



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for naturforvaltning

Masteroppgave 2015
30 stp

Bestandsutvikling etter kraftig og tidlig tynning i gran (*Picea abies*)

Stand development after early heavy thinnings in Norway spruce (*Picea abies*)

Terje Olav Ryd

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på mitt studium i skogfag ved Institutt for Naturforvaltning (INA) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU).

Jeg vil gjerne takke mine medstudenter for en flott studietid og for mange faglige og ikke-faglige diskusjoner.

Jeg vil rette en spesiell takk til min veileder Andreas Brunner for god hjelp og veiledning under arbeidet med denne oppgaven. Jeg vil også takke Mjøsen Skog SA for muligheten til å gjennomføre denne oppgaven og for god hjelp til å finne bestand som kunne brukes til disse undersøkelsene.

En stor takk rettes også til mine medstudenter Simen Vermundsdsammen og Christian Gjærum som gjorde feltarbeidet artig og at det ble gjennomført innenfor rimelig tid.

Til slutt vil jeg takke Amund Trøstheim og Johan Mellbye som villig stilte eiendommene sine til disposisjon og var behjelpelig med å finne leirplass for overnatting.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 14. mai, 2015

Terje Olav Ryd

Sammendrag

Helt siden bestandsskogbrukets inntreden har tynning vært ansett som ett viktig skjøtselstiltak.

Hovedformålet med tynning er å legge til rette slik at de gjenværende trærne får en utvikling som optimaliserer bestandets verdiproduksjon. I Norge står tynning for ca. 13 % av all avvirkning for salg. Som følge av dyr arbeidskraft og lave tømmerpriser tynnes det sjeldent mer enn en gang, dersom det tynnes i det hele tatt.

Tynning i gran (*Picea abies* (L.) Karst.) kan utføres innenfor et stort intensitetsintervall uten at volumproduksjonen reduseres vesentlig. Volumproduksjonen blir ikke redusert vesentlig så lenge grunnflaten ikke reduseres med mer enn 50 % sammenliknet med fulltette bestand. Ved tynning øker også diametertilveksten med økende tynningsintensitet og det er vist at det er mulig å produsere 400 - 600 større trær/ha ved kraftig tynning.

Hovedmålsettingen med denne studien var å beskrive tidlige tynninger på Nes. Det ble etablert 8 prøveflater à ca. 1600 m² i granbestand på Nes, Ringsaker kommune i Hedmark fylke. Flatene befant seg på tidligere beitemark og kalkrik jord og bonitetene var som en følge av det høye.

For å estimere utviklingen ble det benyttet resultater fra tynningsforsøk gjennomført i Norge, Sverige og Finland som har blitt tynnet med liknende intensitet, eller var tynnet til liknende grunnflate eller treantall ved tilnærmet lik dominerende høyde.

Tynningsstyrken i de 8 flatene varierte mellom 36 - 48 % uttak av grunnflate (Tabell 2). Tynningene resulterte i redusert treantall i alle diameterklasser, men den største reduksjonen fant sted i de minste diameterklassene. Dette indikerer at tynningene som ble gjennomført var frie tynninger med hovedvekt på å ta ut små trær.

Kun to av flatene var tynnet tidlig i forhold til vanlig tynningstidspunkt i Norge. Likevel var alle flatene tynnet tidlig nok til at de gjenstående trærne har tid til å øke sin produksjon for å redusere tap i bestandsvolumproduksjon og å øke diametertilveksten.

Til tross for at tynningene ble ansett som kraftige før arbeidet med denne studien startet, ble det estimert at tynningene ikke resulterte i betydelig reduksjon i volumproduksjon og at det må kraftigere tynninger til for å redusere volumproduksjonen.

Abstract

Ever since the introduction of forest management by stands in Norway, thinning has been an important management action. The main purpose of thinning is to concentrate the volume production on a smaller number of trees, and thus increase stand value. In Norway, thinning accounts for approximately 13% of all sold timber. Because of expensive labour force and low timber prices, thinning's are rarely executed more than once during stand rotation, if it is executed at all.

Thinning of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) does not influence stand volume growth for a wide range of thinning intensities. The basal area may be reduced by up to 50 % of that of unthinned controls, without resulting in significant losses in volume production. Increasing thinning intensity results in increasing diameter increment and it is shown that with a heavy thinning it is possible to produce 400 - 600 larger trees per ha.

The main objective of this study was to estimate the development of heavily and early thinned stands of Norway spruce with respect to volume production and single-tree development. 8 sample plots of approximately 1600 m² was established in Norway spruce stands in Nes, Ringsaker municipality, Hedmark county. The sample plots were located on former grazing land and calcareous soil and the site quality was highly fertile.

Estimation of stand development was done by using results from thinning experiments conducted in Norway, Sweden and Finland, which contained thinning's with equal intensity, equal basal area after thinning or equal number of trees per ha with equal dominant height.

Thinning intensity for all 8 sample plots varied between 36 - 48 % removal of basal area (Tabell 2). The number of trees were reduced in all diameter classes, but the greatest reduction was conducted in small diameter classes. This indicates a free thinning were the main objective was to remove small trees.

Compared to normal thinning practice in Norway, there were only two sample plots that had been thinned early. Still, all of the sample plots were young enough so that the remaining trees will have sufficient time to increase their production to reduce losses in stand volume production and increase their diameter.

Even though the thinning's were considered as heavy before the work with this study started, it was estimated that the stand volume production will not be significantly reduced, and that heavier thinning's are needed to reduce stand volume production significantly.

Innhold

1. Innledning.....	1
2. Material og metode.....	4
2.1. Material	4
2.2. Metode	5
2.3. Statistiske beregninger	6
3. Resultater	11
3.1. Tynningene på Nes	11
3.2. Presentasjon av tynningsforsøk for estimering av bestandsutvikling.....	20
3.2.1. Finske tynningsforsøk.....	20
3.2.2. Svenske tynningsforsøk	21
3.2.3. Norske tynningsforsøk.....	22
3.3. Estimering av relativ grunnflate	24
3.4. Estimering av bestandsutvikling ved hjelp av finske forsøk.....	24
3.5. Estimering av bestandsutvikling ved hjelp av svenske forsøk.....	24
3.6. Estimering av bestandsutvikling ved hjelp av norske forsøk.....	24
3.7. Stikkveiseffekt	25
3.8. Tilvekst på enkelttrenivå	26
4. Diskusjon	28
4.1. Tynningene på Nes	28
4.2. Tidspunkt	28
4.3. Volumproduksjon	29
4.4. Enkelttrevekst.....	30
5. Konklusjon	31
Litteratur.....	32

1. Innledning

Helt siden bestandsskogbrukets inntreden har tynning vært ansett som et viktig skjøtselstiltak og det har siden slutten av 1800-tallet vært gjennomført tynningsforsøk i Europa med formål om å undersøke effekter av tynningsintensitet, antall tynninger, tidspunkt og type tynning (Skovsgaard & Vanclay 2008). Tynningens hovedformål er «å legge til rette slik at de gjenværende trærne får en utvikling som optimaliserer bestandets verdiproduksjon» (Andreassen 2007).

Veksten i et bestand er avhengig av alder, bonitet, tetthet og trestørrelse. Ved lav relativ tetthet maksimeres enkelttreets vekst fordi hvert enkelt tre har større tilgang på ressurser (lys, vann og næring), og ved høy relativ tetthet maksimeres bestandsproduksjon fordi en større andel av arealet utnyttes til produksjon (Long et al. 2004). Ved ekstreme tettheter inntreer selvtynning som fører til at netto volumproduksjon (total volumproduksjon ekskludert selvtynning) synker selv om total volumproduksjon øker. Ved å kontrollere tettheten, ved hjelp av ungsogpleie og tynning, kan man styre om man vil maksimere totalproduksjonen i bestandet eller om man vil ha større enkelttrær. Dette gjøres ved at man manipulerer kronedekket og dets bladareal (Long et al. 2004). Tynning fører umiddelbart til en reduksjon i bladarealet på bestandsnivå, men etter en tid, som avhenger bestandsalder, bonitet og tynningsintensitet, vil de gjenstående trærne øke sin produksjon av bladmasse til nivået før tynning (Long et al. 2004).

Volumproduksjonen i granbestand (*Picea abies* (L.) Karst.) er generelt negativt korrelert med tynningsintensitet ved at total volumproduksjon synker med økende tynningsintensitet (Agestam 2009; Braastad & Tveite 2001; Mäkinen & Isomäki 2004a; Nilsson et al. 2010; Wallentin 2007). Det er imidlertid vist gjennom en rekke forsøk at produksjonen ikke går signifikant ned for et bredt intervall av tynningsintensiteter (Skovsgaard & Vanclay 2008). Mäkinen og Isomäki (2004a) fant blant annet at volumproduksjonen ikke ble redusert med mer enn 10 % i forhold til utynnet gjennom hele omløpet ved 40 % gjennomsnittlig relativ grunnflate i forhold til fulltette bestand. For å redusere total volumproduksjon signifikant i gran er det funnet at den gjennomsnittlige relative grunnflaten må reduseres med mer enn 50 - 60 % (Wallentin 2007). En engangstynning med uttak av 63 - 70 % av grunnflaten før tynning i Sverige, førte til en reduksjon på inntil 20 % i total volumproduksjon, men netto volumproduksjon ble ikke signifikant redusert i forhold til utynnet (Nilsson et al. 2010). Braastad og Tveite (2001) viste ved tynningsforsøk i gran i Norge at volumproduksjonen sank med inntil 15 % sammenliknet med kontrollruter, som ble tynnet til ca. 2000 trær/ha, ved å redusere treantallet til 1100 trær/ha ved 16 m overhøyde, mens for svakere og tidligere tynninger var reduksjonen i volumproduksjonen mindre.

Enkelttreveksten blir også påvirket av tynning ved at hvert enkelt tre utnytter nye tilgjengelige ressurser og øker sin produksjon av biomasse. Diametertilveksten er funnet å øke med økende tynningsstyrke og fører til større gjennomsnittlig diameter i bestandet ved hogstmodenhet enn for utynnede bestand, men for å øke diametertilveksten vesentlig må tynningen utføres tidlig (Braastad & Tveite 2001; Mäkinen & Isomäki 2004a; Nilsson et al. 2010). Mäkinen og Isomäki (2004a) fant at ved tidlig (overhøyde 9,8 - 16 m) og kraftig tynning kan årlig diametertilvekst øke med 1 mm/år for de 400 grøvste trærne/ha og 2 mm/år for alle trær. Ved en engangstynning med en reduksjon i grunnflaten på 63 - 70 %, kan diametertilveksten til de 300 grøvste trærne/ha øke med 18 % i forhold til utynnet, men dette kan redusere total volumproduksjon med inntil 20 % i forhold til utynnet (Agestam 2009). Volumtilveksten til enkelttrær øker med økende tynningsstyrke og lavere overhøyde ved tynning, og det er mulig å produsere 400 - 600 større trær/ha i løpet av omløpet ved kraftig tynning (40 % uttak av grunnflaten før tynning) sammenliknet med å la bestandet være utynnet (Mäkinen & Isomäki 2004b).

Som en følge av dyr arbeidskraft og lave tømmerpriser gjennomføres det i Norge i dag sjeldent mer enn en tynning, dersom det tynnes i det hele tatt (Andreassen 2007). Tynningsaktiviteten i Norge har hatt en svak økning mellom 1995 og 2007 fra 8 - 13 % av all avvirkning for salg (Statistisk sentralbyrå 2008). Tynningsandelen av avvirkning for salg er derimot høyere hos Glommen Skog, der 20 % av all avvirkning kom fra tynning i 2014 (Glommen Skog 2014).

Normalt tynningstidspunkt i Norge i dag er ved overhøyde 14-19 m (Landbruksdirektoratet 2014), men for å forebygge mot stormskader anbefales det å tynne treantallet ned til 800-1000 trær/ha før bestandet når en overhøyde på 14 m (Bøe 2014). Norske anbefalinger om tynningstidspunkt og intensitet i gran innebærer en minimum grunnflate etter tynning på 24-28 m² ved overhøyde 16-18 m og det frarådes å tynne ved overhøyde over 20 m (Andreassen 2007; Glommen Skog 2008; Myklestad et al. 2013).

Denne studien er en del av prosjektet «Maskinell ungskogpleie med uttak av biovirke» i regi av Mjøsen Skog SA. Målet med prosjektet er å «etablere et kvalitetsfremmende konsept i eldre hogstklasse 2 og yngre hogstklasse 3, hvor alternative motormanuelle tiltak blir svært kostbare, slik at de ofte ikke blir gjennomført». Som en følge av tiltakets tidspunkt, kan det også kalles en tidlig tynning. Det er ment å gjennomføres i bestand der ungskogpleie i liten grad, eller ikke i det hele tatt har blitt utført. Tiltaket blir gjennomført ved hjelp av hogstmaskin med flertrehånderingsaggregat og lassbærer. Alt virke blir grovkvistet og kjørt ut som ett sortiment til biovirke. Tiltakets ideelle bestand er antatt å ha en overhøyde på 11 - 13 m, høyt treantall og gjerne en betydelig andel uønska treslag, herunder alle treslag som ikke er ment å være hovedtreslag, spesielt lauvtreslag. I denne studien er det fokusert på den biologiske delen av tynningene.

Formålet med denne studien var (1) å beskrive tidlige tynninger i granbestand på Nes, (2) estimere hvordan flatene på Nes vil utvikle seg etter tynningen med hensyn på volumproduksjon og enkelttrevekst og (3) undersøke om tynningen var så sterk at den vil føre til redusert bestandsvekst, og i så fall, hvor stor reduksjon vil bli.

2. Material og metode

2.1. Material

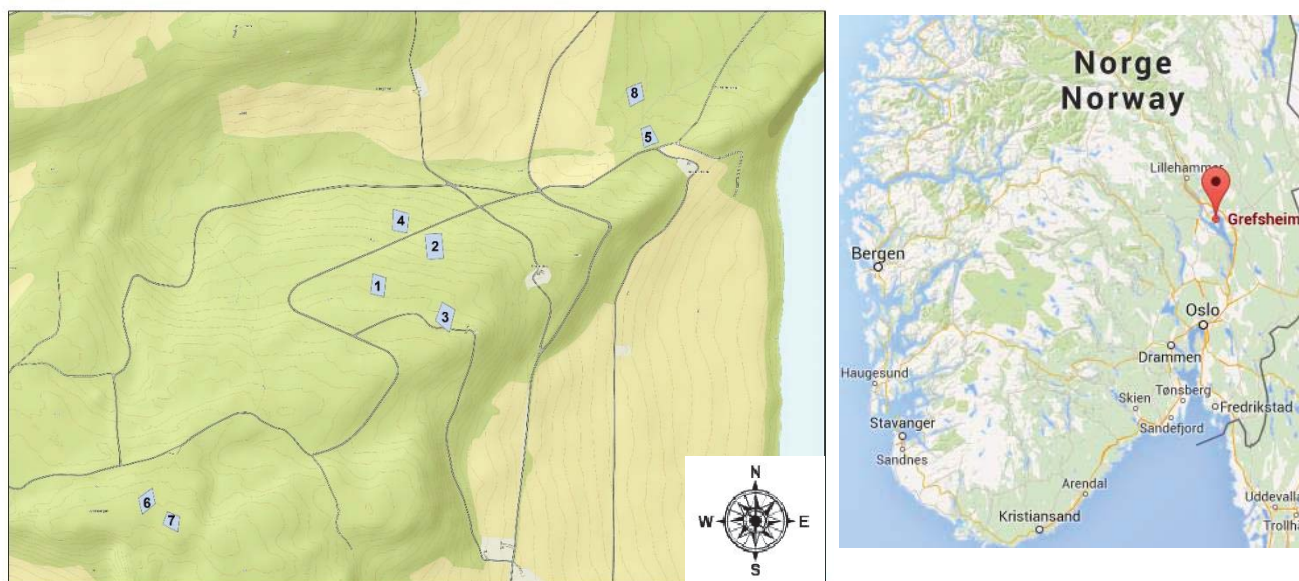
Dataene som er brukt i denne studien er samlet inn på Nes, Hedmark (60°48' N, 10°57' Ø).

Prøveflatene ble etablert i juni 2014 i grandominerte (*Picea abies* (L.) Karst.) bestand der tynning var utført i januar 2014. Prøveflatene ble lagt ut for å representere typiske situasjoner ved tynning.

Kriterier for utvelgelsen var:

- Hovedtreslaget var gran
- Homogene forhold innenfor flaten
- En del av prosjektet «Maskinell ungskogpleie»

Alle flatene befant seg på kalkrik mark og flate 1 - 5 og 8 befant seg på tidligere beitemark. Boniteten (H_{40}) varierte fra 23 - 32 m, mens alderen varierte fra 13 - 23 år. Flatene befant seg i tre forskjellige bestand med minimum to flater pr. bestand. Flate 1 - 4 befant seg i Grefsheim vest, 5 og 8 i Grefsheim øst og 6 - 7 på Trøstheim (Figur 1).



Figur 1. Prøveflatenes plassering på Nes.

2.2. Metode

Prøveflatene ble definert ved tre parallelle stikkveier. Flategrensene på tvers av stikkveiene var parallelle og ble funnet ved hjelp av kompassretning 90° i forhold til retningen på midtre stikkvei, mens grensene langs stikkveiene fulgte senter i ytre stikkvei. Stikkveibredden var 4 m og avstand mellom senter av stikkveiene var ca. 20 m. Lengden på flatene langsmed stikkveiene var 40 m og ble målt opp i den midtre stikkveien med målebånd. Størrelsen på flatene varierte fra 1300 - 1765 m². Kraftigste helning på flatene ble målt med Suntto stigningsmåler og hjørnene på flatene ble registrert med Garmin GPS.

Treslag, høyde (m), brysthøydiameter (dbh), diameter ved stubbeavskjær (diameter ved typisk stubbehøyde på flaten) på hvert 4. tre, diameter på stubber, retning (gon) og avstand (m) til tre og stubbe fra flatesentrum og eventuelle kommentarer ble registrert på hver flate.

Dbh og diameter ved stubbeavskjær ble målt med diameterbånd, mens diameter på stubber ble målt med klave i retning flatesentrum. Stubbediameter på trær ble målt for å kunne estimere dbh fra stubbediameter for trær som ble fjernet i tynningen. Avstand til hvert tre ble registrert ved hjelp av en Vertex høydemåler (Haglöf) og retningen ble registrert ved hjelp av en teodolitt (vinkelmålingsinstrument). Posisjonene ble registrert for å lage kart over trærnes posisjon før og etter tynning. I tillegg var posisjonene nødvendige for to andre oppgaver som er basert på det samme materialet, samt for å lette arbeidet med å finne igjen trær og stubber ved eventuelle senere registreringsoppfølging.

Ved utvalg av høydetrær ble trærne delt inn i fire diameterklasser for hver flate. De 25 % minste, 25 % nest minste, 25 % nest størst og de 25 % største, hvorav det ble målt høyde på fem trær i hver klasse på hver flate, til sammen 20 pr. flate. Dette ga til sammen 160 høyder hvorav 140 er benyttet videre grunnet annet treslag enn gran på de resterende.

For bestemmelse av alder ble det telt årringer på minimum fem store granstubber (blant de største på flaten) på hver flate. For å bestemme brysthøydalder ble det benyttet 10 år som tid til brysthøyde (Skog og Landskap 2008) og 4 år som tid til stubbehøyde. Tid fra stubbehøyde til brysthøyde var da 6 år som ble trukket fra antall opptalte årringer.

Diameterklasser vist i Figur 2, Figur 3 og Figur 4 ble delt inn på denne måte: dbh = 5: 0 cm - 7,5 cm, dbh = 10: 7,6 cm - 12,5 cm, dbh = 15: 12,6 cm - 17,5 cm, dbh = 20: 17,6 cm - 22,5 cm, dbh = 25: 22,6 cm - 27,5 cm, dbh = 30: 27,6 cm - 32,5 cm, dbh = 35: 32,6 cm - 37,5 cm, dbh = 40: 37,6 cm - 42,5 cm, dbh = 45: > 42,6 cm.

For å undersøke hvordan flatene ville utvikle seg etter tynning, ble det benyttet resultater fra tynningsforsøk ettersom det kun fantes bestandsdata for før og rett etter tynning for flatene på Nes. For dette formålet ble det benyttet forsøk som har blitt tynnet med liknende intensitet, eller var tynnet til liknende grunnflate eller treantall ved tilnærmet lik dominerende høyde. Relativ grunnflate ble brukt for å sammenlikne den relative tettheten etter tynning.

Relativ grunnflate etter tynning mellom stikkveiene ble beregnet ved å utelate trær som i tynningen ble tatt ut i stikkveier. Relativ grunnflate mellom stikkveiene ble da forholdet mellom grunnflate etter tynning og grunnflate før tynning for arealet som ikke var stikkvei.

2.3. Statistiske beregninger

For å finne grunnflate og volum før tynning trengtes det informasjon om dbh for trær fjernet i tynningen. Dette ble estimert ved hjelp av tredjegrads polynomer som beskrev sammenhengen mellom dbh og stubbediameter. Etter sammenlikning av R^2 og residualplott ble det besluttet å benytte én regresjon for bjørk og én for resten av treslagene da utelatelse av bjørk førte til bedre forklaring for resten av treslagene. Regresjonen for bjørk hadde $R^2 = 0,94$ (Formel 1), mens regresjonen for de resterende treslag hadde $R^2 = 0,97$ (Formel 2).

Formel 1

$$Dbh (cm) = 0,2893279 + 0,7681222 * Diameter stubbehøyde (cm) - 0,0031796 * (Diameter stubbehøyde (cm) - 11,64)^2 + 0,0003756 * (Diameter stubbehøyde (cm) - 11,64)^3$$

Formel 2

$$Dbh (cm) = 1,470354 + 0,7595837 * Diameter stubbehøyde (cm) - 0,0049079 * (Diameter stubbehøyde (cm) - 14,7556)^2 + 0,0003612 * (Diameter stubbehøyde (cm) - 14,7556)^3$$

Høyder for trær som ikke ble målt, ble estimert ved hjelp av én modifisert utgave av Näslunds høydekurve (Näslund 1937) (Formel 3) der parameter a og b blir estimert av dataene (Gizachew et al. 2012). Det ble tilpasset én regresjon til hvert bestand da det viste seg ved å sammenlikne residualer,

root mean square error (RMSE) og R^2 at dette ga like god forklaring som én regresjon for hver enkelt flate (Tabell 1).

Formel 3

$$H\ddot{o}yde\ (m) = \left[\left(\frac{dbh(cm)}{a+b*dbh(cm)} \right)^3 \right] + 1,3$$

R^2 for estimert høyde ble beregnet ved hjelp av formel 4, der SSE_{ex} er kvadrert differanse mellom estimert høyde og virkelig høyde, og SSEmodell er output fra statistikkprogrammet JMP® (SAS Institute Inc. 2012). Alle regresjonene viste god forklaring med R^2 over 0,90 for alle flater og høyeste RMSE på 1,61 m (tabell 3).

Formel 4

$$R^2 = \frac{SSE_{ex} - SSE_{modell}}{SSE_{ex}}$$

Tabell 1. Parametere som inngår i Näslunds høydekurve. Regresjoner er like for flate 1-4, 5 og 8 og 6-7. RMSE og R^2 viser regresjonenes forklaring på hver enkelt flate.

Flate	a	b	RMSE (m)	R^2
1	1,193	0,3458	1,61	0,91
2	1,193	0,3458	1,33	0,90
3	1,193	0,3458	1,05	0,92
4	1,193	0,3458	1,28	0,93
5	0,9635	0,3892	0,80	0,91
8	0,9635	0,3892	1,26	0,92
6	1,155	0,3524	1,02	0,91
7	1,155	0,3524	1,44	0,90

Beregning av volum (V , m³) for gran og edelgran ble gjort ved hjelp av Formel 5, Formel 6 og Formel 7 (Vestjordet 1967):

$dbh \leq 10$ cm:

Formel 5

$$V = 0,52 + 0,02403 * dbh (cm) * h (m) + 0,01463 * dbh (cm) * h (m) * h (m) - 0,10983 * h (m) * h (m) + 0,15195 * dbh (cm) * h (m)$$

$10 \text{ cm} < dbh < 13 \text{ cm}$:

Formel 6

$$V = -31,57 + 0,0016 * dbh (cm) * h (m) * h (m) + 0,0186 * h (m) * h (m) + 0,63 * dbh (cm) * h (m) - 2,34 * h (m) + 3,20 * dbh (cm)$$

$dbh \geq 13$ cm:

Formel 7

$$V = 10,14 + 0,1240 * dbh (cm) * dbh (cm) * h (m) + 0,03117 * dbh (cm) * h (m) * h (m) - 0,36381 * h (m) * h (m) + 0,28578 * dbh (cm) * h (m)$$

Beregning av volum (V , m³) for furu og lerk ble gjort ved hjelp av Formel 8 og Formel 9 (Brantseg 1967):

$dbh > 11$ cm:

Formel 8

$$V = 8,6524 + 0,076844 * dbh (cm) * dbh (cm) + 0,031573 * dbh (cm) * dbh (cm) * h (m)$$

$dbh < 11$ cm:

Formel 9

$$V = 2,0044 + 0,029886 * dbh (cm) * dbh (cm) + 0,036972 * dbh (cm) * dbh (cm) * h (m)$$

Beregning av volum (V, m^3) for resterende treslag ble gjort ved hjelp av Formel 10 (Braastad 1967):

Formel 10

$$V = -1,86827 + 0,21461 * dbh(cm) * dbh(cm) + 0,01283 * dbh(cm) * dbh(cm) * h(m) + 0,0138 * dbh(cm) * h(m) * h(m) - 0,06311 * h(m) * h(m)$$

Bonitet for hver flate ble beregnet ved hjelp av Formel 11, Formel 12 og Formel 13. Dersom brysthøydealder er mindre enn 100 år skal *diff* være lik Formel 12. Hovedtreslaget skal utgjøre 80 % av treantallet (Fitje & Strand 1989). På flate 7 utgjorde gran kun 76 %, mens furu utgjorde resten (Tabell 2). På flate 4 utgjorde gran kun 77 %, mens furu og lauv utgjorde resten (Tabell 2).

Formel 11

$$ho17 = \left(\frac{brysthøydealder(\text{år}) + 5.5}{4.30606 + 0.164818 * (brysthøydealder(\text{år}) + 5.5)} \right)^{2.1}$$

Formel 12

$$diff = \left(3 + 0.040183 * (brysthøydealder(\text{år}) - 40) \right) - \left(0.104701 * \frac{(brysthøydealder(\text{år}) - 40)^2}{100} \right) + \left(0.679104 * \frac{(brysthøydealder(\text{år}) - 40)^3}{100000} \right) + \left(0.184402 * \frac{(brysthøydealder(\text{år}) - 40)^4}{1000000} \right) - \left(0.224249 * \frac{(brysthøydealder(\text{år}) - 40)^5}{100000000} \right)$$

Formel 13

$$Bonitet = (Hdom(m) - ho17) / \left(\frac{diff}{3} \right) + 17$$

For å beskrive spredningen i diameterfordeling ble det beregnet variasjonskoeffisient for aritmetisk middeldiameter ved hjelp av standardavviket rundt samme middeldiameter.

Linjene i Figur 14 ble beregnet ved hjelp av Formel 14 og Formel 15 der N er treantall/ha.

Formel 14

$$S\% = \frac{100 a}{H_o}$$

Formel 15

$$a = 100/\sqrt{N}$$

For å undersøke om tynningen var tidlig, middels eller sen ble det benyttet de samme kriteriene som i Mäkinen og Isomäki (2004a) og Mäkinen og Isomäki (2004b), der forholdet mellom dominerende høyde (H_{dom}) og høyde ved 100 års alder (H_{100}) avgjør tidspunktet ved hjelp av disse verdiene: Tidlig ($H_{dom}/H_{100} \leq 0,49$), medium ($0,50 \leq H_{dom}/H_{100} \leq 0,60$) og sen ($H_{dom}/H_{100} \geq 0,61$). Dominerende høyde ved 100 års alder ble funnet ved hjelp av høydekurver for bonitet (H_{40}) (Tveite 1977).

3. Resultater

3.1. Tynningene på Nes

Tynningsstyrken i de 8 flatene varierte mellom 36 og 48 % uttak av grunnflate, og de flatene som hadde høyest tynningsintensitet var de flatene som før tynning hadde høyest andel lauv (Tabell 2). Lauvandelen etter tynning var mindre enn 5% på alle flater med unntak av flate 4, mens furuandelen varierte mellom 6 og 24 % der det fantes furutrær (Tabell 2). Den høye lauvandelen på flate 4 (Tabell 2) skyldes at det var den første av flatene som ble tynnet. Tynningsinstruksen ble endret etter at denne flaten var tynnet, med instruks om å fjerne nesten alt lauv. Endringen i instruks gjenspeiles i vesentlig høyere uttak av lauv på resterende flater (Tabell 2).

Andelen furu på flate 1, 2 og 3 skyldes i stor grad få, til dels store trær (Figur 5, Figur 6 og Figur 7). Noen av disse var gjenstående trær fra tidligere omløp. Furutrærne sto spredt og utgjorde generelt liten konkurranse på flatene. På flate 6 og 7 var furuandelen størst av alle flatene, men trærne her var ikke vesentlig større enn grantrærne. Disse flatene fremsto mer som blandingsbestand av gran og furu enn de resterende flatene.

Diameterfordelingen før tynning var fallende, men fikk en unimodal form etter tynning (Figur 2, Figur 3 og Figur 4). Generelt ble treantallet redusert i alle diameterklasser, men størst reduksjon fant sted i de minste diameterklassene. Dette indikerer at det ble gjennomført en fri tynning med hovedvekt på å ta ut trær i mindre diameterklasser. En del av de større trærne som ble fjernet sto i stikkveien eller sto i kort avstand til like store eller større trær og ble med det sannsynligvis fjernet for å favorisere gjenstående trær (Figur 5, Figur 6, Figur 7, Figur 8, Figur 9, Figur 10, Figur 11 og Figur 12).

Den aritmetiske middeldiameteren økte og den relative variasjonen til diameterfordelingene gikk ned for alle flater etter tynning (Tabell 3). Standardavviket derimot, økte etter tynning. Økningen i middeldiameter og reduksjonen i variasjonskoeffisient indikerer at flatene har blitt mer homogene med hensyn på diameterfordeling etter tynning. Det stemmer godt med at diameterfordelingen har gått fra å være fallende til å bli unimodal for alle flater, med unntak av flate 8, fordi det er tatt ut flest småtrær i tynningen. Økningen i standardavvik etter tynning skyldes at middeldiameteren har økt, mens bredden til diameterfordelingen nesten var uendret etter tynning.

For flate 3, 7 og 8 var reduksjonen i variasjon liten, som vil si at spredningen i diameterfordeling var nesten like stor etter tynning som før tynning. Standardavvik og variasjonskoeffisient har noe begrenset verdi til å beskrive fordelinger som ikke er normalfordelte, men de gir likevel indikasjoner på hvordan spredningen endrer seg etter tynning.

Tabell 2. Bestandskarakteristikk før og etter tynning. Treslagsfordeling basert på grunnflate.

D_g = Grunnflatemiddeldiameter.

Flate	1	2	3	4	5	8	6	7
Bonitet (H40) (m)	28	24	25	24	32	31	23	23
Brysthøydealder (år)	21	23	23	23	13	14	23	23
Treantall før (ha)	2159	3047	2621	3705	3623	4244	2386	2714
Treantall etter (ha)	743	1203	1004	1269	1331	1622	1054	1360
Volum før (m ³ /ha)	193	222	197	219	118	190	205	211
Volum etter (m ³ /ha)	107	122	120	129	65	102	127	137
Grunnflate før (m ² /ha)	29,6	31,7	27,3	32,3	21,6	33,2	28,6	31
Grunnflate etter (m ² /ha)	15,5	16,5	16	17,9	11,2	17,1	17,2	19,7
Uttak av grunnflate (%)	48	48	41	45	48	48	40	36
Andel av uttak i stikkvei (%)	41	29	45	48	43	34	41	30
Gran/Furu/Lauv før (%)	68/14/18	76/8/16	88/10/2	63/8/29	81/0/19	81/0/19	82/15/3	78/21/1
Gran/Furu/Lauv etter (%)	86/14/0	87/12/1	88/11/1	77/6/17	99/0/1	95/0/5	82/18/0	76/24/0
H_{dom} (m)	16,9	16,1	16,6	16,1	12,5	13	15,1	15,2
D_g før (cm)	13,2	11,5	11,5	10,5	8,7	10	12,4	12,1
D_g etter (cm)	16,2	13,2	13,8	13,1	10,3	11,3	14,2	13,1

Tabell 3. Variasjon i diameterfordelinger.

Flate	dbh før tynning ¹ (cm)	dbh etter tynning ¹ (cm)	SD ² (dbh før tynning) (cm)	SD ² (dbh etter tynning) (cm)	CV ³ (dbh før tynning) (%)	CV ³ (dbh etter tynning) (%)
1	11,51	14,79	6,51	6,57	56,51	44,40
2	10,27	12,00	5,21	5,41	50,76	45,10
3	9,83	11,89	6,00	7,06	61,02	59,40
4	9,13	11,96	5,26	5,35	57,63	44,74
5	7,70	9,28	4,09	4,41	53,15	47,51
8	10,94	12,90	4,81	5,37	55,01	53,90
6	10,77	11,76	5,73	5,85	52,38	45,34
7	8,75	9,97	5,46	5,87	50,73	49,92

¹ Aritmetisk middeldiameter

² Standardavvik rundt aritmetisk middeldiameter

³ Variasjonskoeffisient

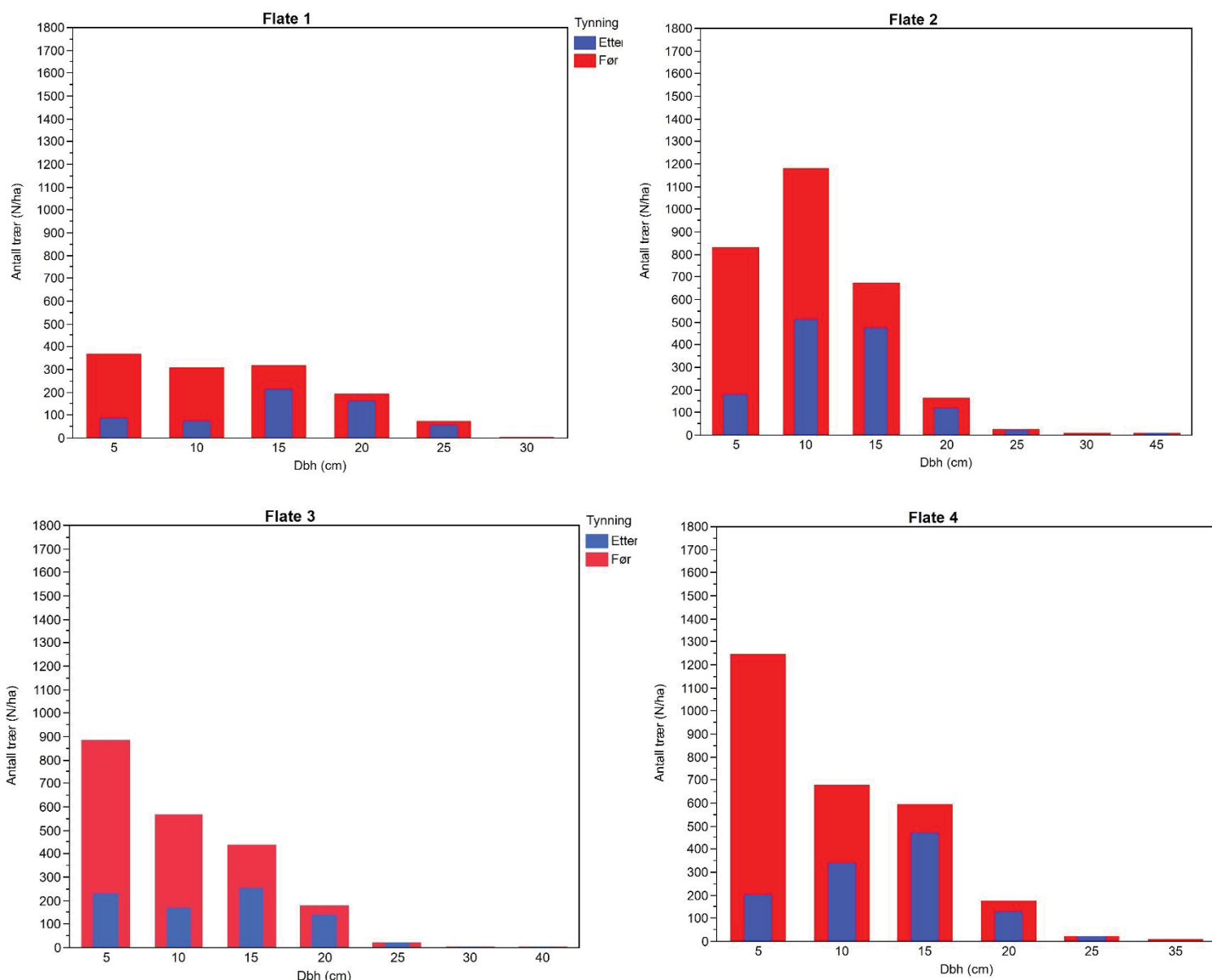
Alle flatene var i nærheten av grensen for selvtynning før tynning fordi selvtynning i gran opptrer ved $S\% = 10$ (Tabell 4 og Figur 14). Det er sannsynlig at alle flater i løpet av kort tid ville nådd grensen for selvtynning dersom de hadde forblitt utynnet.

Flate 1, 5 og 6 var de flatene som hadde enten lavest treantall/ha før tynning eller lavest dominerende høyde, og samtidig høyest $S\%$ etter tynning. Til tross for at $S\%$ på flate 5 var den høyeste av alle, er det ikke denne flaten som er mest glissen etter tynning ettersom den dominerende høyden er 3 - 4 m lavere enn resterende flater. Den høye $S\%$ på flate 1 derimot, som i tillegg har den høyeste dominerende høyden forteller at denne flaten var mest glissen etter tynning. Forskjellen i $S\%$ etter tynning mellom flate 5 og 8 skyldes at det står igjen 300 flere trær/ha på flate 8 etter tynning.

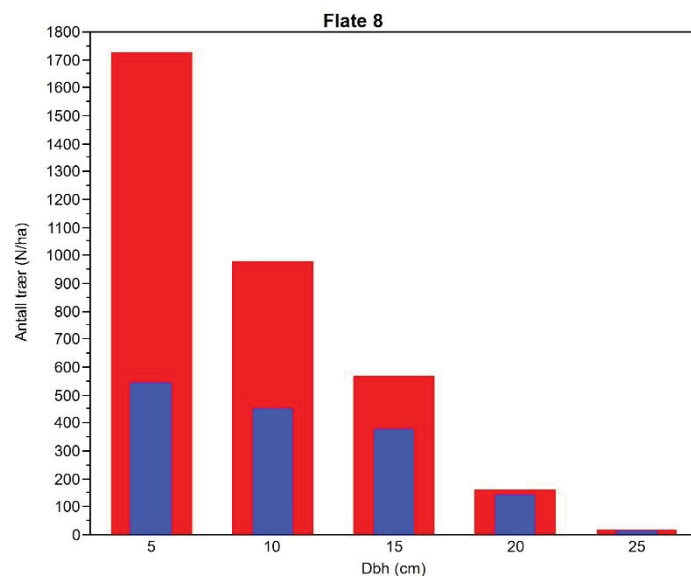
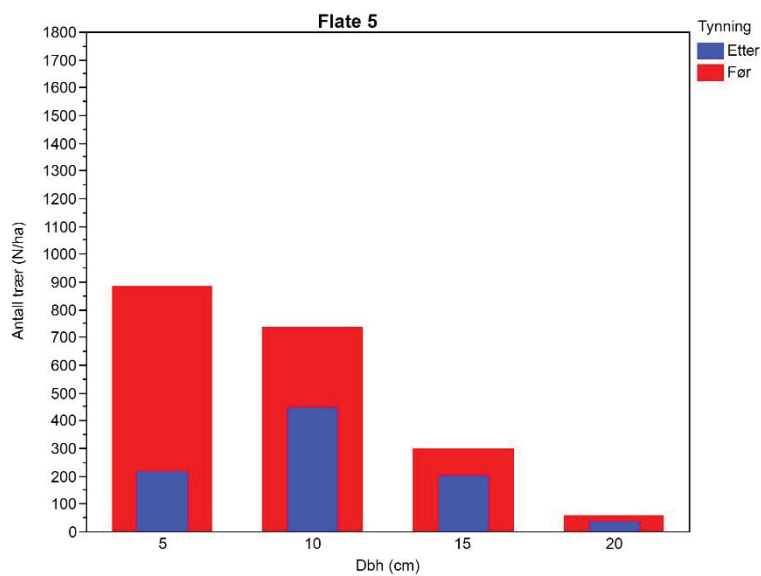
Tabell 4. Stammetallsfaktor ($S\%$) før og etter tynning for flatene på Nes.

Flate	$S\%$ før	$S\%$ etter
1	12,7	21,7
2	11,3	17,9
3	11,8	19,0
4	10,2	17,4
5	13,3	21,9
8	11,8	19,1
6	13,6	20,4
7	12,6	17,8

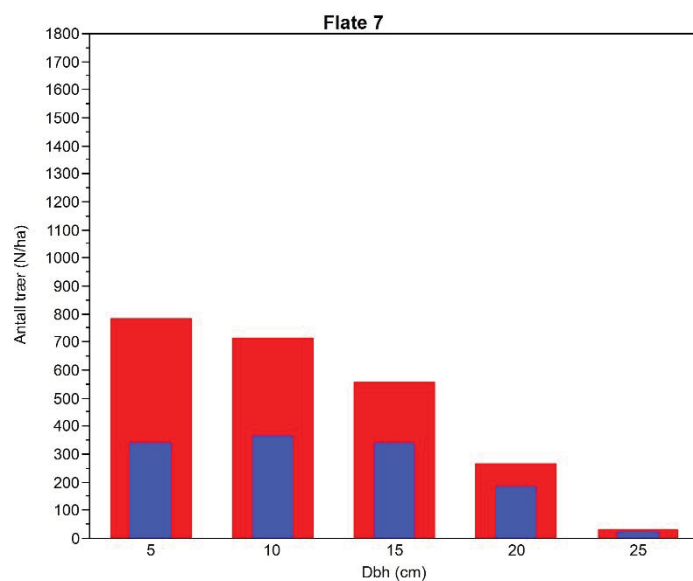
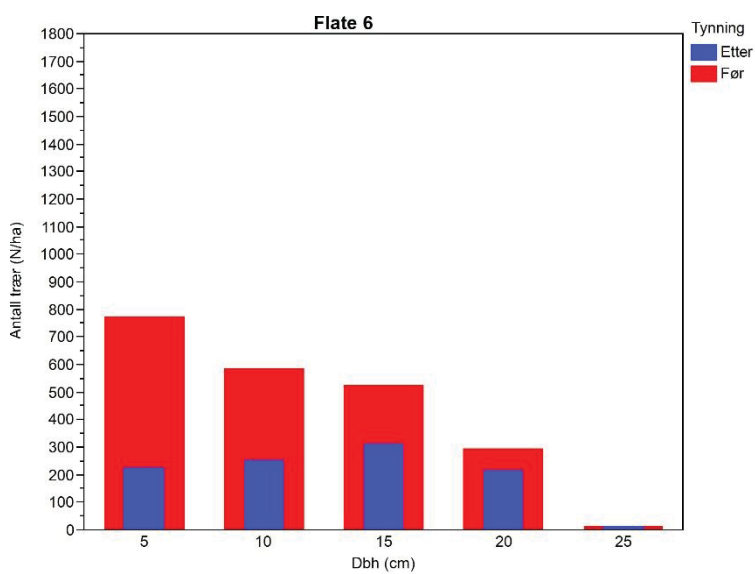
På flate 8 har det vært en annen sjåfør enn på resterende flater og dette kan ha påvirket hvordan denne flaten ble tynnet. Det var et lite område på denne flaten ($X = 15 - 20$ m, $Y = 25 - 35$ m, Figur 10) som ikke ble tynnet, mest sannsynlig som følge av at stikkveien svinger kraftig som har ført til at avstanden mellom stikkveiene ble lengre enn 20 m og at hogstmaskinen ikke har nådd inn til dette området.



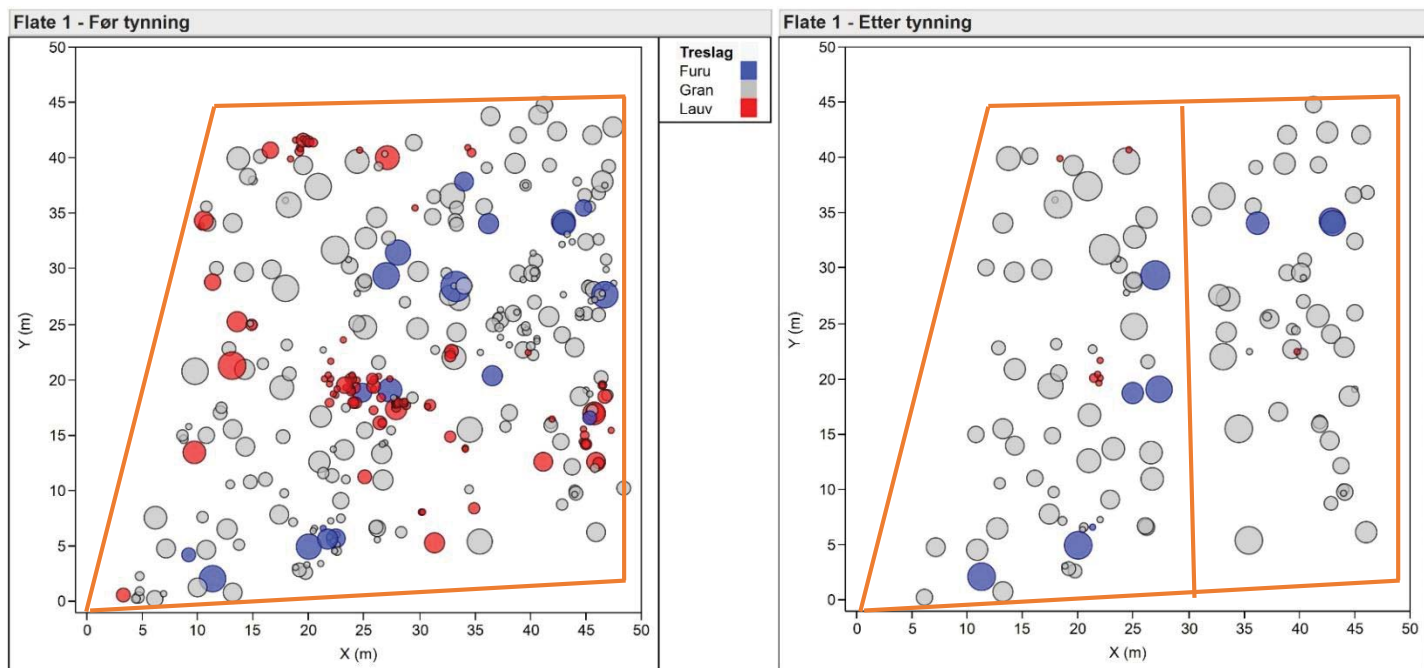
Figur 2. Diameterfordeling for alle trær på Grefsheim vest.



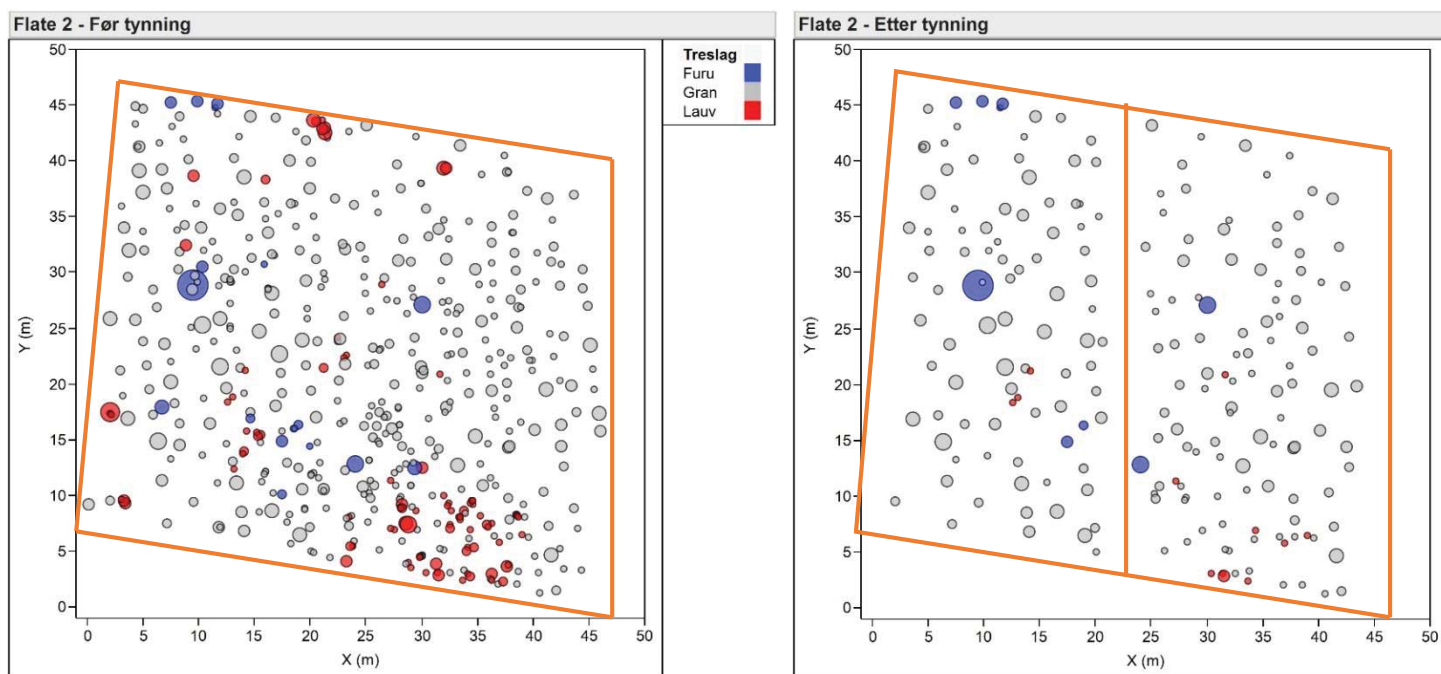
Figur 3. Diameterfordeling for alle trær på Grefsheim øst.



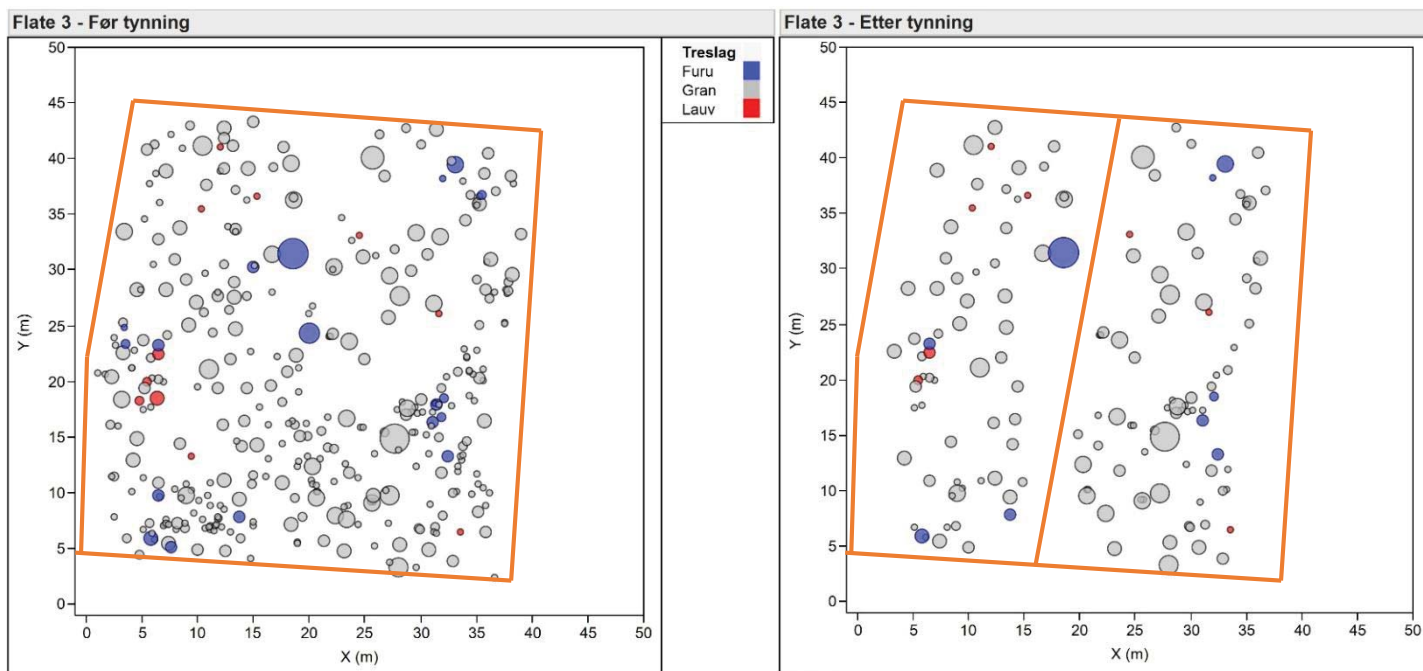
Figur 4. Diameterfordeling for alle trær på Trøstheim.



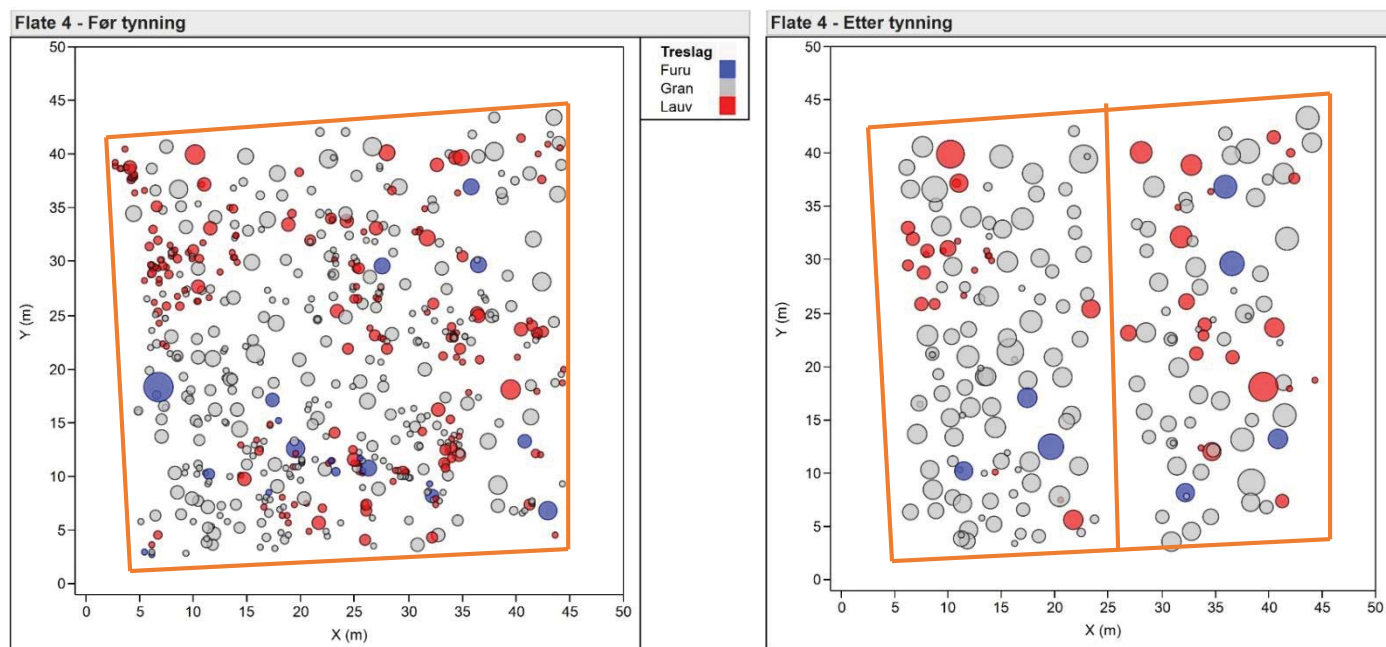
Figur 5. Træs plassering på flate 1. Sirkelstørrelsen angir grunnflaten til hvert enkelt tre i forhold til andre trær. Sirklene har forskjellig størrelse før og etter tynning. Omriss markerer ytre stikkveier og yttergrenser på flaten. Midtlinjen angir midtre stikkvei.



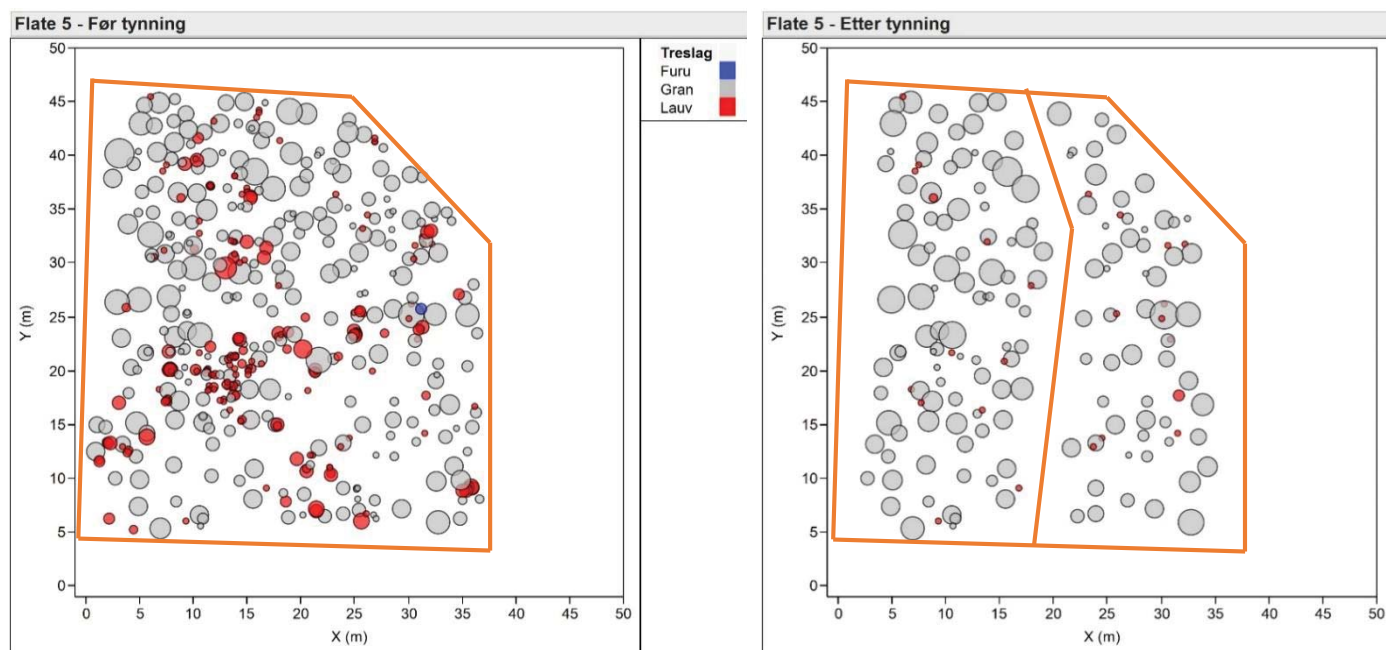
Figur 6. Træs plassering på flate 2. Sirkelstørrelsen angir grunnflaten til hvert enkelt tre i forhold til andre trær. Sirklene har forskjellig størrelse før og etter tynning. Omriss markerer ytre stikkveier og yttergrenser på flaten. Midtlinjen angir midtre stikkvei.



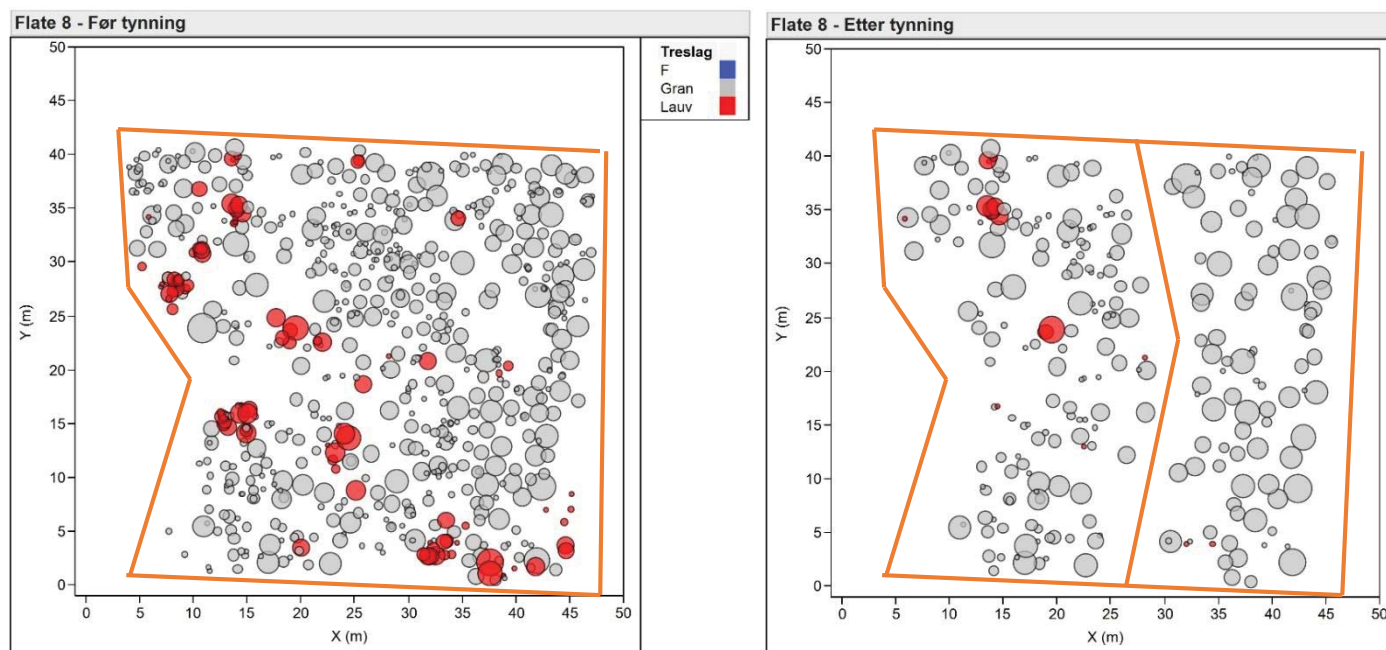
Figur 7. Trærs plassering på flate 3. Sirkelstørrelsen angir grunnflaten til hvert enkelt tre i forhold til andre trær. Sirklene har forskjellig størrelse før og etter tynning. Omriss markerer ytre stikkveier og yttergrenser på flaten. Midtlinjen angir midtre stikkvei.



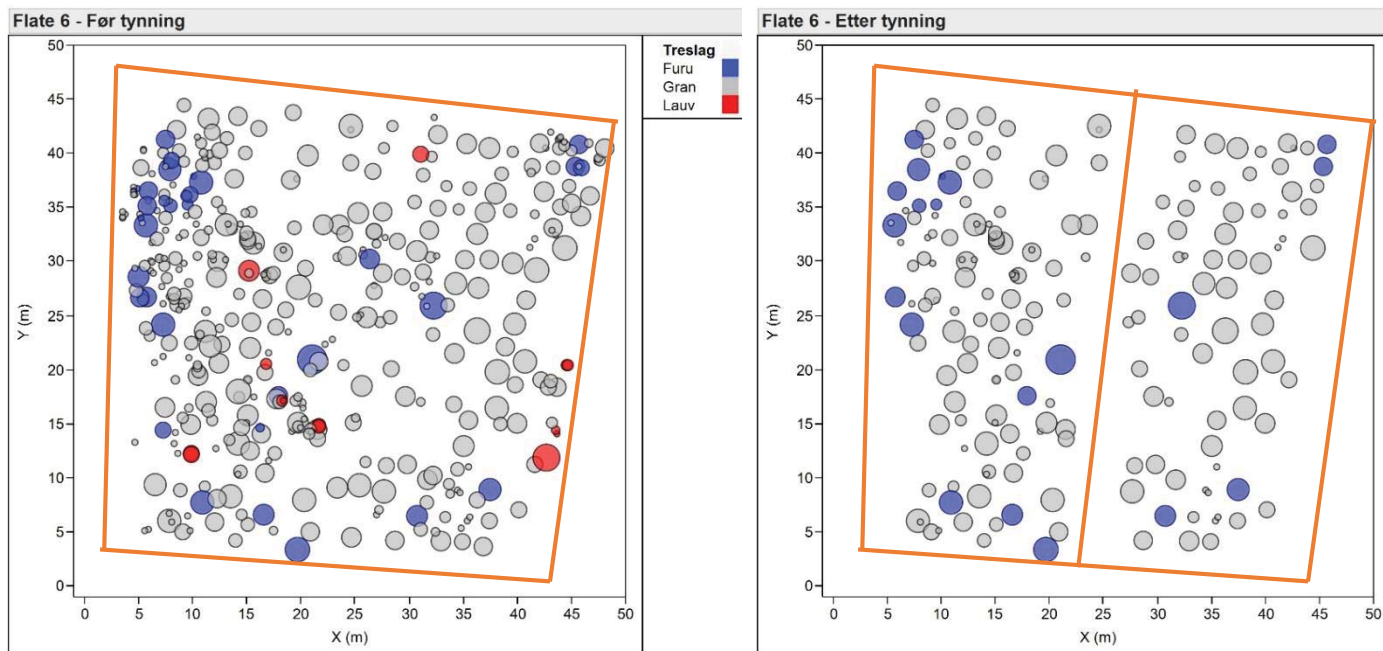
Figur 8. Trærs plassering på flate 4. Sirkelstørrelsen angir grunnflaten til hvert enkelt tre i forhold til andre trær. Sirklene har forskjellig størrelse før og etter tynning. Omriss markerer ytre stikkveier og yttergrenser på flaten. Midtlinjen angir midtre stikkvei.



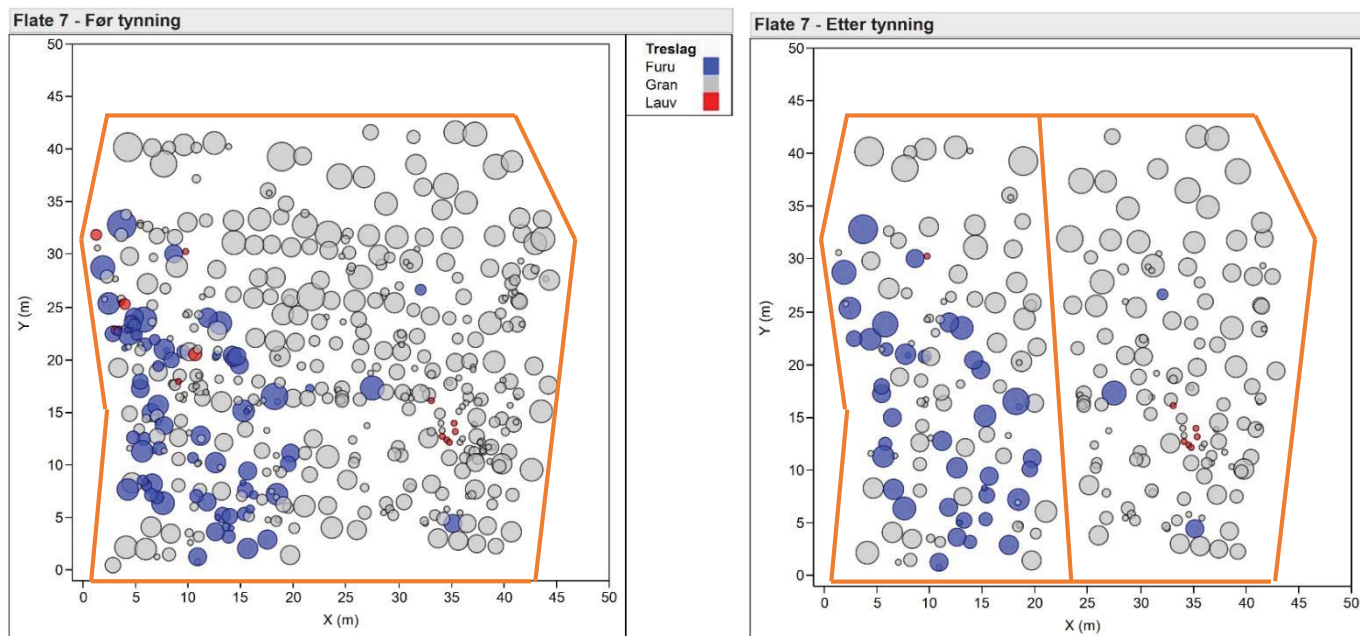
Figur 9. Trærs plassering på flate 5. Sirkelstørrelsen angir grunnflaten til hvert enkelt tre i forhold til andre trær. Sirklene har forskjellig størrelse før og etter tynning. Omriss markerer ytre stikkveier og yttergrenser på flaten. Midtlinjen angir midtre stikkvei.



Figur 10. Trærs plassering på flate 8. Sirkelstørrelsen angir grunnflaten til hvert enkelt tre i forhold til andre trær. Sirklene har forskjellig størrelse før og etter tynning. Omriss markerer ytre stikkveier og yttergrenser på flaten. Midtlinjen angir midtre stikkvei.



Figur 11. Trærs plassering på flate 6. Sirkelstørrelsen angir grunnflaten til hvert enkelt tre i forhold til andre trær. Sirklene har forskjellig størrelse før og etter tynning. Omriss markerer ytre stikkveier og yttergrenser på flaten. Midtlinjen angir midtre stikkvei.



Figur 12. Trærs plassering på flate 7. Sirkelstørrelsen angir grunnflaten til hvert enkelt tre i forhold til andre trær. Sirklene har forskjellig størrelse før og etter tynning. Omriss markerer ytre stikkveier og yttergrenser på flaten. Midtlinjen angir midtre stikkvei.

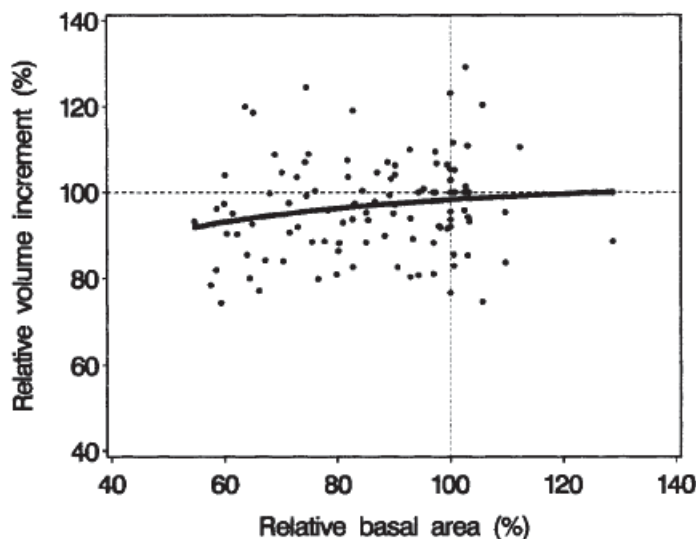
3.2. Presentasjon av tynningsforsøk for estimering av bestandsutvikling

3.2.1. Finske tynningsforsøk

Mäkinen og Isomäki (2004a) undersøkte hvilken effekt tynningsstyrke hadde på diameter-, høyde- og volumtilvekst i plantede granbestand i Finland. Mange av flatene fra disse forsøkene hadde nådd eller var i nærheten av hogstmodenhet ved siste måling og var blitt målt flere ganger over en lang periode. Fra disse forsøkene blir behandlingen «Heavy thinning (H), early onset stage (1)» brukt som grunnlag for estimering av bestandsutvikling på Nes. Grunnflaten ble tynnet ned til 60 % av utynnet kontroll og dette forholdet ble holdt konstant gjennom hele måleperioden ved å tynne flere ganger. Tynningsmetoden som ble brukt var lavtynning. Gjennomsnittlig relativ grunnflate (i forhold til utynnede kontrollruter) for hele perioden for flater med denne behandlingen var 63 %.

Mäkinen og Isomäki (2004b) undersøkte effekten av tynningsintensitet og tynningstidspunkt på grunnflatetilvekst og volumtilvekst på enkelttrenivå. Resultatene stammer fra samme forsøk som beskrevet over og behandlingen «Heavy thinning (H), early onset stage (1)» benyttes til å estimere enkelttreutviklingen på Nes.

Sammenhengen mellom relativ grunnflate og relativ volumtilvekst for alle tynningsintensiteter og tynningstidspunkt i Mäkinen og Isomäki (2004a) er vist i Figur 13. Ved gjennomsnittlig relativ grunnflate ned mot 60 % for perioden etter tynning, sank relativ volumproduksjon kun med inntil 7 % i forhold til utynnet. Det betyr at så lenge den relative grunnflaten på Nes er høyere enn 60 % for hele omløpet vil volumproduksjonen ikke bli redusert med mer enn 7 % i forhold til utynnet.



Figur 13. Sammenhengen mellom relativ grunnflate og relativ volumproduksjon. Figur 6 i Mäkinen og Isomäki (2004a).

Trendlinjene i Figur 14 viser at flatene i Mäkinen og Isomäki (2004a) og Mäkinen og Isomäki (2004b) i gjennomsnitt før tynning hadde lavere tetthet enn flatene på Nes før tynning. Det kan da antas at den relative grunnflaten rett etter tynning (40 %) ikke var relativ til maksimal tetthet, men nær maksimal tetthet og at de utynnede flatene brukte lenger tid på å nå maksimal tetthet enn flatene på Nes vil gjøre. Det kan i beste fall bety at tynningsintervallet uten betydelig reduksjon i volumproduksjon kan gjelde helt ned mot 50 % redusert grunnflate i forhold til før tynning.

For alle flatene på Nes var H_{dom}/H_{100} - forholdet mindre enn 0,49 og gjennomsnittlig H_{dom}/H_{100} - forhold var 0,39 og tynningene kan med det klassifiseres som tidlige. De tidlige tynningene i Mäkinen og Isomäki (2004a) og Mäkinen og Isomäki (2004b) kan med det benyttes til beskrivelse av videre utvikling av volumproduksjon og enkelttrevekst.

3.2.2. Svenske tynningsforsøk

Nilsson et al. (2010) undersøkte effekten av tynningsintensitet, tynningstype og tynningstidspunkt for første tynning på total volumproduksjon og netto volumproduksjon i gran og furu. Resultatene ble analysert for et stort datasett med 13 lokaliteter og et lite datasett med 9 lokaliteter.

Agestam (2009) presenterte resultater fra samme forsøk som Nilsson et al. (2010), men fra kun 8 av 13 lokaliteter og analyserte effekter av forskjellige tynningsprogram på total volumproduksjon, netto volumproduksjon og diametertilvekst.

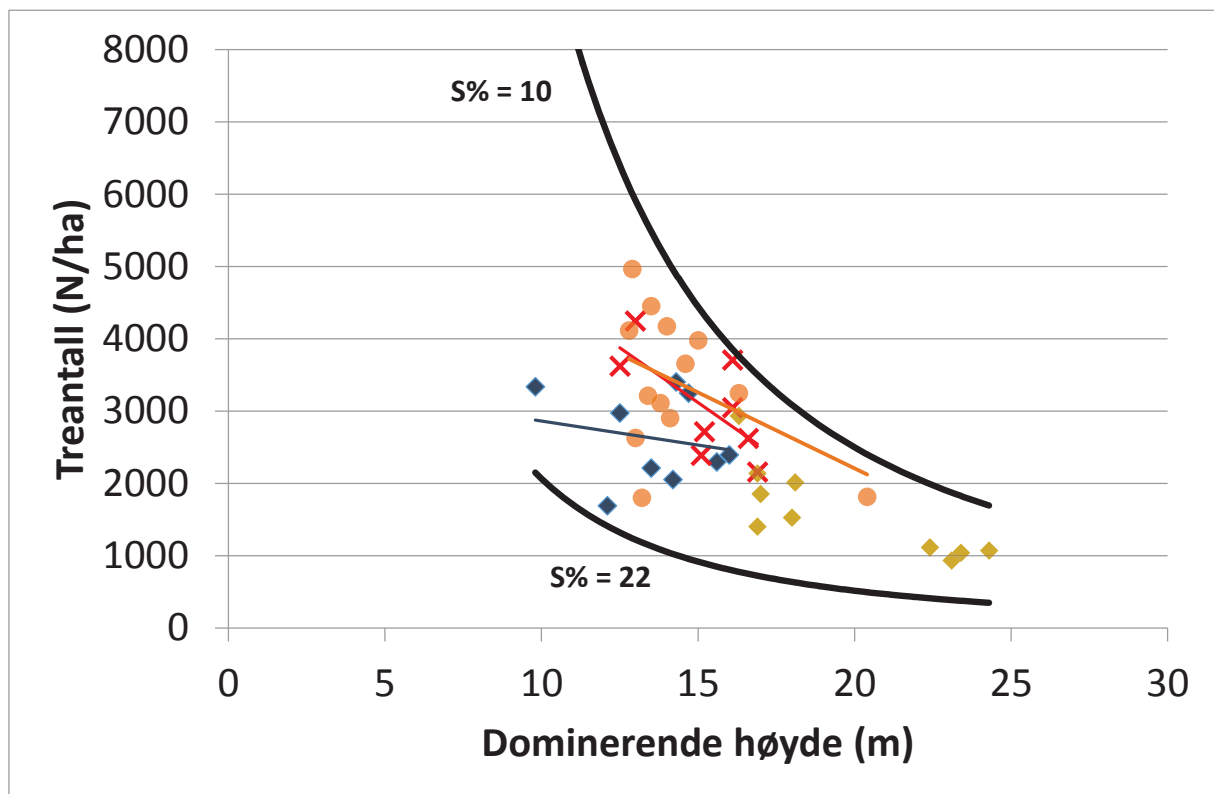
Karlsson (2006) undersøkte effekten av forskjellige tynningsregimer på veksten til de grøveste trærne/ha i ensaldrede granbestand.

De tre ovennevnte studiene stammer fra samme forsøksserie og tynningsbehandlingen C(1:12), som innebar én lavtynning i gran der grunnflaten etter tynning var 12 m²/ha, som benyttes til estimering av volumproduksjon og enkelttrevekst er den samme for alle tre studiene.

Denne tynningsbehandlingen tilsvarte et uttak på 63-70 % av grunnflaten før tynning.

Trendlinjene viser at flatene i Nilsson et al. (2010) i gjennomsnitt var noe tettere enn flatene på Nes før tynning, men forskjellene var ikke store. Den relative grunnflaten i forhold til før tynning i de svenske forsøkene er med det sammenliknbart med relativ grunnflate i forhold til før tynning på Nes.

Resultatene fra Agestam (2009) og Karlsson (2006) stammer fra samme forsøk med samme behandlinger og kan dermed også benyttes på samme måte.

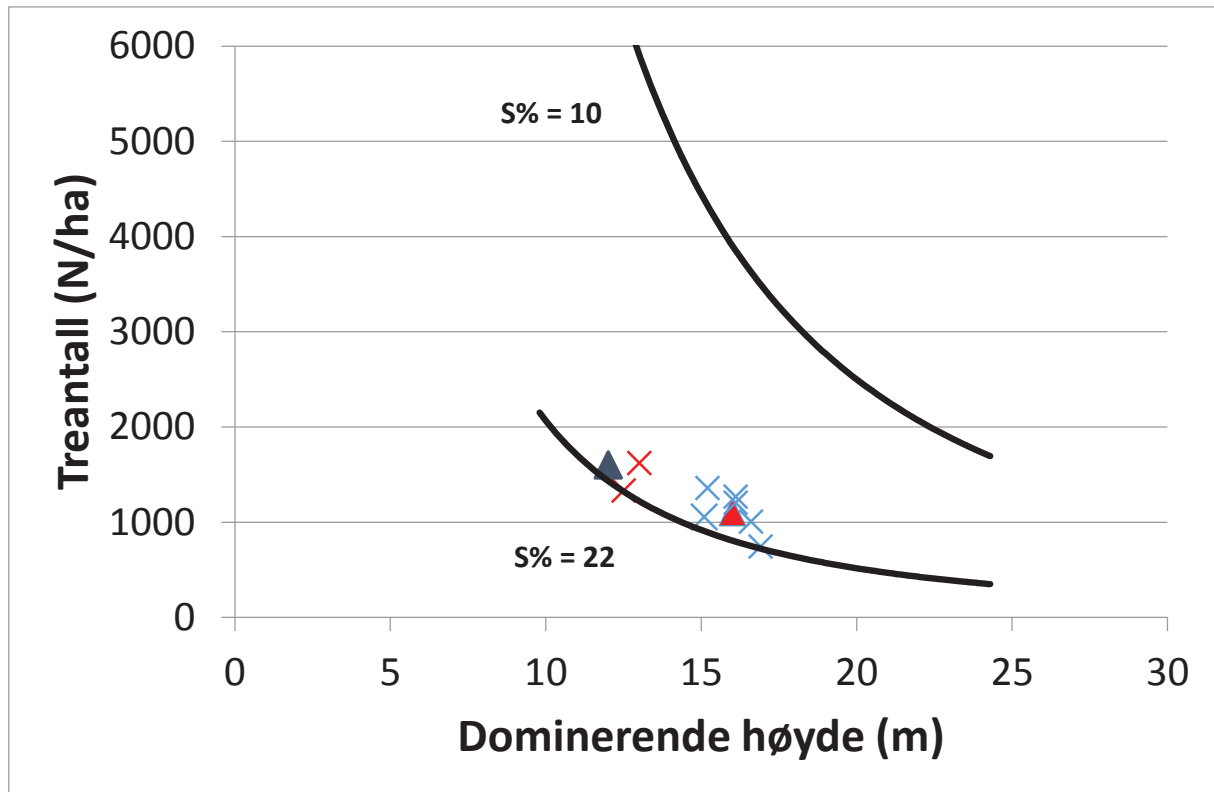


Figur 14. Tetthet før tynning. Røde kryss angir tetthet før tynning for flater på Nes. Blå romber angir tetthet før tynning for flater som er tynnet tidlig, romber i gull angir tetthet før tynning for resterende flater i Mäkinen og Isomäki (2004a) og Mäkinen og Isomäki (2004b). Oransje prikker angir tetthet før tynning for alle bestand som har fått behandling C(1:12) i Nilsson et al. (2010). Trendlinjer viser lineær sammenheng for flategrupper. Like farger på linjer og punkter betyr at de stammer fra samme data. Linjen $S\% = 10$ viser maksimal tetthet ($S\%=10$) og angir også grensen selvtynning i gran. Linjen $S\% = 22$ har utgangspunkt i $S\%$ for utgangstilstanden for tynningsforsøk i Våler, Østfold (Braastad & Tveite 2001) der overhøyden var 10 m og treantallet var 2050 trær/ha.

3.2.3. Norske tynningsforsøk

Braastad og Tveite (2001) undersøkte hvordan tynningsstyrken påvirket volumtilveksten i bestandet og diametertilveksten på de 800 grøvste trærne i bestandet i gran i Norge. Forsøksledd som ble brukt til estimering av produksjonsutvikling var leddene 12.1a, og 16.1b, der første tall står for dominerende høyde ved første inngrep, andre tall står for antall tynninger, bokstav a betyr 1600 trær/ha etter tynning og bokstav b betyr 1100 trær/ha etter tynning. Forsøksledd 16.1b befant seg på to lokaliteter (Østre Toten og Våler) og forsøksledd 12.1a befant seg på totalt 7 lokaliteter.

Flate 5 og 8 hadde nesten lik tetthet etter tynning som forsøksledd 12.1a, mens de resterende flater hadde nesten lik tetthet etter tynning som forsøksledd 16.1b (Figur 15). Resultatene fra Braastad og Tveite (2001) kan med det benyttes til estimering av bestandsutvikling og diameterutvikling.



Figur 15. Tetthet etter tynning. Røde kryss angir tetthet etter tynning for flate 5 og 8 og blå kryss angir tetthet etter tynning for flate 1 - 4 og 6 - 7 på Nes. Blågrå trekant angir tetthet etter tynning for forsøksledd 12.1a og rød trekant angir tetthet etter tynning for forsøksledd 16.1b i Braastad og Tveite (2001). For forklaring av linjer, se Figur 14.

3.3. Estimering av relativ grunnflate

Indikert av lav S% før tynning (Tabell 4) antas det at flatene på Nes var nær maksimal tetthet før tynning og at de i løpet av noen få år ville nådd maksimal tetthet. Relativ grunnflate i forhold til maksimal tetthet vil da være lavere enn den relative grunnflaten rett etter tynning som varierte mellom 52 - 64 %. Som følge av at flatene på Nes sannsynligvis ikke vil bli tynnet flere ganger, vil den relative grunnflaten øke gjennom omløpet og gjennomsnittlig relativ grunnflate vil da være over 60 %, som er vist i Mäkinen og Isomäki (2004a) (Figur 13) å ikke føre til en større reduksjon i volumproduksjon enn 7 %.

3.4. Estimering av bestandsutvikling ved hjelp av finske forsøk

I finske tynningsforsøk fant Mäkinen og Isomäki (2004a) at volumtilveksten ble redusert med 8 % for kraftig og tidlig tynning sammenliknet med utynnet. Total volumproduksjon (inkludert volum fjernet i tynninger) var 7 % lavere ved kraftig og tidlig tynning enn ved utynnet. Kraftig og tidlig tynning var den eneste behandlingen som førte til signifikant mindre volumtilvekst i forhold til utynnet. Ettersom den relative grunnflaten på Nes vil være høyere enn i dette forsøket er det sannsynlig at volumtilveksten vil reduseres med mindre enn 8 % i forhold til hva som ville blitt produsert uten tynning (Figur 13) og det vil sannsynligvis ikke bli noen betydelig reduksjon i volumproduksjon.

3.5. Estimering av bestandsutvikling ved hjelp av svenske forsøk

I svenske tynningsforsøk fant Agestam (2009) og Nilsson et al. (2010) at total volumproduksjon ved en kraftig engangstynning var 20 % lavere og signifikant forskjellig fra utynnet, men netto volumproduksjon var ikke signifikant forskjellig fra utynnet.

Alle flatene på Nes med unntak av flate 5 hadde høyere grunnflate etter tynning enn 12 m²/ha (tabell 1), og samtidig var tynningsintensiteten vesentlig lavere på Nes (36-48 % uttak av grunnflate) enn i de svenske forsøkene (63-70 % uttak av grunnflate). Den relative volumproduksjonen vil dermed sannsynligvis være høyere på Nes enn i disse forsøkene fordi den relative grunnflaten var høyere rett etter tynning og den vil da være tilsvarende høyere gjennom hele omløpet. Netto volumproduksjon vil sannsynligvis også for flatene på Nes ikke være signifikant forskjellig fra utynnet.

3.6. Estimering av bestandsutvikling ved hjelp av norske forsøk

I norske tynningsforsøk fant Braastad og Tveite (2001) at ved å redusere treantallet til 1600 trær/ha ved 12 m overhøyde (12.1a) ble volumtilveksten redusert til 97 % sammenliknet med kontrollen. Ved å redusere treantallet til 1100 trær/ha ved 16 m overhøyde (16.1b) fant de at volumproduksjonen ble redusert til 86 og 95 % sammenliknet med kontrollen for to forskjellige lokaliteter (henholdsvis Østre Toten og Våler). Den periodiske tilveksten (volumtilvekst i måleperioden) var for alle forsøksleddene nesten lik eller svakt økende i forhold til kontroll (Braastad & Tveite 2001). Dette

antyder at tynningene som ble gjennomført ikke førte til noen vesentlig reduksjon i volumtilvekst. Kontrollrutene i disse norske tynningsforsøkene ble også tynnet og resultatene derfra kan ikke brukes på samme måte som resultater fra de svenske og finske forsøk. Resultatene fra de norske forsøkene indikerer at volumtilveksten etter tynning sannsynligvis ikke vil reduseres betydelig, men at total volumproduksjon kan reduseres med mer enn 10 %. Tynningene på Nes vil sannsynligvis føre til en større reduksjonen i totalvolumproduksjon enn i Braastad og Tveite (2001).

Framskrivning av volumproduksjon ved hjelp av de finske forsøk indikerer en reduksjon i total volumproduksjon på mindre enn 7 %, framskrivning ved hjelp av svenske forsøk indikerer ingen reduksjon i netto volumproduksjon, og mindre enn 20 % reduksjon i total volumproduksjon og framskrivningen ved hjelp av de norske forsøk indikerer en reduksjon i total volumproduksjon større enn 10 %.

På bakgrunnen av dette, er det sannsynlig at netto volumproduksjon ikke vil reduseres sammenliknet med utynnet ettersom tynningene i de svenske forsøk var de kraftigste tynningene som ble brukt til estimering og at selv tynning ville oppstått i løpet av få år dersom flatene hadde forblitt utynnet. Total volumproduksjon kan reduseres med ca. 10 %, men fordi resultatene som ble brukt til estimering viser store forskjeller, er dette et veldig usikkert estimat.

3.7. Stikkveiseffekt

Forsøkene i Agestam (2009); Braastad og Tveite (2001); Karlsson (2006); Mäkinen og Isomäki (2004a) og Nilsson et al. (2010) er alle tynnet uten stikkveier slik at det må tas høyde for stikkveiseffekter når disse resultatene benyttes for estimering av bestandsutvikling av flatene på Nes. For å belyse denne effekten er det benyttet forsøk fra Mäkinen et al. (2006) og Eriksson et al. (1994).

Mäkinen et al. (2006) undersøkte effekten av forskjellige stikkveibredder og avstand mellom stikkveiene på volumproduksjon i granbestand i Finland. De fant at trær som står inntil 3 m fra stikkveien fikk en økt tilvekst, men den økte tilveksten kompenserte kun for 40 % av den tapte volumtilveksten som oppsto i stikkveien ved 4-5 m stikkveibredde. I forsøket var det lavere tynningsintensitet mellom stikkveiene enn for hele bestandet og det ble ikke funnet noen signifikant reduksjon av volumproduksjon ved 4 m stikkveibredde.

Eriksson et al. (1994) undersøkte effekten av 3,5 m og 5 m brede stikkveier med 25 m avstand på granbestands volumproduksjon i Sverige. De fant en nedgang i bestandsproduksjon på 8 % ved stikkveibredde 5 m og avstand 25 m. Stikkveiene i dette forsøket tilsvarte 20 % av bestandsarealet.

De fant også at trærne som sto inntil 3 m fra stikkveien fikk en større tilvekstøkning etter tynning enn resterende trær i bestandet.

Stikkveiene på Nes utgjorde i gjennomsnitt 20 % av arealet og stikkveisuttaket utgjorde i gjennomsnitt 39 % av grunnflateuttaket (Tabell 2). Uttaket mellom stikkveiene utgjorde i gjennomsnitt 33 % av grunnflaten mellom stikkveiene før tynning.

Ettersom stikkveibredden var 4 m og avstanden mellom veiene 20 m i denne studien, vil det være en større andel av trærne som står innenfor en avstand på 3 m fra stikkveien enn ved 5 m stikkveibredde og 25 m avstand og det vil da også være en større andel trær som får en økt tilvekst. Reduksjonen i volumproduksjon antas med det å være mindre enn funnet i Eriksson et al. (1994) og ettersom stikkveidesignet er likt i denne studien som i Mäkinen et al. (2006), samt at tynningsintensiteten er lavere mellom stikkveiene enn for hele flaten, er det sannsynlig at den totale volumproduksjonen ikke vil reduseres betydelig på grunn av stikkveiene.

3.8. Tilvekst på enkelttreenivå

Mäkinen og Isomäki (2004a) fant at gjennomsnittlig årlig diametertilvekst økte med økende tynningsintensitet og var signifikant større for kraftig og tidlig tynning enn for utynnet.

Diametertilveksten økte med 2 mm/år for alle trær og med 1 mm/år for de 400 grøvste trær/ha.

Mäkinen og Isomäki (2004b) fant at ved kraftig og tidlig tynning fikk de 400 - 600 grøvste trærne/ha større volum enn tilsvarende trær i utynnet kontroll. De fant også at grunnflatetilveksten økte med økende tynningsintensitet og de trærne som hadde størst dbh før tynning sto for den største økningen. Den relative økningen i grunnflatetilvekst var derimot størst for de minste trærne.

Agestam (2009) fant at middeldiameteren for de 300 grøvste trærne/ha i behandling C(1:12) økte i gjennomsnitt med 6,8 cm (18 %) i forhold til utynnet.

Nilsson et al. (2010) fant at grunnflatemiddeldiameteren til gjenstående trær var signifikant større for behandling C(1:12) enn utynnet kontroll ved siste måling både i datasettet med 13 lokaliteter (10 cm større) og i datasettet med 9 lokaliteter (8,9 cm større).

Karlsson (2006) fant ved kraftig engangstynning (C1:12) at middeldiameteren til de 400 grøvste trærne/ha økte med 7,1 cm i forhold til utynnet kontroll og middeldiameteren til de 100 grøvste/ha økte med 8,2 cm i forhold til utynnet.

Braastad og Tveite (2001) fant at middeldiameteren på de 800 grøvste trærne/ha økte med økende tynningsstyrke, men maksimalt med 2 - 3 cm sammenliknet med kontrollen med ca. 2000 trær/ha i utgangstetthet.

Tynningsstyrken på Nes var svakere enn de sterke engangstynningene i svenske forsøk (C:12) og en økning i diametertilvekst som i disse forsøkene kan ikke forventes. Det kan heller ikke forventes en økning i årlig diametertilvekst på 2 mm for alle trær som i finske forsøk, ettersom behandlingen som førte til denne økningen innebar flere tynninger gjennom omløpet slik at trærne fikk en effekt av frigjorte ressurser flere ganger gjennom omløpet. Dette fører til en større økning i det enkelte treets vekst enn ved kun én tynning.

Tynningene på Nes var like kraftige som i Braastad og Tveite (2001), men økningen i diameter blir i forhold til det som ville vært utynnet på Nes og sammenlikningstilstanden på Nes ville vært tettere enn i Braastad og Tveite (2001) som en følge av at kontrollen i det refererte studiet ble tynnet til ca. 2000 trær/ha. I tillegg ble økningen i diameter oppgitt kun for de 800 grøvste trærne/ha, og på Nes var det ikke så mange trær igjen på alle flater etter tynning.

Økningen i diameter funnet i det norske tynningsforsøket antyder likevel at, til og med en svak tynning kan føre til økt middeldiameter og det kan på bakgrunn av dette forventes en større økning i middeldiameter på Nes enn det som ble funnet i Braastad og Tveite (2001).

Ettersom det ikke kan forventes en økning i gjennomsnittlig diameter på 7,1 cm for de 400 grøvste trærne/ha som i Karlsson (2006) eller en økning på 9 - 10 cm for alle trær som i Nilsson et al. (2010), samtidig som det kan forventes en større økning enn 2 - 3 cm som i Braastad og Tveite (2001), er det sannsynlig at en økning i gjennomsnittlig diameter på 4 - 6 cm for de 400 grøvste trærne/ha og 6 - 7 cm for alle trær kan oppnås ettersom tynningene fører til økt tilvekst for enkelttrær.

4. Diskusjon

4.1. Tynningene på Nes

Tynningsintensiteten i denne studien var på 36 - 48 % uttak av grunnflate. Noen av de norske anbefalinger går ut på at uttak av grunnflate maksimalt skal være 35 % av grunnflaten før tynning og at grunnflate etter tynning ved 16 - 18 m overhøyde ikke bør være lavere enn 24 - 28 m²/ha (Andreassen 2007; Glommen Skog 2008; Myklestad et al. 2013). Glommen Skog, som står for en høyere tynningsandel enn gjennomsnittet i Norge, anbefaler en noe større reduksjon i grunnflate med maksimalt 40 % reduksjon av grunnflaten før tynning i hogstklasse 3 og 35 % reduksjon i senere tynninger (Glommen Skog 2008). Til tross for at tynningsintensiteten i denne studien generelt er sterkere og at gjenstående grunnflate etter tynning er lavere enn det som anbefales i Norge, er det estimert at volumproduksjonen ikke vil reduseres betydelig. Det er med det sannsynlig at det på boniteter like høye som på Nes kan tynnes kraftigere enn 35 % av grunnflaten og ned til lavere grunnflate enn 24 m²/ha uten at volumproduksjonen blir redusert, forutsatt at bestandene før tynning er i nærheten av maksimal tetthet. Nilsson et al. (2010) diskuterer at en absolutt nedre grense for grunnflate er vanskelig å anbefale, men at bestand som har høy tetthet før tynning kan tynnes kraftigere enn bestand med lav tetthet før tynning. Samtidig mener de at bestand som har høy tetthet før tynning bør ha høyere grunnflate etter tynning enn bestand med lav tetthet før tynning for å unngå produksjonstap i forhold til uttynnet og at bestand på høye boniteter bør ha høyere grunnflate etter tynning enn bestand på lavere boniteter.

Alle de norske anbefalingene referert ovenfor går ut på at det skal være høyere gjenstående grunnflate etter tynning på høye boniteter enn lave boniteter og er sånn sett i tråd med det Nilsson et al. (2010) diskuterer.

Dette kan indikere at en absolutt nedre grense for grunnflate etter tynning ikke nødvendigvis bør etterstrebes, fordi den relative volumproduksjonen i tynnede bestand er avhengig av tetthet før tynning som varierer mellom bestand.

4.2. Tidspunkt

I forhold til vanlig tynningstidspunkt i Norge (14 - 19 m overhøyde) (Landbruksdirektoratet 2014) var det kun tynningene på flate 5 og 8 som var tidlige. I forhold til prosjektets formål, som disse flatene var den del av, var det også kun flate 5 og 8 som tilfredsstilte målsettingen om hvilken overhøyde bestandene skulle ha. Tiltakets idealbestand skulle ha en overhøyde på 11 - 13 m og de resterende flatene hadde med det for stor overhøyde. Til tross for dette var det interessant å benytte disse flatene for å undersøke hvordan kraftige tynninger ved normalt tynningstidspunkt påvirket volumproduksjonen.

Gjennomsnittlig bonitet på Nes var 26 m (Tabell 2) og hogstmodenhetsalder ved bonitet G26 er ved 55 års brysthøydealder (Pettersen 2013). Flate 1 - 4 og 6 - 7 har med det ca. 40 år igjen til hogstmodenhet, mens flate 5 og 8 har ca. 50 år igjen til hogstmodenhet. Flatene som ble tynnet tidlig i Mäkinen og Isomäki (2004a) og Mäkinen og Isomäki (2004b) ble fulgt i gjennomsnitt i 30 år etter tynning og det ble oppgitt at flatene enten hadde nådd eller var i nærheten av hogstmodenhet. Forsøkene i Nilsson et al. (2010) og Agestam (2009) ble fulgt i gjennomsnitt i ca. 33 år og granbestandene var i gjennomsnitt mindre enn 10 år unna hogstmodenhetsalder (Nilsson et al. 2010). Flatene på Nes har like lang eller lengre tid igjen til hogstmodenhet enn den tiden forsøkene ble fulgt og det er dermed sannsynlig at de er tynnet tidlig nok til å ha tilstrekkelig med tid før hogstmodenhet til at diametertilveksten som er estimert kan oppnås og at de gjenværende trærne klarer å produsere nok volum til å unngå tap i netto volumproduksjon i forhold til utynnet.

Anbefalinger fra Glommen Skog angående tynningstidspunkt går ut på at det bør unngås å tynne bestand som har en overhøyde over 18 m i gran for å unngå ustabile bestand (Glommen Skog 2008). Ved tynning i bestand med større overhøyde enn dette, vil faren for stormskader øke som følge av at høyere trær ofte har kortere krone og trærne får da et høyere tyngdepunkt som gjør at de blir mindre stabile i storm. Etter en gjennomgang av forskningsresultater og praktiske erfaringer fra Norge og Sverige etter stormskader, anbefaler Skogbrand Forsikring at for å øke stabiliteten i granbestand bør første tynning i granbestand gjennomføres før bestandet har nådd en overhøyde på 14 m (Bøe 2014).

Valinger og Pettersson (1996) fant i sitt studie at tynnede bestand har en økt risiko for stormskader de fem første årene etter tynning, men etter dette øker stabiliteten og faren for stormskader synker. De fant også at en engangstynning med 40 % reduksjon av grunnflaten før tynning ved gjennomsnittshøyde 13 m førte til verken signifikant større eller signifikant mindre vind- og snøskader enn utynnet bestand i løpet av ca. 11 år etter tynning.

Med hensyn på fare for stormskader er det kun flate 5 og 8 som er tynnet tidlig nok til å potensielt unngå stormskader, men dersom stormskader unngås i løpet av de fem første årene er det sannsynlig at alle flatene vil stabilisere seg og trærne vil være mer vitale enn de ville vært som utynnet. En kan anta at alle flatene vil stå sterkere i forhold til stormskader på lang sikt.

4.3. Volumproduksjon

Tynningene på Nes er estimert til ikke å føre til en betydelig reduksjon i totalvolumproduksjon.

Det er funnet i flere studier at den gjennomsnittlige grunnflaten må reduseres med mer enn 50 % for å redusere volumproduksjon i gran betydelig (Mäkinen & Isomäki 2004a; Wallentin 2007).

Resultatene i Mäkinen og Isomäki (2004a) og Mäkinen og Isomäki (2004b) viser at de gjenstående

trærne etter tynning får en økt tilvekst i forhold til utynnede bestand og bladarealet på bestandsnivå vil i løpet av kort tid komme opp på samme nivå som før tynning. Hvor hurtig dette skjer er avhengig av alder, bonitet, tynningsstyrke og treslag (Long et al. 2004; Pretzsch 2001). I unge granbestand på god bonitet, for eksempel som på Nes, skjer denne prosessen i løpet av få år innenfor et bredt intervall av tynningsintensitet. Mens med økende alder og synkende bonitet reduseres intervallet av relativ grunnflate som ikke fører til redusert volumproduksjon (Pretzsch 2001).

For furu er det vist i Mäkinen og Isomäki (2004c) at volumproduksjonen synker med økende alder ved tynningstidspunkt, synkende bonitet og økende tynningsintensitet. De fant at volumtilveksten ble betydelig redusert når grunnflaten ble redusert til mindre enn 75 - 80 % av utynnet. En betydelig reduksjon i volumproduksjon skjer med det for svakere tynningsintensitet for furu enn for gran og det kan virke som at furu ikke har den samme evnen til å øke produksjonen av bladareal på gjenstående trær som gran. Mäkinen og Isomäki (2004c) diskuterer at forskjellen mellom gran og furu kan komme av fysiologiske forskjeller. Gran har ofte lengre krone enn furu fordi gran er et skyggetålende treslag og kan derfor sannsynligvis oppta ny vokseplass hurtigere enn furu.

Tynning i bjørk er anbefalt å gjennomføre før kronen blir mindre enn 50 % av trehøyden for de dominerende trærne i bestandet for å sikre økt tilvekst etter tynning (Hynynen et al. 2010), som antyder at ved økende alder synker evnen til å øke produksjonen av bladmasse etter tynning som en følge av mindre grønn krone.

Resultatene i denne studien er basert på tynningsforsøk utført i Norge, Sverige og Finland og det er knyttet usikkerhet til alle resultatene ettersom de er estimert. For å undersøke hvordan utviklingen virkelig vil være, er det nødvendig med gjentatte målinger av de samme flatene.

4.4. Enkelttrevekst

For å kunne estimere utviklingen godt for enkelttrær burde det vært benyttet tilvekstmodeller for enkelttrær. Estimeringen av enkelttrevekst i denne studien er langt mer usikkert enn estimeringen av volumproduksjon. Det er sannsynlig at trærne vil få en økt diameter-tilvekst etter tynning, men hvor stor denne økningen vil være er derimot veldig usikkert.

En liten økning i middeldiameter kan gi en stor økning i sagtømmerandelen i forhold til utynnet ved hogstmodenhet. Agestam (2009) fant at totalvolumet i trær som hadde dbh større enn 30 cm, ca. 10 år før hogstmodenhet, var 160 m³ mer for en kraftig engangstynning (63 - 70 % reduksjon i grunnflaten i forhold til før tynning) enn for utynnet bestand. Mäkinen og Isomäki (2004a) konkluderer at som en følge av økt diameter i kraftig tynnede bestand kan omløpstiden forkortes med mange år dersom gjennomsnittsdiameter avgjør hogstmodenhet. Mäkinen og Isomäki (2004b)

fant at avsmalningen økte med økende tynningsintensitet, men dette fører også til økt volum i den første sagtømmerstokken som ofte er den mest verdifulle.

Dette kan antyde at tynning kan føre til økt volum av sagtømmer og at volumet i bestandet er fordelt på færre trær. Tynning kan dermed føre til lavere avvirkningskostnader og høyere inntekter ved sluttavvirkning.

5. Konklusjon

Tynningene som ble gjennomført på Nes var frie tynninger med hovedvekt på å ta ut trær i små diameterklasser og å fjerne lauv.

Til tross for at tynningene ble ansett som kraftige før arbeidet med denne studien startet ble det estimert at tynningene på Nes ikke vil føre til en vesentlig reduksjon i volumproduksjon i forhold til dersom de hadde forblitt utynnet.

Diametertilveksten vil øke og sagtømmerandelen kan øke ved sluttavvirkning i forhold til dersom flatene hadde forblitt utynnet.

Utviklingen i volumproduksjon og enkelttrevekst er estimert, og for å undersøke hvordan utviklingen faktisk vil være er det nødvendig med gjentatte målinger av flatene.

Litteratur

- Agestam, E. (2009). Skogsskøtselserien–Gallring. *Skogsstyrelsen, Skogsskøtselserien* (7).
- Andreassen, K. (2007). *Tynning for optimal verdiproduksjon: Skog og landskap*. Tilgjengelig fra: <http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2007/tynning/newsitem> (lest 21.04.2015).
- Braastad, H. (1967). Produksjonstabeller for bjørk. *Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen*, 22: 265-365.
- Braastad, H. & Tveite, B. (2001). Tynning i gran- og furubestand. Effekt av tynning på volumproduksjon, middeldiameter og diameter av de 800 grøvste trær per ha. *Rapport fra skogforskningen*, 10 (01): 27.
- Brantseg, A. (1967). Furu sønnafjells. *Kubering av stående skog. Funksjoner og tabeller. Meddr norske SkogforsVes*, 22: 689-739.
- Bøe, L. V. (2014). Skogbehandling - Før stormen kommer. *Temahefte 1*. 8 s.
- Eriksson, H., Johansson, U. & Karlsson, K. (1994). *Effekter av stickvägsbredd och gallringsform på beståndsutvecklingen i ett försök i granskog: Effects of extraction road width and thinning pattern on stand development in an experiment with Norway spruce (Picea abies (L.) Karst): Sveriges lantbruksuniv.*
- Fitje, A. & Strand, L. (1989). *Tremåling*. [Oslo]: Landbruksforl. 190 s. : fig. s.
- Gizachew, B., Brunner, A. & Oyen, B. H. (2012). Stand responses to initial spacing in Norway spruce plantations in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27 (7): 637-648.
- Glommen Skog. (2008). Tynningsstandard. 2 s.
- Glommen Skog. (2014). Glommen årsberetning 2014. 42 s.
- Hynynen, J., Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Brunner, A., Hein, S. & Velling, P. (2010). Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry*, 83 (1): 103-119.
- Karlsson, K. (2006). Impact of the thinning regime on the mean diameter of the largest stems by diameter at breast height in even-aged *Picea abies* stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21 (1): 20-31.
- Landbruksdirektoratet. (2014). *Når og hvor bør man gjennomføre tynning*. Tynning. Tilgjengelig fra: <https://www.slf.dep.no/no/eiendom-og-skog/forlyngelse-skiotsele-og-hogst/tynning#naar-og-hvor-boer-man-gjennomfoere-tynning-> (lest 09.04.2015).
- Long, J. N., Dean, T. J. & Roberts, S. D. (2004). Linkages between silviculture and ecology: examination of several important conceptual models. *Forest Ecology and Management*, 200 (1-3): 249-261.
- Myklestad, G., Pettersen, J., Rindal, T. K. & Huse, K. J. (2013). Tynning. I: Myklestad, G. (red.). *Skogkurs Resymé nr. 6*. Biri: Skogbrukets kursinstitutt. 4 s.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. (2004a). Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland. *Forestry*, 77 (4): 349-364.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. (2004b). Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees. *Forest Ecology and Management*, 201 (2-3): 295-309.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. (2004c). Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management*, 201 (2-3): 311-325.
- Mäkinen, H., Isomäki, A. & Hongisto, T. (2006). Effect of half-systematic and systematic thinning on the increment of Scots pine and Norway spruce in Finland. *Forestry*, 79 (1): 103-121.
- Nilsson, U., Agestam, E., Ekö, P.-m., Elfving, B., Fahlvik, N., Johansson, U., Karlsson, K., Lundmark, T. & Wallentin, C. (2010). Thinning of Scots pine and Norway spruce monocultures in Sweden. *Studia forestalia Suecica* (0039-3150). Umeå. 46 s.
- Näslund, M. (1937). Skogförsökanstaltens gallringsförsök i tallskog. Primärbearbetning. Meddelanden från Statens Skogförsöksanstalt 29. 169 p. *Swedish with German summary*.
- Pettersen, J. (2013). Tap tidlig hogst. *Skogkurs-Resymé nr. 13*. Biri: Skogbrukets Kursinstitutt. 4 s.
- Pretzsch, H. (2001). *Modellierung des waldwachstums*: Ulmer Eugen Verlag.

- SAS Institute Inc. (2012). *Using JMP 10*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Skog og Landskap. (2008). Håndbok fra Skog og landskap 05/2008. *Landsskogtakseringens feltinstruks*: 116, 11, 21, 3 s.
- Skovsgaard, J. P. & Vanclay, J. K. (2008). Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry*, 81 (1): 13-31.
- Statistisk sentralbyrå. (2008). *Skogbruk, landbruksundersøkinga, 2008, førebelse tal*. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogbruk/aar-forelopige> (lest 09.05.2014).
- Tveite, B. (1977). *Bonitetskurver for gran: Site-index curves for Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.)*: Norsk institutt for skogforskning.
- Valinger, E. & Pettersson, N. (1996). Wind and snow damage in a thinning and fertilization experiment in *Picea abies* in southern Sweden. *Forestry*, 69 (1): 25-33.
- Vestjordet, E. (1967). Funksjoner og tabeller for kubering av stående gran. *Meddr norske*.
- Wallentin, C. (2007). *Thinning of Norway spruce*, b. 2007.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no