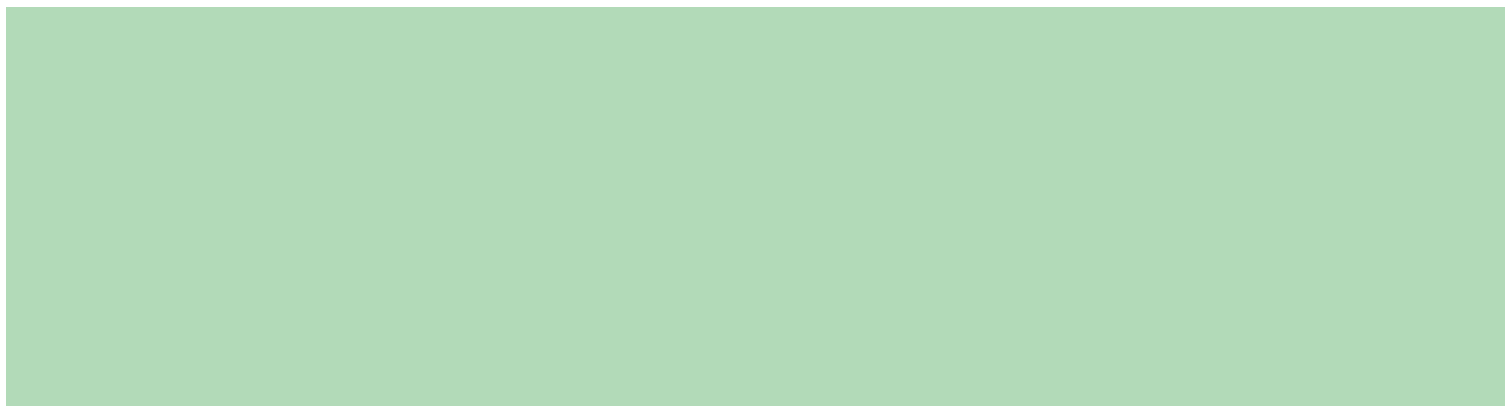
OBS – disse sidene «Tekniske retningslinjer» slettes ved utvikling av ny rapport.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.



Forsidefoto: [Sett inn fotografens navn/eventuell fjernes denne teksten]