

Harald Kvaalen og Kjell Andreassen

NIBIO, Norsk institutt for bioøkonomi.

## Bonitetsendringar i gran og furu – verknader på bestandstettleik, volumproduksjon og inntekter ved ulik bestandsalder.

### Samandrag

Denne rapporten bygger på takstdata frå flyboren laserscanning i Oppland og Hedmark. Frå laserdata er det estimert bestandsmiddeløgde, tretal, grunnflate, volum, middeldiameter og dimensjonsfordeling. Der er også registert bestandsalder, vegetasjonstype og høgde over havet. Frå desse data er det gjort eit uttrekk av bestand der minst nitti prosent av volumet er gran. Data for middeløgde og bestandsalder er nytta til å bonitere alle bestand med bruk av ein dansk funksjon ( $H40_{NL}$ ) for planta skog som har overhøgde og totalalder som inngang. Det er deretter rekna ut arealvekta middelverdiar for kvar ti års aldersklasser for vegetasjonstype og for høgdelag med hundre meters intervall. For å studere samanhengen mellom bestandstettleik og produksjon, er observert grunnflatesum og tettleik målt midlare treavstand dividert på bestandsmiddeløgda (S-prosent) samanlikna med venta grunnflatesum ved ei gjeven middeløgde i Braastad (1975) sitt program 8 for sjølvtyinna skog.

Resultata for boniteringa syner at under same veksttilhøve er boniteten,  $H40_{NL}$  i yngre skog mykje høgare enn i eldre skog. Dette gjeld i for alle bonitetsklassar i taksten, for alle vegetasjonstypar og for alle høgdelag og samsvarar godt med kva som tidlegare er synt i data frå Landsskogtakseringa. En viktig årsak til at gamal skog har så mykje lågare bonitet kan vera at mesteparten av skogen som er eldre enn sytti år er komen opp etter plukkhogst, og fylgjeleg voks svært seint i ungdomen. Men dette kan ikkje forklare at boniteten også er mykje høgare i den yngste skogen enn i skog som er komen opp frå 1950 og framover, etter omlegginga til bestandsskogbruk. Der må såleis vera fleire faktorar som gjer at skogen no veks betre enn har gjort tidlegare. Lenger vekstsesong, meir nedbør, tilførsle av nitrogen og auka  $CO_2$  konsentrasjon i atmosfæren er faktorar som ein må rekne har hatt og har ei positiv effekt på høgdeveksten. Men det syner seg at differansen i bonitet,  $H40_{NL}$ , mellom skog på bærlyng mark og blåbærmark på eine sida og småbrenngemark på hi, innan eit og same høgdelag, har gått frå å verta svakt negativt for skog komen opp før 1880 til å verta kring fem meter høgare bonitet for skog komen opp på 1960 talet, for deretter å minke til nesten ingenting. Denne endringa er vanskeleg å forklare med endringar i dei nemnde vekstfaktorane, men syner ei påfallande samanfall med tidsprofilen til svovelforureininga dei seiste hundre og femti år, indikert med sulfatkonsentrasjonen i Grønlandsisen. Eit slikt samanfall i tid er langt frå er noko endeleg prov for årsakssamanheng, men det må dette nemnast av to grunnar. Den eine er at denne eventuelle verknaden ikkje kjem til å verta reversert. Den andre er at dersom det har vore ei slik storskala negativ effekt på skogveksten kan dette også delvis ligge inne i mykje av det me har av resultat frå skogforskninga – ikkje

berre i Noreg, men i Norden, Europa og Nord Amerika. I bestand der meir enn åtti prosent av volumet var furu vart boniteten rekna ut på grunnlag av bestandsalder og normert tid til å nå brysthøgde med bruk av Tveite (1977) sin funksjon. Som i gran synte det seg at yngre skog har mykje høgare bonitet enn eldre. Og til like med gran så ser det ut til at skog på dei svakare vegetasjonstypene, som blokkebær og bærlyng, har vokse dårlegare enn på dei rikare typene i ein periode frå kring år 1900 til noko etter 1960.

Når det gjeld undersøkinga av sambandet mellom bestandstettleik og grunnflate så syner det seg at den ung og fulltett skog i hogstklasse fire og fem på alle vegetasjonstypar har vel så høg grunnflate som venta frå program 8. For kvart prosentpoeng S-prosenten avvik oppover frå venta verdi minkar grunnflata med seks til ti prosent i yngre skog. I den eldre skogen har fulltett skog vesentleg lågare grunnflate enn venta frå Braastad sitt program 8. Tilhøvet mellom bestandstettleik og grunnflatesum og dermed også mellom tretal og middeldiameter ser såleis ut til å ha endra seg til det betre slik at ein i yngre skog vil få dimensjonar som føresett eller kanskje endå betre. Det tilseier at produksjonstapet ved å ha låge tretal kan verta større enn det har vore før. Under føresetnad av at tilhøvet mellom tretal og middeldiameter held seg utover i omløpet er det rekna ut netto hogstinntekter per hektar for gran og furu for skog med opphav for førti-femti år sidan og skog med opphav for hundre år sidan. Desse utrekningane tyder på at det økonomisk optimale tretalet har forskuva seg i retning av tettare skog. Dette underbygger at på mykje av skogarealet skulle ein kunna plante så tett som tilrådd i ny standard for plantetal og drive tynningsfritt. På bærlyngmark kan det tenkast at dette er for høge tretal, særleg på tørrare stader i låglandet. For dei rikaste vegetasjonstypene i låglandet er det truleg at tretala bør vera endå høgare for å oppnå optimal produksjon og god nok virkeskvalitet. Men då dette er bygd på data der me ikkje har kjennskap til tidlegare skogbehandling og totalproduksjon bør det skaffast til vege betre kunnskap frå dei beste og svakaste markene i låglandet, samt for fjellskogen som no ser ut til å vekse betre enn låglandsskogen gjorde før. Den viktigaste konklusjonen er at dersom ikkje bestandsalderen er svært mykje feil så må boniteten for mesteparten av skogsmarka vera ein til fleire klasser over kva som er fastsett i tidlegare skogbruksplanar og i offisielle tal frå Landsskogtakseringa. Det skulle i så fall gjeva grunnlag for eit mykje meir produktivt og lønsamt skogbruk.

Sambandet mellom tretal og grunnflate vart også undersøkt i furuskog og jamført mot interpolerte verdiar frå Brantseg (1969) sin tabell for utynna skog. Som i gran synte det seg at yngre skog har større grunnflate ved gjevne tretal, men auken i grunnflate synes å vera like stor over heile spennet av tretal og bestandstettleik. Dette skulle tilsei at utgangstettleiken i furu bør haldast vel så høg som før, dersom målet er å produsere virke av høg kvalitet.

## Forord

Mange skogeigarar har observert ein lavar volumproduksjon enn det som kan forventas samanlikna med produksjonstabellar (Braastad 1975, 1980) og med dei skogskjøtselsmetodar som normalt nyttas i Noreg. Nokre gangar, og særleg dei seiste åra, har det vært observert ein høgre volumproduksjon enn vanleg. Eit lavar bestandsvolum observeras særleg i siste halvleik av eit skogbestands liv før sluttavverkning. Kva er årsaka til dette? Er plantetalet og plantetilslaget lavt, korleis har ungsogpleie og tynning vært utført, er arronderinga av trea ugunstig, er mortaliteten høgre enn normalt, har andelen skogskader økt, er føresetnadene i produksjonstabellene for optimistiske, tynnes det for sterkt, er boniteten riktig ansatt, er tapet forskjellig for ulike vegetasjonstypar?

Disse spørsmåla er bakgrunn for prosjektet "Skogbehandling for økt volumproduksjon i gran og furu". Det er finansiert av Skogbrukets utviklingsfond, Skogtiltaksfondet og Mjøsen Skog. Deltagere i prosjektet har vært Geir Korsvold frå Mjøsen Skog, og Harald Kvaalen og Kjell Andreassen frå NIBIO. Rapporten er skrevet av Harald Kvaalen og Kjell Andreassen.

Hovudmålet med dette prosjektet er å klarlegge dei viktigaste årsakar til at tilvekst og volumutvekling i skogbestand ikkje samsvarer med produksjonstabellane.

Harald Kvaalen og Kjell Andressen

Ås, den 31. august 2018

## Innleiing og problemstilling

Nye takstar på austlandet har synt at ståande volum ofte er lågare enn venta frå produksjonsmodellane. Dette har reist spørsmålet om modellane er for optimistiske, eller om det er skogbehandlinga som avvik mykje frå kva som er føresett. Også på 1980 og 1990 talet var der diskusjon om modellane var for optimistiske. I si bok «150 år i Forsøksskogen» synte Ivar Samset og Tveite (Samset 1995) at den unge kulturskogen på forsøkgarden Silvi Futurum i Hurdal hadde produsert vesentleg meir enn Braastad (1975) sine modellar tilsa, medan det var motsett for den gamle naturskogen. Samset og Tveite sin analyse peikar på at tidlegare tiders skogbehandling er ein faktor som må reknast med i denne samanhengen. Innleiingsvis kan det difor høve med nokre ord om norsk skogproduksjonsforskning frå den byrja.

Stortinget skipa den Norske Skogforsøksvesenet i 1917. Det vart straks lagt ut fleire forsøksflater rundt omkring i landet og etter to tiår med målingar publiserte Eide & Langsæter (1941) sin produksjonsmodellen for norsk granskog. Modellen synte at tilveksten kunne aukast mykje utover den målte tilveksten den gong. Arbeidet deira var det konkrete vitskapelege grunnlaget for omlegginga frå plukkhogst til bestandsskogbruk med snauhogst og planting i gran. Sjølv om det faglege grunnlaget ofte vert gløymt er resultat vel kjent: I dei fleste skogfylka er ståande volum no om lag tre gonger høgare enn i 1930 og tilveksten er mellom to og tre gonger høgare, NIBIO rapport 47 og 48, gjev tala for Hedmark og Oppland. Hogstkvantumet frå 1930 til no har vore vel så høgt som det var frå 1870 til 1930, når ein legg til grunn SSB sin hogst og fløytingstatistikk. Omleggingar til bestandsskogbruk lukkast dermed i å bygge opp att skogane som var på veg mot undergangen. Men ettersom her framleis er att store areal med gamal skog som ikkje er skjøtta etter prinsippa for bestandsskogbruk, samt relativt store areal der ein ikkje har sytt for tilfredstillande forynging, kan ikkje omlegginga seiast å vera slutført. I dei fleste skogeigedomar i skogfylka finn ein difor både ung kulturskog og gamal skog som kan ha ein svært variabel bestandshistorikk.

Denne blandinga av nytt og gammalt, kjent og ukjent, er ikkje ein triviell faktor i skogbruksplanlegginga, der ein fastset produksjonsevna (bonitet) ut i frå den aritmetiske middelhøgda til dei ti grøvste trea per dekar og alderen deira målt i brysthøgde. Fordi den økonomiske verdien av skogsmarka aukar sterkt med aukane bonitet (Skoghandboka 1994 s. 168) vert boniteten som er fastset i skogbruksplanen sterkt styrande for kor mykje ein kan og bør investere i å etablere ny skog etter hogst av den gamle. Dersom skogen voks likt uavhengig av oppkomstsett og hogstinngrep ville denne blandinga av nytt og gammalt vore uproblematisk. Men slik er det ikkje. Under den fyrste Landstaksten vart diameter, høgde og diameter- og høgdetilvekst målt på prøvetre og alder. Trea bruka omkring tretti år på å nå brysthøgde og seksti-sytti år på å verta fem-seks meter, sjølv på mark som vart karakterisert som høg bonitet, sjå til dømes Taksering av Norges Skoger IX Buskerud Fylke 1928. Data frå einsaldr skog i same periode var grunnlaget for Eide & Langsæter (1941) sin Figur 1, som har kurvar for grunnflatevegen middelhøgde i høve til alder. Der ser ein at middelhøgda for den svært låge bonitet E, ved femti års totalalder er sju meter. Dei ulike formene for plukkhogst gjorde at jamvel skogen på den beste marka hadde like sein høgdevekst som einsaldr skog på svært dårleg mark. Når ein skal bonitere i skog som har vore plukkhoggen

er det naudsynt å korrigere for undertrykking i ungdomen. Tveite og Braastad (1983) har utvikla ein metode for dette – som me skal koma attende til. Men der er også andre problem knytte til å bruke den gamle skogen til å fastsetje boniteten. Vekstvilkåra kan endre seg over tid slik at ny skog kan tenkast å vekse betre eller dårlegare enn den gamle har gjort. På 1980 talet var der som nemnt ein del diskusjon omkring dette og det var hevda at skogen voks seinare enn Tveite (1977) sine modellar tilsa (Kåre Hobbestad pers. med). For å undersøke dette målte ein tidleg på 1990 talet alder i ulike høgder på eldre og yngre furutre i Telemark og fann då at den gamle skogen hadde vokse like bra i ungdomen som den unge skogen, men deretter hadde høgdeveksten dabba av (Kåre Hobbestad pers. med). Dette kunne tyde på at Tveite sin modell feil, eller at ein eller fleire vekstfaktorar hadde vorte dårlegare – uavhengig av korleis skogen vart skjøtta før. Det seiste tiåret har det kome fleire arbeide som syner at boniteten er mykje høgare i yngre skog enn i eldre skog med elles like vekstvilkår (Bøhler & Øyen 2009, Sharma mfl. 2012). Men ved bruk av laserscanna høgder i Vestfold og ein ny metode for aldersfri bonitering synte (Kvaalen mfl. 2015) at boniteten hadde auka like mykje også i eldre planta skog. I samsvar med dette fann Tveite (2017) at høgdeveksten på NIBIO sine forsøksflater både sør og nord i landet dei seiste femten år har vore om lag førti prosent høgare enn venta ut i frå den boniteten bestandet hadde ved starten av perioden. Dette tyder på at Tveite sin høgdemodell har vore rimeleg god for einsaldra skog og at det er skilnadar i skogbehandlinga og endringar i vekstvilkåra som har gjeve opphav til avvika frå modellen.

Sjølv om ei svært brei røynsle syner at høgdeveksten er eit god indikator for skogens produksjonsevne (Assmann 1970), kan der vera nokså stor variasjon i den faktiske produksjonen for skog med like bonitetsverdiar. Braastad (1975) undersøkte kor godt Eide & Langsæters (1941) grunnflatetilvekstfunksjon predikerte veksten i eit mykje større og nyare datamateriale. Han fann då at tilveksten i kulturskog var nokså mykje underestimert, men også at tilveksten i naturskog med låg grunnflate vart endå sterkare underestimert. Braastad nemner at det seist nemnde avviket kunne dels forklarast med at totalalderen i naturskogfelta vart overvurdert på grunn av at alderen vert sett utifrå overhøgdetrea, dermed vert boniteten vert undervurdert. Jamvel i vel skjøtta kulturskog i Vestfold synte det seg at alderen på overhøgdetrea kunne vera mange år eldre enn bestandets alder frå sikkert kjent plantear (Kvaalen mfl. 2015). Årsaka er at eldre naturforynga tre som finst i nesten alle plantingane kan ha større sjanse for å verta blant overhøgdetrea. Men i reine granplantingar på Vestlandet, der slike forstyrrande faktorar ikkje er tilstades, fann Frivold (1978) at middeldiameteren og dermed grunnflatesummen var større ved ein gjeven bestandstettleik enn i plantingane på austlandet. Plantingane på Vestlandet hadde og større diameter ved eit gjeve tretal enn venta frå Reineke sin modell for maksimal tettleik (Reineke 1933). Det same er dokumentert i NIBIO sine forsøk på Vestlandet (Øyen 1998). Etter kvart som klimaet på austlandet har vorte likare vestlandet, med lenger vekstsesong og meir nedbør er desse røynsleane frå planta skog på vestlandet meir relevante enn før.

Det er og vel kjent at diametertilveksten på det einskilde tre er og sterkt styrt av konkurransen i bestandet – når ein reduserer tretalet aukar tilveksten på det enkelte tre. Men samstundes vert den totale barmassen lågare slik at tilveksten i bestandet totalt sett kan gå ned. Langsæter (1941) går gjennom korleis skogforskarane sitt syn på tynning har svinga opp gjennom tida;

frå at tynning var forbodne stadvis i Tyskland på fyrste halvdel av attenhundre talet til at nokre seinare tilrådde sterke og hyppige tynningar. Denne usemja har me framleis både i norsk og nordisk skogbruk; mange meiner ein må tynne andre meiner ein helst bør lata vera. Det viktige spørsmålet er om usemja kviler på reelt ulike røynsler, det vil sei at ein har gode data som gjev motstridande resultat. Dei norske produksjonsstudiane kan tyde på det: Eide & Langsæter (1941) sin modell syner at grunnflatetilveksten aukar sterkt med den ståande grunnflate. Tilveksten er også større når ei gjeven grunnflate er fordelt på fleire tre. Men der er og eit ledd som syner at tilveksten aukar med grunnflata som er teken ut i tynning i føregåande tilvekstperiodar. I Braastad (1975) sin modell som bygde på eit mykje større datatilfang er der og ei positiv effekt av å utteken grunnflatesum. Dette tilseier at ein skulle kunna auke tilveksten noko med optimal tynning. Det er og eit interessant trekk med Braastad sin modell at dersom ei gjeven grunnflate vert fordelt på fleire tre så aukar tilveksten dersom boniteten er høg, men minkar dersom boniteten er låg. Det vil sei at relasjonen mellom tettleik og tilvekst går i same retning som i Eide & Langsæter sin modell der boniteten er høg, men i motsett retning når boniteten er låg. Blingsmo hadde data frå endå fleire felt og tilvekstperiodar då han laga ny modell for diametertilvekst i gran, furu og bjørk (Blingsmo 1984). I hans modell er tilhøvet mellom tettleik og tilvekst slik som i Eide & Langsæter (1941); tilveksten aukar noko når ei gjeven grunnflate er fordelt på fleire tre. Til skilnad frå Eide & Langsæter og dels Braastad hadde Blingsmo data frå fleire felt som aldri hadde vore tynna. Andreassen mfl. (2009) laga grunnflatetilvekstfunksjonar basert på Landsskogtakseringa sine flater. Der er heller ikkje noko tynningsledd, men til like med Eide & Langsæter (1941) finn dei at tilveksten er større når grunnflata er fordelt på fleire tre. Desse modellane er utvikla over ein periode på åtti år, dei har ulikt datatilfang og er ulikt formulert. Men både skilnadane og likskapane i tilhøvet mellom tilvekst og tettleik reiser spørsmålet om der har vore periodar der tett skog på svak mark har vokse relativt dårlegare enn glissnare skog. Om svaret på dette skulle syne seg å vera ja, så kan delar av vår gamle kunnskap vera utdatert.

Etter at taksering med laserscanning frå fly (ALS) vart utvikla har ein fått totaltakstar for store skogområde. Ut i frå høgda på laserekkoa kan ein estimere middelhøgde, grunnflatesum, tretal og dimensjonsfordeling for heile bestandet (Eid mfl. 2005). Middelfeilen på bestandsmiddelhøgda er om lag fem prosent, medan grunnflatesummen og tretal har om lag dobbelt så stor middelfeil (Korsvol pers. med.). I den føreliggande taksten er det også registret bestandsalder på grunnlag av boring i brysthøgde og vegetasjonstype for heile bestandet. Tidlegare skogbehandling er ikkje registrert. Tilveksten er ikkje målt, men rekna ut med Blingsmo (1984) sin modell. Dette set ein del grenser for kva slike takstdata kan nyttast til. Men utifrå dei nøyaktige høgdemålingane og bestandsalderen skulle data frå taksten kunna nyttast til å studere korleis boniteten varierer med alder, vegetasjonstype og høgde over havet. Sjølv om den tilfeldige feilen på grunnflatesum og tretal er større, skulle det også vera mogeleg å studere korleis grunnflatesum og høgde varierer med alder, høgde over havet, vegetasjonstype og tretal. Fordi dette er data som dekker store areal av dei vanlegaste vegetasjonstypene og høgdelag frå låglandet til fjellskogen, og frå ung til svært gamal skog, skulle dei kunna nyttast til å vurdere samsvar mellom observert grunnflatesum og ståande volum og modellert volum til dømes ut i frå Braastad sin modell. Fordi me ikkje har noko

informasjon om tidlegare tynningsuttak synes det enklast å samanlikne observerte verdiar med kva som er venta frå Braastad (1975) sitt program for tynningsfri drift i gran. Dette gjev produksjon som er svær nær produksjonsevna rekna ut av Braastad. Men denne modellen føreset tilnærma reine granbestand. Lauvinnblanding er tidlegare synt å føre til at tilveksten i grana vert overvurdert med Blingsmo sin diametertilvekstmodell, samstundes som tett skog var noko undervurdert og glissnare skog overvurdert (Gobakken & Næsset 2002). Difor har me valt å berre bruke data frå bestand som har minst nitti prosent gran. Arealtilfanget vert dermed mindre, om lag ein halv million dekar, men tilfanget er fortsatt stort nok og resultatata vert enklare å tolke. Taksten omfatta også ein del blandingsskog og rein furuskog. Braastad (1980) laga eit nytt tilvekstmodellprogram for furu som bygde på Brantseg (1969) sine produksjonsmodellar og Tveite (1976) sine funksjonar for bonitet, overhøgde og middelhøgde. Brantseg (1969) modellerte også eit alternativ for sjølvtyinna bestand, noko som ikkje finst i Braastad (1980) si omarbeiding. Fordi me ikkje har noko informasjon om tynning i furu har me valt å omarbeide Brantseg (1969) sin modell for sjølvtyinna skog slik at grunnflatesum og volum i taksten kan samanliknast med denne – slik me også har gjort for gran.

Dei konkrete spørsmåla me stiller er:

- A) Varierer boniteten med bestandets opphavsår, og i så fall er dette avhengig av høgda over havet og vegetasjonstype.
- B) Korleis varierer grunnflatesummen relativt til Braastad (1980) program 8 for tynningsfri drift med bestandstettleiken målt som S-prosent (Hart 1928), og tilsvarande for utynna furu (Brantseg 1969).
- C) Har sambandet mellom bestandstettleik og grunnflatesum endra seg over tid?
- D) Er eventuelle endringar over tid like for ulike vegetasjonstypar?
- E) Om der er endringar i tilhøvet mellom tretal og grunnflatesum, er dei store nok til å ha økonomiske konsekvensar?

Rapporten gjev nokre svar på desse spørsmåla som skulle vera av interesse for planlegging og prognoser for bestandsutvikling og mulige hogstuttak i skogbruket for framtida.

## 2. Materiale og metode

### 2.1 Materiale

Eit oversyn over taksert areal fordelt på vegetasjonstypar er gjeve i Tabell 1.

Tabell 1. Areal i fordelt på vegetasjonstypar og alt, samt tal på ( N i alt) og areal med meir enn 90 prosent gran, tal bestand (N gran) og areal der minst 80 prosent av volumet er furu.

Vegetasjonstype	Areal	N i alt	Gran>90%	N gran	Gran_90%	Furu >80%	N-furu	Furu_80%
Blokkebærskog	20400	1523	2500	309	12.3	12184	733	59.7
Bærlyngskog	149362	12299	40387	3977	27.0	53044	3761	35.5
Blåbærskog	374952	35678	263345	25380	70.2	15084	1078	4.0
Småbregneskog	193050	17632	157361	13731	81.5	368	44	0.2
Storbregneskog	3583	409	2046	199	57.1	76	7	2.1
Kalklågurtskog	217	33	137	18	62.9			0.0
Lågurtskog	45302	5204	29865	3206	65.9	106	20	0.2
Høgstaudeskog	18244	2085	9114	911	50.0	4	1	0.0
<b>Sum areal</b>	<b>805111</b>	<b>74863</b>	<b>504754</b>	<b>47731</b>	<b>62.7</b>	<b>80866</b>	<b>5644</b>	<b>10.0</b>
Andre/undefinert	103215	7716	48310	3520	46.8	14956	896	14.5
I alt	908326	82579	553064	51251	60.9	95821	6540	10.5

## 2.2 Bonitering

Takstdata inneheld ikkje overhøgder frå bestanda, men alle bestand har middelhøgde som skal ha ein middelfeil på mindre enn fem prosent. Bestandsalderen er frå borprøver i nye eller eldre takstar. Men i den yngste skogen kan alderen vera sett på grunnlag av kjent planteår. For å gjeva ei enkel framstilling korleis bestandsmiddelhøgda varierer med alderen innan dei ulike bonitetsklassane i taksten er det er rekna ut aritmetisk gjennomsnitt av middelhøgda for aldersklassar med tjuge års breidde.

### 2.2.1 Bonitering i gran

For å etterprøve boniteringa vart ny bonitet rekna ut på grunnlag av oppgjeven bestandsalder og bestandsmiddelhøgda ved bruk av Nord Larsen et al. (2009) sin høgdemodell for planta gran. Modellen har totalalder og overhøgde som inngang. Valet av denne funksjonen krev ei forklaring. Alderen i skogbruksplanane er alder i brysthøgde pluss normert tid til å nå brysthøgde i einsaldr skog. Størsteparten av skogen som har opphavsår før 1940 er komen opp etter plukk- eller gjennomhogstar. I slik skog vart og vert oftast høgdeveksten i ungsbogen sterkt hemma, slik at både tid til å nå brysthøgde, og åtte-ti meters høgde, var og er mykje lenger enn i einsaldr skog. Poenget med å bruke ein funksjon som har denne «normerte totalalderen» som inngang er at eldre skog får ein noko høgare bonitet enn om ein hadde nytta den reelle totalalderen i rotavskjer, som ikkje er kjent. Data frå avkomforsøk tyder på at planta ungskog no brukar kortare tid enn normert på å nå brysthøgde. Ved å bruke «normert totalalder» vert boniteten i ungsbogen sett lågare enn om ein nytta reell alder frå planting. Dette skulle tilsei at skilnaden i bonitet mellom gamal og ung skog i alle høve ikkje vert overvurdert. I taksten er boniteten sett etter Tveite sitt H40 system som har brysthøgde som inngang. For at gjera bonitetsverdiane rekna etter middelhøgde og bestandsalder med Nord Larsen (2009) sin funksjon, heretter kalla H40<sub>NL</sub> og G<sub>XNL</sub>, mest mogleg samanliknbare med H40 verdiane i planen, er det nytta referansealder sett til førti år pluss den tida det skal ta for at trea når brysthøgde, jamfør (Skoghandboka 1991 side 60). Men ein må hugse på at grunnflatevegen middelhøgde er mellom fem og femten prosent lågare enn overhøgda slik at



bonitetsverdiane rekna på denne måten vert noko lågare enn om ein hadde hatt data for overhøgda i bestanda.

### 2.2.2 Bonitering i furu.

Her har me nytta Tveite sin originale funksjon for H40 i furu som har overhøgde og alder brysthøgde som inngang. I staden for overhøgda har me nytta bestandsmiddelhøgda. Brysthøgdealderen er kalkulert ved å trekke frå den tida det tek for trea å nå brysthøgde frå bestandsalderen etter funksjon 11 i Braastad (1980). Denne H40 boniteten er kalla H40<sub>T</sub>.

### 2.2.3. Endring i bonitet

For å undersøke korleis boniteten har utvikla seg over tid vart datasettet dela inn i ti års aldersklasser og det vart rekna ut arealvekta middelværdi for H40<sub>NL</sub> eller H40<sub>T</sub> for kvar aldersklasse, vegetasjonstype og høgdelag i gran. I furu var der langt mindre areal slik at det ikkje let seg gjera å få rekne ut middelværdiar for alle høgdelag. Arealvekta middelværdi for H40 for alle bestand innan ein aldersklasse og vegetasjonstype vart rekna ut med høgda over havet som avhengig variabel. Det var berre vegetasjonstypene blåbær-, bærlyng og blokkebærskog som hadde mange nok bestand til å kunna nyttast i denne analysen. Både for gran og furu, vart rutina Proc Mixed i SAS<sup>TM</sup> nytta for å rekne ut desse middeltala og differansane mellom vegetasjonstypar innan ein og same aldersklasse.

## 2.3 Grunnflatesum og volum

### 2.3.1 Grunnflatesum i gran

Tilveksten i taksten er ikkje målt, men rekna ut med Blingsmo (1984) sine funksjonar for diameter-tilvekst. Me har difor valt å samanlikna grunnflatesum og ståande volum med venta verdier etter Braastad (1975) sin produksjonsmodell for sjølvtyinna skog (program 8) for kvar bonitetsklasse. For bonitetsklassane G11 til G23 er venta volum rekna ut ved å jamne ut ståande volum og grunnflatesum i Braastads modell med Chapman-Richard logistiske vekstfunksjon med grunnflatevegen middelhøgde som uavhengig variabel. Dette er gjort fordi grunnflate og eller volum då vert direkte relatert til høgda som sannsynlegvis har mindre feil enn bestandsalderen, spesielt i eldre skog. Lågare bonitetar enn G11 og høgare enn G23 er ikkje tekne med fordi desse ikkje er med i Braastad (1975) sin originale tabell og ein ved nye utrekningar ville måtte gjera føresetnadar om når S prosent sjølvtyinning slår inn på desse bonitetane. Å undersøke når sjølvtyinninga slår inn på desse bonitetane er eit større arbeide i seg sjølv.

Chapman-Richard funksjonen har fylgjande form:

$$L. 1: Y = a \cdot (1 - e^{-b \cdot x})^c$$

Der Y er ståande volum (V3) eller grunnflatesum (G3) etter tynning, x er grunnflatevegen middelhøgde, medan a, b og c er parameterar som har verdier gjevne i Tabell 1 nedanfor:

Tabell 1. Parameterverdier for Chapman-Richard's vekstfunksjon for ståande volum i Braastad (1977) sitt sjølvtynningsprogram 8, som funksjon av middelhøgda. Funksjonen er berre nytta for middelhøgder over 8 meter som er minste høgde i Braastad sin originale tabell.

H40	a	b	c
11	2400.450	0.0453	3.2410
14	1470.290	0.0707	4.0542
17	1279.340	0.0759	3.8685
20	2277.510	0.0401	2.5546
23	2011.610	0.0469	2.7437

### 2.3.2. Grunnflatesum furu

Fordi det i Brantseg (1969) sine tabellar for furu er nytta eit anna boniteringssystem enn H40 systemet som er nytta i taksten fann me det tenleg å lage ein modell for å samanlikne grunnflatesum i taksten med tabellane. Fyrst vart grunnflatesummen modellert som funksjon av alderen, ikkje høgda, for alle bonitetar A-E, med Chapman-Richard sin funksjon (L1). Bonitet A-E vart rekna om til H40 og deretter vart det laga enkle modellar for korleis parameterverdiane for L1 varier med boniteten, H40. Dette gav fylgjande modellar for parameterane a, b, og c i L1 for grunnflatesum:

$$L2: \quad a = -8078.9863 + 8160.5366 * h40 / (0.0419 + h40)$$

$$L3: \quad b = 0.0005616 + 0.00061950 * \exp(0.2222 * h40)$$

$$L4 \quad c = 0.6468 + 0.008 * \exp(0.257 * h40)$$

For bonitetane A-D gav dei desse funksjonane eit middelavvik for predikert G1 mot Brantseg sine tabellerte verdier for G1 på 1,7 prosent, minimum -4 og maksimum 10,2 prosent.

Brantseg (1969) modellerte sjølvtytning i utynna skog som ein funksjon av middelhøgda og diametertilhøvet mellom døde og levande tre. Denne tilseier at det ikkje skjer sjølvtytning når trea er høgare enn ca 22 meter, over den høgda vart det føresett at sjølvtytninga utgjorde 0,5 prosent av ståande grunnflatesum før tytning. I staden for å nytte denne modellen tilpassa me ein negativ eksponensial funksjon til tretal før tytning (N1) for kvar bonitet i tabellen:

$$L5: \quad N1 = a1 * \exp(-b1 * tt)$$

Der, N1 er tretallet før tytning, a1 og b1 er koeffisientar, og tt er totalalderen frå frø. For å interpolere mellom bonitetane vart parameterane a1 og b1 modellerte som funksjon av H40

$$L6: \quad a1 = 69513.558 * \exp(-0.127 * h40)$$

$$L7: \quad b1 = -0.324 + (0.814 * 14.965) / (14.965 + h40)$$

For bonitetane A-D gav dei desse funksjonane eit middelavvik for N1, berekna, andsynes dei Brantseg sine tabellerte verdier på minus 1,4 prosent, minimum -14 og maksimum 10

prosent. For dei lågare bonitetane, E, F og G vart avvika såpass store at me har valt å ikkje taka dei med.

## 2.4 Variasjon i grunnflatesum i høve til alder, vegetasjonstype og høgde over havet

For å undersøke korleis det prosentvise avviket mellom venta og observert grunnflate varierer med alder, tretal, bonitet, vegetasjonstype, høgde over havet og kombinasjonar vart det sett opp ein ikkje lineær regresjonsmodell :

$$\text{Eq. 2: } Y = e^{-a \cdot x_1 + b \cdot x_2 + c \cdot x_3},$$

Der Y observert grunnflate dividert på venta grunnflate,  $x_1$  er avvik frå venta S%,  $x_2$  er H40 bonitet frå skogbruksplanen, det vil sei etter Tveite (1977) og  $x_3$  er høgde over havet. Denne modellen vart tilpassa med bruk av NLIN prosedyren i SAS™.

Det vart trekt ut bestand med minst nitti prosent gran og datasettet vart delt slik at det modellen vart køyrt for kvar vegetasjonstype og kvar tiårs aldersklasse. Dette for å gjera det mogleg å sjå om der har vore endringar i tilhøvet mellom bestandstettleik og grunnflate over tid og om eventuelle endringar er har variert mellom vegetasjonstypar. Det er ikkje vekta for bestandsareal. I furu trekte me ut bestand med minst åtti prosent furu for å få noko meir areal.

I furu var variablane transformert:

$$\text{Eq. 3: } \log(Y) = \mu + \log(H40) + \log(S\% \text{ avvik}) + \log(h_3) + \log(h_{oh})$$

Der  $\log(Y)$  er den naturlege logaritmen til observert grunnflate dividert på venta grunnflate, H40 er bonitet, S% avvik er avvik frå venta S-prosent,  $h_3$  er middelhøgda og  $h_{oh}$  er høgda over havet. Modellen vart køyrt for kvar vegetasjonstype og for kvar aldersklasse med ti års intervall, med bruk av Hpreg prosedyren i SAS™. «Beste modell» vart valt med bruk av Swartz Bayes kriteriet. Ved tilbaketransformering vart det lagt til halvparten av standardfeilen til konstantleddet i modellen.

For å få eit inntrykk av korleis viktige vekstfaktorar som temperatur og nedbør har variert over tid vart data for temperatur henta frå e-klima.no frå Blindern og Ås. Blindern ligg nærare takstområde, men har ikkje data frå før 1936. Daglege temperaturverdiar for åra attende til 1877 vart estimert frå temperaturen i Ås med  $T_{\text{Blind}} = 0.452924 + 0.981057 \cdot T_{\text{Ås}}$ . Deretter vart tetratermen, middeltemperaturen frå og med mai til og med august rekna ut for kvart år. Bjørnholt i Oslo har kontinuerleg måling av nedbør frå 1883 til og med 2009 og skulle dermed fange opp endringar over tid. Nedbørssum frå og med mai til og med august vart rekna ut for kvart år. Det er vel kjent at skogen i Noreg har motteke nokså store mengder nitrogen og svovel over lang tid. Nyleg er det publisert data for  $\text{NO}_3$  og  $\text{SO}_4^{-2}$  frå borkjerner i Grønlandsisen som har eitt års oppløysing (Geng mfl. 2014). Desse skulle gjeva eit brukeleg inntrykk av korleis konsentrasjonen av desse emna har variert over tid også i Noreg sjølv om deposisjonen på Grønland er dominert av utslepp i Nord Amerika. Ettersom trehøgda og boniteten,  $H40_{\text{NL}}$  representerer den samla tilveksten frå bestandet vart etablert fram til

takståret, har me kalkulert gjennomsnittleg tetraterm, nedbørsum, NO<sub>3</sub> og SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> konsentrasjon frå bestandet vart etablert til 2012 eller 2009 (nedbør). Som startår er det nytta midtpunktåret frå i inndelinga i tiårsklassar minus fem år. Dermed ser ein kva slag gjennomsnittlege veksttilhøve skog med ulik alder har hatt med omsyn til desse fire viktige variablane.

#### 2.4 Økonomiske konsekvensar av endra vekst

For å undersøke kva eventuelle endringar i tilhøvet mellom bestandstettleik og grunnflatesum har å seie for netto slakteverdi av gran og furu vart avvika frå venta grunnflatesum (sjå punkt 2.3) nytta til å rekne ut venta grunnflate og middeldiameter for gamal og ung skog under føresetnad av at tilhøvet mellom avvik i grunnflate og avvika i s-prosent i den unge skogen vil halda seg utover i omløpet. For gran vart venta tretal kalkulert frå venta S prosent i program 8. For furu er venta tretal gjeve i sjølvstynna skog kalkulert frå likningane L5, L6 og L7. For ulike tretal som avveik nedover frå sjølvstynna skog vart grunnflate og middeldiameter kalkulert utifrå venta grunnflate i programma for sjølvstynna skog i Braastad (1975) Brantseg (1969) og utjamna avvik frå venta grunnflate, med Eq. 2 og Eq. 3. ovanfor.

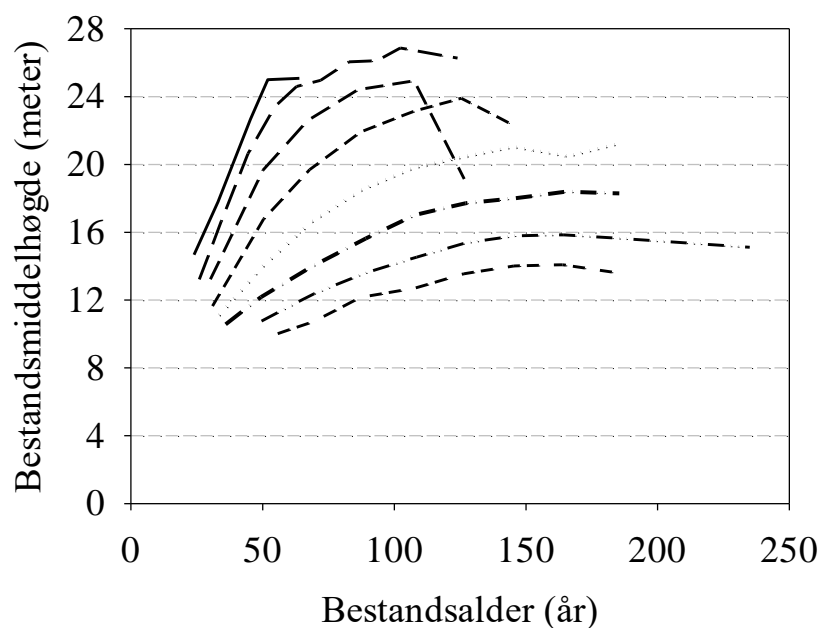
Overhøgda vart sett til 24 meter og middelhøgda vart rekna ut frå overhøgda etter funksjon 8.22 for gran og 9.18 for furu i Tveite (1967).

Bruttoverdien per kubikkmeter vart rekna ut frå funksjonane i Tabell 2 i Blingsmo og Veidahl (1992) føresett at massevirkeprisen i gran og furu er høvesvis 260 og 240 kroner per kubikkmeter og prisspenninga er hundre prosent, slik at sagtømmerprisen var høvesvis 520 og 480 kroner. Hogstproduktiviteten vart rekna etter (Nurminen mfl. 2006), funksjon 10 og 11 på grunnlag av middeltreets volum med bark og timepris 1400 kroner. Køyrekostnaden vart sett til 70 kroner per kubikkmeter. Måleavgifta vart sett til kroner 10.

## Resultat

### 3.1 Middelhøgder i gran

Arealvekta middelhøgde i høve til bestandsalder for bonitetsklassane G6 til G26 er synt i Figur 1.



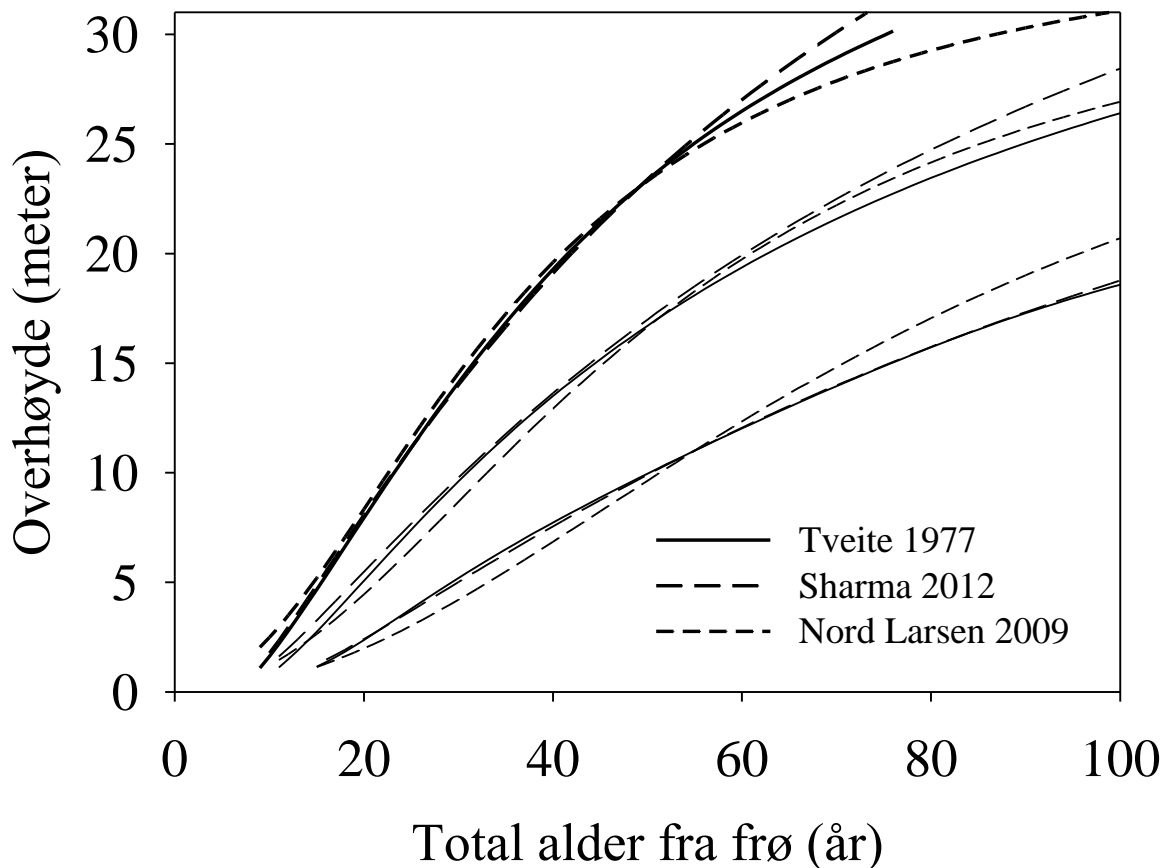
Figur 1. Arealvekta middelshøgde i høve til bestandsalder i aldersklassar med 20 års breidde for bonitet G6 til G26.

Då dette er ein kronosekvens (dataserie) med høgder frå mange bestand med ulik alder målt ved eit tidspunkt representerer ikkje linene eit reelt høgdevekstforløp til tre/bestand av ulik alder. Den skarpe knekken nedover i eldre skog på dei høgare bonitetane er skuldsat at der er få bestand og vi får stor variasjon i resultatane. Men for dei låge bonitetane er høgden i fleire tilfelle lågare i den eldste skogen enn i den yngre sjølv om der er mange observasjonar.

### 3.2 Bonitering

#### 3.2.1 Bonitet i gran

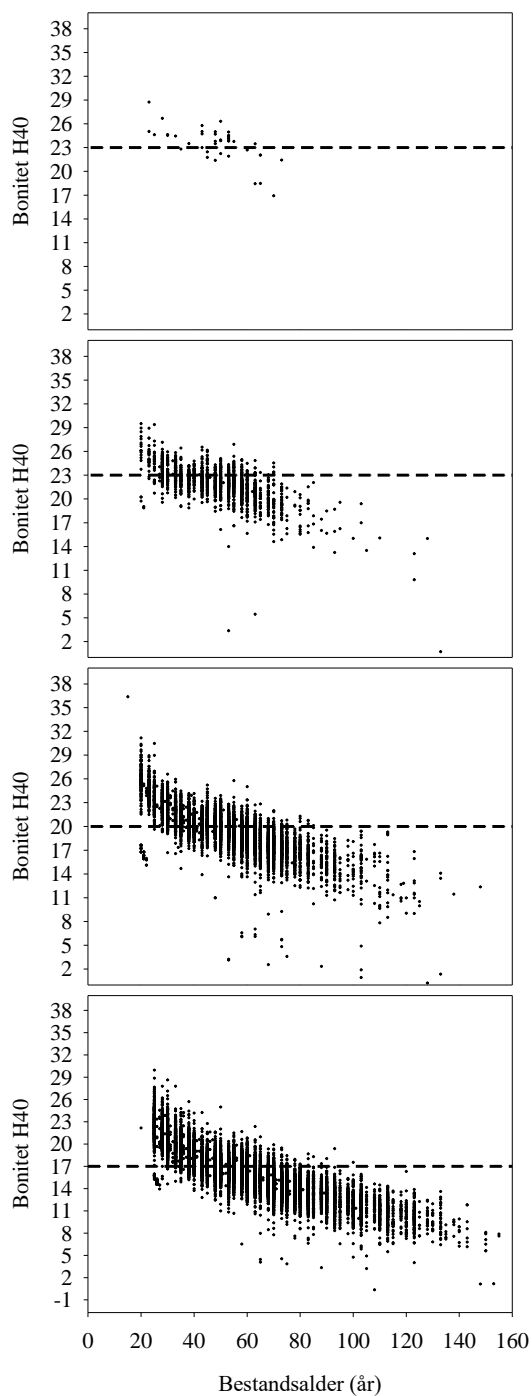
I Figur 2 har me teke med ei samanlikning av høgdekurvar rekna frå Tveite (1977), Sharma mfl. (2012) og Nord Larsen mfl. (2009), sine funksjonar for bonitet G23, G17 og G11.



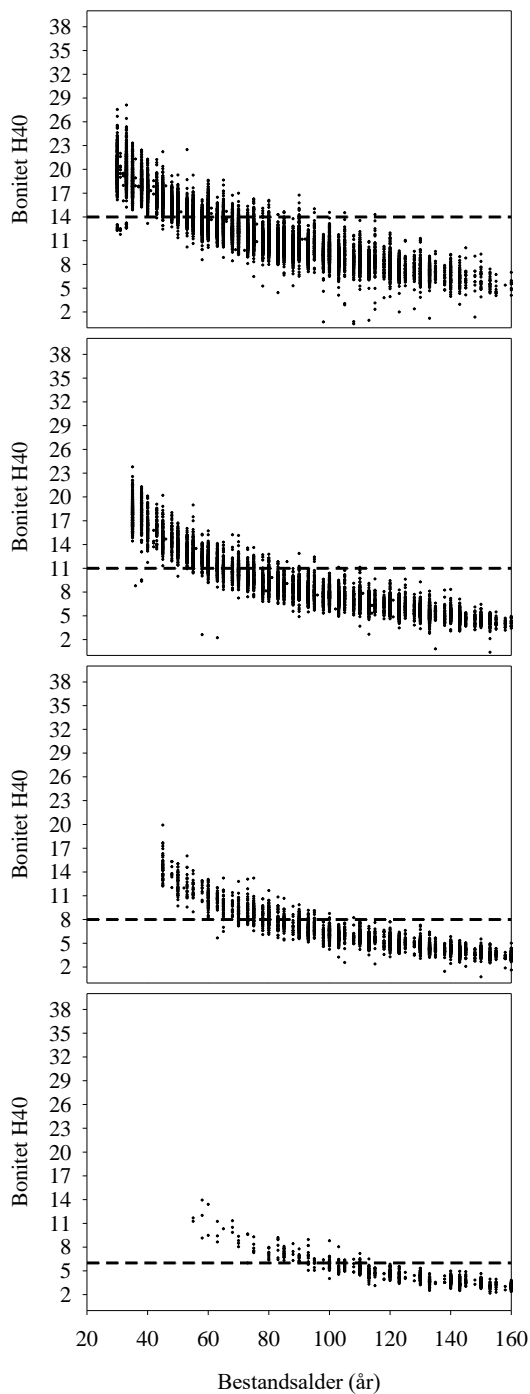
Figur 2. Overhøgde som funksjon av totalalder for tre bonitetar, G23, G17 og G11 for (Tveite 1977, Sharma 2012, Nord-Larsen mfl. 2009). Dei to fyrste er frå norsk naturforynga og planta skog, sistnemnde er frå danske plantingane.

For G23 gjev alle tre modellar svært like resultat opp til ca 25 meter, men den nye norske modellen (Sharma mfl. 2012) syner meir uthaldande vekst enn Tveite (1977) sin modell. Modellen frå Danmark syner meir avflata vekst når høgda går over 25 meter. For G17 er også høgden nokså like. Men for G11 ser det ut til at dei danske plantingane har vokse seinare i starten, men deretter betre enn dei norske material. Mogelege årsaker skal me koma attende til i diskusjonen, men i alle høve fører dette til at ung skog på svak mark får noko høgare bonitet med Nord Larsen (2009) sin funksjon enn med dei to norske funksjonane, for eldre skog vert det motsett.

Figur 3 og Figur 4 syner bonitetsverdiar for kvar einskild bestand på y-aksen i høve til bestandets alder for dei ulike bonitetsklassane G6-G26 som er fastsett i taksten.



Figur 3. Bonitet etter (Nord Larsen mfl. 2009)  $H40_{NL}$  rekna på grunnlag av middelhøgde og bestandsalder for bestand klassifisert som G26 (øvst) til G17 (nedst) i taksten. Den stipla rette linja viser bonitet fastsatt i taksten. Dette er bestand der minst nitti prosent av volumet er gran.



Figur 4. Bonitet  $H_{40_{NL}}$  etter (Nord Larsen m.fl. 2009) rekna på grunnlag av middelhøgde og bestandsalder for bestand klassifisert som G14 (øvst) til G6 (nedst) i taksten. Dette er bestand der minst nitti prosent av volumet er gran.

Kvart datapunkt representerer eit bestand. Som det gjeng fram av øvste del i Figur 3 er det svært få bestand som er sett til G26 i taksten. Det gjeng og fram at for G17-G23 er det i middelaldra og litt eldre skog at bonitet etter bestandsmiddelhøgde ( $G_{NL}$ ) og alder samsvar med boniteten som er sett i skogbruksplanen (G). I yngre skog, opp til førti år, er bonitet ( $G_{NL}$ ) mykje høgare enn G, og noko lågare i den eldste skogen. Sjølv på G17 er der mange

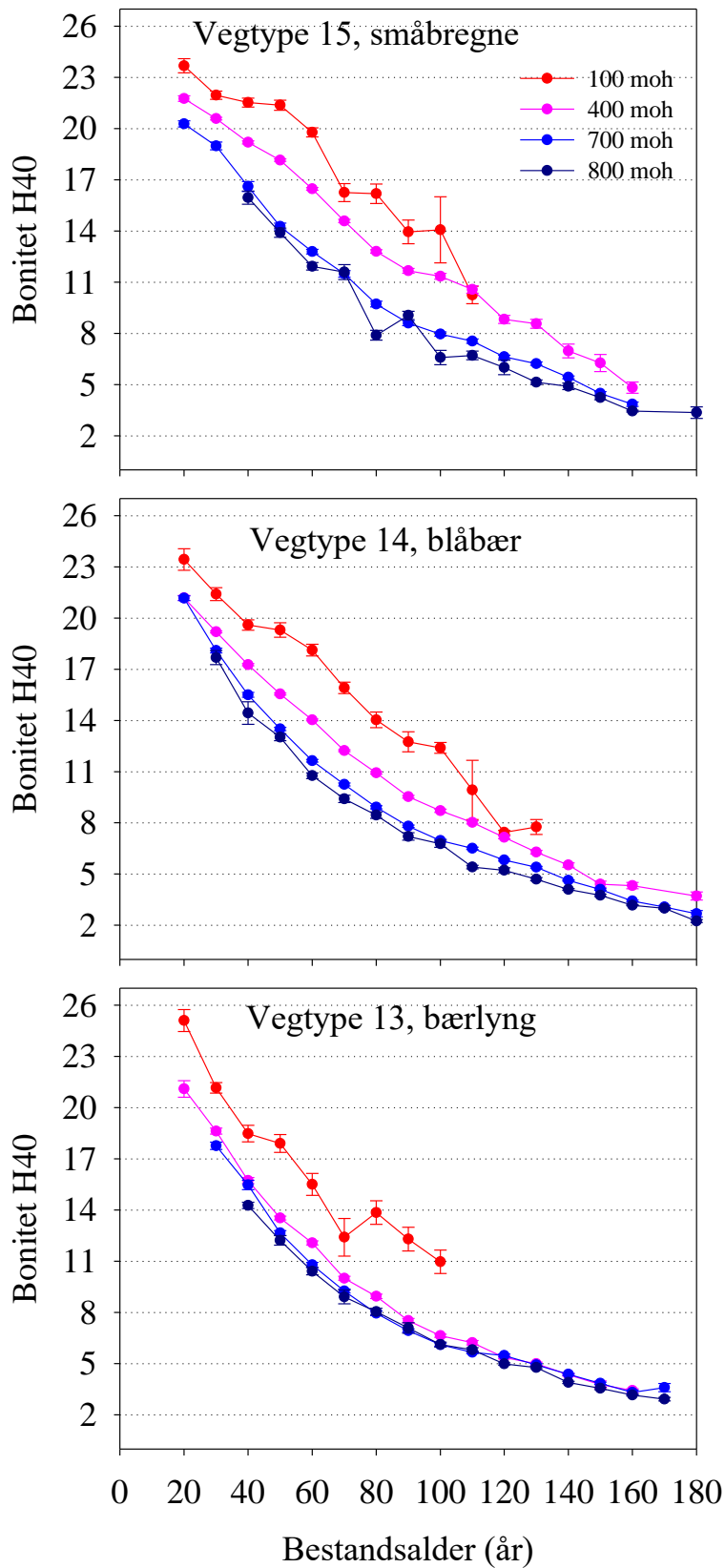


verdiar over  $G_{26_{NL}}$  og få under  $G_{20_{NL}}$  i skog som er yngre enn 30 år. Figur 4 syner  $H_{40_{NL}}$  verdiar for  $G_{14}$  til  $G_6$ . For  $G_{14}$  ser me at berre få bestand yngre enn 30 år har bonitet under  $G_{17_{NL}}$  og fleire er over  $G_{23_{NL}}$ . Også for  $G_{11}$  ser ein svært låge bonitetsverdiar i den eldre skogen og verdiar mellom  $G_{14_{NL}}$  og  $G_{23_{NL}}$  i den yngste. På  $G_8$  har bestand med alder mindre enn 60 år bonitet betre enn  $G_{11_{NL}}$  og fleire er over  $G_{14_{NL}}$ . Det er berre på  $G_6$  at skog som har alder kring 50-60 år at middelhøgda er så låg at boniteten vert sett til  $G_{11_{NL}}$ .

Begge dei to figurane syner at boniteten i ung skog vert sett til mykje høgare verdiar enn i gamal skog når ein nyttar målt middelhøgde og bestandsalder fastsett i taksten. Om ein hadde målt overhøgden ville utslaga som nemnt ovanfor ha vorte endå større. Fordi det er trekt ut bestand der minst nitti prosent av volumet er gran skal ikkje lauvoppslag som er høgare enn grana ha mykje å seie når boniteten er sette på grunnlag av middelhøgda.

Figur 3 og 4 seier ingenting om kva slag vekseplassar som gjev opphav til desse høge  $H_{40}$  verdiane i yngre skog. I taksten er det registrert vegetasjonstype etter same system som Landsskogtakseringa nyttar og alle bestand har oppgjeven høgde over havet.

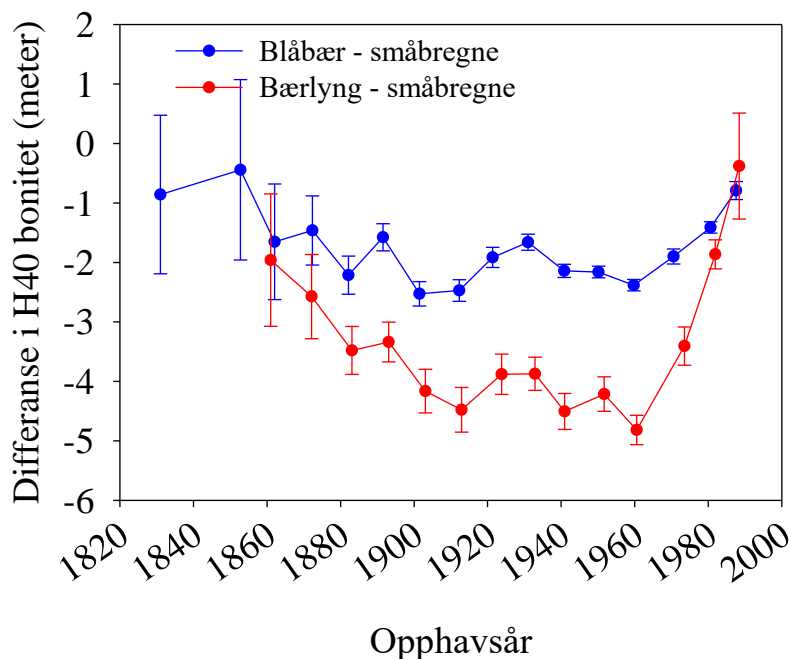
Vegetasjonstypene bærlyng, blåbær og småbregne dekker store nok areal til at det er meiningsfult å kunna rekne ut arealvekta middelveidiar for  $H_{40_{NL}}$  i ti års aldersklasser og hundre meters høgdelag opp til ni hundre meter over havet i bestand der grana utgjer meir enn nitti prosent av volumet. Middelveidiane for høgdelag 100, 400, 700 og 800 er synt i Figur 6.



Figur 6. Arealvekta bonitet  $H_{40_{NL}}$  som funksjon av bestandsalder og høgde over havet for småbregne, blåbær og bærlyngmark innan takstomårdet. Merk at høgda over havet er gjeven som nedre grense for klassen; 100-200 osb. Dette er bestand med >90% granvolum.

For ein gjeven vegetasjonstype og høgde over havet er  $H_{40_{NL}}$  verdiane i skog som er førti år og yngre mykje høgare enn i gamal skog i same høgdelag og på same vegetasjonstype. Sjølv på bærlyngmark i høgdelag 800 moh er middelboniteten omkring  $G_{14_{NL}}$  i førti år gamal skog. I hundre år gamal skog på bærlyngtype 400 moh er middelboniteten  $G_{6_{NL}}$ , i tjuge år gamal skog er den over  $G_{21_{NL}}$ . Reknar ein om desse bonitetsverdiane til produksjonsevne vert resultatet 1,5 og 10,6 kubikkmeter per hektar og år.

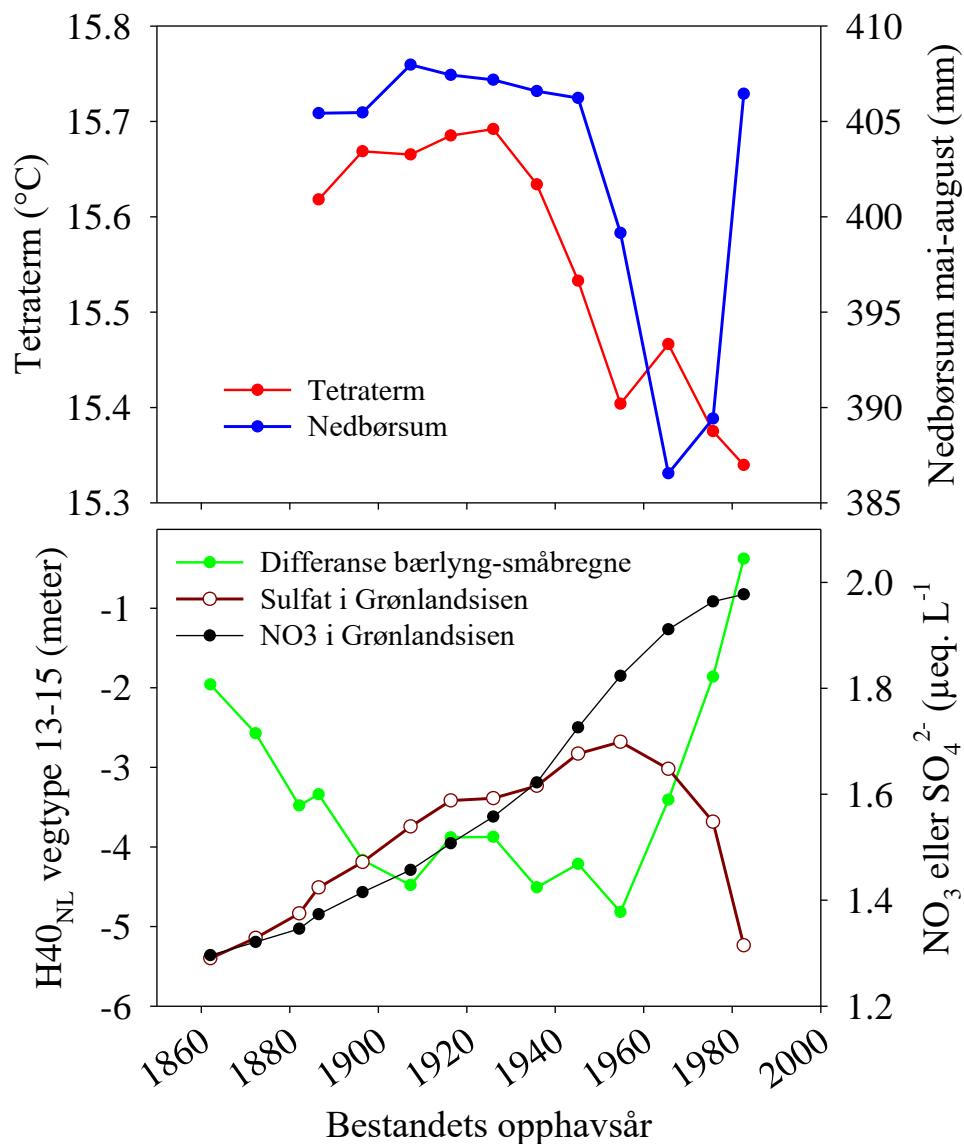
Av figurane ser det og ut til at skilnadane mellom vegetasjonstypene har vorte mindre. Difor har me i Figur 7 sett opp differansen i  $H_{40_{NL}}$  bonitet mellom blåbær- eller bærlyngskog og småbregneskog for høgdelag 400 meter over havet for dei ulike tidsperiodane. Differansen mellom blåbær- og småbregneskog syner ei anna utvikling over tid enn utviklinga i middelverdiane for  $H_{40_{NL}}$  på desse vegetasjonstypene. For skog kome opp kring 1860 er differansen minus 1 meter, deretter aukar den til minus 2 meter for skog kome opp frå omkring 1900 fram til 1960. Frå 1960 minkar differansen kraftig. Differansen mellom bærlyng og småbregne syner tilsvarende utvikling over tid, men den har vore endå større enn differansen mellom blåbær- og småbregneskog. Men for skog kome opp etter 1960 ser me at differansen avtek snøgt og for skog kome opp etter 1980 er nesten ingen skilnad i  $H_{40_{NL}}$  mellom desse vegetasjonstypene i desse høgdelaga.



Figur 7. Differanse i  $H_{40_{NL}}$  mellom blåbær- og småbregneskog og bærlyng og småbregneskog med opphav i ulike tiårsperiodar frå 1860. Data er frå skog frå høgdelag 400 meter over havet og bestand med minst 90 prosent gran. Tala er frå 621 bestand og 5763 dekar bærlyngskog, 6426 bestand og 64284 dekar blåberskog, og 3626 og 40577 dekar småbregneskog. Pluss-minus ein standardfeil er synt.

På grunnlag av desse resultatata fann me det naudsynt å hente inn data for temperatur, nedbør og nitrogen og svoveldeposisjon for ein periode attende til 1880 då me ser at differansen

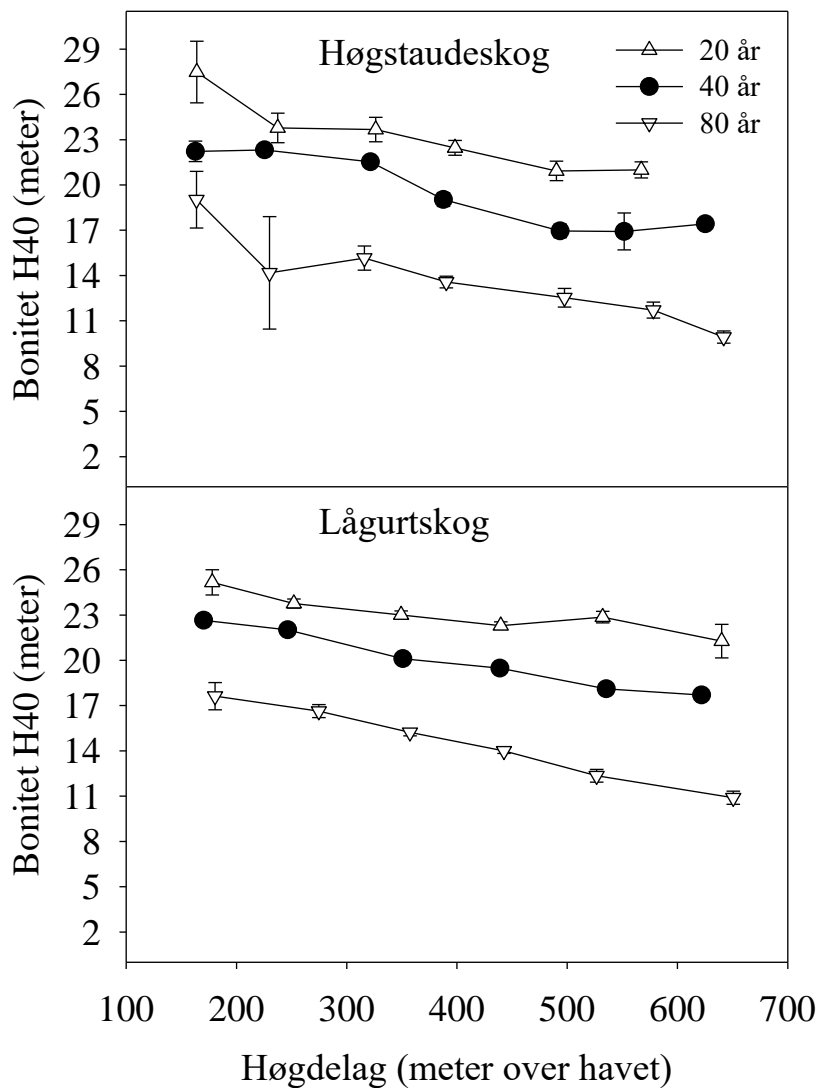
mellom vegetasjonstypene tok til å auke. I Figur 8, øvre del har me sett opp middelferdjar for temperatur og nedbør frå bestandet sitt opphavsår fram til 2012.



Figur 8. Øvste del middelferdjar for tempertur frå og med mai til og med august for perioden frå bestandet opphavsår til og med 2012, raud line, data frå e-klima for Blindern og Ås. Blå line er tilsvarande for nedbørssum med data frå Bjørnholt i Oslo frå opphavsåret til og med 2009. Nedre del er middelkonsentrasjonar for NO<sub>3</sub> og SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> i Grønlandsisen frå bestandet opphavsår til og med 2006. Data frå (Geng mfl. 2014). Grøn line i nedre figur er differansen i H40<sub>NL</sub> bonitet mellom bærlyng og småbregneskog som også er synt i Figur 7.

Frå denne framstillinga gjeng det fram at den eldre skogen faktisk har hatt ein noko høgare temperatur i mai-august enn den yngre. Dette skuldast ein varm periode på 1930 talet. Den yngre skogen har hatt ca 0.3 grader lågare tetraterm gjennom sitt liv. Skilnadane i middelverdiar over lang tid er såleis svært små. Det same ser me for nedbøren, den eldre skogen har hatt meir nedbør gjennom sitt liv enn den yngre. Skogen som har komen opp på 1960 talet har hatt minst nedbør. Dette skuldast tørkeåra på 1970 talet. Den skogen som er komen opp etter 1980 har hatt om lag same nedbørsmenger som skog komen opp kring 1930. Men til like med temperaturen, så er skilnadane i middelverdiane for nedbørsum gjennom bestanda sine liv små, merk verdiane på høgge y-akse for nedbør. I den nedre delen av Figur 8 har me sett opp tal for nitrogen- og svoveldeposisjon på tilsvarande vis og differansen i  $H40_{NL}$  mellom bærlyng og småbregne skog, som også er synt i Figur 7, er lagt inn med grøn line. Den eldre skogen har gjennom sitt liv motteke mindre av nitrogen enn den yngre. Forløpet over tid er neste likt for svovel ( $SO_4^{-2}$ ), men i skog komen opp etter 1960 har middelverdiane teke til å falle slik at dei seiste verdiane er nede att på nivået med 1860 talet. Dei historiske endringane i desse middelverdiane for nitrogen- og svovelkonsentrasjon er svært store både i seg sjølv og samanlikna med endringane i temperatur og nedbør.

Bærlyng, blåbær og småbregne utgjer mesteparten av arealet i taksten. Dei rikare typane som lågurt og høgstaudeskog utgjer mindre areal, men dei har generelt høgare bonitet og verdi. Det er få flater av desse skogtypane over 600 meter. Difor er det laga ein eigen framstilling av desse to. Figur 9 syner arealvekta middelbonitet for skog som er 20, 40 og 80 år i høve til høgda over havet i hundre meters intervall. Ung lågurtskog har litt lågare  $H40_{NL}$  verdiar, men yngre skog av begge typar har  $H40_{NL}$  verdiar over 23 meter heilt opp til 600 meter over havet. I 80 år gamal skog derimot er det ikkje store areal som har  $H40_{NL}$  over 17 meter sjølv i dei lågaste høgdelaga.

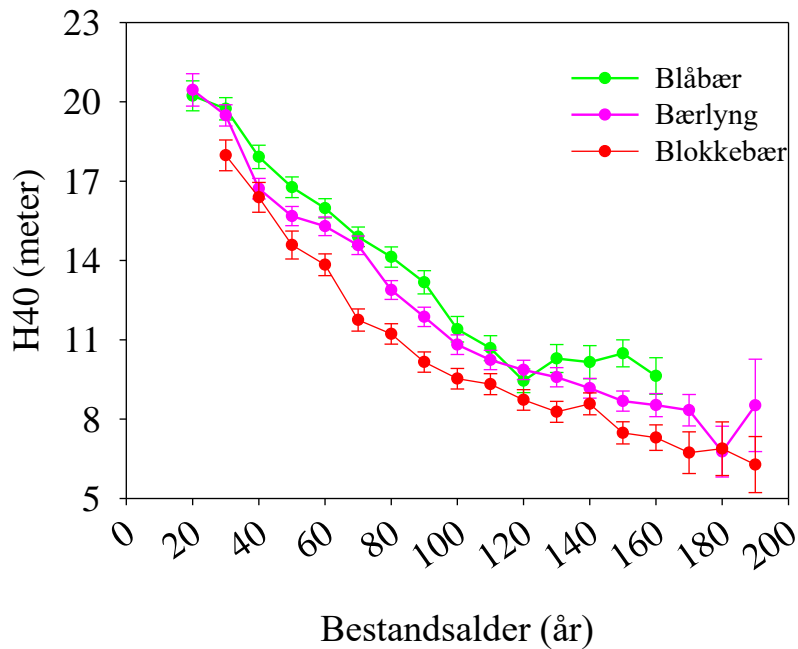


Figur 9. H40<sub>NL</sub> bonitet i høve til høgdelag for høgstaude- og lågurtskog i aldersklasse 20, 40 og 80 år. Middeltala er vekta for bestandets produktive areal. Pluss-minus ein standardfeil er synt.

Boniteten fell om lag like mykje med aukande høgde over havet i alle aldersklasser og den er framleis høgast i låglandsskogen på desse to vegetasjonstypene.

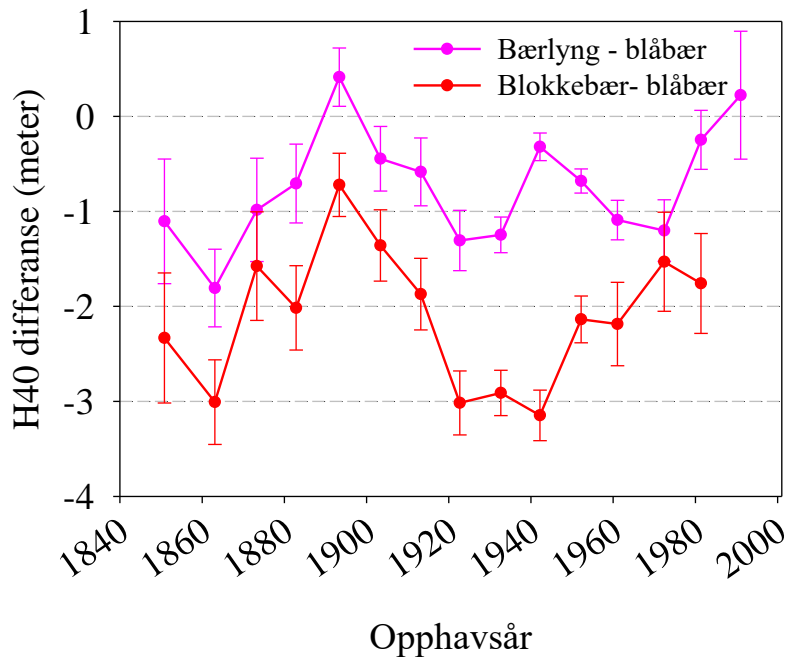
### 3.2.2 Bonitet i furu

I furu var også boniteten mykje høgare i yngre skog enn i eldre (Figur 10).



Figur 10. Bonitet i furu i høve til bestandsalder for blåbær-, bærlyng- og blokkebærskog, middel for alle høgdelag. Bonitet H40 er rekna med Tveite sin funksjon og føreset at trea har bruka normert tid for å nå brysthøgde. Pluss minus ein standardfeil er synt.

Differansen i H40 mellom dei mindre næringsrike vegetasjonstypene blokkebær- eller bærlyng og den rikare typen, blåbær, var størst for skog med opphavsår mellom 1920 og 1950 (Figur 11).



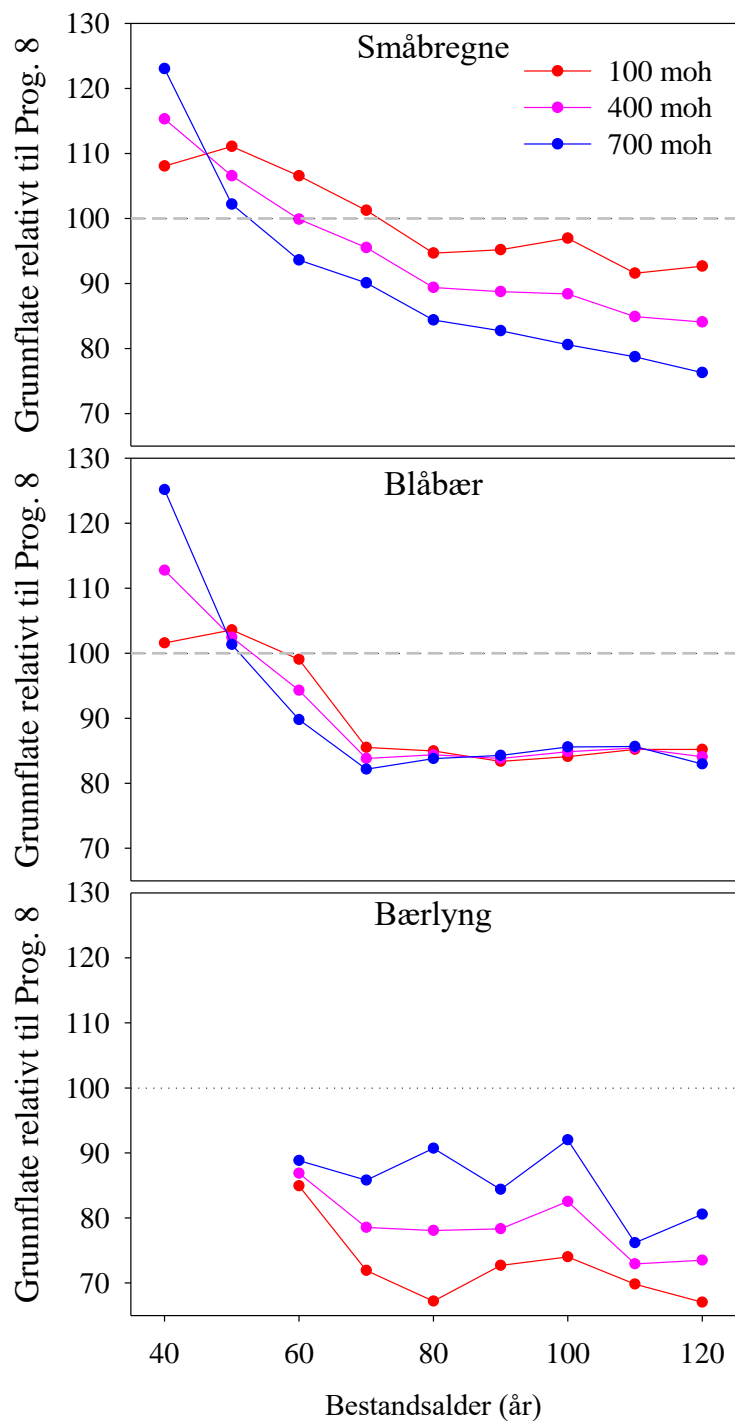
Figur 11. Bonitetsdifferanse (H40) mellom furuskog på bærlyngmark og blåbærmark og blokkebærmark og blåbærmark i høve til bestandets opphavsår. Differansane er vekta med bestandsarealet og det er justert for høgda over havet. Pluss minus ein standardfeil for differansen er synt.

Som i gran, (Figur 7), ser ein frå standardfeilen at differansen mellom blokkbær og blåbærskog har vore større i skog som kom opp i perioden frå noko etter 1900 til omkring 1960. Deretter ser det ut til at differansen mellom typane har minka.

### 3.3. 1. Grunnflatesum i granskog hogstklasse IV og V

På grunn av den svært raske høgdeveksten i ung skog, og dei store skilnadene i utrekna bonitet mellom gamal- og ung skog med tilnærma like veksttilhøve, er venta grunnflatesum som nemnt relatert til middelhøgda i Braastad sitt program 8 for utynna skog og ikkje til alderen. Ved å dele bestanda inn i vegetasjonstypar og ti års aldersklasser og nytte Eq. 2. til å jamne ut grunnflatesummen relativt til program 8 som funksjon av H40 bonitet i skogbruksplanen, høgde over havet og avviket frå venta S prosent etter program 8, kan ein få eit inntrykk av korleis grunnflatesummen varierer med skogens alder. Figur 11 syner kor grunnflate som prosent av program 8 for skog som har S prosent som venta etter program 8.

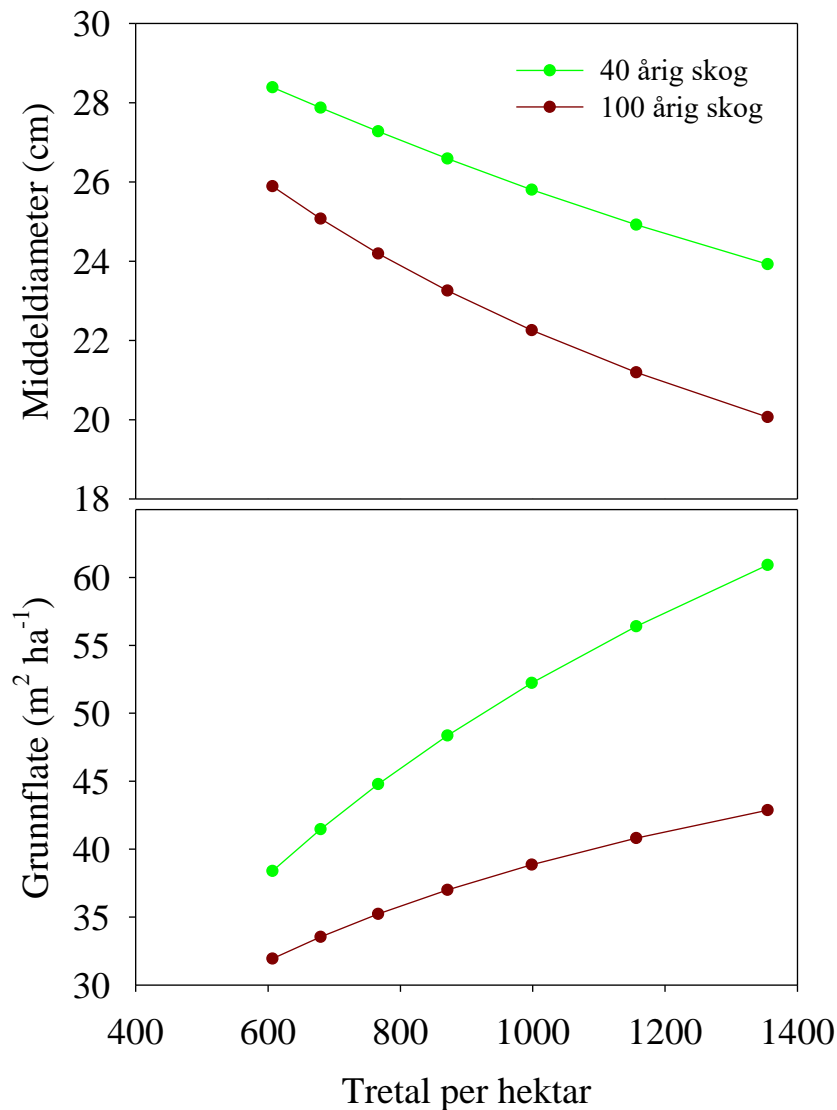




Figur 12. Estimert grunnflatesum i prosent av program 8 i Braastad sin produksjonsmodell når bestandet har S prosent som føresett i program 8. Boniteten er sett til G14. Merk at raud line er 100 moh, blå er 700 moh, medan stipla svart line markerer 100 prosent.

Der er tre tilhøve i Figur 11 som er av interesse for skogbehandlinga. For det fyrste ser ein at på alle dei tre vegetasjonstypene er den estimerte grunnflata etter modellen i Eq. 2. i gamal skog mindre enn venta frå Braastad sitt program 8. For det andre ser me at i skog som er femti år og yngre er det motsett, grunnflata er høgare enn venta. Det tredje poenget er at der er eit sterkt samspel mellom vegetasjonstype og høgde over havet. På bærlyngmark (nedst) ser me

at den høgareliggande skogen har høgare grunnflate enn skogen i låglandet. På småbregnemark er det motsett, skogen i låglandet har høgast grunnflate, men i den yngste skogen i hogstklasse IV er det fjellskogen som har størst avvik oppover i høve til program 8. Det same ser ein i yngre skog på blåbærmarka. Tilhøvet mellom tretal og grunnflate ser såleis ut til å ha endra seg. For å få eit inntrykk av kva dette inneber er det i Figur 12 sett opp predikert middeldiameter og grunnflatesum for skog på blåbærmark med middelhøgde 22 meter og for skog som har hatt sitt oppkomstår for høvesvis 40 og 100 år sidan.



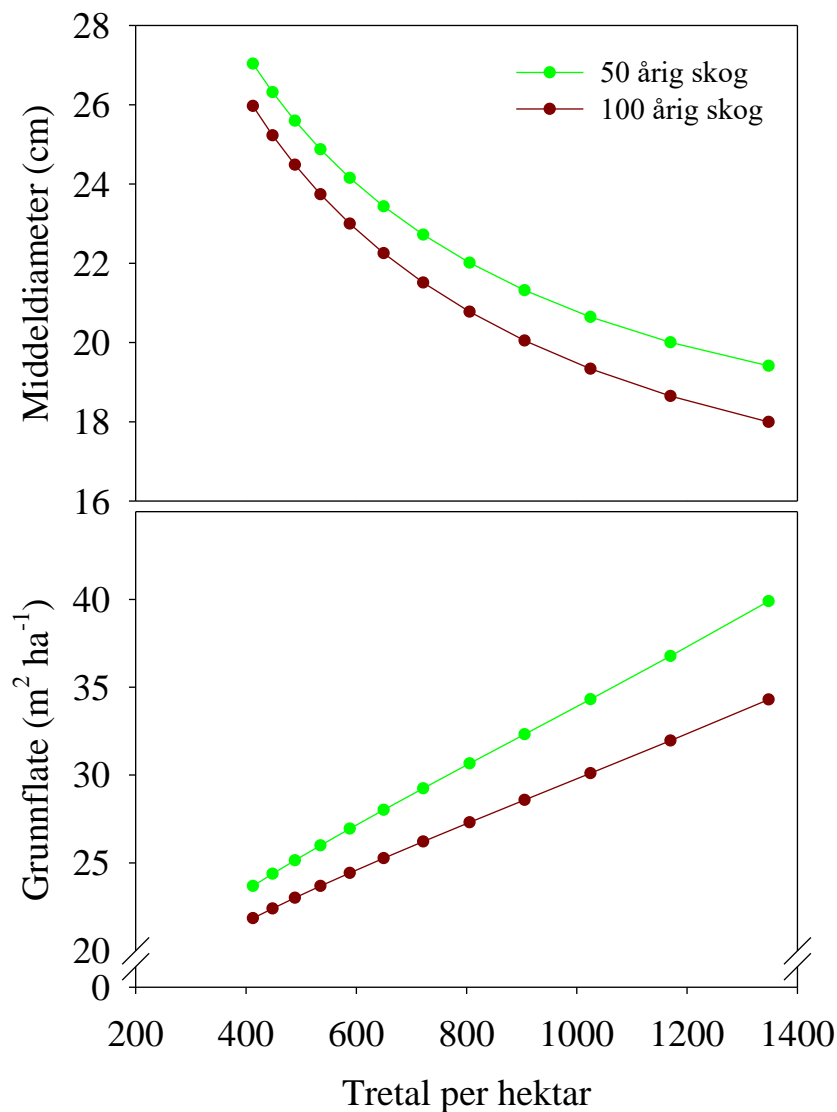
Figur 13. Predikert samband mellom tretal og middeldiameter (øvre) og tretal og grunnflatesum frå modellen for skog med opphav for 40 og 100 år sidan når begge har middelhøgde 22 meter på blåbærmark og bonitet G20.

Figur 13 syner at middeldiameteren ikkje minkar like mykje med aukande tretal i yngre skog som i den eldre skogen. Eller rettare sagt; dersom den unge skogen veks like godt i framtida vil den ha større grunnflate ved same tretal og høgde enn den gamle skogen har hatt. Moglege

forklaringar på denne utviklinga over tid og skilnadane mellom vegetasjonstypane, samt konsekvensar for plantetal og ungskogpleie er tekne opp i diskusjonen.

### 3.3.2 Grunnflatesum i furu

Der var langt færre bestand der furu utgjorde minst åtti prosent av volumet enn det var med granvog der granvolumet utgjorde meir enn nitti prosent. Ei inndeling av materialet i høgdelag- og aldersklasser, slik det er gjort i Figur 11, førte til at det vart få bestand innan kvar klasse. Ei tilsvarande framstilling av korleis relativ grunnflate har variert over tid for ulike vegetasjonstypar, som i Figur 11, er difor ikkje teken med. I Figur 13 syner resultat frå ei tilsvarande utrekning som synt for gran i Figur 12, men då for femti år og hundre år gamal skog av di det vart for få bestand innan hogstklasse 4 og 5 i førti år gamal skog. Det gjeng fram av Figur 13 at furu ser det også ut til at diameter- og grunnflate ved eit gjeve tretal i femti år gamal skog er høgare enn i hundre år gamal skog.

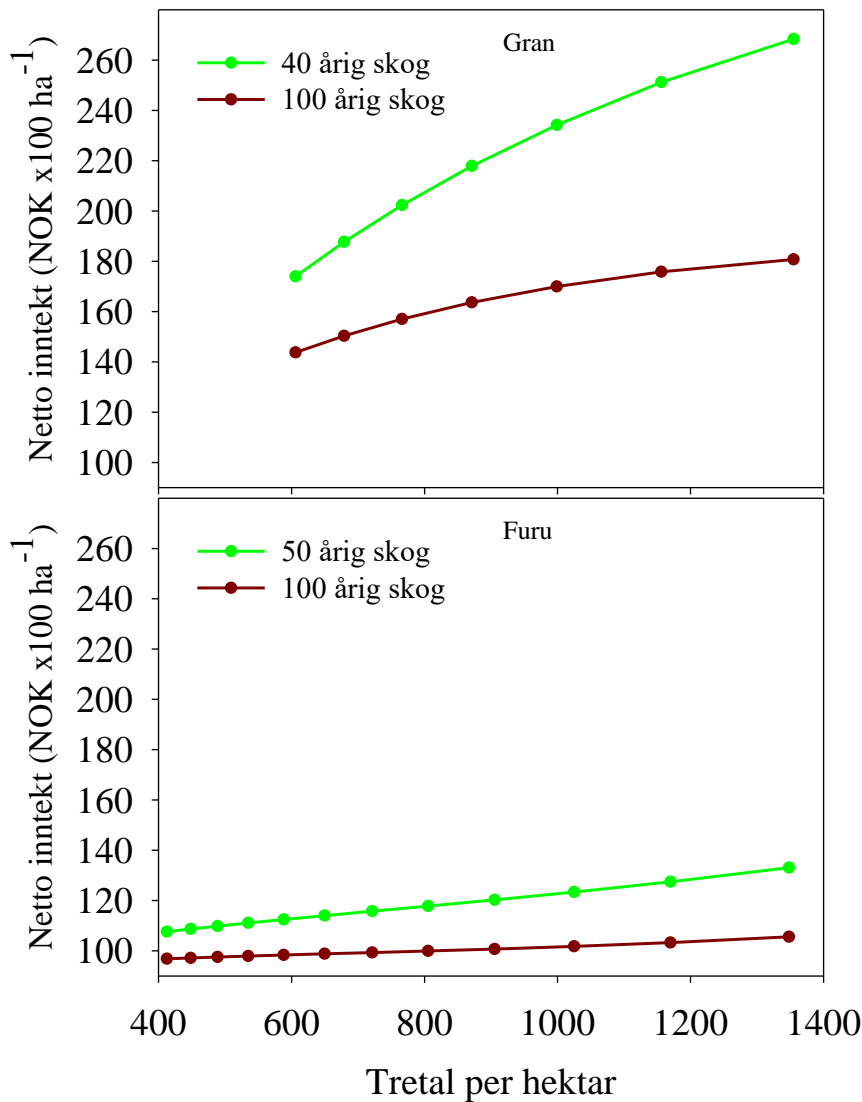


Figur 14. Predikert samband mellom tretal og middeldiameter (øvre) og tretal og grunnflatesum frå modellen for 50 og 100 år gamal skog når begge har middelhøgde 20 meter på bærlyngmark, bonitet er F17 og høgda over havet er 300 meter.

Men kurvane for grunnflata i femti og hundre år gamal skog skil seg ikkje like mykje som i gran.

### 3.4 Økonomiske konsekvensar av endra tilhøve mellom diameter og bestandstettleik

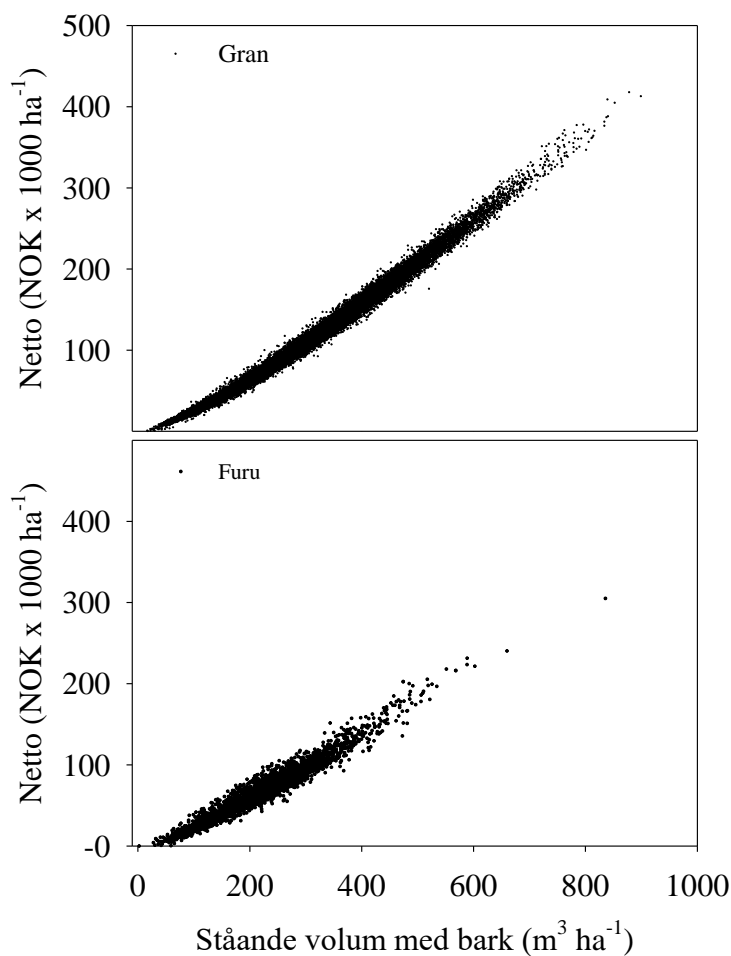
Når middeldiameter og tretal frå Figur 12 og 13 vert nytta til å rekne ut nettoverdien for gran og furu ved overhøgde 24 meter og bonitet G20 i gran og F17 i furu ser ein at dersom desse endra tilhøva mellom grunnflate og tretal skulle vera reelle så har det store konsekvensar tilhøvet mellom tretal og netto hogstinntekt (Figur 14).



Figur 15. Venta netto hogstinntekt i tusen kroner per hektar for gran og furu med opphav for førti og hundre år sidan (gran) eller femti og hundre år sidan (furu) når middeldiameteren er som i Figur 12 og 13.

Den vesentlege høgare middeldiameteren ved høge tretal som ein ser i Figur 12 og 13 vil gjeva svært store utslag på nettoinntekta i gran. I furu synes skilnaden mellom eldre og yngre skog å vera noko mindre, men også der vil nettoinntekta verta monaleg mykje høgare om desse tilhøva held seg. At den utrekna nettoinntekta i gran er så mykje høgare enn i furu skuldast dels større volum, dels høgare tømmerpris og litt lågare hogstkostander.

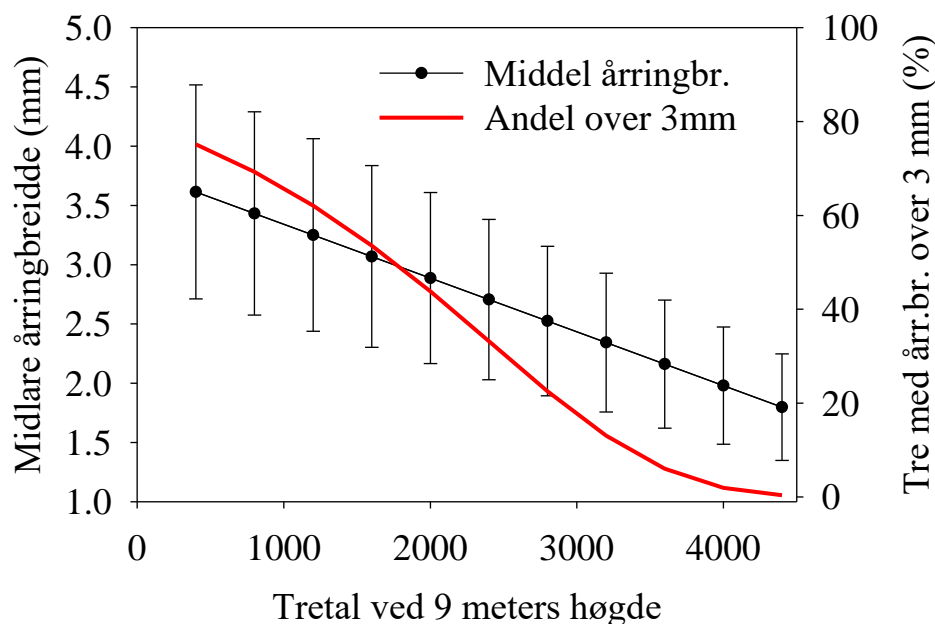
Figur 15 er basert på utjamningar av grunnflata. Det er av ei viss interesse å sjå på sambandet mellom ståande volum (med bark) og utrekna netto hogstinntekt (som i Figur 15) i gran og furu, når ein legg til grunn mideldiameter, høgde og tretal frå taksten og set dette inn i Blingsmo og Veidahl (1992) sin funksjon med prisspenning sett til 100 prosent, som nemnt i metodekapitelet. Resultatet er synt i Figur 16, øvste del for gran, nedre for furu.



Figur 16. Netto hogstinntekt i høve til ståande volum med bark i gran (øvt) og furu. Data frå hogstklasse IV og V. Sjå tekst for forklaring ti utrekningar.

Som venta er ståande volum sterkt styrande for netto hogstinntekt per hektar, både i gran og furu. Elles kan ein legge merke til at dei høgaste volum med bark er tett oppunder 1000 kubikkmeter per hektar i gran og 800 i furu. Volumtala kan synast urealistisk høge, men NIBIO har hatt og har, fleire forsøksfelt i gran innan takstområdet som har volum over 800 kubikkmeter per hektar på over større område.

For furu må det og nemnast at når middeldiameteren ved eit gjeve tretal synes å vera større no enn før, gjev ikkje berre større grunnflate, vil det også konsekvensar for produksjonen av sagtømmerkvalitetar som krev smale årringar. For det norske furu spesial sortimentet er kravet at middel årringbreidde i eit område frå 2-8 cm frå margin ikkje må overstige 3 millimeter. Eit tilsvarende krav finst for svensk furu klasse 1. Dette inneber at når diameteren ved eit gjeve tretal, og ein gjeven alder, i ungskogen aukar, vert det meir sannsynleg at årringbreidda kan overstige kravet til furu spesial. Sambandet kan illustrerast for tre i ved inngangen til hogstklasse 3 med middelhøge 9 meter ved å anta at gjennomsnittleg årringbreidde og standardavviket aukar med fallande tretal som synt i Figur 14. Dersom diameterfordelinga er tilnærma normal vil prosentandelen tre som ikkje oppfyller kravet til 3 mm årringbreidde verta som synt med den raude linea. Poenget er at når middeldiameteren aukar med fallande tretal så aukar prosentandelen tre som aldri vil kunna oppfylle kravet til spesialvirke endå meir.



Figur 16. Illustrasjon av det prinsipielle sambandet mellom tretal og midlare årringbreidde i hogstklasse III, (svarte punkt, line og standardavvik) og korleis dette påverkar andelen tre som har midlare årringbreidde over kravet til furu spesial som er 3 millimeter.

I prinsippet gjeld det same tilhøvet mellom tretal og kvistdiameter.

## Diskusjon

At eldre skog innan same H40 klasse har lågare middelhøgde enn yngre skog (Figur 1) skuldast neppe «negativ vekst» i eldre skog som fylgje av toppbrekk. Det er i staden eit prov for at den eldre skogen har vokse seinare i ungdomen enn det skogen no gjer. Prova for kom alt i den fyrste Landstaksten i 1920 åra, der høgdeveksten i dei yngre aldersklassane var svært låg. Trea bruka i middel ca 30 år på å nå brysthøgde og høgdeveksten var forseinka heilt opp til dei var åtte-ti meter. Årsaka til dette var, og er, at ungsbogen vart ståande under dei større trea og måtte konkurrere med desse om lys, vatn og næring. Også i moderne bledningsforsøk i Finland er det målt svært låg høgdevekst i ung skog (Erikäinen mfl. 2014). Dei fysiologiske reaksjonane på denne type konkurranse er nok dei same no som før.

At høgdeveksten har så ulikt forløp i einsaldra og fleiraldra skog skaper problem når ein vil nytte funksjonar utvikla for einsaldra skog til å bonitere i plukkhoggen skog, fordi ein må korrigere for undertrykkinga i ung alder. Tveite og Braastad (1984) drøftar vanskane med å finne eigna boniteringstre i slike høve og gjev ein metode for å rekne ut korrigert alder (hushaldningsalder) for boniteringstre som har stått undertrykt. Dei skriv og at den gjev lite sjans for overbonitering. Det ser ut til å vera korrekt fordi ved bruk av høgde og høgdevekstdata frå den fyrste Landstaksten og den metoden for aldersuavhengig bonitering som nyleg er utvikla (Kvaalen mfl. 2015), kan ein vise at bonitering på grunnlag av høgde og hushaldningsalder etter Tveite og Braastad (1984) sin metode gjev vesentleg lågare bonitetsverdiar enn aldersuavhengig bonitering, som nyttar høgdeveksten i ein vilkårleg tilvekstperiode.

Data frå den fyrste Landstaksten har stor relevans for bonitering i norsk skog nettopp fordi den tidas ungsbog er dagens gamal skog. Det vil sei at ungdomsveksten i dagens gamal skog vart dokumentert den gong. Den tid var det lite planta skog, men etter 1950 har innslaget av planta skog auka sterkt. Me har her valt å nytte Nord-Larsen (2009) sin funksjon for å rekne ut boniteten fordi denne bygger på data frå planta skog med sikkert kjent totalalder. Tveite (1977) sin funksjon bygde hovudsakleg på data frå plantingar, men og frå naturskog der totalalderen ikkje var sikkert kjent. Sharma mfl. (2011, 2012) laga nye høgdemodellar bygd dels på feltforsøk med sikkert kjent totalalder, dels på data frå Landsskogtakseringa der brysthøgdealderen er fastsett ved boring på tre utanfor prøveflata og totalalderen er tillagt normert tid til å nå brysthøgde. Dette gjev rom for feil i aldersfastsettinga som ein korrigerer for (Sharma mfl. 2011). Figur 3 syner at dei tre modellane gjev nokså like høgdekurvar for bonitetar over G20, der også det norske datatilfanget frå langsiktige feltforsøk og Landskogflater er dominert av planta skog. På låge bonitetar derimot er skilnaden større og der er nok også skilnaden i datatilfang større fordi der finst svært lite gamal planta skog på låg bonitet i Noreg. Dei danske plantingane på låg bonitet kan og vera frå skog på lynghei som gjev hemming av veksten i mange år (Brantseg 1953). Poenget med å bruke Nord Larsen sin funksjon her er at verknaden av at den gamle skogen kan ha bruka lenger tid til å nå brysthøgde enn normert, og motsett for den yngste, vert noko dempa. Dermed er sjansen mindre for at skilnaden i bonitet mellom ung og gamal skog vert overvurdert på grunn av at datatilfanget som funksjonane bygger på er noko ulikt.

At ung skog innan alle bonitetsklassar og vegetasjonstypar har mykje høgare  $H40_{NL}$  bonitet enn gamal skog må skuldast fleire faktorar. Fordi endringane er stå store er det på sin plass med ein diskusjon av moglege årsaksfaktorar. Tidlegare tiders plukkhogst er alt nemnt. Denne faktoren kan forklare at skog eldre enn seksti-sytti år vert sett til mykje lågare bonitet enn yngre skog som er komen opp etter omlegginga til snauhogst og planting etter som kom i gang etter 1945. Men plukkhogsten kan ikkje forklare at boniteten har halde fram med å auke dei seiste tretti åra – jamvel når ein måler innan same planta bestand (Kvaalen mfl. 2015). I data frå NIBIO sine langsiktige produksjonsforsøk har Tveite (2017) synt at høgdeveksten til overhøgdetrea har vore om lag førti prosent høgare enn venta dei seiste femten tjuge åra. Dette tyder på at der er ein eller fleire av vekstfaktorane har blitt mykje betre i denne perioden, jamført med tiåra før.

Klimaet er noko endra, det er meir nedbør i vekstsesongen enn før, våren er litt tidlegare og hausten har blitt varmare slik at vekstsesongen er forlenga både får og haus, sjølv om dette gjeng ikkje fram av Figur 8. Mange stader i låglandet har vasstilgangen i tørkeår hemma diametertilveksten (Mäkinen m. fl. 2002). Me skulle difor vente noko auka høgdevekst på grunn av meir nedbør. Middelttemperaturen i juni har derimot ikkje auka på målestasjonen på Blindern sidan målingane byrja i 1936, men august har vorte varmare. Dette kan påverke strekningsveksten positivt fordi endeknoppen som vert danna får eit større tilvekstpotensiale (Mork 1960). Om klimaet held seg om lag som no skulle me difor vente at den høge tilveksten me har sett dei seiste ti-femten åra vil halda fram.

Tilførsle av nitrogen frå luftforureining er framleis nokså høg i Europa (Engardt mfl. 2017.) Tidlegare norske gjødslingsforsøk (Nilsen 2001) har synt at tilførsle av nitrogen jamt over gjev tilvekstauke. Den kumulative nitrogen tilførsle av nitrogen skulle difor også gjeva ein viss tilvekstauke. Men i den grad auka tilvekst skuldast nitrogentilførsle vert spørsmålet kvifor byrja ikkje høgdeveksten å auke alt på 1960-70 talet då nitrogendeposisjonen allereie hadde aukt? Dette er eit viktig spørsmål fordi dersom mesteparten av tilvekstauken skuldast nitrogendeposisjon må ein rekne med at tilveksten kan falle når tilførsle etter kvart går ned.

Auka  $CO_2$  konsentrasjon kan og ha virka til at skogen no veks betre.  $CO_2$  har fleire fysiologiske effektar. Talet på spalteopningar går ned (Franks & Berling 2009) og diffusjonen av  $CO_2$  inn aukar relativt til diffusjonen av vatn ut gjennom spalteopninga som fører til betre vasshushaldning, noko som er påvist også i gran (Giammarchi mfl. 2017). I såkalla  $C3$  planter som bartrea er, kan auka  $CO_2$  konsentrasjon også gjera sjølve fotosyntesen meir effektiv særleg ved høgare temperatur (Zhu mfl. 2008). Det vil ta svært lang tid å få det ned att til førindustrielt nivå sjølv om ein set i gang omfattande reinsetiltak. Om  $CO_2$  nivået er medverkande årsak til auken i bonitet, kan me rekne med at den eventuelle vekstauken vil vara lenge.

Men ingen av desse endringane i vekstfaktorar synes å kunna forklare at differansen i bonitet,  $H40_{NL}$ , mellom bærlyngmark og småbregnemark innan same høgdelag fyrst auka til fem meter for skog komen opp på 1960 talet for deretter å minke til nesten ingenting (Figur 7). Differansen mellom blåbærmark og småbregne er om lag halvparten så stor, men syner nesten identisk utvikling over tid. Då dei standardfeil på differansane som er synt i Figur 7 er



arealvekta, og det totalt sett er snakk om mange tusen dekar skog, er det lite truleg at det ikkje er tale om reelle og omfattande skilnader i korleis skogen har vokse på desse vegetasjonstypene i det seiste hundreåret. Figur 8 som syner middelverdien av tetratermen (mai-august) frå bestandets opphavsår til 2012, og tilsvarande for nedbørssummen i desse månadane tyder på at den gamle skogen har hatt gjennom sitt liv har hatt litt høgare temperatur og meir nedbør enn skog som kom opp på 1960 talet, medan skog kome opp etter 1980 har hatt om lag same gjennomsnittstilhøve som den gamle skogen. Dersom tørkeåra på 1970 talet skulle forklare differansen i  $H_{40_{NL}}$  mellom eldre skog på bærlyng/blåbærmark og småbregnemark så måtte høgdeveksten den gong ha stoppa heilt opp. Den aukande skilnaden mellom desse vegetasjonstypene må difor ha gjort seg gjeldande lenge før den tid. Ei eventuell positiv effekt av nitrogen deponisjon skulle ha gjort seg minst like mykje gjeldande på bærlyngmark som på småbregnemark.  $CO_2$  konsentrasjonen har auka jamt og trutt sidan den industrielle revolusjon og i den grad vasshushaldninga har vorte betre så skulle det virka minst like mykje på bærlyngmark som på småbregnemark. Det er difor lite truleg at endra  $CO_2$  kan forklare at skilnaden i høgdevekst mellom vegetasjonstypene .

Langtransportert forureining av svovel og tungmetall (Skjelkvåle mfl. 2006) synes derimot å ha ein tidsprofil ( som samsvarar med relativt dårlegare vekst på den mindre rike skogsmark i ein periode frå kring 1900 til 1990. Dersom det har vore ei effekt av sur nedbør på skogens vekst kan denne også ha slege inn i dei generelle forskingsresultata slik at ein del av det me meiner å vita ikkje lenger er gyldig når denne faktoren er endra. Ein kort gjennomgang av nokre eldre og nyare resultat er difor på sin plass. For mykje svovel i nedbøren kan føre til jordforsuring og utvasking av basekationar som kalium, kalsium, magnesium og mangan (Abrahamsen mfl. 1994). I kalkingsforsøk i furuskog på bærlyngmark i Åmli som byrja 1992 vart det i kontrollen målt eit visst årleg tap av kalsium, kalium og magnesium som stod i høve til utvaskinga av svovel (Røsberg mfl. 1998). Etter kvart vil konsentrasjonen av ulike basekationar kunna verta underoptimal for veksten, slik ein faktisk observerte i ung furuskog i Åmli (Abrahamsen mfl. 1994).

Etter at den norske sur nedbørforskinga er trappa ned har det kome ny kunnskap om nærings sirkulasjonen i temperert og boreal skog. I barskogar i sør Chile vart det påvist at ein svært stor del av basekationane som trea nytta kom frå nedbøren (Kennedy mfl. 2002) og berre mindre mengder frå forvitring av mineraljorda. Det vil sei at skogen i seg sjølv er i stand til å bygge opp ein næringskapital i humussjiktet. Men når nedbøren vert for sur vert denne oppbygginga skipla, og i verste fall reversert slik at der vert eit tap av kalsium og andre basekationar (Kennedy mfl. 2002 ).

I Landsskogtakseringa sine jordprøver frå Trøndelag og Buskerud/Oppland samla i 1960 og 1984 fann (Steinnes mfl. 1993) at jorda var surare i sør enn i nord. På NIBIO sine intensive overvåkingsflater var der og ein sterk korrelasjon mellom middelverdiar for svovelkonsentrasjon og pH i nedbør og jord Kvaalen mfl. (2003) og ein tilsvarande nord sør gradient som i jordprøvene frå Landsskog. Etter at reinsetiltaka har kome i gang har svovelkonsentrasjonen gått nedover (Engardt m.fl. 2017) . Nyleg har Thomas mfl. (2013) synt at grunnflateveksten i *Juniperus virginiana* har auka svært mykje sidan 1980. Med bruk av regresjonsanalyser fann dei at kombinasjonen av auka  $CO_2$  i atmosfæren, tilførsle av nitrogen

frå forureining som gav auka tilvekst og nedgang i utsleppa av svoveldioksid, som hemma veksten, best forklarte den auka tilveksten. På grunnlag av analyser av isotopar av karbon ( $^{13}\text{C}$ ) og svovel ( $^{34}\text{S}$ ) meiner dei det har vore ei spesifikk negativ fysiologisk effekt av svoveldioksid på trea.

I dei norske studiane har det vore vanskeleg å påvise sikre negative effektar av sur nedbør, men ein har påvist tilvekstauke av nitrogendeposisjon (Solberg mfl. 2004, Solberg mfl. 2009). Men tidsforløpet til differansen i bonitet mellom skog på bærlyng- og småbregnemark (Figur 7) synes, som nemnt, ikkje å kunna forklarast berre med ei positiv effekt av nitrogendeposisjon. Derimot samsvarar tidsforløpet (Figur 8) betre med ei negativ effekt av svovel og positiv effekt av nitrogen og  $\text{CO}_2$  slik resultatata i *J. virginia* tyder på (Thomas mfl. 2013). Eit svært viktig poeng i høve til skogproduksjonen er at dersom endringa i tilførsla av sur nedbør har vore ei årsak til nedgang og oppgangen i tilveksten så kan ein vente at dei mindre rike vegetasjonstypene i framtida vil produsere meir enn dei har gjort og denne positive verknaden vil neppe verta reversert. Fordi skilnaden i bonitet mellom ung og gamal skog tilsvarar fleire meter i H40 vil det vera viktig å få betre forståing av kva for vekstfaktorar som har hatt mest å seie for den bonitetsauken som er dokumentert her og i (Bøhler & Øyen 2009, Sharma mfl. 2011, Kvaalen mfl. 2015, Tveite 2017). Det er heller ingen tvil om at boniteten har auka i furu. Både i gran og furu vil resultatet verta om lag det same om ein nyttar andre funksjonar for å rekne ut boniteten (data ikkje synt). Det at differansen mellom furuskog på vegetasjonstypene blokkbær /bærlyng- og blåbær skog syner liknande utvikling over tid som i gran, underbygger at utviklinga truleg skuldast både positive effektar av klima, nitrogendeposisjon og  $\text{CO}_2$  og negative effektar av anna luftforureining som svoveldioksid.

Når det gjeld grunnflatesummen i ungskog har me ikkje teke med resultat frå dette fordi grunnflata i ungskog i takstener estimert på grunnlag av ein funksjon som ikkje hadde svært høg forklaringsgrad med ein empirisk korrelasjonskoeffisient på 0.36 (Gobakken & Næsset 2007). Data frå taksten er såleis kanskje ikkje gode nok til å karakterisere tilhøvet mellom tretal og grunnflate i ungskog. Men gode modellar for sambandet mellom tretal og grunnflate i ungskogen er viktig fordi alle dei norske tilvekstfunksjonane (Eide og Langsæter 1941, Braastad 1977, Blingsmo 1984, Andreassen, Eid og Tomter 2009, Gizachew & Brunner 2011) syner at grunnflatetilveksten aukar sterkt med grunnflata og fell med alderen. Det tilseier at ei høg grunnflate i ung skog vil gjeva stor tilvekst utover i omløpet. Det bør difor gjerast ei større arbeide med å samle inn gode og omfattande data for tilhøvet mellom grunnflate, tretal, middelhøgde og bonitet i ungskog for å kunna vurdere om desse tilhøva har endra seg sidan Braastad (1975) og Blingsmo (1984) laga sine funksjonar som enno er i bruk.

For eldre skog i hogstklasse IV og V er der nytta ein annan funksjon til å estimere tretal og grunnflatesum. Denne funksjonen gav relativt god tilpassing med ein empirisk korrelasjonskoeffisienten på 0.87. (Gobakken & Næsset 2007). Dermed skulle sambandet mellom tretal og grunnflatesum i produksjonsskogen vera meir påliteleg enn i hogstklasse II. Legg me dette til grunn kan me tolke resultatata (Figur 11) slik at på småbregnemark så har den eldre skogen hatt dårlegare diameterutvikling enn Braastad (1975) sin modell. Avviket har vore størst i fjellskogen og mindre i låglandet. Men i skog yngre enn femti år har produksjonen vore minst som føresett og ein god del over. På blåbærmark er også grunnflata lågare enn venta i skog

som er sytti år og eldre og der har vore nesten lita eller ingen effekt av høgda over havet. I den nedste delen av Figur 12 som omfattar skog på bærlyng mark ser me at grunnflate avvik endå meir nedover i den eldre skogen enn på blåbærmark. Samstundes er tilhøvet mellom grunnflate og høgde over havet motsett av kva det var på småbregnemarka. Ei rimeleg forklaring på denne utviklinga og tilhøvet mellom vegetasjonstypene kan vera at på bærlyngmarka har vatn vore ein minimumsfaktor. På småbregnemarka har det vore nok vatn slik at når temperaturen har auka så har også produksjonen auka. Det er påfallande at både for småbregne- og blåbærskog er det fjellskogen som har størst positivt avvik i grunnflatesum i den yngste skogen i hogstklasse IV og V. Desse resultatane samsvarar med kva Nilsen (1990) fann i undersøkingar av små granplantingar i høgareliggande skog i Hedmark, der diametertilvekst og ståande grunnflate var mykje høgare enn venta frå Braastad (1975) sin modell. I ei større undersøking av diametervekst i gran fleire stader i Europa fann ein at vatn sjeldan mangla i høgareliggande norsk skog Mäkinen mfl. 2002). Ein kan likevel ikkje tolke Figur 12 slik at fjellskogen no i absolutte tal har produsert meir enn låglandsskogen fordi boniteten er endå høgare i låglandet (Figur 6).

Også i furu ser det ut til at grunnflatsummen i yngre skog er vel så høg som venta ut frå Brantseg (1969) og Braastad (1980) sine modellar. I gran tyder analysane av tilhøvet mellom tretal og grunnflate i ulike aldersklasser innan hogstklasse IV og V på at det er den tette skogen har produsert relativt meir enn før. Det same synes å gjelda i furu, men ikkje i like stor grad. Men endringa er i begge treslag så stor at dersom den er reell vil det økonomiske optimum verta forskuva mot høgare tretal. Om me legg til grunn at dette er reelt, så vil dette i furu kunna ha som konsekvens at mykje høgare prosentdel av trea får så breie årringar i nærleiken av marginen at dei aldri vil kunna oppfylle krava til sortiment som furu spesial. Desse sortimenta er og har vore mykje betre betalt enn vanleg skurtømmer. Ifylgje Skogdata utgjorde ymse furu spesialsortiment ca 4 prosent av avvirka volum i Hedmark og Østfold i 2017, over 7 prosent av bruttoverdien, og sjølvsagt endå meir av nettoverdien. Sagtømmereksepten til Sverige har gjort at prisane og pristilhøva nærmar seg dei svenske. I det svenske klasse 1 sortimentet er prisen på ein stukk med 20 cm toppmål om lag ti prosent høgare enn ein stukk med 32 cm toppmål i klasse 2 som har krav om lag som norsk prima. Ei tidleg og hard nedregulering av tretalet i furu vil både gjera det vanskeleg å produsere monalege volum av dei best betalte sortimenta, samstundes som den totale volumproduksjonen også minkar, med det resultat at nettoinntekta av sluttavvikringa kan gå mykje ned slik det gjeng fram av Figur 16. Dette talar for det tradisjonelle rådet for skjøtsel av furu; etablere tette forynging, og ikkje regulere ned tretalet for mykje tideleg i omløpet (Fahlvik, Ekö & Pettersson 2005). I furufelt frå 1950 og 60 talet etablerte Vestjordet (1960) mange avstandsreguleringsforsøk. Resultat frå eit av forsøk som ligg på Grindalsmoen i Elverum var prententert av Øyen m. fl. (2010). Ved femtifem års alder var ståande volum der det var regulert til 4500 tre per hektar om lag førti prosent høgare enn i uregulerte ruter, som var svært tette, og seksti prosent høgare enn der det var regulert til 2500 tre. Data frå desse forsøka vil verta analysert samla, men desse delvise resultatane underbygger og at ein ikkje bør redusere tretalet for mykje tidleg i omløpet. Data frå denne taksten kan som nemnt ikkje nyttast til å sei noko om tynning, men dersom prisen på massevirke og sagtømmer av små dimensjonar, er høg nok til å gjeva netto frå tynninga, kan resultatane frå forsøka på

Grindalsmoen tyde på at ein kan vinne mykje på å starte med eit relativt høgt tretal og tynne seg fram til eit bestand med stort volum av høg kvalitet i furu.

## Oppsummering

Taksten syner at boniteten er mykje høgare i yngre skog enn i gamal skog, dette gjeld både for reine granbestand og blandingsbestand. Det gjeld og for alle vegetasjonstypar og i alle høgdelag. Skilnaden i bonitet mellom vegetasjonstypar har minka mykje, men rangeringa er om lag som før, med høgast bonitet på dei rikaste typane som høgstaude/lågurt og lågast på bærlyng. Men sjølv på bærlyngmark i fjellskogen har mykje av den yngre skogen vakse til minst G17. Areal med reelt sett låg bonitet må såleis vera mykje mindre enn ein tidlegare har rekna med og areal med høg og sær s høg bonitet, over G23, er tilsvarande større.

Grunnflatesummen i dei yngre delane av hogstklasse IV og V er minst så høg som venta ut i frå Braastad (1975) sin modell for sjølvtyinna skog når ein relaterer grunnflata til middelhøgda. Spesielt skal ein merke seg at tilhøvet mellom tretal og diameter ser ut til å vera endra; den eldre skogen har mindre diameter ved ein gjeven S-prosent enn venta, medan den yngre skogen har heller større diameter enn venta. Fordi tilveksten ikkje er målt og tidlegare skogbehandling er ukjent, kan ikkje resultatane nyttast til å sei noko om verknaden av tynning. Men ein kan i alle høve gjeva nokre generelle råd:

1. Ved etablering av ny skog bør ein sjølvst legge nye objektive bonitetstal til grunn for val av plantetal og ungskogpleie.

2. Eldre granskog på bærlyngmark har hatt lågare grunnflate enn venta, spesielt i låglandet. Det er grunn til å rekne med at dette i alle fall delvis skuldast at denne marka har vore og vil vera meir tørkeutsett. På bærlyng mark i låglandet er truleg utgangstettleiken som er føresett i program 8 i høgaste laget dersom ein vil drive tynningsfritt.

3. På vegetasjonstypar som blåbærmark og betre kan ein rekne med at produksjonen vil vera minst som føresett i Braastad sitt program 8. Dette tilseier at utgangstettleiken ved 8-10 meters høgde og tynningsfri drift, kan og bør vera minst på nivå med kva Braastad føresette når ein legg reell bonitet til grunn. Det vil sei 1600, 2000 og 2500 tre per hektar for G14, G17 og G20 og betre.

4. Punkt 3 gjeld i endå større grad for dei beste vegetasjonstypane, småbregne, storbregne, lågurt og høgstaude, der reell bonitet no er frå G23 og oppover. Både omsyna til produksjon og kvalitet talar mot sterk, tidleg nedregulering av tretalet på desse markene. Røynslene frå NIBIO sine forsøk tydar på at ein kan få svært høg produksjon på kort tid på G23-G26 ved tynningsfri drift i jamne, tette bestand med utgangstettleik mellom 2500 og 3000 tre per hektar.

5. Der høgdeveksten i ungsbogen har tilsvara G29 og endå høgare så finst der lite eller ingenting av forsøksdata å bygge på. Det mest relevante er resultatane frå takseringar i ein skog i sørvest Sverige der dei planta 2500-3100 per hektar, gjer ikkje avstandregulering og let bestanda stå utynna til over 30 meter overhøgde. Dette har gjeve svært høge volum på over

1300-1400 kubikkmeter per hektar i løpet av femti-seksti år (Johansson 2016). Men kvaliteten og mortaliteten er lite undersøkt her.

6. Grunnflatesummen i yngre skog av gran og furu ser ut til å vera høgare enn venta ved ein gjeven S-prosent. Dette innber at middeldiameteren vert høgare ved eit gjeve tretal som i sin tur vil gjeva vesentleg høgare brutto og nettoinntekt fordi produksjonen og bruttoverdi per tre aukar, medan driftskostnadane minkar.

Kva treng me meir kunnskap om?

Det bør lagast nye høgde/bonitets funksjonar som berre har data frå godt skjøtta felt med sikkert kjent alder. Dei bør ha totalalder som inngang og dei bør kunna løysast analytisk for å brukast til aldersuavhengig bonitering (Kvaalen mfl. 2015). Grunngevinga for dette er at ein no er i ferd med å få skogbruksplanar med sikkert kjent planteår slik at totalalderen vil vera kjent utan feil, medan brysthøgdealder må registrerast i felt og vil alltid ha ein tilfeldig variasjon som kan gjeva store utslag i ung skog. Aldersfri bonitering gjer det mogeleg å bonitere all skog dersom ein har to nøyaktige høgdemålingar med nokre år i mellom. For bestand som er lasertaksert dei seiste ti åra vil slike data verta tilgjengelege i løpet av det neste tiåret. Då vil ein få gode bonitetstal for dei seiste ti åra som er utan feil som skuldast aldersfastsetjinga – og det utan kostbart feltarbeid.

Det trengst også meir kunnskap om tilhøvet mellom grunnflatetilvekst og tretal på dei mindre rike vegetasjonstypene. Sjølv om det store datasettet som er nytta her tyder på at grunnflatetilveksten på slik mark har teke seg opp bør dette kontrollerast med uavhengige tilvekstdata. Det kan ein skaffe ved å legge ut eingongsflater på aktuelle vegetasjonstypar og spesielt på tørkeutsett mark. Det vil gjeva betre grunnlag for val av tretal og treslag under slike tilhøve.

Datasettet her og resultat frå avkomforsøk, tyder på at her finst ein heil del areal i låglandet der skogen, med noverande tilvekstnivå, kan nå overhøgder på 28-32 meter, eller meir, femti år etter planting. Desse areala har svært stor verdi når dei vert nytta til intensivskogbruk med gran. Men det trengst betre kunnskap om tilhøvet mellom tretal og diameteretilvekst under rådande veksttilhøve, slik at ein kan finne optimalt tretal for å produsere store volum av god kvalitet på kort tid.

Også i furu er det ingen tvil om at boniteten har auka. Men det ser ikkje ut til at tilhøvet mellom tretal og grunnflate er endra slik som i gran. NIBIO har nokså mange avstandsreguleringsforsøk som vart etablert på 1960 talet. Det er behov for å etablere nye forsøk av same type for å få sett på om tilhøvet mellom tretal, diameter og grunnflate er endra frå 1960 talet til no.

Resultata frå denne taksten provar og at svært mykje av den høgareliggende skogen har mykje større produksjonsevne enn tidlegare rekna med. I alle fylka på austlandet er der store areal i dei øvre høgdelaga der den reelle boniteten ikkje er låg, men middels og høg. For å etterprøve

dette og tidlegare undersøkingar i små plantefelt (Nilsen 1991) bør ein skaffe nøyaktige produksjonsdata frå fleire yngre og middelaldra plantefelt i fjellskogen.

## Referansar

- Abrahamsen G, Stuanes AO, Tveite B. 1994. Long term experiments with acid rain in Norwegian forest ecosystems. Ecological Studies 104. Springer Verlag. Berlin 342 pp.
- Andreassen, K. Eid, . T., Tomter, S.M. 2008. Bestandstilvekstmodeller for “alminnlig” ensaldret skog. (Growth models for stands in ordinary even aged forest in Norway.). Forskning fra Skog og landskap. 06/08: 19 pp. (In Norwegian with English summary).
- Assmann, Ernst 1970. The principles of forest yield study. Pergamon Press, Oxford. English edition. 506 pp.
- Blingsmo, K. 1987. Diametertilvekstfunksjoner for bjørk-, furu- og granbestand. Rapp. Nor. inst. Skogforsk. 7/84: 1-22.
- Blingsmo, K. Veidahl A. 1992. Funksjoner for bruttopris av gran- og furutrær på rot. Rapport fra Skogforsk. 8/92.
- Braastad, H. 1975. Yield tables and growth models for *Picea abies*. Meddr norske SkogforsVes. 31(9): 356-537.
- Brantseg A. 1953. Kubikk- og produksjonsundersøkelser i vest-norske granplantninger. Meddr Vestlandets Forstlige Forsøksstasjon. 28:1-109.
- Eerikäinen, K, Valkonen S, & Saksa T. 2014. Ingrowth, survival and height growth of small trees in uneven-aged *Picea abies* stands in southern Finland. Forest Ecosystems. 1:5
- Eide, E. , Langsæter, A. 1941. Produksjonsundersøkelser i granskog. Meddr norske SkogforsVes. 7: 355-500.
- Engardt , M., Simpson, D., Schwikowski, M., & Granat, L. 2017. Deposition of sulphur and nitrogen in Europe 1900–2050. Model calculations and comparison to historical observations. Tellus B: Chemical and Physical Meteorology. 69.
- Franks PJ, Beerling DJ. 2009. Maximum leaf conductance driven by CO<sub>2</sub> effects on stomatal size and density over geologic time. Proc. Nat. Acad. Sci. (106) 25: 10343-10347.
- Fahlvik N, Ekö P-M, Pettersson N. 2005. Influence of precommercial thinning grade on branch diameter and crown ratio in *Pinus sylvestris* in southern Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research, 20:3, 243-251.
- Frivold LH. 1976 Utvikling og produksjon i utynnede granplantninger på I Vest-Norge. Meddr Nor. Inst. Skogforsk. 32.16: 523-576.
- Geng L, Alexander B, Cole-Daib J, Steig EJ, Savarino J, Sofena ED, Schauer AJ. 2014. Nitrogen isotopes in ice core nitrate linked to anthropogenic atmospheric acidity change. Proc. Nat. Acad. Sci. (111) 16: 5808–5812.

Giammarchi F, Cherubini P, Pretzsch H, Tonon G. The increase of atmospheric CO<sub>2</sub> affects growth potential and intrinsic water-use efficiency of Norway spruce forests: insights from a multi-stable isotope analysis in tree rings of two Alpine chronosequences *Trees*. 31: 503–515

Gizachew, B. & Brunner, A. 2011. Density-growth relationships in thinned and unthinned Norway spruce and Scots pine stands in Norway. *Scand. J. For. Res.* 26: 543\_554

Gobakken T, Næsset E. 2002. Spruce diameter growth in young mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and birch (*Betula pendula* Roth *Betula pubescens* Ehrh.). *For. Ecol. Mang.* 171: 297-308.

Gobakken, T., Næsset, E. 2007. Estimation of diameter and basal area distributions in coniferous forest by means of airborne laser scanner data. *Scand. J. For. Res.* 19: 529.542.

Hart, H.M. 1928. *Stammetal en Dunning. Meded Proefstation boschwezen Batavia.* 21. 299 pp.

Johansson, P.O. 2016. En fallstudie av en gallringsfri skötselmetod för gran i Västra Götaland. Eksamensarbete Linneuniversitetet. Växjö. 27pp.

Kennedy MJ, Hedin LO, Derry LA. 2002. Decoupling of unpolluted temperate forests from rock nutrient sources revealed by natural (87)Sr/(86)Sr and (84)Sr tracer addition. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 99(15):9639-44.

Kvaalen H, Solberg S, Clarke N, Torp T, Aamlid D. 2002. Time series study of concentrations of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and H<sup>+</sup> in precipitation and soil waters in Norway. *Environmental Pollution.* 117: 215-224.

Kvaalen H, Solberg S, May J. 2015. Aldersuavhengig bonitering med laserskanning av enkelttrær. NIBIO Rapport. (1) 67: 1-26.

Mäkinen H, Nöjd P, Kahle HP, Neumann U, Tveite B, Mielikäinen K, Röhle H, Heinrich Spiecker. 2002. Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *For. Ecol. Manag.* 171: 243–259.

Mork, E. Om sambandet mellom temperature, toppskuddtilvekst og årringenes vekst og forvedning hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.). *Meddr norske Skogfors Ves.* 16 (4):225-333.

Nilsen, P. 1990. Høydeutvikling og produksjon i gamle granplantninger i fjellskog. Rapport 12/90. Nor. Inst. Skogforsk.

Nilsen, P. 2001. Fertilization experiments on forest mineral soils: A review of the Norwegian results. *Scand J For Res* 16: 541-554

Nord Larsen, T., Meilb, H., & Skovsgaard, J.P. 2009. Site-specific height growth models for six common tree species in Denmark. *Scand. J. For. Res.* 24: 194-204.



Røsberg I, Frank J, Stuanes AO. 1998. Nærings sirkulasjon etter kalking og gjødsling. Aktuelt fra skogforskningen. 2/98. 9-16.

Samset I. 1995 Hundre og femti år I forsøksskogen. Rapp. Skogforsk 9/95. 1-302.

Sharma, R.P., Brunner, A., Eid, T., Øyen, B.H. 2011. Modelling height growth from national forest inventory data with short time series and large errors. For. Ecol. Manage. 262: 2162-2175.

Sharma, R.P., Brunner, A., Eid, T. 2012. Site index prediction from stand and climate variables for Norway spruce and Scots pine in Norway. Scand. J. For. Res. 1-12.

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., 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.

Skjelkvåle, B., Steinnes, E., Rognerud, S., Fjeld, E., Berg, T., & Røyset, O., 2006. Trace metals in Norwegian surface waters, soils, and lake sediments – relation to atmospheric deposition. NIVA Report. 5222-2006. 70 pp.

Steinnes, E., Flaten, T.P., Varskog, P., Låg, J., Bølviken, B. 1993. Acidification status of Norwegian forest soils as evident from large scale studies of humus samples. Scan. J. For. Res. 8: 291-304.

Tveite B. 1967. Sambandet mellom grunnflateveid middel høyde (HL) og noen andre bestandshøyder i gran- og furuskog. Meddr norske SkogforsVes. 22: 483-538.

Tveite B. 1977. Bonitetskurver for gran. Medd. Nor. Inst. Skogforsk. 33(1):1-84.

Tveite B, Braastad H. 1981. Bonitering i gran furu og bjørk. Norsk Skogbruk. 4:17-22.

Tveite, B. 2017. Norsk Skogbruk.

Thomas, R.B., Spal S.E., Smith, K.R., Nippert, J.B. 2013. Evidence of recovery of *Juniperus virginiana* trees from sulfur pollution after the Clean Air Act. Proc. Nat. Acad. Sci. 110: 15319-15324.

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

Øyen BH, Støtvig S, Bøhler F. Ungskogpleie - om å forme framtidens bestand. Årsmelding 2010. Skog og Landskap.

Vestjordet, E. 1977. Avstandsregulering av unge furu- gran-bestand: I: Material, stabilitet, dimensjonsfordeling, m.v. Meddr norske SkogforsVes. 33: 312-436.