



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Tilvekstreaksjoner på enkelttrenivå hos gran og furu etter tynning

Thinning responses of individual trees of Norway
spruce and Scots pine

Magnus Ler Grøseth

Skogfag

Forord

Med denne oppgaven avsluttes min tid som skogstudent her på NMBU på Ås. Dette har vært to år med mange gode opplevelser både sosialt og faglig.

Jeg vil starte med å takke min veileder Andreas Brunner for valg av oppgave og gode råd underveis i arbeidet. Jeg vil også sende en stor takk til Silke Houtmeyers for verdifull hjelp med statistikk og gode innspill til skrivingen. Takker også Line Nybakken og Ole Martin Bollandsås for gjennomlesning og gode tilbakemeldinger på oppgaven.

En viktig takk til alle medstudenter og venner som har gjort tiden på Ås til en god opplevelse. Til min familie; takk for viktig støtte og motiverende ord gjennom studietiden. Til slutt vil jeg rette en stor takk til medstudent og hybelkamerat Petter Almås for et uvurderlig godt samarbeid og mange gode stunder imellom lesing og skriving. Nå er tiden inne for vende hjem igjen til Trøndelag. Takk for meg!

Sammendrag

Tynning reduserer konkurransen i et bestand og øker tilveksten hos de gjenværende trærne. Flere studier har undersøkt tynningsreaksjoner på enkelttreenivå og vist en større absolutt tynningsreaksjon hos større trær sammenliknet med mindre trær. Med bakgrunn i at den absolutte tynningsreaksjonen i flere studier er funnet å avta med avtagende trestørrelse, var målet med denne studien å besvare spørsmålet hvor mange trær som blir hvor mye større etter tynning.

Datamaterialet i denne studien bestod av totalt 65 prøveflater fra rene furubestand og barblandingsbestand. Alle bestand var lavtynnet 5 – 13 år før målinger ble utført. Den absolutte tynningsreaksjonen ble målt som grunnflatetilvekstdifferanse ($\text{cm}^2/\text{år}$), hvor grunnflatetilveksten før og etter tynning ble sammenliknet. Alle trær i den samme prøveflaten ble rangert etter brysthøydiameter (cm) ved tynningstidspunkt som det 1, 2, 3 osv. største tre per hektar (trerang).

Det var en signifikant avtagende absolutt tynningsreaksjon med økende trerang (/ha) i 29 % av prøveflatene. Variasjon i tynningsintensitet (lav og høy) og tynningsmåte (lik fristilling hos alle trær og lav bestandstetthet før tynning) kunne forklare manglende signifikant sammenheng mellom den absolutte tynningsreaksjonen og trerang (/ha) i de fleste prøveflater. Middelverdier for tynningsreaksjonen (absolutte) hos trær med lav trerang (/ha) var høy i de fleste prøveflater med unntak av prøveflater med lav tynningsintensitet. Lav tynningsintensitet viser seg dermed å gi en lav tynningsreaksjon hos de største trærne, blant dem fremtidstrærne, som det er et mål om å øke tilveksten til ved tynning.

Abstract

Thinning reduces stand competition and increases growth of the residual trees. Several studies have examined thinning responses at individual tree-level and showed a greater absolute thinning response for larger trees than for smaller trees. With this as a background, the aim of this study was to answer the question how many trees become how much larger after thinning.

The data used in this study consisted of 65 sample plots from pure pine-stands and mixed stands of spruce and pine. All stands were thinned from below 5 – 13 years before measurements. The absolute thinning response was measured as the difference in basal area growth (cm^2/year), where basal area growth before and after thinning were compared. All trees at the same sample plot were ranked after dbh (cm) at the time of thinning as the 1, 2, 3 etc. largest tree per hectare.

I found a significant decreasing absolute thinning response with increasing tree-rank in 29 % of the sample plots. Varying thinning intensity (low and high) and thinning treatment (same release for all trees and low stand density before thinning) could explain the absence of a significant correlation between the absolute thinning response and tree-rank in most of the sample-plots. Means for the thinning response for trees with low tree-rank, were high in most of the sample plots, except of sample plots with low thinning intensity. Low thinning intensity thereby resulted in a low thinning response for the largest trees, among them the crop trees, which we aim to increase the size of by thinning.

Innhold

Forord	1
Sammendrag	3
Abstract	5
1. Innledning	9
2. Materiale og metode	16
2.1. Studieområde	16
2.2. Data	18
2.3. Databehandling	19
2.4. Analyser	23
2.4.1. Tynningsreaksjon og trerang	23
2.4.2. Effekter av kanttrær ved stikkveier	23
2.4.3. Variasjon i tynningsintensitet og tynningsmåte	23
2.4.4. Størrelse på tynningsreaksjonen ved ulike tynningsintensiteter	27
3. Resultater	28
3.1. Tynningsreaksjon	28
3.1.1. Absolutt tynningsreaksjon og trerang	28
3.1.2. Relativ fristilling og trerang	31
3.1.3. Relativ tynningsreaksjon og trerang	33
3.1.4. Effekter av kanttrær ved stikkveier	36
3.2. Variasjon i tynningsstyrke og tynningsmåte	38
3.2.1. Lav tynningsintensitet	38
3.2.2. Høy tynningsintensitet	39
3.2.3. Lik fristilling hos alle trær uansett trerang	40
3.2.4. Lav bestandstetthet før tynning	41
3.2.5. Prøveflater med alternativ forklaring	41
3.2.6. Størrelse på tynningsreaksjonen ved ulike tynningsintensiteter	45
4. Diskusjon	48
Referanser	52

1. Innledning

Bakgrunn om tynning

Formålet med tynning er å bedre vekstbetingelser for gjenstående trær. Ved å flytte produksjonen over på et lavere treantall i et bestand, øker diametertilveksten hos de gjenstående trærne (Agestam 2009). Den mest vanlige tynningsformen i Norge er lavtynning, hvor tynningsuttaket hovedsakelig består av undertrykte trær. Denne tynningsformen legger til rette for den videre utviklingen hos de største trærne i et bestand (Wallentin 2007).

Gran (*Picea abies*) og furu (*Pinus sylvestris*) er de økonomisk viktigste treslagene i Norge. Det mest vanlige er rene bestand med enten gran eller furu (Granhus et al. 2015), men et likt vekstmønster hos treslagene gjør at også blandingsbestand med gran og furu forekommer (Drössler et al. 2018). I blandingsbestand med gran og furu, antas det at volum- og diameterutviklingen er lik for begge treslagene (Agestam 2009).

Bakgrunn for studien

Tynning kan forbedre tømmerkvaliteten i et bestand ved at flere av trærne får gode nok vekstbetingelser til å vokse inn i de største og mest verdifulle diameterklassene (sagtømmer) før tidspunktet for slutthogst (Bergh et al. 2014). Med tanke på at det er de største diameterklassene som oftest er av størst økonomisk interesse, er det interessant å studere hvordan de største trærne reagerer på tynning sammenliknet med de mindre. Det er den samlede tilvekstøkning hos enkelttrær i bestandet, samt andelen trær av større dimensjoner som ved slutthogst er det interessante. Dette styres av tynningsreaksjonene på enkelttrenivå, og det er på dette nivået at tynningsreaksjonene hos trær av ulik størrelse kommer til syne. For å besvare spørsmålet om hvor mange trær som blir hvor mye større etter tynning, er det derfor nødvendig å studere reaksjoner på både bestands- og enkelttrenivå.

Tynningsreaksjoner på bestandsnivå

Hvor mye bestandstettheten reguleres måles vanligvis ved hjelp av grunnflatesum, og endringen i grunnflatesum blir slik sett beskrivende for tynningsintensiteten (Wallentin 2007). Generelt reduseres den totale volumproduksjonen med økende tynningsintensiteter (Nilsson et al. 2010). For gran er det imidlertid vist at total volumproduksjon ikke reduseres med mer enn 10 % ved kraftig tynning (grunnflatesum 60 % av utynnet kontrollflate) sammenliknet med utynnet (Makinen & Isomaki 2004a). For furu ble total volumproduksjon redusert mer ved

økende tynningsintensiteter sammenliknet med gran, og for eksempel middels tynningsintensitet (grunnflatesum ca. 65-80 % av utynnet kontrollflate) reduserte total volumproduksjon med ca. 15 % sammenliknet med utynnet (Makinen & Isomaki 2004b). Den større nedgangen i total volumproduksjon for furu sammenliknet med gran som er vist i flere studier (Nilsson et al. 2010), skyldes trolig at furu ofte vokser på lavere boniteter (Jonsson 1995). Til tross for reduksjonen i volumproduksjonen i bestandet som helhet, vil volumproduksjonen hos de gjenværende trærne øke (Andreassen 2017).

Tynningsreaksjoner på enkelttrenivå

Tynning påvirker tilveksten hos enkelttrær ved at de får bedre vokseplass og større tilgang på ressurser (Long et al. 2004; Saarinen et al. 2020). Når konkurrenter blir fjernet ved tynning fristiller dette gjenværende trær slik at diametertilveksten fremmes (Pukkala et al. 1998; Pukkala et al. 2002; Saarinen et al. 2020; Wallentin 2007). Tynningsreaksjonen på enkelttrenivå kan beskrives ved endringen i treets vekst i blant annet diameter, grunnflate og volum (Jonsson 1995; Pukkala et al. 1998). For enkelttrær har tynningsreaksjonen blitt vist som en gradvis økning i grunnflatetilveksten i ett til tre år etter en enkel tynning, før den når et maksimalt nivå. Den maksimale tynningsreaksjonen opprettholdes vanligvis i fire til seks år før den gradvis avtar (Houtmeyers & Brunner 2020; Mehtätalo et al. 2014; Valinger et al. 2000).

Tynningsintensiteten blir trukket frem som en viktig påvirkningsfaktor for tynningsreaksjonen på enkelttrenivå (Mehtätalo et al. 2014), og økende tynningsintensiteter fører til økende tynningsreaksjoner (Huuskonen & Hynynen 2006; Makinen & Isomaki 2004c; Makinen & Isomaki 2004d). Pukkala et al. (1998) undersøkte den 5-årige tynningsreaksjonen (absolutt) i form av diametertilvekst i yngre furubestand i sammenheng med fristilling (endring i konkurranse), og viste at tynningsreaksjonen hadde en positiv sammenheng med økende fristilling. For furu har det også blitt vist en økende effekt av fristilling på tynningsreaksjonen ved økende konkurranse før tynning (Houtmeyers & Brunner 2020).

Effekter av kanttrær ved stikkveier

Ved maskinell tynning anlegges det stikkveier i bestandet hvor stikkveisbredden ofte er ca. 4 meter. Dette skaper en kanteffekt hos trær som står igjen ved stikkveier. Med dette menes at kanttrær ved stikkveier får en større grad av fristilling og dermed høyere tynningsreaksjon enn trær i mellomfeltene (Agestam 2009). En høyere tynningsreaksjon hos kanttrær ved stikkveier er funnet i flere studier (Isomäki & Niemistö 1990; Kuliešis et al. 2018; Mäkinen et al. 2006).

De fleste finske, svenske og norske tynningsforsøk som har undersøkt tynningsreaksjoner på enkelttrenivå har blitt tynnet motormanuelt og er dermed ikke påvirket av kantrær ved stikkveier. Dataene som denne studien baseres på, omfatter derimot kantrær ved stikkveier og en må derfor undersøke effekten av disse når tynningsreaksjoner på enkelttrenivå undersøkes.

Hvor mange trær blir hvor mye større etter tynning?

Ulik størrelsesrangering hos trær (100, 200, 300 osv. største trær per hektar) er forventet å reagere ulikt på tynning, ved at de største trær får en større tynningsreaksjon (absolutt) enn små trær (Karlsson 2006; Makinen & Isomaki 2004c; Makinen & Isomaki 2004d). Tynningsreaksjoner på enkelttrenivå hos store trær sammenliknet med små trær har blitt studert i både finske, svenske og norske tynningsforsøk.

Resultater fra finske tynningsforsøk

En finsk forsøksserie med data fra gjentatte tynninger over ca. 25 år i 21 granbestand, fant at de største trær/ha før tynning også hadde størst grunnflatetilvekst etter tynning, og at effekten økte med økende tynningsintensiteter (Makinen & Isomaki 2004c). Kraftig (grunnflatesum $\leq$ 70 % av utynnet kontrollflate) og tidlig tynning (overhøyde 9,8 til 16 m ved første tynning) ga størst grunnflatetilvekst. De 100, 200 og 400 største trær/ha hadde hhv. ca. 6, 5 og 3 cm²/år større grunnflatetilvekst sammenliknet med utynnet. Med dette var det mulig å produsere 400 - 600 flere større trær/ha gjennom ett omløp sammenliknet med utynnet (Makinen & Isomaki 2004c). Tilsvarende studie i 37 furubestand viste at de 100, 200 og 400 største trær/ha økte grunnflatetilveksten med hhv. ca. 5, 5 og 3 cm²/år med kraftig (grunnflatesum $\leq$ 64 % av utynnet kontrollflate) og tidlig tynning (overhøyde 7,8 til 15,9 m ved første tynning) sammenliknet med utynnet. Med dette var det mulig å produsere 400 - 800 flere større trær/ha gjennom et omløp sammenliknet med utynnet (Makinen & Isomaki 2004d).

Den relative tynningsreaksjonen er den absolutte tynningsreaksjonen relatert til treets størrelse ved tynningstidspunkt. Makinen og Isomaki (2004c) og Makinen og Isomaki (2004d) fant at den relative tynningsreaksjonen (grunnflatetilvekst) ved de fleste tynningsbehandlinger var uavhengig av trestørrelse, men økte med avtagende trestørrelse ved kraftig tynning. Tilsvarende er vist i studien til Peltola et al. (2002), hvor den relative tynningreaksjonen (diameterilvekst) var høyere for små trær enn de største ved middels (tynningsuttak ca. 30-45 % av grunnflatesum før tynning) til høy tynningsintensitet (tynningsuttak ca. 60 %), mens den var svak ved lav tynningsintensitet (tynningsuttak ca. 15 - 30 %).

Resultater fra svenske tynningsforsøk

Med samme data som i Nilsson et al. (2010), analyserte Agestam (2009) middeldiameteren hos de 300 største trær/ha ved ulike tynningsintensiteter for gran og furu 33 år etter tynning. Kraftig engangstynning (tynningsuttak 70 % av grunnflatesum før tynning) økte middeldiameteren hos de 300 største trær/ha med 6,8 cm for gran sammenliknet med utynnet. For furu ble det vist at kraftig engangstynning (tynningsuttak 63 % av grunnflatesum før tynning) økte middeldiameteren hos de 300 største trær/ha med 2,5 cm sammenliknet med utynnet (Agestam, 2009). Karlsson (2006) undersøkte med samme data som i Nilsson et al. (2010) hvordan ulike tynningsintensiteter påvirket diametertilveksten til ulike diametergrupper for gran. Kraftig tynning (tynningsuttak 40-43 % av grunnflatesum før tynning) økte middeldiameteren hos de 100, 200, 300 og 400 største trær/ha med hhv. 7,6 cm, 7,2 cm, 6,7 cm og 5,6 cm.

Resultater fra norske tynningsforsøk

Braastad & Tveite (2000) analyserte middeldiameteren hos de 600 største trær/ha etter tynning i granbestand, og fant en økning på 1,9 cm i løpet av forsøksperioden på 40 år etter kraftig tynning (treantall/ha fra 4089 til 658 fra start til slutt av forsøksperioden med gjentatte tynninger) sammenliknet med utynnet (treantall/ha i kontrollflate fra 5400 til 2230 etter en tynning ved oppstart). En annen studie fra Braastad & Tveite (2001) i rene gran- og furubestand, fant at middeldiameteren hos de 800 største trær/ha økte maksimalt med ca. 2 - 3 cm ved økende tynningsintensiteter sammenliknet med utynnet (treantall/ha i kontrollflate ca. 2000 etter en tynning ved oppstart) etter 25 år. Øyen (2003) analyserte data fra tynningsforsøk i et granbestand og fant at middeldiameteren hos de 600 grøveste trær/ha var 3,3 cm større ved sterk tynning (treantall/ha ca. 2500 til 700 i løpet av forsøksperioden) sammenliknet med utynnet (utynnet kontrollflate) etter 25 år.

Sammenfatning av resultater fra finske, svenske og norske tynningsforsøk

Finske, svenske og norske tynningsforsøk har analysert tynningsreaksjoner for ulike grupper av trær. Ulike metoder (antall tynninger og tynningsuttak) og lengde på forsøksperiode gjør studiene vanskelig å sammenlikne med hverandre. Flere av studiene har derimot vist at større trær har en sterkere tynningsreaksjon (absolutt) enn små trær (Karlsson 2006; Makinen & Isomaki 2004c; Makinen & Isomaki 2004d). Tynningsreaksjonen (absolutt) har vist seg å øke med økende trestørrelse, målt som både grunnflate - og diametertilvekst. Det vil derfor være å

forvente å finne en størrelseeffekt på tynningsreaksjonen (absolutt) når trær av ulik størrelse innenfor samme bestand analyseres etter tynning.

Problemstilling og hypoteser

Målet med denne studien er å undersøke hvor mange trær som blir hvor mye større etter tynning. Dette spørsmålet kan besvares ved å undersøke tynningsreaksjonen (absolutt) over *trerang* (/ha). *Trerang* er i denne studien definert som trestørrelse ved tynning (brysthøydediameter, cm) rangert fra størst til minst som 1, 2, 3 osv. største tre per hektar. Denne studien undersøker tynningsreaksjoner hos enkelttrær, hvor gran blir undersøkt i blanding med furu og furu undersøkt i blanding med gran, samt furu i treslagsrene bestand. Tynningsreaksjonen er i denne studien definert som grunnflatetilvekstdifferanse (cm²) per år, hvor grunnflatetilveksten etter tynning sammenliknes med grunnflatetilveksten før tynning. Målet er å forklare den samlede grunnflatetilvekstøkning hos enkelttrær i et bestand og forskjellen mellom dem ved hjelp av variasjonen i størrelse og fristilling mellom trær.

H1: Den absolutte tynningsreaksjonen avtar med økende *trerang*.

Hypotesen er basert på funnene i studiene til Makinen & Isomaki (2004c), Makinen & Isomaki (2004d), Karlsson (2006) og Agestam (2009) som viser hvor mange trær som blir hvor mye større etter tynning.

For mange av prøveflatene i denne undersøkelsen ble det ikke funnet en avtagende absolutt tynningsreaksjon med økende *trerang* (H1). Spørsmålet hvor mange trær som blir hvor mye større etter tynning kunne derfor ikke besvares med sammenhengen mellom tynningsreaksjonen (absolutt) og *trerang* for mange av prøveflatene.

For å forklare hvorfor sammenhengen mellom absolutt tynningsreaksjon og *trerang* som har blitt vist i andre studier kun ble funnet i noen av prøveflatene i min studie, ble det formulert en ny hypotese:

H2: Avtagende absolutt tynningsreaksjon med økende *trerang* forklares med avtagende grad av fristilling med økende *trerang*.

Hypotesen er begrunnet i studier som har vist en sammenheng mellom fristilling og tynningsreaksjon (absolutt). Fristilling er i min studie kvantifisert ved bruk av avstandsavhengige konkurranseindekser på enkelttrénivå.

Det ble i denne undersøkelsen funnet en avtagende grad av fristilling med økende *trerang* både for prøveflater med og uten en sammenheng mellom tynningsreaksjon (absolutt) og *trerang*. Fristillingsmønsteret i prøveflatene forklarte derfor ikke at det var en sammenheng mellom tynningsreaksjonen og *trerang* i bare noen av prøveflatene. Derfor var det nødvendig å finne andre forklaringer.

H3: Variasjon i trestørrelse fører til en høyere tynningsreaksjon (absolutt) hos trær med lav *trerang*.

Større absolutt grunnflatetilvekstøkning etter tynning skyldes at et større tre har en større absolutt grunnflatetilvekst enn et mindre selv om årringbredden er den samme. Relativ grunnflatetilvekst uttrykker grunnflatetilvekst i forhold til trestørrelse. Makinen & Isomaki (2004c) og Makinen & Isomaki (2004d) fant at den relative tynningsreaksjonen var uavhengig av trestørrelse i de fleste tynningsbehandlinger. Om den relative tynningsreaksjonen er uavhengig av trestørrelse, vil den absolutte tynningsreaksjonen avta med økende *trerang*. Gitt at tynningsreaksjonen i tynningsforsøkene til Makinen & Isomaki (2004c) og Makinen & Isomaki (2004d) er påvirket av både trestørrelse og fristilling samtidig, er en analyse som bare fokuserer på trestørrelse ingen bevis på at det utelukkende er denne effekten som forklarer den absolutte tynningsreaksjonen. I tillegg vil sammenhengen mellom fristilling og trestørrelse (H2) føre til at begge effekter gir samme tynningsreaksjoner. Effekten av trestørrelse er likevel så stor at den ikke skal glemmes når effekten av fristilling undersøkes.

I denne undersøkelsen var den relative tynningsreaksjonen uavhengig av *trerang* i de fleste prøveflater. Dette støttet hypotese H1, da en lik relativ tynningsreaksjon vil føre til en høyere absolutt tynningsreaksjon hos de største trærne. Derfor er det overraskende at hypotese H1 ble forkastet for mange av prøveflatene. Flere forklaringer for manglende sammenheng i tynningsreaksjonen (absolutt) med avtagende *trerang* ble derfor undersøkt.

H4: Kanttrær ved stikkveier svekker sammenhengen mellom tynningsreaksjonen (absolutt) og *trerang*.

Hypotesen er begrunnet i at kanttrær ved stikkveier har en høyere tynningsreaksjon (absolutt) uansett *trerang* enn trær i mellomfeltene. Dette kan svekke sammenhengen mellom tynningsreaksjonen og *trerang* på grunn av 1) større variasjon i tynningsreaksjonen og 2) på grunn av ekstra høye tynningsreaksjoner for kanttrær med høy *trerang*.

Resultatene for hypotesene H2 – H4 forklarte ikke årsaken til den manglende sammenhengen i hypotese H1 for mange av prøveflatene. Variasjon i tynningsstyrke og tynningsmåte kan føre til andre mønster i fristilling over *trerang* enn foreslått i hypotese H2. Hypotesene H5 – H8 testes for å undersøke om prøveflatene kan klassifiseres etter mønster i fristilling.

H5: Lav tynningsintensitet fristiller ikke trær med lavest *trerang* nok til at tynningsreaksjonen blir høyere for disse enn hos trær med høyere *trerang*.

H6: Høy tynningsintensitet fristiller alle trær sterkt uansett *trerang*. Dette fører til at trær med høyere *trerang* får en høyere tynningsreaksjon.

H7: Trær med høy *trerang* er blitt like mye fristilt som trær med lav *trerang*. Dette fører til at trær med lavere *trerang* ikke får en høyere tynningsreaksjon enn trær med høy *trerang*.

H8: Prøveflater med lav konkurranse for alle trær før og etter tynning fører til at trær med lav *trerang* ikke får en høyere tynningsreaksjon enn trær med høy *trerang*, på grunn av at de har stått åpent før tynning og blitt lite fristilt.

Basert på resultater i fra hypotese H5 - H8, tyder det på at tynningsreaksjonen (absolutt) hos trær med lav *trerang* er lavere i prøveflater med lav tynningsintensitet sammenliknet med andre prøveflater. En ny hypotese formuleres derfor for å undersøke dette:

H9: Den absolutte tynningsreaksjonen er større hos trær med lav *trerang* i prøveflater tynnet med høy tynningsintensitet sammenliknet med trær med lav *trerang* i prøveflater tynnet med lav tynningsintensitet.

2. Materiale og metode

Dataene som er blitt brukt i denne studien kommer fra tidligere undersøkelser gjort av Houtmeyers & Brunner (2020) og Gizachew & Brunner (2012). En mer detaljert beskrivelse av metodene for datainnsamling og databehandling finnes i disse studiene. Videre følger en beskrivelse av detaljer av datamaterialet som er relevant for denne studien.

2.1. Studieområde

Datamaterialet til denne studien ble samlet inn på 18 lokaliteter i Innlandet fylke (Figur 1). Bestandene som studien omfatter var dominert av gran og furu, og alle bestandene var blitt tynnet ved lavtynning ca. 10 år før målinger ble utført (Tabell 1 og 2).



Figur 1. Kart over studieområdet (Norgeskart 2021).

Tabell 1. Tynningstidspunkt (år), observasjonstid (antall år mellom tynningstidspunkt og måling), grunnflatesum før tynning (m^2/ha), grunnflatesum etter tynning (m^2/ha), tynningsuttak (m^2/ha) og tynningsuttak (%) for barblandingsdata.

Sted	Bestand	Prøveflate	Tynning (år)	Observasjonstid (år)	Grunnflatesum før tynning (m^2/ha)	Grunnflatesum etter tynning (m^2/ha)	Tynningsuttak (m^2/ha)	Tynningsuttak (%)
Rena	121	1	2007, 2009	9	43,2	18,9	24,3	56,2
		2			31,9	21,0	10,9	34,1
		3			36,7	23,2	13,5	36,8
		4			33,1	22,7	10,4	31,4
Løten	1406	1	2007	10	31,4	21,7	9,7	30,8
		2			38,2	26,8	11,4	29,9
		3			28,8	21,7	7,0	24,5
		4			25,9	17,3	8,6	33,1
Rena	165	1	2005	12	32,8	20,8	12,0	36,5
		2			34,4	22,6	11,9	34,4
		3			25,7	20,3	5,4	20,9
		4			36,7	28,6	8,1	22,2
Løten	1794	1	2008	9	31,0	20,5	10,4	33,7
		2			29,2	20,0	9,3	31,7
		3			37,7	23,4	14,3	37,9
		4			34,5	22,1	12,4	36,1
Løten	779	1	2006	11	39,9	25,0	14,0	37,5
		2			31,2	19,9	11,2	36,1
		3			41,3	21,8	19,5	47,2
		4			34,0	19,4	14,5	42,8
Løten	897	1	2006	11	23,3	14,9	8,4	35,9
		2			19,2	14,9	4,4	22,7
		3			38,4	25,4	13,0	33,9
		4			51,8	26,6	25,2	48,6

Tabell 2. Tynningstidspunkt (år), observasjonstid (antall år mellom tynning og måling), grunnflatesum før tynning (m²/ha), grunnflatesum etter tynning (m²/ha), tynningsuttak (m²/ha) og tynningsuttak (%) for furudata.

Sted	Bestand	Prøveflate	Tynning (år)	Observasjonstid (år)	Grunnflatesum før tynning (m ² /ha)	Grunnflatesum etter tynning (m ² /ha)	Tynningsuttak (m ² /ha)	Tynningsuttak (%)
Elverum	1	1	2003	6	39,6	18,3	21,4	53,9
		2			35,9	18,3	17,6	48,9
		3			23,7	14,5	9,2	38,9
		4			22,3	13,6	8,7	39,0
Elverum	2	1	2001	8	28,1	13,7	14,5	51,4
		2			30,8	12,5	18,3	59,5
		3			26,3	9,5	16,8	64,0
		4			33,3	15,6	17,7	53,1
Elverum	3	1	2003, 2004	6, 5	19,9	12,6	7,3	36,6
		2			21,5	13,7	7,7	36,0
		3			20,3	12,9	7,4	36,3
		4			18,5	15,9	2,5	13,8
Rendalen	5	1	2003	6	21,9	15,4	6,4	29,4
		2			22,7	12,4	10,3	45,5
		3			27,7	12,5	15,3	55,0
		4			29,3	15,8	13,5	46,0
Grue	6	1	2001	8	30,8	21,8	8,9	29,1
		2			25,6	18,2	7,4	28,8
		3			25,0	18,8	6,2	24,7
Kongsvinger	8	1	2001	8	25,1	12,7	12,4	49,4
		2			26,0	17,8	8,2	31,7
		3			11,3	8,5	2,8	24,5
Kongsvinger	9	1	1999	10	15,3	13,5	1,8	11,7
		2			15,3	12,8	2,6	16,7
		3			19,8	16,2	3,6	18,3
Våler	10	1	2004	5	16,3	12,9	3,4	20,8
		2			14,4	5,7	8,6	60,0
		3			23,8	12,0	11,8	49,4
Rendalen	12	1	2002	7	30,1	18,0	12,2	40,4
		2			27,8	21,8	6,0	21,5
		3			26,9	16,7	10,2	37,9
Stor-Elvdal	14	1	2001	8	13,0	9,9	3,1	23,8
		2			16,5	11,7	4,8	29,2
		3			16,7	10,7	6,0	35,8
Trysil	15	1	1997	13	47,3	29,3	18,0	38,1
		2			47,9	19,2	28,7	60,0
		3			45,3	22,7	22,5	49,7
		4			32,0	16,0	16,0	50,1
Trysil	16	1	1998	12	33,8	23,7	10,1	30,0
		2			35,6	23,3	12,3	34,5
		3			34,2	23,1	11,1	32,4

2.2. Data

Dataene fra Houtmeyers & Brunner (2020) bestod av seks barblandingsbestand med totalt 24 prøveflater (videre beskrevet som barblandingsdata). Dataene fra Gizachew & Brunner (2010) bestod av 12 rene furubestand med totalt 41 prøveflater (videre beskrevet som furudata). Data ble samlet inn fra temporære prøveflater med en radius på 8,92 m (250 m²) for furudata og 9 m (254 m²) for barblandingsdata. For furudata ble transektlinjer lagt på tvers av bestandene ut ifra bestandskart eller rekognosering på forhånd. Transektlinjene ble delt inn i tre til fire like store

del, hvor en prøveflate ble etablert tilfeldig i hver del. Prøveflatene ble lagt i rene furubestand. For barblandingsdata ble det plassert fire prøveflater i hvert av bestandene. Prøveflatene ble plassert for å inneha ulike treslagsfordelinger, hvor treslagsfordelingen varierte fra kun furu eller gran til furu- eller grandominert eller en jevnt fordelt med begge treslag. Prøveflater fra både furudata og barblandingsdata ble plassert slik at kanteffekter fra nabobestandene ble unngått.

Ulikt mange andre studier om tynningsreaksjoner på bestands- og enkelttrenivå, var datamaterialet i denne studien fra temporære prøveflater fremfor kontrollerte forsøksfelt med utynnede kontrollruter. På grunn av manglende utynnede referanser antas det at veksten før tynning tilsvare veksten videre uten tynning. For denne studien med kort observasjonstid (5 – 13 år) fungerer veksten før tynning godt som en kontroll. Tynningsreaksjonen ble definert som endringen i grunnflatetilvekst ($\text{cm}^2/\text{år}$) sammenliknet med grunnflatetilveksten ($\text{cm}^2/\text{år}$) før tynning.

Totalt bestod datamaterialet undersøkt i denne studien av 18 bestand med til sammen 65 prøveflater (Tabell 1 og 2). Treantallet i datamaterialet var totalt 1 610, hvorav 688 fra barblandingsdata og 922 fra furudata. For hver prøveflate ble det registrert treslag (gran eller furu), status (stubbe, død eller stående), brysthøydiameter (dbh, cm), diameter ved stubbeavskjær (stubbediameter, cm) og posisjonen (koordinater) til stubbe og tre i forhold til sentrum av prøveflaten. Det ble tatt to boreprøver ved brysthøyde fra alle stående trær med dbh over 5 cm. Boreprøver er blitt brukt til å tilbakeberegne dbh (cm) til tynningstidspunkt og 5 år før tynning. Stubbediameter (cm) og treposisjoner er blitt brukt til rekonstruering av prøveflatene til tynningstidspunkt og til å regne ut konkurranseindeks før og etter tynning. For barblandingsdata ble posisjonene til stikkveiene (stikkveisbredde ca. 4 meter) og kantrær ved stikkveiene registrert i alle prøveflater. Samme informasjon var ikke registrert i furudata.

2.3. Databehandling

Beregninger av variabler

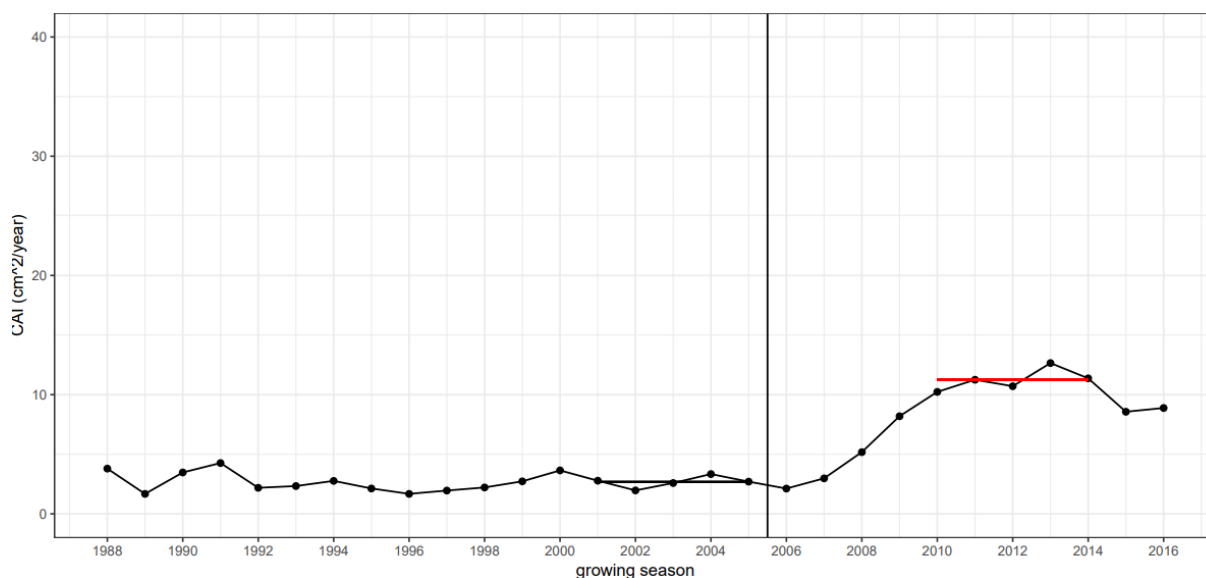
Grunnflaten (cm^2) til alle trær ble regnet ut ved tre ulike tidspunkt: 1) tidspunkt for måling, 2) tynningstidspunkt og 3) fem år før tynning. Tynningsreaksjonen (absolutt) (d_{ig} , $\text{cm}^2/\text{år}$) hos trær er differansen i periodisk grunnflatetilvekst ($\text{cm}^2/\text{år}$): $d_{ig} = ig_{etter} - ig_{før}$. Periodisk grunnflatetilvekst før tynning ($ig_{før}$) er for de fem siste årene før tynning, periodisk grunnflatetilvekst etter tynning (ig_{etter}) er for alle registrerte år etter tynning og

periodelengden varierer mellom bestandene. Relativ tynningsreaksjon (rel_d_ig) er: $d_ig / ig_før$.

Konkurransindeks før tynning ($KI_før$) minus konkurranseindeks etter tynning (KI_etter) viser graden av fristilling (d_KI) til et tre. For å kvantifisere andelen redusert konkurranse etter tynning, ble relativ fristilling (rel_d_KI) derfor brukt: $rel_d_KI = d_KI / KI_før$.

Observasjonstid

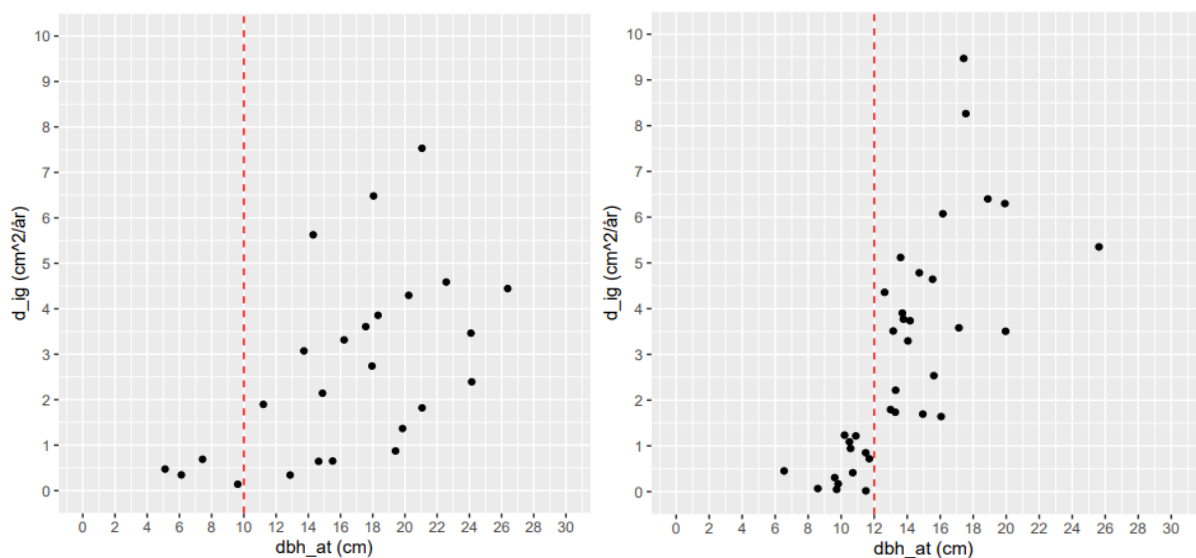
Observasjonstiden beskriver antall år etter første tynning målingene ble gjennomført. Observasjonstiden for ulike bestand varierte fra fem til 13 år (Tabell 1 og 2). Det er vist i Houtmeyers & Brunner (2020) at grunnflatetilveksten per år har en gradvis økning etter tynning, med en maksimal grunnflatetilvekst etter ett til tre år som fortsetter i fire til seks år før den gradvis avtar (Figur 2). Den gradvise økningen og noen år med maksimal grunnflatetilvekst er inkludert i hele tidsserien for alle prøveflatene. Den gradvise nedgangen i grunnflatetilveksten som kommer etter er kun delvis inkludert for enkelte bestand. På grunn av at man ikke sammenlikner tynningsreaksjoner på tvers av bestand, men kun innenfor hver prøveflate som har samme observasjonstid, kan det aksepteres at ulike deler av forløpet ble brukt i de forskjellige bestand.



Figur 2. Grunnflatetilveksten (CAI, cm² per år) før og etter tynning (vertikal svart linje) for ett enkelt grantre fra bestand 779, prøveflate 1 fra barblandingsdata. Svart horisontal linje indikerer middelveiden for grunnflatetilveksten 5 år før tynning. Rød horisontal linje indikerer 5-årsperioden etter tynning med høyest grunnflatetilvekst. Figuren er hentet fra datamateriale fra undersøkelsen til Houtmeyers & Brunner (2020).

Trær uten tynningsreaksjon

Små trær i mange av prøveflatene viste ingen tynningsreaksjon (d_{ig} rundt 0), samt ingen effekt av dbh ved tynningstidspunkt (dbh_{at} , cm) på tynningsreaksjonen. Det ble først forsøkt tilpasset seksjonsvise regresjonsanalyser med et knekkpunkt for å kunne beskrive manglende tynningsreaksjon for små trær og økende tynningsreaksjon med dbh_{at} for større trær over knekkpunkt. Dette lyktes derimot ikke på grunn av a) få trær per prøveflate (og ofte bare 1 - 3 trær under knekkpunkt) og b) en for svak trend i tynningsreaksjonen over dbh_{at} for større trær i mange av prøveflatene. Den manglende tynningsreaksjonen for små trær var likevel tydelig i de fleste prøveflater (Figur 3). På grunn av dette var det mulig å visuelt finne en diameterterskel for dbh_{at} for hver prøveflate, hvor alle trær under diameterterskelen ble antatt å være uten tynningsreaksjon (Figur 3). For de fleste prøveflater var diameterterskelen 10 cm, men varierte med opptil 4 cm. For videre analyser ble trær uten tynningsreaksjon (trær under diameterterskel) ikke brukt.

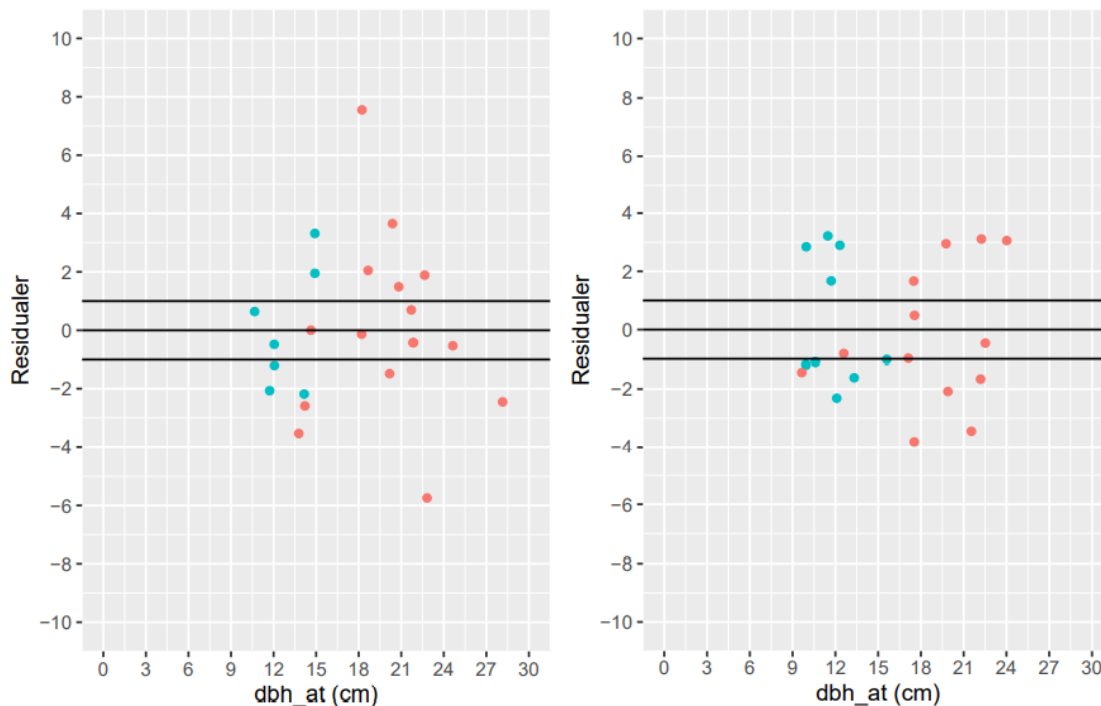


Figur 3. Eksempel på diameterterskel i bestand 779 prøveflate 2 (t.v) og bestand 1794 prøveflate 4 (t.h). Vertikal rød stiplet linje markerer diameterterskelen. Trær til venstre for diameterterskelen er trær uten tynningsreaksjon (d_{ig} ned mot 0).

Analyser med gran og furu

Gran og furu fra barblandingsdata ble i denne studien undersøkt sammen i alle analyser. Som en preliminær undersøkelse, undersøkte jeg om lineære regresjoner med d_{ig} over dbh_{at} beskrev tynningsreaksjonen godt for begge treslag ved å studere spredningen i d_{ig} over dbh_{at} i residualgrafer for hver prøveflate. Det ble ikke funnet noen tydelig forskjell i fordelingen av

residualer i tynningsreaksjonen mellom gran og furu. Det var heller ingen større spredning i residualer med økende *dbh_at* (Figur 4).



Figur 4. Residualgrafer med tynningsreaksjonen (*d_ig*) som residualer over brysthøydiameter (*dbh_at*, cm), med eksempel fra bestand 1794 prøveflate 1 (t.v) og 2 (t.h). Furu er vist med rød prikker og gran med blå prikker.

Trerang

Til analysene med lineære regresjoner ble *trerang* for hvert tre regnet om til *trerang* per hektar ved bruk ved bruk av formel: $(ha / fs) * r$, hvor *ha* er hektar (10 000 m²), *fs* er prøveflatestørrelse (m²) og *r* er *trerang*. Alle trær i samme prøveflate ble rangert etter relativ størrelse (*dbh_at*) innad i prøveflaten. Denne variabelen ble videre beskrevet som *trerang*, og uttrykker rangeringen til trær i samme prøveflate som 1, 2, 3 største tre per hektar. Trær med lav *trerang* beskrives som trær med *trerang* 1 – 400 (/ha). Om alle trær har dbh 40 cm ved slutthogst, er 400 trær det maksimale treantall per hektar ved maksimal grunnflatesum på 50 m²/ha (Abetz & Kladtke 2002). Dette er derfor de dominerende trær i et bestand. Trær med høy *trerang* beskrives som trær med *trerang* 401 – 800 (/ha).

2.4. Analyser

Alle analyser ble utført i R-studio (RCoreTeam 2020).

De lineære regresjonene som ble brukt i denne undersøkelsen har formelen: $y = a*x + b$, hvor y er responsvariabel, a er stigningstall, x er forklaringsvariabel og b er intercept.

2.4.1. Tynningsreaksjon og trerang

For å teste hypotese H1 ble det tilpasset lineære regresjoner med d_{ig} over *trerang*.

For å teste hypotese H2 ble det tilpasset lineære regresjoner med rel_d_KI over *trerang*. For 18 observasjoner i furudata manglet det data for d_KI slik at rel_d_KI ikke kunne regnes ut. Alle trær uten rel_d_KI ble derfor ikke brukt i denne analysen.

Hypotese H3 ble testet ved å tilpasse lineære regresjoner med rel_d_KI over *trerang*.

2.4.2. Effekter av kanttrær ved stikkveier

Hypotese H4 ble testet ved å tilpasse lineære regresjoner med d_{ig} over *trerang*, hvor alle kanttrær ved stikkveier ble fjernet fra datamaterialet. På grunn av at stikkveier og kanttrær ved stikkveier ikke ble registrert for furudata, ble denne analysen kun utført for barblandingsdata.

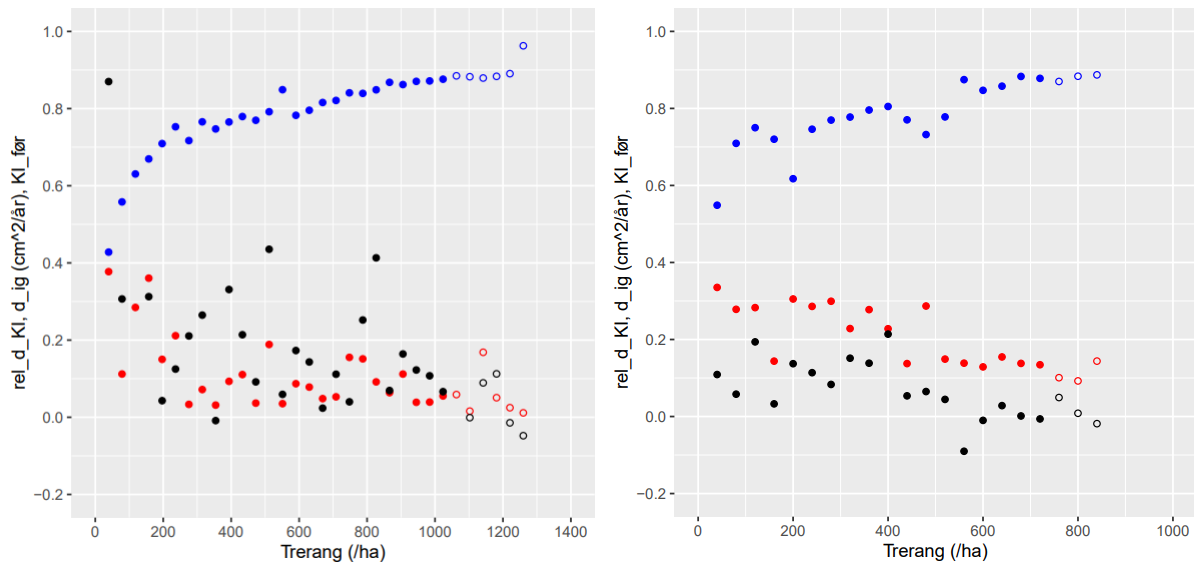
2.4.3. Variasjon i tynningsintensitet og tynningsmåte

For å finne en forklaring på manglende signifikant sammenheng mellom d_{ig} og *trerang*, undersøkte jeg om variasjon i tynningsstyrke og tynningsmåte ga andre fristillingsmønster enn foreslått i hypotese H2. Det ble visuelt analysert mønster i rel_d_KI og $KI_før$ over *trerang* i punktdiagram for hver prøveflate (Figur 5 - 9). Det ble studert mønster i rel_d_KI og $KI_før$ hos trær med lav *trerang* og trær med høy *trerang*. I prøveflater hvor det var en sammenheng mellom d_{ig} og *trerang* var det et felles mønster i rel_d_KI og $KI_før$. Disse mønstrene ble brukt som en referanse når det ble sammenliknet med andre prøveflater hvor det ikke var en sammenheng mellom d_{ig} og *trerang*. Etter å ha studert mønster i rel_d_KI og $KI_før$ for alle prøveflater, kom jeg frem til hjelpeverdier for begge variablene for å dele prøveflatene inn i ulike klasser etter ulike forklaringer (H5 – H8).

I følgende beskrivelser blir det vist hvilke mønster som ble brukt til å klassifisere prøveflatene inn under de ulike hypotesene H5 – H8:

Prøveflater med en sammenheng mellom tynningsreaksjon og trerang

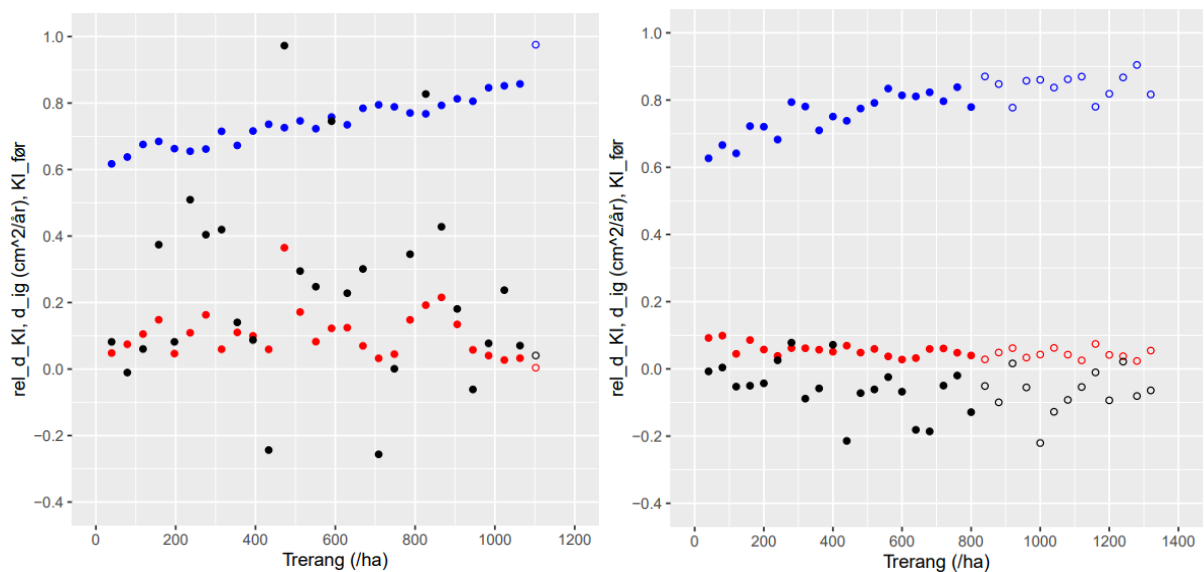
For prøveflater med en signifikant sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$ ble følgende mønster i rel_d_KI og $KI_før$ funnet: rel_d_KI avtok med økende $trerang$ og var ca. 0,3 hos trær med $trerang$ 1 – 100, og ned mot 0,1 eller lavere hos trær med lavest $trerang$ (Figur 5).



Figur 5. Mønster i rel_d_KI (rød prikker), $d_{ig} / 10$ (svarte prikker) og $KI_før$ (blå prikker) for prøveflater med en signifikant sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$ (/ha). Eksempel fra bestand 1794 prøveflate 3 (t.v) og bestand 10 prøveflate 3 (t.h). Prikker uten fyll indikerer trær uten tynningsreaksjon (d_{ig} ned mot 0).

Prøveflater med lav tynningsintensitet (H5)

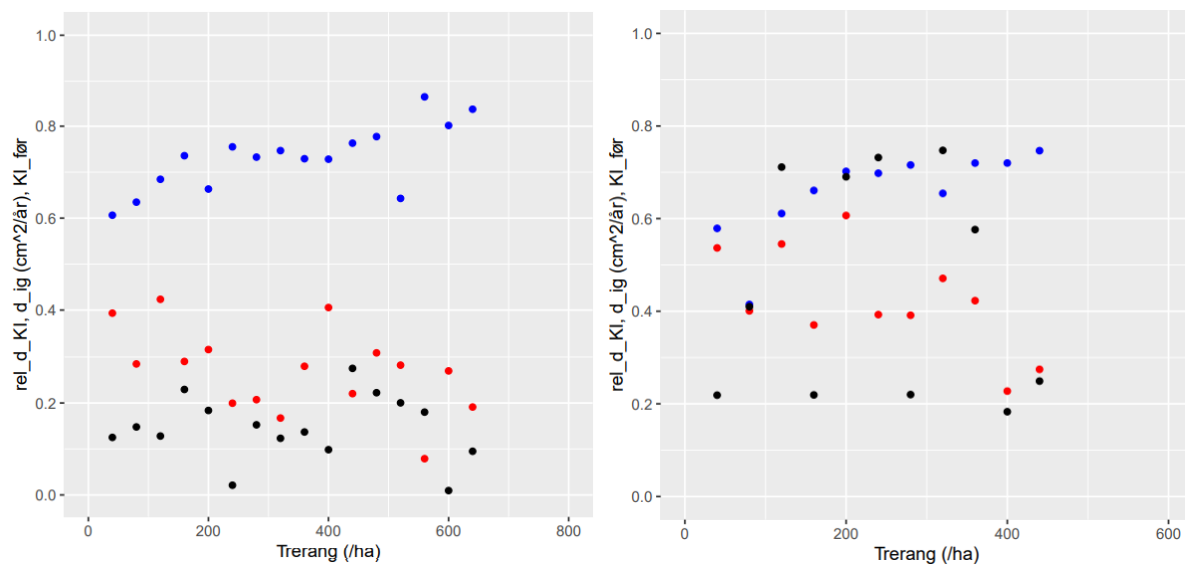
For prøveflater med en lav tynningsintensitet ble følgende mønster i rel_d_KI og $KI_før$ funnet: rel_d_KI lav hos alle trær og ofte mellom 0,05 – 0,15. rel_d_KI avtok med økende $trerang$ i noen prøveflater, men var hos trær med lav $trerang$ tydelig lavere enn 0,3 og ofte lavere enn 0,1 hos trær med høyest $trerang$ (Figur 6).



Figur 6. Mønster i rel_d_KI (rød prikker), $d_ig / 10$ (svarte prikker) og $KI_før$ (blå prikker) over $trerang$ (/ha) for prøveflater forklart med lav tynningsintensitet. Eksempel fra bestand 1406 prøveflate 2 (t.v) og bestand 10 prøveflate 1 (t.h). Prikker uten fyll indikerer trær uten tynningsreaksjon (d_ig ned mot 0).

Høy tynningsintensitet (H6)

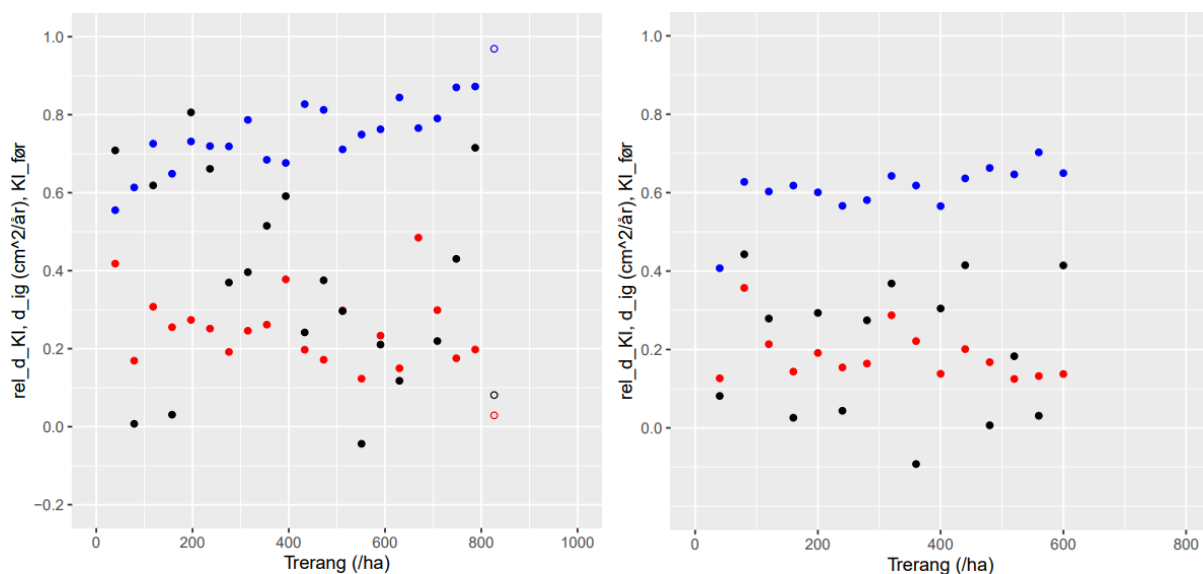
For prøveflater med høy tynningsintensitet ble følgende mønster i rel_d_KI og $KI_før$ funnet: Høy rel_d_KI hos alle trær og ofte høyere enn 0,3 – 0,4 hos trær med lav $trerang$. Trær med høy $trerang$ ofte lik rel_d_KI som de med lav $trerang$, og tydelig over 0,1 - 0,2 som det ellers ble vist i prøveflater med en sammenheng mellom d_ig og $trerang$ (Figur 7).



Figur 7. Mønster i rel_d_KI (rød prikker), $d_ig / 10$ (svarte prikker) og $KI_før$ (blå prikker) over $trerang$ (/ha) for prøveflater forklart med høy tynningsintensitet. Eksempel fra bestand 2 prøveflate 4 (t.v) og bestand 2 prøveflate 2 (t.h). Prikker uten fyll indikerer trær uten tynningsreaksjon (d_ig ned mot 0).

Lik fristilling hos alle trær (H7)

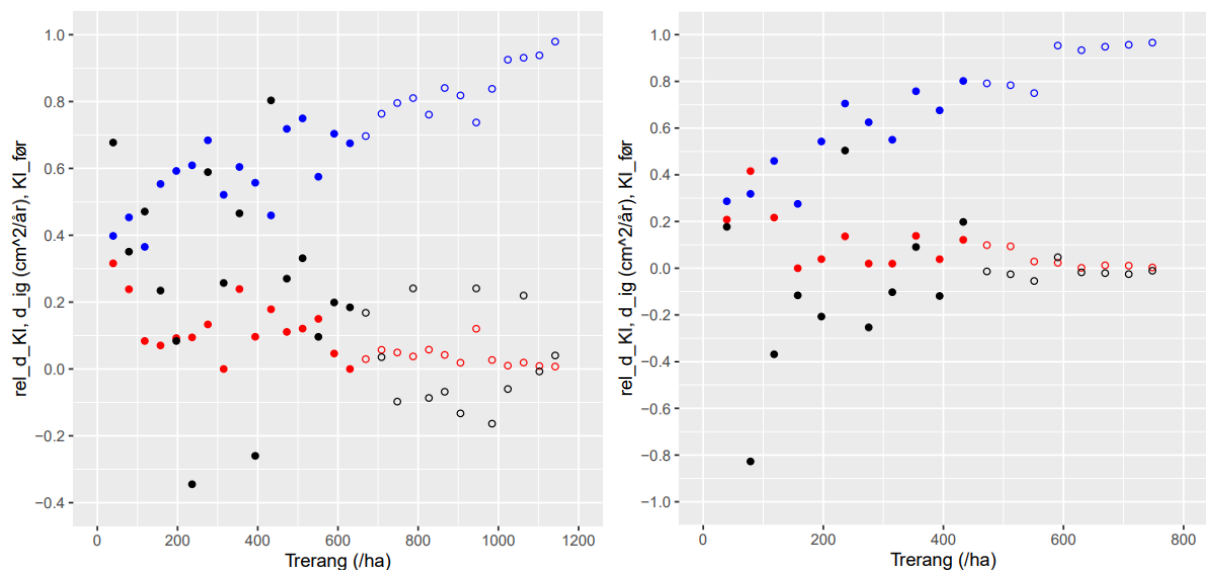
For prøveflater med lik fristilling hos alle trær ble følgende mønster i rel_d_KI og $KI_før$ funnet: Ingen tydelig avtagende trend i rel_d_KI med økende $trerang$, med et nivå på 0,15 – 0,25 hos alle trær (Figur 8). Sammenliknet med prøveflater forklart med lav tynningsintensitet, hadde prøveflater forklart med lik fristilling hos alle trær noe høyere rel_d_KI hos trær med lav $trerang$, og noe høyere rel_d_KI hos trær med høy $trerang$. Tilsvarende var rel_d_KI lavere hos alle trær enn i prøveflater forklart med høy tynningsintensitet.



Figur 8. Mønster i rel_d_KI (rød prikker), $d_ig / 10$ (svarte prikker) og $KI_før$ (blå prikker) over $trerang$ (/ha) for prøveflater forklart med lik fristilling hos alle trær. Eksempel fra bestand 779 prøveflate 3 (t.v) og bestand 8 prøveflate 2 (t.h). Prikker uten fyll indikerer trær uten tynningsreaksjon (d_ig ned mot 0).

Lav bestandstetthet før tynning (H8)

For prøveflater med lav bestandstetthet før tynning ble følgende mønster i rel_d_KI og $KI_før$ funnet: $KI_før$ tydelig lavere hos alle trær sammenliknet med andre prøveflater og under 0,4 – 0,5 hos trær med lav $trerang$ og økte opp mot 0,7 – 0,8 hos trær med høyere $trerang$. rel_d_KI ca. 0,1 - 0,2 hos de fleste trær (Figur 9).



Figur 9. Mønster i rel_d_KI (rød prikker), $d_ig / 10$ (svarte prikker) og $KI_før$ (blå prikker) over $trerang$ (/ha) for prøveflater forklart med lav bestandstetthet før tynning. Eksempel fra bestand 897 prøveflate 2 (t.v) og bestand 165 prøveflate 3 (t.h). Prikker uten fyll indikerer trær uten tynningsreaksjon (d_ig ned mot 0).

2.4.4. Størrelse på tynningsreaksjonen ved ulik tynningsintensitet

Hvor mye større grupper av trær med ulik *trerang* ble ved ulik tynningsintensitet, undersøkte jeg ved å regne ut middelerdier for d_ig hos trær med *trerang* 1 – 200, 201 – 400 og 401 – 600 for hver prøveflate. Også andre studier har undersøkt størrelsen på tynningsreaksjonen opp til de 600 største trær/ha. Med middelerdier for d_ig per prøveflate for de tre gruppene trær (1 - 200, 201 - 400, 401 - 600) beregnet jeg en middelerdi per gruppe trær ved lav, middels og høy tynningsintensitet. Prøveflatene ble sortert etter tynningsuttak (%) og delt inn i tre like store grupper; lav (tynningsuttak 12-32 %), middels (tynningsuttak 32-38 %) og høy (tynningsuttak 38-64 %) tynningsintensitet. I og med at det var totalt 65 prøveflater, ble det 22 prøveflater under lav og høy tynningsintensitet og 21 prøveflater under middels tynningsintensitet. Begrunnelsen for denne grupperingen var å få et likt antall prøveflater i hver gruppe.

For hver tynningsintensitet ble det beregnet en middelerdi per gruppe trær (*trerang* 1 - 200, 201 - 400 og 401 - 600) basert på middelerdier for d_ig for alle prøveflater. Dette ble gjort for å finne ut om det var en forskjell mellom ulike tynningsintensiteter og grupper av trær. For å kontrollere for stor variasjon innad i hver gruppe beregnet jeg konfidensintervaller ($\pm 2SE$) med formel: $2 * sd / ROT(n)$, der sd er standardavvik og n er antall prøveflater.

3. Resultater

3.1. Tynningsreaksjon

3.1.1. Absolutt tynningsreaksjon og trerang

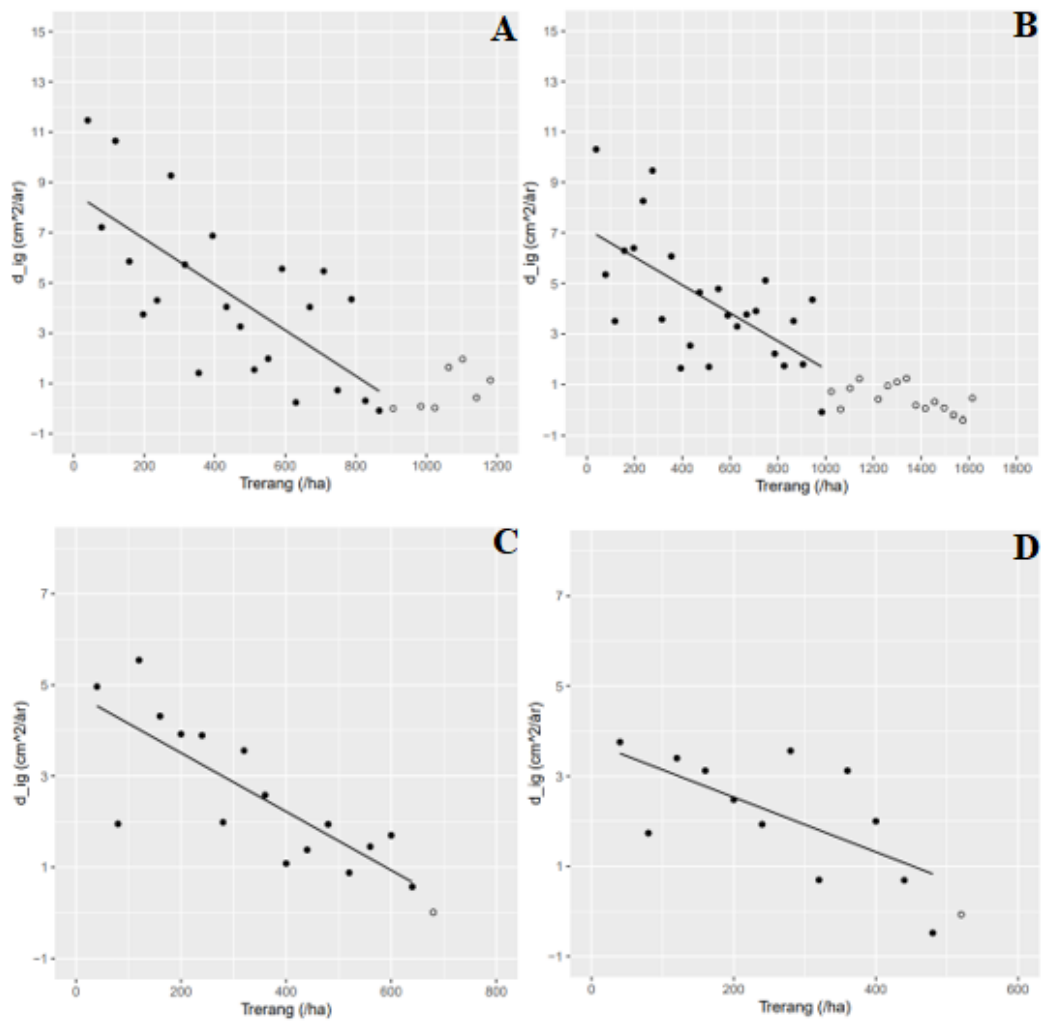
Hypotese H1 ble testet for å besvare spørsmålet hvor mange trær som blir hvor mye større etter tynning. Jeg fant en signifikant negativ sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$ i 9 av 24 (37,5 %) prøveflater fra barblandingsdata, og 10 av 41 (24,4 %) prøveflater fra furudata (Tabell 3 og 4). Totalt for både barblandingsdata og furudata ble det funnet en signifikant negativ sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$ i 19 av 65 prøveflater (29,2 %). Dette viser at det er en signifikant sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$ i kun noen av prøveflatene, og at sammenhengen mellom d_{ig} og $trerang$ kan besvare spørsmålet hvor mange trær blir hvor mye større bare for 19 prøveflater (Figur 10).

Tabell 3. Resultater fra lineære regresjoner fra barblandingsdata med tynningsreaksjon (d_{ig}) og trerang (/ha) for prøveflater med en signifikant sammenheng. Middelerverdier for d_{ig} og treantall (/ha) med en tynningsreaksjon er oppgitt for alle prøveflater.

Bestand	Prøveflate	Intercept	Stigningstall	P > t (Stigningstall)	Snitt d_{ig} (cm ² /år)	RMSE	R ²	Treantall (/ha)
121	1	12,384	-0,013	0,032	7,53	4,795	0,256	709
	2	—	—	0,5	2,91	—	—	630
	3	—	—	0,093	2,63	—	—	787
	4	—	—	0,458	1,52	—	—	748
165	1	—	—	0,183	3,03	—	—	866
	2	—	—	0,983	3,04	—	—	748
	3	—	—	0,258	-0,93	—	—	433
	4	—	—	0,182	0,17	—	—	866
779	1	—	—	0,103	3,62	—	—	906
	2	—	—	0,153	3,1	—	—	827
	3	—	—	0,904	4,29	—	—	787
	4	—	—	0,384	4,16	—	—	1181
897	1	5,97	-0,00459	0,012	3,98	1,818	0,286	827
	2	—	—	0,498	2,76	—	—	630
	3	7,196	-0,00813	0,014	4,15	2,543	0,324	709
	4	—	—	0,062	5,11	—	—	945
1406	1	5,123	-0,00444	0,009	2,76	2,356	0,252	1024
	2	—	—	0,996	2,42	—	—	1063
	3	—	—	0,199	0,73	—	—	1142
	4	3,557	-0,00250	0,01	1,93	1,870	0,201	1260
1794	1	8,477	-0,00809	0,002	4,65	2,805	0,383	906
	2	8,571	-0,00911	< 0,001	4,45	2,366	0,504	866
	3	4,459	-0,00403	0,012	2,32	2,245	0,233	1024
	4	7,154	-0,00554	0,001	4,32	1,948	0,415	984

Tabell 4. Resultater fra lineære regresjoner fra furudata med tynningsreaksjon (d_{ig}) og trerang (/ha) for prøveflater med en signifikant sammenheng. Middelerverdier for d_{ig} og treantall (/ha) med en tynningsreaksjon er oppgitt for alle prøveflater.

Bestand	Prøveflate	Intercept	Stigningstall	P > t (Stigningstall)	Snitt d_{ig} ($cm^2/år$)	RMSE	R ²	Treantall (/ha)
1	1	6,249	-0,00547	0,0137	3,77	2,371	0,268	880
	2	-	-	0,647	2,66	-	-	800
	3	-	-	0,0820	2,60	-	-	720
	4	-	-	0,103	3,70	-	-	640
2	1	-	-	0,403	0,83	-	-	640
	2	-	-	0,834	4,51	-	-	440
	3	3,973	-0,00645	0,0146	2,20	1,183	0,433	520
	4	-	-	0,842	1,46	-	-	640
3	1	4,796	-0,006	< 0,001	2,61	0,970	0,631	640
	2	3,246	-0,00294	0,017	2,26	0,793	0,342	640
	3	4,482	-0,00517	0,00297	2,35	1,529	0,396	800
	4	-	-	0,197	0,97	-	-	1000
5	1	-	-	0,0623	2,19	-	-	920
	2	-	-	0,114	2,78	-	-	440
	3	-	-	0,192	4,86	-	-	440
	4	-	-	0,132	3,78	-	-	520
6	1	-	-	0,169	2,53	-	-	1000
	2	5,457	-0,00667	0,001	2,44	1,937	0,449	880
	3	-	-	0,151	1,43	-	-	880
8	1	-	-	0,283	3,73	-	-	640
	2	-	-	0,955	2,05	-	-	600
	3	-	-	0,923	1,52	-	-	440
9	1	-	-	0,352	-0,75	-	-	1160
	2	-	-	0,703	0,33	-	-	1360
	3	-	-	0,984	-0,48	-	-	1080
10	1	-	-	0,051	-0,56	-	-	800
	2	-	-	0,311	0,31	-	-	480
	3	1,544	-0,00217	0,0102	0,73	0,646	0,346	720
12	1	-	-	0,404	1,84	-	-	720
	2	2,173	-0,00169	0,030	1,37	0,913	0,204	920
	3	3,748	-0,00617	0,020	2,17	1,052	0,433	480
14	1	-	-	0,082	1,39	-	-	520
	2	-	-	0,785	1,25	-	-	400
	3	1,669	-0,00169	0,001	0,93	0,452	0,469	840
15	1	-	-	0,359	1,73	-	-	1120
	2	-	-	0,0501	3,93	-	-	720
	3	-	-	0,0612	3,24	-	-	1000
	4	-	-	0,245	2,44	-	-	840
16	1	-	-	0,925	1,89	-	-	760
	2	-	-	0,827	2,84	-	-	600
	3	-	-	0,268	1,38	-	-	720



Figur 10. Resultater fra lineære regresjoner med en signifikant sammenheng mellom tynningsreaksjon (d_{ig}) og trerang ($/ha$). Eksempel fra bestand 1794 prøveflate 2 (A) og prøveflate 3 (B) fra barblandingsdata og bestand 3 prøveflate 1 (C) og bestand 12 prøveflate 3 (D) fra furudata. Linjen indikerer treantall/ ha med en tynningsreaksjon (d_{ig}) i prøveflaten. Punkter uten fyll er trær uten tynningsreaksjon (d_{ig} ned mot 0) og er ikke inkludert i analysen.

3.1.2. Relativ fristilling og trerang

Hypotese H2 ble testet for å undersøke om avtagende absolutt tynningsreaksjon (d_{ig}) med økende *trerang* kunne forklares med avtagende grad av fristilling (rel_d_KI) med økende *trerang*. For prøveflater med en signifikant negativ sammenheng mellom d_{ig} og *trerang* (Tabell 3 og 4), hadde 16 av 19 prøveflater (84,2 %) en signifikant negativ sammenheng mellom rel_d_KI og *trerang*. For prøveflater uten en signifikant sammenheng mellom d_{ig} og *trerang*, hadde 27 av 46 prøveflater (58,7 %) en signifikant negativ sammenheng mellom rel_d_KI og *trerang* (Tabell 5 og 6). Avtagende d_{ig} med økende *trerang* kan derfor ikke forklares med avtagende rel_d_KI med økende *trerang*.

Tabell 5. Resultater fra lineære regresjoner fra barblandingsdata med relativ fristilling (rel_d_KI) og *trerang* (/ha) for prøveflater med en signifikant sammenheng. For alle prøveflater er middelerverdier for rel_d_KI oppgitt.

Bestand	Prøveflate	Intercept	Stigningstall	P > t (Stigningstall)	Snitt rel_d_KI	RMSE	R ²
121	1	0,527	-0,000606	< 0,001	0,30	0,087	0,695
	2	—	—	0,210	0,18	—	—
	3	0,282	-0,000345	0,003	0,14	0,102	0,397
	4	—	—	0,240	0,11	—	—
1406	1	0,185	-0,000137	0,001	0,11	0,0568	0,354
	2	—	—	0,719	0,11	—	—
	3	0,153	-0,0000803	0,011	0,11	0,0521	0,217
	4	0,212	-0,000171	< 0,001	0,10	0,0840	0,368
165	1	—	—	0,237	0,15	—	—
	2	0,309	-0,000301	0,004	0,19	0,0847	0,396
	3	—	—	0,097	0,12	—	—
	4	—	—	0,584	0,07	—	—
1794	1	0,296	-0,000312	< 0,001	0,15	0,0906	0,470
	2	0,241	-0,000225	0,071	0,14	0,138	0,153
	3	0,214	-0,000180	0,003	0,12	0,0818	0,314
	4	0,222	-0,000175	0,001	0,13	0,0629	0,405
779	1	0,322	-0,000316	0,002	0,17	0,112	0,373
	2	0,304	-0,000321	< 0,001	0,16	0,0695	0,573
	3	—	—	0,487	0,25	—	—
	4	0,210	-0,000110	0,004	0,14	0,0651	0,261
897	1	0,318	-0,000268	0,001	0,20	0,0783	0,424
	2	—	—	0,090	0,12	—	—
	3	0,299	-0,000328	0,001	0,18	0,0657	0,540
	4	0,302	-0,000204	0,001	0,20	0,0673	0,427

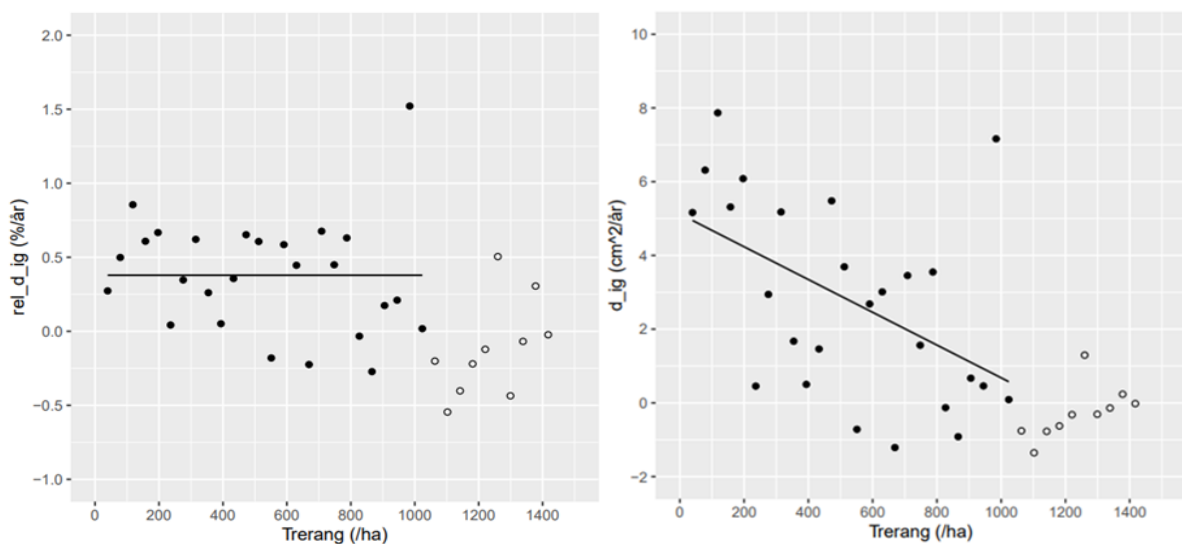
Tabell 6. Resultater fra lineære regresjoner fra furudata med relativ fristilling (rel_d_KI) og trerang (/ha) for prøveflater med en signifikant sammenheng. For alle prøveflater er middelerverdier for rel_d_KI oppgitt.

Bestand	Prøveflate	Intercept	Stigningstall	P > t (Stigningstall)	Snitt rel_d_KI	RMSE	R ²
1	1	0,272	-0,0002	0,002	0,17	0,073	0,38
	2	0,263	-0,0002	< 0,001	0,17	0,04	0,626
	3	—	—	0,065	0,14	—	—
	4	0,271	-0,0003	0,042	0,17	0,101	0,264
2	1	0,352	-0,0003	0,007	0,25	0,07	0,42
	2	0,552	-0,0006	0,037	0,42	0,093	0,4
	3	0,556	-0,0009	0,001	0,33	0,092	0,669
	4	—	—	0,058	0,27	—	—
3	1	0,29	-0,0004	< 0,001	0,17	0,025	0,89
	2	—	—	0,096	0,18	—	—
	3	0,224	-0,0002	0,003	0,15	0,054	0,389
	4	0,057	-0,00003	0,02	0,04	0,014	0,214
5	1	0,170	-0,0001	< 0,001	0,1	0,034	0,581
	2	—	—	0,088	0,2	—	—
	3	0,493	-0,0009	0,002	0,3	0,073	0,705
	4	—	—	0,051	0,29	—	—
6	1	—	—	0,178	0,09	—	—
	2	0,150	-0,0002	0,002	0,08	0,053	0,398
	3	0,105	-0,0001	0,003	0,07	0,03	0,361
8	1	0,271	-0,0002	0,025	0,2	0,058	0,31
	2	—	—	0,161	0,18	—	—
	3	—	—	0,427	0,15	—	—
9	1	0,023	-0,00001	0,028	0,02	0,007	0,179
	2	0,030	-0,00001	0,007	0,02	0,009	0,211
	3	0,074	-0,00006	< 0,001	0,04	0,025	0,404
10	1	0,077	-0,00005	0,006	0,06	0,016	0,35
	2	—	—	0,054	0,35	—	—
	3	0,318	-0,0003	< 0,001	0,22	0,052	0,551
12	1	—	—	0,232	0,13	—	—
	2	—	—	0,101	0,08	—	—
	3	0,297	-0,0003	0,005	0,21	0,045	0,561
14	1	—	—	0,137	0,13	—	—
	2	0,526	-0,001	0,007	0,26	0,121	0,618
	3	0,243	-0,0002	< 0,001	0,15	0,044	0,600
15	1	0,168	-0,0001	< 0,001	0,11	0,041	0,427
	2	0,334	-0,0003	< 0,001	0,22	0,04	0,73
	3	0,248	-0,0002	< 0,001	0,15	0,048	0,571
	4	0,255	-0,0002	< 0,001	0,16	0,045	0,602
16	1	—	—	0,065	0,14	—	—
	2	0,340	-0,0005	< 0,001	0,18	0,074	0,626
	3	0,175	-0,0001	0,002	0,12	0,033	0,456

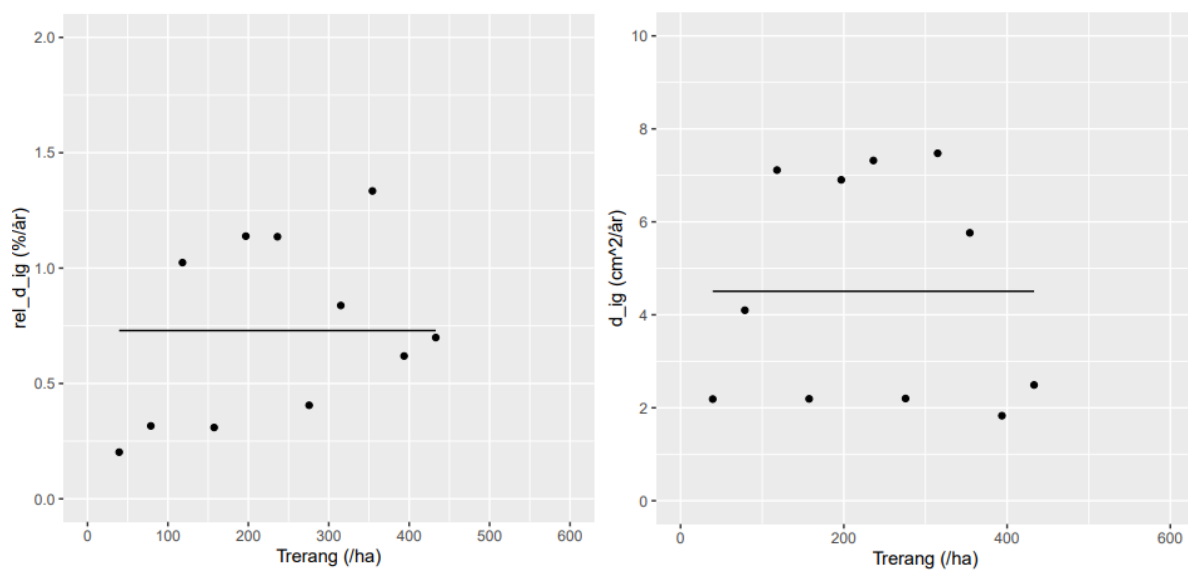
3.1.3. Relativ tynningsreaksjon og trerang

Hypotese H3 ble testet for å undersøke om avtagende absolutt tynningsreaksjon (d_{ig}) med økende *trerang* kunne forklares med variasjon i trestørrelse. For 23 av 24 prøveflater fra barblandingsdata og 35 av 41 prøveflater fra furudata var det ingen signifikant sammenheng mellom *rel_d_ig* og *trerang* (Tabell 7 og 8).

Denne analysen har ingen data som alene viser effekten av trestørrelse, og derfor vil også effekten av fristilling spille inn samtidig. Dette medfører at en analyse som kun setter søkelys på trestørrelse ikke er et bevis på at det bare er trestørrelse som forklarer tynningsreaksjonen (absolutt). For de fleste prøveflater ($n = 17$) med en signifikant sammenheng mellom d_{ig} og *trerang* var *rel_d_ig* uavhengig av *trerang* (Figur 11). Det er også vist at *rel_d_ig* var uavhengig av *trerang* i prøveflater hvor også d_{ig} er uavhengig av *trerang*. Dette skyldes den store variasjonen i dataene rundt linjen i de lineære regresjonene for *rel_d_ig* og *trerang* (Figur 12).



Figur 11. Lineære regresjoner med relativ tynningsreaksjon (*rel_d_ig*) og *trerang* (/ha) (t.v) og absolutt tynningsreaksjon (d_{ig}) og *trerang* (/ha) (t.h). Eksempel fra bestand 1406 prøveflate 2. Linjen indikerer treantall/ha med en tynningsreaksjon (d_{ig}) i prøveflaten. Punkter uten fyll er trær uten tynningsreaksjon (d_{ig} ned mot 0) og er ikke inkludert i analysen.



Figur 12. Lineære regresjoner med relativ tynningsreaksjon (rel_d_ig) og trerang (/ha) (t.v) og absolutt tynningsreaksjon (d_ig) og trerang (/ha) (t.h). Eksempel fra bestand 2 prøveflate 2. Linjen indikerer middelverdier for responsvariabelen.

Tabell 7. Resultater fra lineære regresjoner fra barblandingsdata med relativ tynningsreaksjon (rel_d_ig) og trerang (/ha) for prøveflater med en signifikant sammenheng. For alle prøveflater er middelverdier for rel_d_ig oppgitt.

Bestand	Prøveflate	Intercept	Stigningstall	P > t (Stigningstall)	Snitt rel_d_ig	RMSE	R ²
121	1	—	—	0,129	1,46	—	—
	2	—	—	0,785	0,40	—	—
	3	—	—	0,555	0,39	—	—
	4	—	—	0,169	0,31	—	—
1406	1	—	—	0,541	0,38	—	—
	2	—	—	0,839	0,30	—	—
	3	—	—	0,434	0,07	—	—
	4	—	—	0,917	0,47	—	—
165	1	—	—	0,643	0,48	—	—
	2	—	—	0,267	0,45	—	—
	3	—	—	0,443	-0,01	—	—
	4	—	—	0,414	0,07	—	—
1794	1	—	—	0,995	0,83	—	—
	2	—	—	0,574	0,90	—	—
	3	—	—	0,893	0,45	—	—
	4	—	—	0,162	0,74	—	—
779	1	—	—	0,271	0,59	—	—
	2	—	—	0,058	0,51	—	—
	3	0,221	0,00188	0,049	0,71	0,572	0,198
	4	—	—	0,056	0,93	—	—
897	1	—	—	0,294	0,55	—	—
	2	—	—	0,973	0,32	—	—
	3	—	—	0,252	0,63	—	—
	4	—	—	0,422	0,74	—	—

Tabell 8. Resultater fra lineære regresjoner fra furudata med relativ tynningsreaksjon (rel_d_ig) og trerang (/ha) for prøveflater med en signifikant sammenheng. For alle prøveflater er middelverdier for rel_d_ig oppgitt.

Bestand	Prøveflate	Intercept	Stigningstall	P > t (Stigningstall)	Snitt rel_d_ig	RMSE	R ²
1	1	—	—	—	1,39	—	—
	2	0,179	0,00252	0,003	1,23	0,752	0,393
	3	—	—	—	1,02	—	—
	4	—	—	—	1,18	—	—
2	1	—	—	—	0,14	—	—
	2	—	—	—	0,73	—	—
	3	—	—	—	0,53	—	—
	4	—	—	—	0,42	—	—
3	1	—	—	—	0,58	—	—
	2	—	—	—	0,50	—	—
	3	—	—	—	0,70	—	—
	4	—	—	—	0,26	—	—
5	1	—	—	—	0,74	—	—
	2	—	—	—	0,50	—	—
	3	—	—	—	1,17	—	—
	4	—	—	—	0,94	—	—
6	1	—	—	—	0,58	—	—
	2	0,871	-0,000946	0,0164	0,44	0,423	0,256
	3	—	—	—	0,32	—	—
8	1	—	—	—	0,75	—	—
	2	—	—	—	0,33	—	—
	3	—	—	—	0,35	—	—
9	1	—	—	—	-0,17	—	—
	2	—	—	—	0,08	—	—
	3	—	—	—	-0,09	—	—
10	1	0,074	-0,000444	0,021	-0,11	0,178	0,263
	2	—	—	—	0,10	—	—
	3	0,469	-0,000687	0,03	0,21	0,251	0,260
12	1	—	—	—	0,54	—	—
	2	—	—	—	0,55	—	—
	3	—	—	—	0,56	—	—
14	1	—	—	—	0,49	—	—
	2	—	—	—	0,57	—	—
	3	—	—	—	0,52	—	—
15	1	0,325	0,000483	0,009	0,60	0,288	0,235
	2	—	—	—	1,23	—	—
	3	—	—	—	0,93	—	—
	4	—	—	—	0,65	—	—
16	1	—	—	—	0,39	—	—
	2	—	—	—	0,63	—	—
	3	0,068	0,00124	0,009	0,54	0,361	0,360

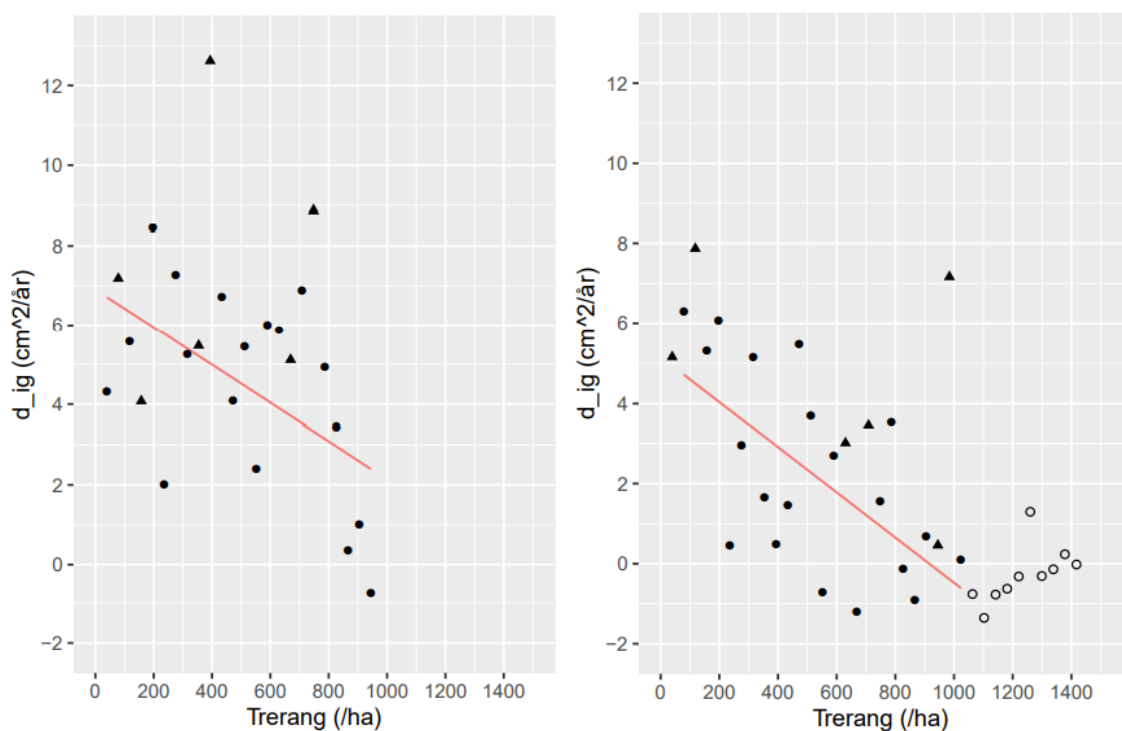
3.1.4. Effekter av kanttrær ved stikkveier

Hypotese H4 ble testet for å undersøke om kanttrær ved stikkveier svekket sammenhengen mellom den absolutte tynningsreaksjonen (d_{ig}) og *trerang*. Det var en signifikant negativ sammenheng mellom d_{ig} og *trerang* i 7 av 24 (29,2 %) prøveflater (Tabell 9). Til sammenlikning var det en signifikant negativ sammenheng mellom d_{ig} og *trerang* i 9 av 24 (37,5 %) prøveflater med alle trær inkludert i analysen (Tabell 3). For tre prøveflater (bestand 121 prøveflate 1, bestand 897 prøveflate 3 og bestand 1406 prøveflate 4) var det ikke lenger en signifikant sammenheng mellom d_{ig} og *trerang* når kanttrær ved stikkveier ikke ble inkludert, samtidig som det ble en signifikant sammenheng for en prøveflate (bestand 897 prøveflate 4). Kanttrær ved stikkveier hadde høyere d_{ig} uansett *trerang* enn trær i mellomfeltene (Figur 13). Når kanttrær ved stikkveier ble tatt ut av analysen, ble middelerverdier for d_{ig} redusert i prøveflatene (Tabell 9).

Kanttrær ved stikkveier påvirket middelerverdier til d_{ig} , men svekket ikke sammenhengen mellom d_{ig} og *trerang*, og er dermed ikke forklaringen på manglende signifikant sammenheng mellom d_{ig} og *trerang* i mange av prøveflatene.

Tabell 9. Resultater fra lineære regresjoner med absolutt tynningsreaksjon (d_{ig}) og trerang (/ha) uten kantrær til stikkveier inkludert for prøveflater med en signifikant sammenheng. Middelverdier for d_{ig} og treantall (/ha) med en tynningsreaksjon (d_{ig}) er oppgitt for alle prøveflater.

Bestand	Prøveflate	Intercept	Stigningstall	P > t (Stigningstall)	Snitt d_{ig} ($cm^2/år$)	RMSE	R ²	Treantall (/ha)
121	1	—	—	0,265	4,1	—	—	354
	2	—	—	0,488	2,25	—	—	394
	3	—	—	0,184	2,45	—	—	709
	4	—	—	0,373	0,04	—	—	551
1406	1	5,167	-0,00564	0,003	2,23	1,968	0,396	787
	2	—	—	0,887	2,11	—	—	984
	3	—	—	0,216	0,7	—	—	1102
	4	—	—	0,061	1,67	—	—	787
165	1	—	—	0,186	2,69	—	—	787
	2	—	—	0,314	3,25	—	—	630
	3	—	—	0,409	-1,92	—	—	354
	4	-2,436	0,00479	0,022	-0,23	2,212	0,248	827
1794	1	8,665	-0,00815	0,013	4,79	3,107	0,330	709
	2	8,624	-0,0104	< 0, 001	4,15	2,103	0,624	748
	3	4,459	-0,00403	0,012	2,32	2,245	0,233	1024
	4	6,866	-0,00519	0,001	4,15	1,918	0,392	945
779	1	—	—	0,28	2,72	—	—	709
	2	—	—	0,152	2,69	—	—	669
	3	—	—	0,862	3,44	—	—	472
	4	—	—	0,132	3,68	—	—	1063
897	1	7,286	-0,00756	0,001	4,1	1,691	0,502	669
	2	—	—	0,266	2,34	—	—	551
	3	—	—	0,139	3,45	—	—	591
	4	6,901	-0,00477	0,023	4,41	2,210	0,283	709



Figur 13. Lineære regresjoner med tynningsreaksjon (d_{ig}) og trerang (/ha) uten kantrær ved stikkveier. Eksempel fra bestand 897 prøveflate 4 (t.v) og bestand 1406 prøveflate 1 (t.h). Linjen indikerer treantall (/ha) med en tynningsreaksjon (d_{ig}). Kantrær ved stikkveier er markert med trekant og punkter uten fyll er trær uten tynningsreaksjon (d_{ig} ned mot 0) og er ikke inkludert i analysen.

3.2. Variasjon i tynningsstyrke og tynningsmåte

Den manglende sammenhengen mellom den absolutte tynningsreaksjonen (d_{ig}) og *trerang* i mange av prøveflatene ble ikke forklart med hypotese H2 – H4. Forklaringer på at det ikke ble funnet en sammenheng mellom d_{ig} og *trerang* i mange av prøveflatene følger under og gjelder bare for noen prøveflater hver.

3.2.1. Lav tynningsintensitet

Forklaringen på manglende sammenheng mellom d_{ig} og *trerang* var for 19 prøveflater lav tynningsintensitet (H5). Lav rel_d_KI hos trær med *trerang* 1 - 100 forklarte at d_{ig} ikke var høyere for disse trærne enn trær med høy *trerang*. Hos trær med *trerang* 1 – 100 var rel_d_KI ca. 0,05 – 0,15, som beskriver at bare 5 - 15 % av konkurransen ble fjernet ved tynning (Tabell 10, figur 6). Dette var tydelig lavere sammenliknet med samme trær i prøveflater med en sammenheng mellom d_{ig} og *trerang*, hvor rel_d_KI var ca. 0,3, og beskriver at 30 % av konkurransen ble fjernet ved tynning. Tynningsuttaket (%) var i de fleste prøveflatene mellom 20 – 30 % (Tabell 10).

Tabell 10. Prøveflater med lav tynningsintensitet. Middelerverdier for *KI_før* og *rel_d_KI*, *rel_d_KI* hos trær med *trerang* 1 – 100 (/ha) og tynningsuttak (%).

Bestand	Prøveflate	Snitt KI_før	Snitt rel_d_KI	rel_d_KI (trerang 1-100)	Tynningsuttak (%)
Furudata					
3	4	0,74	0,044	0,05	13,8
5	1	0,75	0,10	0,16	29,4
6	1	0,75	0,088	0,088	29,1
	3	0,75	0,066	0,099	24,7
9	1	0,83	0,018	0,023	11,7
	2	0,84	0,022	0,029	16,7
	3	0,78	0,04	0,068	18,3
10	1	0,75	0,06	0,072	20,8
12	1	0,72	0,13	0,13	40,4
14	1	0,63	0,13	0,13	23,8
15	1	0,80	0,11	0,16	38,1
	4	0,78	0,16	0,23	50,1
16	1	0,68	0,14	0,14	30,0
	3	0,71	0,12	0,16	32,4
Barblandingsdata					
121	3	0,67	0,14	0,247	36,8
	4	0,70	0,11	0,112	31,4
165	4	0,64	0,074	0,074	22,2
1406	2	0,74	0,11	0,107	29,9
	3	0,72	0,11	0,145	24,5

3.2.2. Høy tynningsintensitet

Forklaringen på den manglende sammenhengen mellom *d_ig* og *trerang* var for sju prøveflater høy tynningsintensitet (H6). Høy *rel_d_KI* både hos trær med lav og høy *trerang* forklarte at også trær med høy *trerang* hadde høy *d_ig*. Hos trær med høy *trerang* var *rel_d_KI* ca. 0,2 – 0,4 %, som beskriver at 20 – 40 % av konkurransen ble tatt vekk ved tynning (Tabell 11, figur 7). Dette var tydelig høyere sammenliknet med samme trær i prøveflater med en sammenheng mellom *d_ig* og *trerang*, hvor *rel_d_KI* var ca. 0,1 og mindre, som beskriver at ca. 10 % av konkurransen ble tatt vekk ved tynning. Tynningsuttaket (%) for disse prøveflatene var høyt og over 45 % i alle prøveflater bortsett fra én (Tabell 11).

Tabell 11. Prøveflater med høy tynningsintensitet. Middelerverdier for *KI_før* og *rel_d_KI*, *rel_d_KI* hos trær med *trerang* 1 – 100 (/ha) og tynningsuttak (%).

Bestand	Prøveflate	Snitt KI_før	Snitt rel_d_KI	rel_d_KI (trerang 1-100)	Tynningsuttak (%)
Furudata					
2	2	0,66	0,42	0,50	59,5
	4	0,73	0,27	0,27	53,1
5	2	0,60	0,20	0,20	45,5
	3	0,68	0,30	0,41	55,0
	4	0,68	0,29	0,29	46,0
10	2	0,74	0,35	0,35	60,0
14	2	0,55	0,26	0,40	29,2

3.2.3. Lik fristilling hos alle trær uansett *trerang*

Manglende sammenheng mellom *d_ig* og *trerang* ble for åtte prøveflater forklart med lik *rel_d_KI* hos alle trær (H7). *rel_d_KI* var i de fleste prøveflater mellom 0,15 - 0,25, og beskriver at 15 – 25 % av konkurransen ble tatt vekk ved tynning (Tabell 12, figur 8). Dette forklarte at trær med lav *trerang* ikke fikk en høyere *d_ig* sammenliknet med trær med høy *trerang*. Trær med lav *trerang* hadde en lavere *rel_d_KI* enn tilsvarende trær i prøveflater forklart med høy tynningsintensitet. Tynningsuttaket (%) for disse prøveflatene varierte mellom prøveflatene, men var ca. 35 – 45 % i flere av de (Tabell 12).

Tabell 12. Prøveflater med lik fristilling hos alle trær. Middelerverdier for *KI_før* og *rel_d_KI*, *rel_d_KI* hos trær med *trerang* 1 – 100 (/ha) og tynningsuttak (%).

Bestand	Prøveflate	Snitt KI_før	Snitt rel_d_KI	rel_d_KI (trerang 1 - 100)	Tynningsuttak (%)
Furudata					
1	2	0,78	0,17	0,24	53,9
	3	0,73	0,14	0,14	38,9
8	1	0,69	0,20	0,25	49,4
	2	0,61	0,18	0,18	31,7
	3	0,58	0,15	0,15	24,5
Barblandingsdata					
165	1	0,68	0,15	0,15	36,5
779	3	0,74	0,25	0,25	47,2
	4	0,79	0,14	0,20	42,8

3.2.4. Lav bestandstetthet før tynning

Manglende sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$ ble for to prøveflater forklart med lav bestandstetthet før tynning (H8). $KI_{før}$ var for begge prøveflater under 0,6 og tydelig lavere hos alle trær sammenliknet med andre prøveflater (Tabell 13, figur 9). Grunnflatesum før tynning for de to prøveflatene var hhv. 25,7 m²/ha og 19,2 m²/ha. rel_d_KI for begge prøveflater var 0,12 hos alle trær, som beskriver at bare 12 % av konkurransen ble tatt vekk ved tynning. Lav bestandstetthet før tynning ga et lavt tynningsuttak og lav rel_d_KI hos alle trær og forklarer at trær med lav $trerang$ ikke hadde høyere d_{ig} enn trær med høy $trerang$ (Tabell 13).

Tabell 13. Prøveflater med lav bestandstetthet før tynning. Middelverdier for $KI_{før}$ og rel_d_KI , rel_d_KI hos trær med $trerang$ 1 – 100 (/ha), grunnflatesum (m²/ha) før tynning og tynningsuttak (%).

Bestand	Prøveflate	Snitt $KI_{før}$	Snitt rel_d_KI	rel_d_KI ($trerang$ 1 - 100)	G_før (m ² /ha)	Tynningsuttak (%)
Barblandingsdata						
165	3	0,55	0,12	0,12	25,7	20,9
897	2	0,58	0,12	0,12	19,2	22,7

3.2.5. Prøveflater med alternativ forklaring

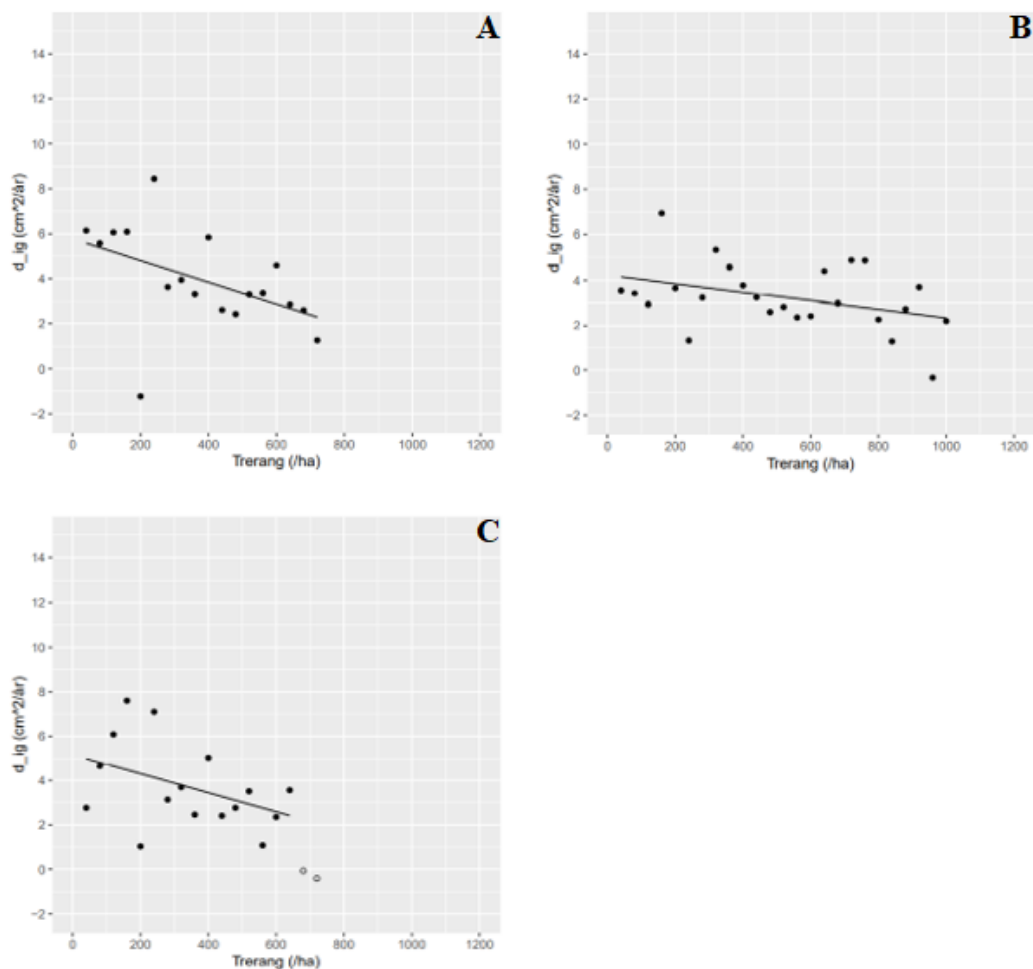
Forklaring til manglende sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$ ble funnet for 36 av 46 prøveflater (H5 – H8). Det var derfor fortsatt 10 prøveflater hvor rel_d_KI og $KI_{før}$ ikke kunne forklare den manglende sammenheng. Dette skyldtes samme mønster i rel_d_KI og $KI_{før}$ som i prøveflater med en sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$. På bakgrunn av disse mønstrene ville det derfor være forventet å finne en sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$ også i disse prøveflatene. Årsaken til at det fortsatt ikke var noen sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$ måtte derfor undersøkes.

Nær signifikant sammenheng mellom tynningsreaksjon og $trerang$

For tre av prøveflatene var sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$ nær signifikant ($p > t$ 0,05 – 0,1) (Tabell 4). Selv om det ikke var en signifikant sammenheng var det en tydelig trend til at d_{ig} avtok med økende $trerang$ (Figur 14). For to av prøveflatene var det ett tre blant trærne med $trerang$ 1 - 400 med d_{ig} ned mot 0 (Figur 14, A og C). At ett av trærne med lavest $trerang$ ikke reagerte (d_{ig} ned mot 0) på tynning, var sannsynligvis årsaken til at det ikke ble vist en signifikant sammenheng mellom d_{ig} og $trerang$ i disse to prøveflatene til tross for at sammenheng var tydelig for de resterende trærne. I den siste prøveflaten var det en svakere

trend til avtagende d_{ig} med økende *trerang*, hvor trærne med *trerang* 401-800 hadde en økt d_{ig} (Figur 14, B).

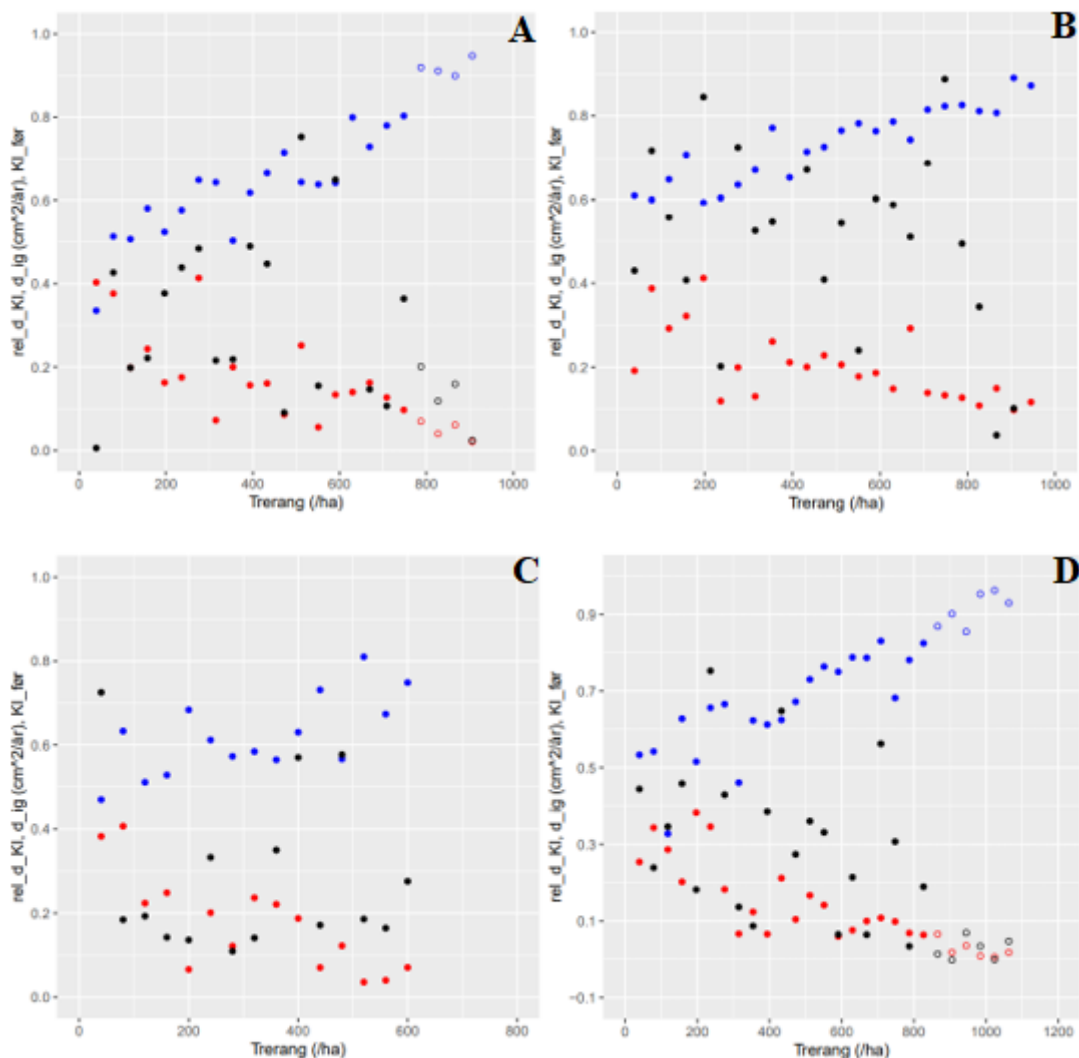
På bakgrunn av at det i disse tre prøveflatene var en tydelig avtagende d_{ig} med økende *trerang*, bare ikke statistisk signifikant, er dette prøveflater som kan regnes med i gruppen som bekrefter hypotese H1.



Figur 14. Lineære regresjoner med tynningsreaksjon (d_{ig}) og *trerang* (/ha) for bestand 15 prøveflate 2 (A), bestand 15 prøveflate 3 (B) og bestand 1 prøveflate 4 (C). Linjen indikerer treantall (/ha) med en tynningsreaksjon (d_{ig}). Prikker uten fyll indikerer trær uten tynningsreaksjon (d_{ig} ned mot 0).

Høy tynningsreaksjon hos trær med høy trerang

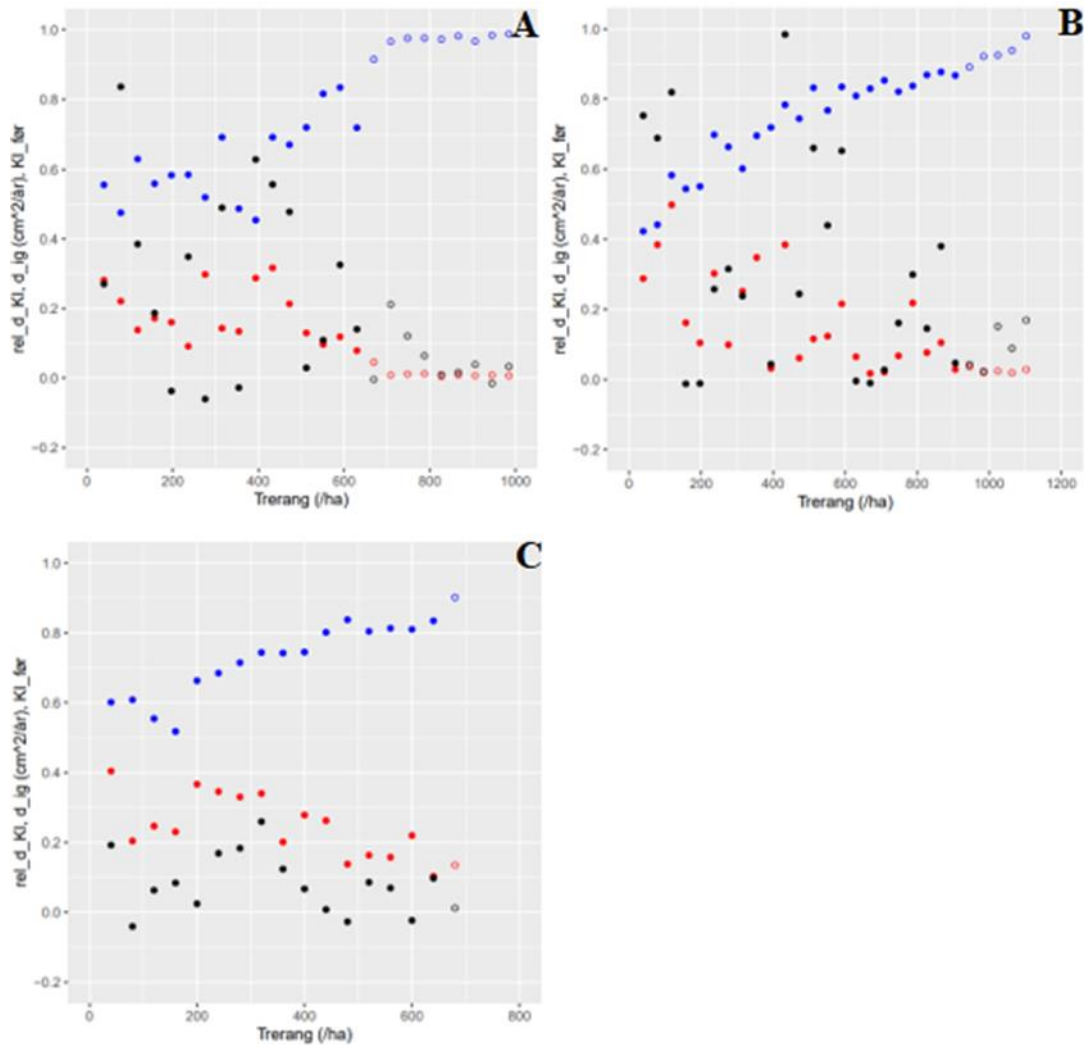
For fire av prøveflatene var det ingen tydelig trend til at d_{ig} avtok med økende *trerang* (Figur 15). For tre av prøveflatene (Figur 15, A, D og C) var $KI_{før}$ lavere sammenliknet med mange andre prøveflater. På tross av at trærne var frittstående før tynning var d_{ig} fortsatt høy for mange trær, også hos trær med *trerang* 401 – 800. For den siste prøveflaten var $KI_{før}$ noe høyere sammenliknet med de andre tre prøveflatene (Figur 15, B). På bakgrunn av små forskjeller i d_{ig} hos trærne med *trerang* 1 – 400 og 401 – 800, skilte disse prøveflatene seg ut fra prøveflatene med en sammenheng mellom d_{ig} og *trerang*. Samme mønster i d_{ig} og *trerang* ble funnet i prøveflater forklart med lik fristilling hos alle trær (H7). Der hadde imidlertid alle trær lik rel_d_KI , noe som ikke var tilfellet for disse fire prøveflatene.



Figur 15. rel_d_KI (rød prikker), $d_{ig} / 10$ (svarte prikker) og $KI_{før}$ (blå prikker) over *trerang* (/ha) for prøveflater med høy tynningsreaksjon (d_{ig}) hos trær med høy *trerang* (/ha). Prikker uten fyll indikerer trær uten tynningsreaksjon (d_{ig} ned mot 0). Bestand 165 prøveflate 2 (A), bestand 897 prøveflate 4 (B), bestand 16 prøveflate 2 (C) og bestand 779 prøveflate 2 (D).

Prøveflater uten en forklaring

For tre av prøveflatene var det to til tre trær blant de med *trerang* 1 - 400 som var uten eller med lav tynningsreaksjon (*d_ig* ned mot 0). *KI_før* og *rel_d_KI* kunne ikke forklare at disse trærne ikke hadde reagert på tynning da det hverken ble vist lav *rel_d_KI* eller *KI_før*. Dermed var det tre prøveflater hvor det ikke ble funnet en forklaring på manglende sammenheng mellom *d_ig* og *trerang* (Figur 16).

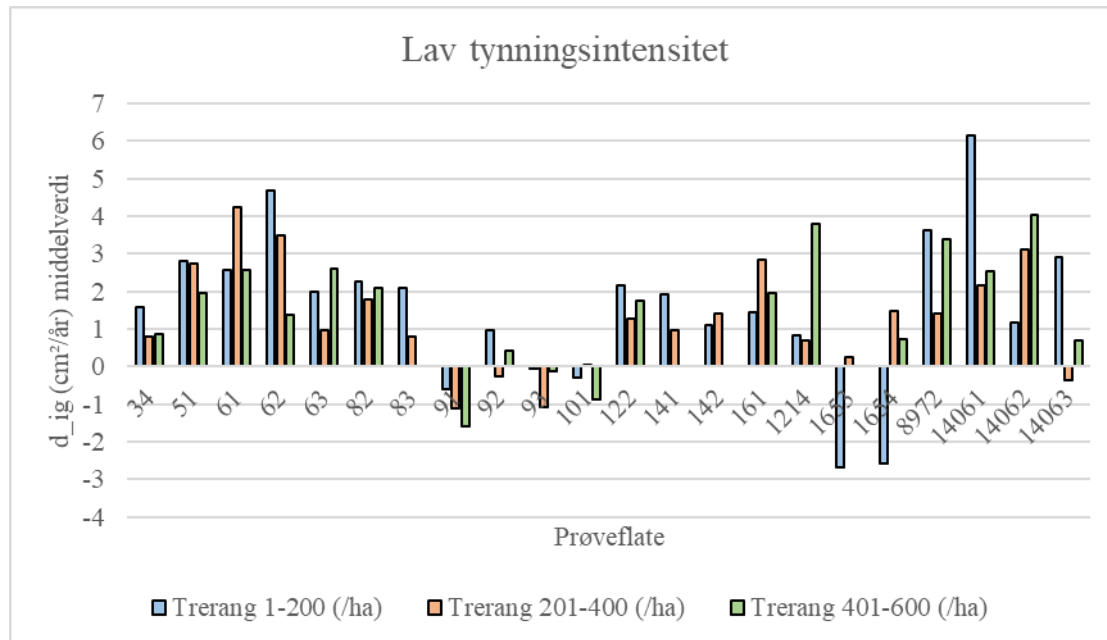


Figur 16. *rel_d_KI* (rød prikker), *d_ig* / 10 (svarte prikker) og *KI_før* (blå prikker) over *trerang* (/ha) for prøveflater uten en forklaring. Prikker uten fyll indikerer trær uten tynningsreaksjon (*d_ig* ned mot 0). Bestand 121 prøveflate 2 (A), bestand 779 prøveflate 1 (B) og bestand 2 prøveflate 1 (C).

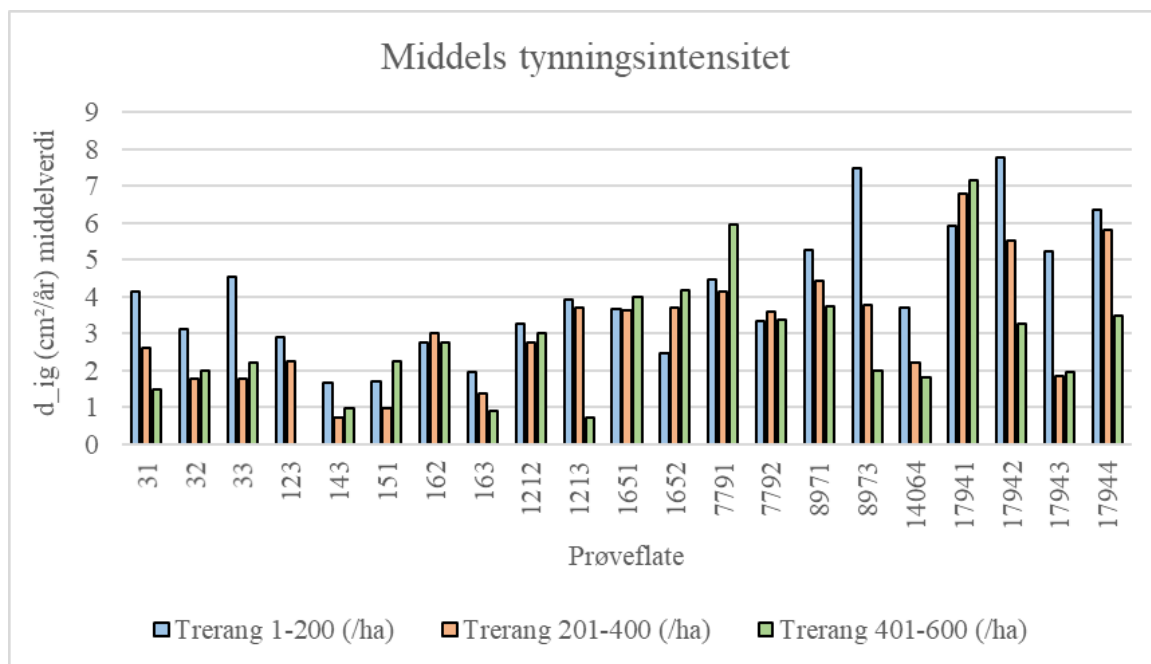
3.2.6. Størrelse på tynningsreaksjonen ved ulik tynningsintensitet

Middelverdier for d_{ig} viste en stor variasjon mellom ulike tynningsintensiteter, samt innad under samme tynningsintensitet (Figur 17 - 19). For prøveflater med lav tynningsintensitet var middelverdier for d_{ig} ned mot 0 eller negativ for noen grupper trær (*trerang* 1 - 200, 201 - 400, og 401 - 600) i sju prøveflater. I ni av 22 prøveflater var det en lavere middelverdi for d_{ig} hos trær med *trerang* 1 - 200, enn for en av- eller begge de to andre gruppene trær (Figur 17). For prøveflater med middels tynningsintensitet var det høyest d_{ig} blant trær med *trerang* 1 - 200 sammenliknet med de to andre gruppene i de fleste prøveflater, og uansett høy d_{ig} i alle prøveflater (Figur 18). For prøveflater med høy tynningsintensitet var middelverdien for d_{ig} hos trær med *trerang* 1 - 200 høy i de fleste prøveflater, selv om også trær med *trerang* 201 - 400 og 401 - 600 ofte hadde lik eller høyere d_{ig} (Figur 19).

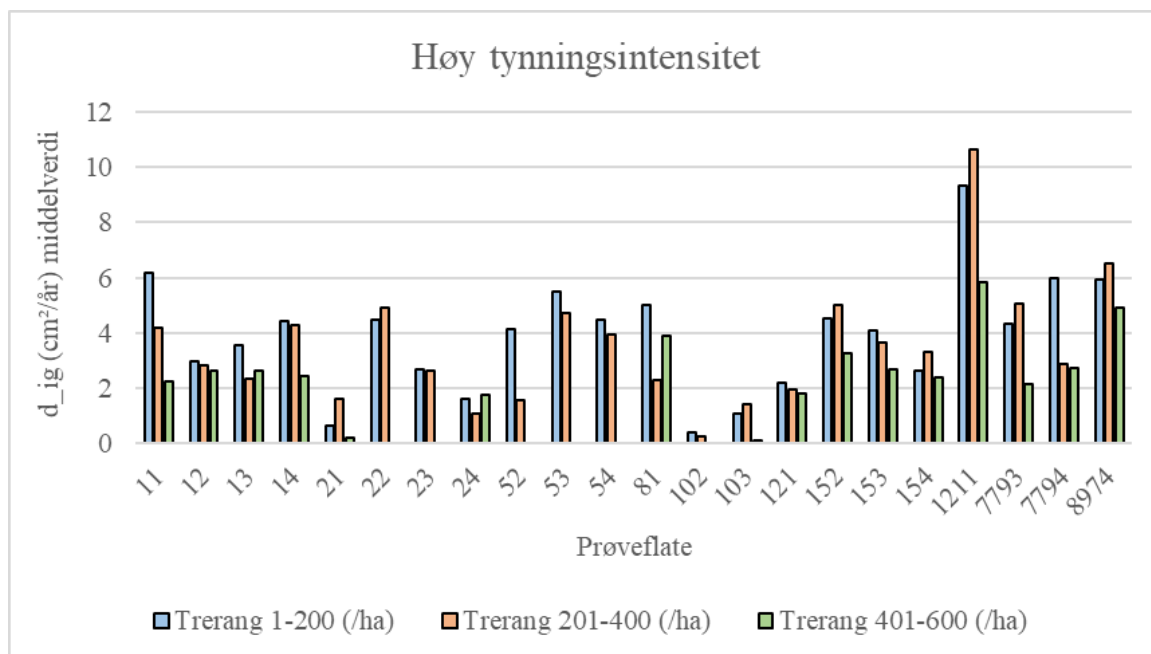
Middelverdien for d_{ig} samlet for alle prøveflater ved lav, middels og høy tynningsintensitet var høyest for alle grupper trær ved høy og middels tynningsintensitet. Det var lavest d_{ig} for alle grupper for prøveflater med lav tynningsintensitet. Det var en forskjell i middelverdier for d_{ig} hos trær med *trerang* 1 - 200 og 201 - 400 mellom lav tynningsintensitet og middels- og høy tynningsintensitet (Figur 20).



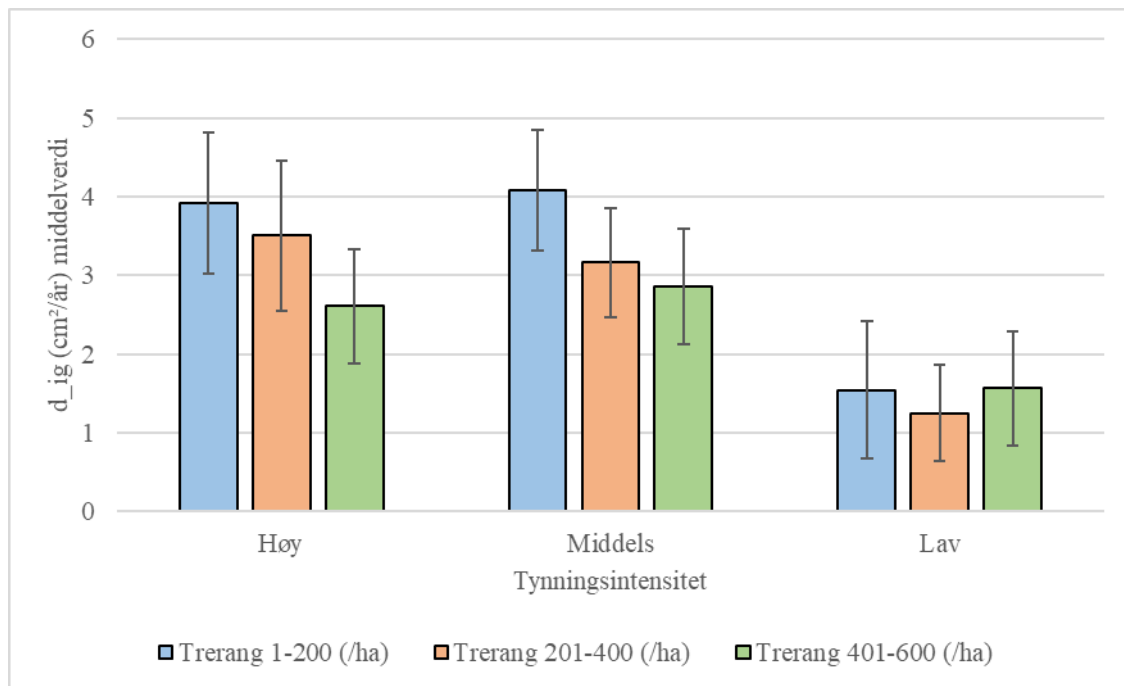
Figur 17. Middelverdier for tynningsreaksjonen (d_{ig}) for grupper trær med *trerang* 1 - 200, 201 - 400 og 401 - 600 (/ha) for prøveflater med lav tynningsintensitet. Bestandsnummer er etterfulgt av prøveflatenummer (siste siffer). Middelverdier for d_{ig} for gruppen trær med *trerang* 401 - 600 (/ha) er kun oppgitt i prøveflater med mer enn 600 trær/ha.



Figur 18. Middelværdier for tynningsreaksjonen (d_{ig}) hos trær med trerang 1 - 200, 201 - 400 og 401 - 600 (/ha) for prøveflater med middels tynningsintensitet. Bestandsnummer er etterfulgt av prøveflatenummer (siste siffer). Middelværdier for d_{ig} hos trær med trerang 401 - 600 (/ha) er kun oppgitt i prøveflater med mer enn 600 trær/ha.



Figur 19. Middelværdier for tynningsreaksjonen (d_{ig}) hos trær med trerang 1 - 200, 201 - 400 og 401 - 600 (/ha) for prøveflater med høy tynningsintensitet. Bestandsnummer er etterfulgt av prøveflatenummer (siste siffer). Middelværdier for d_{ig} hos trær med trerang 401 - 600 (/ha) er kun oppgitt i prøveflater med mer enn 600 trær/ha.



Figur 20. Middelerverdi ($\pm$ 95% konfidensintervall) for tynningsreaksjonen (d_{ig}) ved høy, middels og lav tynningsintensitet (TI) hos trær med trerang 1 - 200 ($n = 22$ for høy TI, 21 for middels TI og 22 for lav TI), 201 - 400 ($n = 22$ for høy TI, 21 for middels TI og 22 for lav TI) og 401-600 ($n = 16$ for høy TI, 20 for middels TI og 18 for lav TI).

4. Diskusjon

Målet med denne studien var å besvare spørsmålet hvor mange trær som blir hvor mye større etter tynning. Til å besvare dette spørsmålet ble det undersøkt hvor mye tynningsreaksjonen (*d_{ig}*) avtar med økende *trerang*. Det viste seg å være en signifikant sammenheng mellom *d_{ig}* og *trerang* i bare 29 % av prøveflatene. Hypotese H1 ble derfor ikke bekreftet for alle prøveflater. På bakgrunn av dette resultatet kan man ikke forklare for alle prøveflater hvor mange trær som blir hvor mye større med at *d_{ig}* avtar med økende *trerang*. Dette samsvarer ikke med resultatene til Karlsson (2006), Makinen & Isomaki (2004c) og Makinen & Isomaki (2004d) hvor den absolutte tynningsreaksjonen avtok med økende *trerang*.

Som et ledd i å forklare at *d_{ig}* ikke avtok med økende *trerang* i de fleste prøveflater (N = 46) (H1), fant jeg at *rel_d_{ig}* var uavhengig av *trerang* i de fleste prøveflater (N = 58). Med dette bekreftes hypotese H3. Om *rel_d_{ig}* er uavhengig av *trerang*, vil ett tre med lav *trerang* få en høyere *d_{ig}* enn ett tre med høy *trerang*, selv om årringbredden er den samme (Figur 11). Dette bekrefter delvis mønstrene tidligere studier har vist, nemlig at den relative tynningsreaksjonen er uavhengig av *trerang* ved de fleste tynningsbehandlinger (Makinen & Isomaki 2004c; Makinen & Isomaki 2004d; Peltola et al. 2002). Siden jeg fant at *rel_d_{ig}* var uavhengig av *trerang* i de fleste prøveflater, burde *d_{ig}* være avtagende med økende *trerang* i flere av prøveflatene (H1). Det ble imidlertid vist stor variasjon mellom trær både for *d_{ig}* og *rel_d_{ig}* i flere av prøveflatene (Figur 12). Dette viser at det ikke bare er trestørrelse som forklarer sammenhengen mellom *d_{ig}* og *trerang*. Variasjonen i tynningsreaksjonen skyldes også at fristilling varierer med *trerang*.

Den manglende sammenhengen mellom *d_{ig}* og *trerang* i mange av prøveflatene i min studie, ble forklart med variasjon i tynningsintensitet og tynningsmåte. Høy tynningsintensitet økte *rel_d_{KI}* også hos trær med høy *trerang* og dermed økt *d_{ig}*. Hypotese H6 ble bekreftet for sju prøveflater. Lav tynningsintensitet ga lav *rel_d_{KI}* hos trær med lav *trerang*, og *d_{ig}* ble med det ikke høyere for disse enn trær med høy *trerang*. Hypotese H5 ble derfor bekreftet for 19 prøveflater. At sammenhengen mellom *d_{ig}* og *trerang* forsvinner med lav og høy tynningsintensitet, kan forklares med hvordan tynningsreaksjonen er vist å korrelere positivt med økt fristilling (Houtmeyers & Brunner 2020; Pukkala et al. 1998). Dette forårsaket i min studie at *d_{ig}* var lav hos trær med lav *trerang* ved lav tynningsintensitet (lav fristilling), mens trær med høy *trerang* fikk økt *d_{ig}* ved høy tynningsintensitet (høy fristilling). Også lav bestandstetthet før tynning forklarer hvorfor det ikke ble funnet en sammenheng mellom *d_{ig}*

og *trerang*, ettersom tynningsintensiteten naturligvis vil bli lav og følgelig gi en lav *rel_d_KI*. Houtmeyers & Brunner (2020) fant at effekten av fristilling på tynningsreaksjonen økte med økende konkurranse før tynning (*CI_bt*).

Det ble ikke vist at kanttre-effekter fra stikkveier svekket sammenhengen mellom *d_ig* og *trerang*. Hypotese H4 ble derfor ikke bekreftet. For noen prøveflater ble det likevel vist at *d_ig* var høyere for kanttrær ved stikkveier enn trær i mellomfeltene, og ekstra høy hos trær med høy *trerang* (Figur 13). At kanttrær ved stikkveier får en høyere tynningsreaksjon samsvarer med det andre studier har vist tidligere (Isomäki & Niemistö 1990; Kuliešis et al. 2018; Mäkinen et al. 2006). Mäkinen et al. (2006) viste at kanttre-effekten påvirket tynningsreaksjonen (absolutt) hos trær som stod to til fire meter fra stikkveiene ved at de fikk økt tynningsreaksjon. Tynningsreaksjonen hos trær som stod fire til seks meter fra stikkveiene ble derimot ikke påvirket. Basert på dette kunne det i min studie vært forventet at kanttrær ved stikkveier påvirket sammenhengen mellom *d_ig* og *trerang*. Treantallet i prøveflatene ble redusert når kanttrær ved stikkveier ble tatt ut av analysen. Et redusert treantall bidrar til å øke usikkerheten i analysen, og kan derfor svekke sammenhengen mellom tynningsreaksjonen (absolutt) og *trerang*. Dermed kan en eventuell effekt av å fjerne kanttrær ved stikkveier i analysen overskygges av økt usikkerhet som følge av lavere treantall. Dette kan være en forklaring på at uttak av kanttrær ved stikkveier ikke påvirket sammenhengen mellom *d_ig* og *trerang*.

Selv om det i de fleste prøveflater ikke var en sammenheng mellom *d_ig* og *trerang*, viste resultatene for hypotese H5 - H8 at trær med lav *trerang* i de fleste tilfeller var blant de med høyest tynningsreaksjon (absolutt) sammenliknet med andre trær, men at det var enkelte unntak. For å undersøke dette nærmere, ble middelerverdier for *d_ig* for grupper med *trerang* 1 – 200, 201 – 400 og 401 – 600 undersøkt ved lav, middels og høy tynningsintensitet. I min studie ble det i mange av prøveflatene vist at middelerverdier for *d_ig* var høyest blant trær med *trerang* 1 - 200. Det var imidlertid også flere prøveflater hvor trær med *trerang* 201 – 400 og 401 – 600 hadde like høy eller høyere *d_ig* enn trær med *trerang* 1 – 200 (Figur 17 - 19). Dette samsvarer med resultatene i studien til del Rio et al. (2008) og Pukkala et al. (1998), hvor det var en høy tynningsreaksjon (absolutt) i form av diametertilvekst for ko-dominante og mellomstore trær. Tilsvarende resultater er også vist i studien til Montero et al. (2001).

Høy *d_ig* ble i min studie vist hos trær med *trerang* 1 - 200 selv om trær med *trerang* 201 - 400 og 401- 600 også hadde høy *d_ig* ved middels og høy tynningsintensitet. Unntakene var for noen prøveflater hvor det var tynnet med lav tynningsintensitet, hvor trær med *trerang* 1 - 200

ofte hadde en tydelig lavere *d_{ig}* enn trær med *trerang* 201 - 400 og 401 - 600 (Figur 17). Med dette bekreftes hypotese H9. At lav tynningsintensitet i min studie ga lav *d_{ig}* hos trær med lav *trerang*, samsvarer med resultatene i tidligere studier, nemlig at lave tynningsintensiteter fører til lavere tynningsreaksjoner (Karlsson 2006; Makinen & Isomaki 2004c; Makinen & Isomaki 2004d; Peltola et al. 2002; Pukkala et al. 1998). I studien til Makinen & Isomaki (2004c) og Makinen og Isomaki (2004d) var forskjellen i tynningsreaksjonen (absolutt) mellom tynnet og utynnet ikke alltid økende med avtagende *trerang*, men forskjellen var tydelig blant høye tynningsintensiteter. Dette indikerer at trær med lav *trerang* behøver tilstrekkelig fristilling for å øke tilveksten mer sammenliknet med trær med høyere *trerang*.

Tynningsintensitetene som utgjorde kategoriene lav, middels og høy for hypotese 9, ble definert ved at prøveflatene ble sortert etter tynningsuttak (%) i stigende rekkefølge og delt i tre like store klasser. Dette medførte at grensene mellom klassene mulig ble noe utradisjonelle i forhold til det som vanligvis defineres som lav, middels og høy tynningsintensitet. Lav tynningsintensitet ble eksempelvis definert opp til et tynningsuttak på 32 %. Til tross for at dette er et noe høyt tynningsuttak for å være definert som lav tynningsintensitet, har denne metoden en styrke ved at de tre klassene ble like store. Dette gjorde det enklere å sammenlikne middelverdiene for *d_{ig}* for alle prøveflater mellom tynningsintensitetene.

Et viktig formål med tynning vil være å øke tilveksten til de største trærne, deriblant fremtidstrærne (Agestam 2009). Om tilveksten ikke øker for disse trærne, vil dette indikere at tynningen er blitt gjort på feil måte. For en størst mulig effekt på tynningsreaksjonen til trær, er det vist i tidligere studier at tynningsbehandlingen både bør begynne tidlig og være kraftig (del Río et al. 2008; Makinen & Isomaki 2004a; Makinen & Isomaki 2004b; Nilsson et al. 2010). At høy tynningsintensitet i min studie svekket sammenhengen mellom *d_{ig}* og *trerang*, er derimot ikke et problem hos trær med lav *trerang* da de fortsatt i de fleste prøveflater hadde en høy *d_{ig}* sammenliknet med de andre grupper av trær. Dermed er det lav tynningsintensitet som kan være et problem når det gjelder å øke tilveksten hos trær blant de med lav *trerang*.

Konklusjon

Sammenhengen mellom *d_{ig}* og *trerang* kunne ikke forklare hvor mange trær som blir hvor mye større i de fleste prøveflater. Det viser seg at i de fleste tilfeller vil trær med lav *trerang* ha en høy tynningsreaksjon (absolutt), selv om mellomstore eller mindre trær også kan ha en høy tynningsreaksjon. Unntaket er for prøveflater med lav tynningsintensitet, der trær med lav *trerang* ofte har en lav tynningsreaksjon (absolutt), og som ofte er lavere enn hos trær med høyere *trerang*.

Referanser

- Abetz, P. & Kladtke, J. (2002). The Target Tree Management System. Die Z-Baum-Kontrollmethode. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 121 (2): 73-82.
- Agestam, E. (2009). Skogsskøtselserien—Gallring. *Skogsstyrelsen, Skogsskøtselserien* (7).
- Andreassen, K. (2017). *Tynning og skogproduksjon*: NIBIO. Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/tema/skog/skogbehandling-og-skogskjotsel/tynning/tynning-og-skogproduksjon>.
- Bergh, J., Nilsson, U., Allen, H. L., Johansson, U. & Fahlvik, N. (2014). Long-term responses of Scots pine and Norway spruce stands in Sweden to repeated fertilization and thinning. *Forest Ecology and Management*, 320: 118-128.
- Braastad, H. & Tveite, B. (2000). Tynning i granbestand. Effekten på tilvekst, dimensjonsfordeling og økonomi. *Rapport fra skogforskningen*, 4 (00).
- Braastad, H. & Tveite, B. (2001). Tynning i gran- og furubestand. Effekt av tynning på volumproduksjon, middeldiameter og diameter av de 800 grøveste trærne per ha. *Rapport fra skogforskningen*, 10 (01).
- del Río, M., Calama, R., Cañellas, I., Roig, S. & Montero, G. (2008). Thinning intensity and growth response in SW-European Scots pine stands. *Annals of Forest Science*, 65 (3).
- Drössler, L., Agestam, E., Bielak, K., Dudzinska, M., Koricheva, J., Liziniewicz, M., Löf, M., Mason, B., Pretzsch, H., Valkonen, S., et al. (2018). Over- and Underyielding in Time and Space in Experiments with Mixed Stands of Scots Pine and Norway Spruce. *Forests*, 9 (8).
- Gizachew, B. & Brunner, A. (2012). *Post-thinning growth dynamics and responses to thinning in Scots pine stands in Norway*: Department of Ecology and Natural Resource Management; Norwegian University of Life. Upublisert manuskript.
- Granhus, A., Eriksen, R. & Moum, S. O. (2015). Resultatkontroll skogbruk/miljø. Rapport 2014, 32: NORSK INSTITUTT FOR BIOØKONOMI.
- Houtmeyers, S. & Brunner, A. (2020). Thinning responses of individual trees in mixed stands of Norway spruce and Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest*, 35 (7): 351-366.
- Huuskonen, S. & Hynynen, J. (2006). Timing and Intensity of Precommercial Thinning. *Silva Fennica*, 40 (4): 645–662.
- Isomäki, A. & Niemistö, P. (1990). Effect of strip roads on the growth and yield of young spruce stands in southern Finland. *Folia Forestalia*, 756: 36.
- Jonsson, B. (1995). Thinning response functions for single trees of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) karst. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 10 (1-4): 353-369.
- 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.
- Kuliešis, A., Aleinikovas, M., Linkevičius, E., Kuliešis, A., Saladis, J., Škëma, M., Šilinskas, B. & Beniušienė, L. (2018). The Impact of Strip Roads on the Productivity of Spruce Plantations. *Forests*, 9 (10).
- 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.
- Makinen, H. & Isomäki, A. (2004a). Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland. *Forestry*, 77 (4): 349-364.
- Makinen, H. & Isomäki, A. (2004b). Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management*, 201 (2-3): 311-325.
- Makinen, H. & Isomäki, A. (2004c). Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees. *Forest Ecology and Management*, 201 (2-3): 295-309.
- Makinen, H. & Isomäki, A. (2004d). Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Scots pine trees. *Forest Ecology and Management*, 203 (1-3): 21-34.

- Mehtätalo, L., Peltola, H., Kilpeläinen, A. & Ikonen, V.-P. (2014). The Response of Basal Area Growth of Scots Pine to Thinning: A Longitudinal Analysis of Tree-Specific Series Using a Nonlinear Mixed-Effects Model. *Forest Science*, 60 (4): 636-644.
- Montero, G., Cañellas, I., Ortega, C. & Del Río, M. (2001). Results from a thinning experiment in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration stand in the Sistema Iberico Mountain Range (Spain). *Forest Ecology and Management*, 145: 151-161.
- 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: An International Journal of Forest Research*, 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 - Effects of different thinning programmes on stand level gross- and net stem volume production. *Studia Forestalia Suecica*, 219.
- Norgeskart. (2021). Kartverket. Tilgjengelig fra: <https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=3&lat=7197864.00&lon=396722.00> (lest 29.04.2021).
- Peltola, H., Miina, J., Rouvinen, I. & Kellomäki, S. (2002). Effect of Early Thinning on the Diameter Growth Distribution along the Stem of Scots Pine. *Silva Fennica*, 36 (4): 813-825.
- Pukkala, T., Miina, J. & Kellomäki, S. (1998). Response to Different Thinning Intensities in Young *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13 (1-4): 141-150.
- Pukkala, T., Miina, J. & Palahí, M. (2002). Thinning response and thinning bias in a young Scots pine stand. *Silva Fennica*, 36 (4).
- RCoreTeam. (2020). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Boston: MA.
- Saarinen, N., Kankare, V., Yrttimaa, T., Viljanen, N., Honkavaara, E., Holopainen, M., Hyyppä, J., Huuskonen, S., Hynynen, J. & Vastaranta, M. (2020). Assessing the effects of thinning on stem growth allocation of individual Scots pine trees. *Forest Ecology and Management*, 474.
- Valinger, E., Elfving, B. & Mörling, T. (2000). Twelve-year growth response of Scots pine to thinning and nitrogen fertilisation. *Forest Ecology and Management*, 134: 45-53.
- Wallentin, C. (2007). *Thinning of Norway spruce*. Alnarp: Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forest Science, Department of Southern Swedish Forest Research Centre.
- Øyen, B.-H. (2003). Tynning i granskog på Sørlandet - effekter på tilvekst, dimensjoner og økonomi. Rapport fra skogforskningen. 16 s.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway