

Ole Edvard Silderen

**Vekstreaksjon hos forhåndsforryngelse av
gran etter selektiv hogst.**

Growth response of *Picea abies* advance regeneration after
partial cutting.

Universitetet for miljø- og biovitenskap
Norwegian University of Life Sciences

Institutt for naturforvaltning
Mastergradsoppgave 30 stp. 2005



Forord

Våren 2004 var tiden kommet for å bestemme seg for tema til mastergradsoppgaven. Jeg var bestemt på å skrive innenfor hovedemnet skogskjøtsel og tok kontakt med førsteamanuensis Lars Helge Frivold ved Institutt for naturforvaltning ved Universitetet for miljø- og biovitenskap. Han satte meg i kontakt med forsker Aksel Granhus ved samme institutt. Granhus kom med ideen til denne mastergradsoppgaven og jeg bestemte meg for å skrive om dette. Samtidig er den alternative skogbehandlingen et interessant tema som har vært ganske aktuelt de siste årene.

Datamaterialet som er eldre enn 1998 er hentet fra tre forsøksfelt i en forsøksserie som ble kalt ”utradisjonell skogbehandling”. Denne forsøksserien ble anlagt av tidligere Institutt for skogfag ved NLH og Skogforsk. Resten av datamaterialet ble samlet inn under feltarbeid sommeren 2004.

Jeg ønsker å takke veilederen min Aksel Granhus for forberedelser og hjelp under feltarbeidet sommeren 2004. Han stilte også med bil slik at jeg fikk skyss da vi reiste rundt på de forskjellige forsøksfeltene. Granhus har også vært til stor hjelp under behandlingen av datamaterialet og kommet med gode innspill under skrivingen. Den andre veilederen min, Lars Helge Frivold, har også vært til god hjelp under mitt arbeid. Jeg ønsker å takke begge to for all hjelp.

Til slutt ønsker jeg å takke påtroppende rådgiver innen nærings- og miljøtiltak i skogbruket hos fylkesmannen i Sogn og Fjordane, Ann-Hege Hanstad, for korrekturlesning.

Ås

Universitetet for miljø- og biovitenskap

Institutt for naturforvaltning

13. mai 2005

Ole Edvard Silderen

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	3
1. INNLEDNING	6
1.1 Forhåndsforryngelse av gran (<i>Picea abies</i> (L.) Karst)	6
1.2 Utviklingen innen skogbehandling de siste 100 år	6
1.3 Lys som vekstfaktor for gran	7
1.4 Vegetasjonstyper	8
1.4.1 Blåbærskog.....	9
1.4.2 Småbregneskog	9
1.5 Metoder for å estimere lysgjennomtrengingen inne i en skog	9
1.6 Problemstillinger	10
2. MATERIALE OG METODER	12
2.1 Beskrivelse av forsøksserien.....	12
2.2 Utvalg av behandlingene.....	13
2.3 Utvalgsriterier	14
2.4 De registreringene som var utført tidligere	14
2.5 Registreringer utført i 2004.....	17
2.6 Estimering av lystilgang.....	17
2.7 Statistikk	20
3. RESULTAT	22
3.1 Høydeutvikling	22
3.1.1 Engeli.....	22
3.1.2 Hof-Prestseter.....	23
3.1.3 Lindberget	25
3.2 Sammenheng mellom vekstrespons på plantene og % uttak av grunnflaten.....	26
3.3 Sammenhengen mellom vekstrespons og gjenstående kubikkmasse	31
3.4 Sammenheng mellom vekst og lysmengde	34
3.4.1 Sammenligning av de to bildeanalysene	34
3.4.2 Gjennomsnittlige lysverdier fordelt på forsøksfelt og behandlinger.....	36
3.4.3 Sammenhengen mellom den diffuse solstrålingen (ISF) og veksten på de forskjellige forsøksfeltene	37
3.4.4 Sammenheng mellom den globale solstrålingen (GSF) og veksten på de forskjellige forsøksfeltene	40
3.4.5 Sammenhengen mellom den direkte solstrålingen (DSF) og veksten på de forskjellige forsøksfeltene	42
4. DISKUSJON OG KONKLUSJON.....	43
4.1 Materiale og metoder	43
4.2 Feilkilder ved bildene og analysene av dem.....	44
4.3 Høydeutviklingen	45
4.4 Sammenhengen mellom veksten og % uttak av grunnflaten og gjenstående kubikkmasse pr hektar	46
4.5 Sammenhengen mellom veksten og de forskjellige lysverdiene.....	48
4.6 Oppsummering/konklusjon.....	50
LITTERATURLISTE.....	52

Sammendrag

De siste årene har den alternative skogbehandlingen fått større oppmerksomhet enn tidligere, som følge av at bestandsskogbruket ukritisk har blitt brukt som behandlingsform de siste 60 årene. Samtidig har fokuset på biologisk mangfold økt og tilskudd til planting og forryngelsestiltak har blitt mindre, eller kommet helt bort. En vanlig oppfatning i skogsmiljøer har vært at undertrykt forhåndsforryngelse av gran aldri vil vokse opp og utvikle seg til trær av god kvalitet. Dette har ført til at forhåndsforryngelse som oftest har blitt fjernet til fordel for planting av ny skog.

Grana er et av våre mest skyggetålende treslag som kan greie seg med mindre enn 2 % lys i ungdommen, men lyskravet øker etter som planten blir større. Når man snakker om lystilgangen i et skogbestand er det gjerne den relative lystilgangen man tenker på. Denne uttrykkes i prosent av den lysstyrken det tilstøtende friland får. Lys som plantene utsettes for kan deles inn i direkte og diffust lys. Diffust og reflektert lys er det samme. Det er det diffuse lyset som har mest å si for veksten hos granplantene.

Skogsmarka i Norge er delt inn i 8 forskjellige vegetasjonstyper. Hvis forholdene ligger til rette, vil det være fem vegetasjonstyper som egner seg for lukkede hogster og naturlig forryngelse. Disse vegetasjonstypene er blåbærskog, småbregneskog, storbregneskog, lågurtskog og høgstaudeskog. I denne oppgaven er det sett på forsøksfelter av blåbær- og småbregneskog.

Hovedmålet med denne oppgaven er å se på vekstreaksjonen hos forhåndsforryngelse av gran etter ulik grad av fristilling. Grunnlaget for datamaterialet er hogster utført vinteren 1993-94 hvor målingene før hogst ble gjort etter vegetasjonsperioden i 1993, mens tilbakemålinger av høydevekst ble gjort i 1998 og i 2004 på de tre forsøksfeltene.

Følgende delmål inngår i oppgaven:

- Analysere sammenhenger mellom forhåndsforryngelsens vekst og graden av fristilling.
- Analysere sammenhenger mellom forhåndsforryngelsens vekst og de forskjellige lystypene direkte og diffus solstråling som plantene blir utsatt for.
- Analysere vekstforskjellene hos forhåndsforryngelsen mellom de ulike forsøksfeltene.

- Undersøke om det er systematisk forskjell med hensyn på terskelverdi når to personer utfører analysene i bildeanalyseprogrammet HemiView og i hvilken grad slike forskjeller påvirker de beregnede lysverdier.

Det ene forsøksfeltet heter Engelian og ligger i Søndre Land kommune i Oppland, mens de to andre er Hof-Prestseter og Lindberget som ligger i Åsnes kommune, Hedmark.

Vegetasjonstypen på Engelian er småbregneskog, mens de to andre er blåbærskog. Engelian har en H_{40} -bonitet på 13,4 mens Hof-Prestseter og Lindberget har henholdsvis en H_{40} -bonitet på 12,8 og 8,5. På hvert forsøksfelt er det anlagt 4 ruter med forskjellige behandlinger. En urørt kontrollrute, en rute hvor svakhogst, sterkhogst og gruppehogst er utført.

Jeg brukte hemisfærefotografi for å bestemme lysmengden som treffer forhåndsforryngelsen. Bildene ble tatt med et kamera som hadde en fisheye-linse og bildene ble analysert i bildeanalyseprogrammet HemiView. Det er 146 granplanter som er grunnlaget for analysen hvor jeg så på sammenhengen mellom de forskjellige lysverdiene og vekstreaksjonen hos forhåndsforryngelsen. Disse plantene var mellom 0,50-1,50 m i 1993. Plantegrunnlaget for den generelle høydeutviklingen er 246 planter. Disse plantene er inndelt i tre høydeklasser, 0,50-1,29 m, 1,30-1,99 m og 2,00-2,99 m, etter hvor høye plantene var i 1993.

Høyden til forhåndsforryngelsen før hogst har veldig mye å si for hvordan høydeutviklingen har vært etter hogst. Hvordan vekstforholdene på stedet er, har også hatt betydning for hvordan vekstreaksjonen har vært etter fristilling.

Jeg har benyttet multippel regresjonsanalyse for å finne ut hvordan sammenhengen er mellom veksten hos forhåndsforryngelsen og graden av fristilling. Forskjellene mellom de tre forsøksfeltene ble testet ved å inkludere indikatorvariabler for to av feltene. Jeg fant at den gjenstående kubikkmassen per hektar og høyden til forhåndsforryngelsen før hogst var de beste forklaringsvariablene for veksten til forhåndsforryngelsen i tidsrommet 1994-2004. Den diffuse solstrålingen, sammen med høyden til forhåndsforryngelsen før hogst, ble funnet som de beste forklaringsvariablene da jeg så på sammenhengen mellom vekstreaksjonen og de ulike solstrålingstypene.

For at jeg skulle få brukbart representative data ble hemisfærefotografiene analysert av to personer. Det ble funnet en forskjell mellom de to observatørene med hensyn på den

subjektive vurderingen av terskelverdien. Dette viste seg å ha lite å si for resultatene etter som de parvise verdiene hadde korrelasjonskoeffisienter som lå nært opp mot 1.

1. INNLEDNING

1.1 Forhåndsforryngelse av gran (*Picea abies* (L.) Karst)

Etter at bestandsskogbruket gjorde sitt inntog i forrige århundre var det snaufletehogst og planting som ukritisk ble tatt i bruk over store områder. På den tiden ble skogsmarka ryddet slik at den skulle være klar til å la den nye, plantede skogen etablere seg og alt annet enn det man skulle satse på ble fjernet for å favorisere den ønskede arten. En vanlig oppfatning i skogsmiljøer har vært at undertrykt forhåndsforryngelse av gran aldri vil vokse opp og utvikle seg til trær av god kvalitet. Ettersom grana kan sies å være et av våre mest skyggetålende treslag, kan forhåndsforryngelse av denne arten stå under et svært tett kronetak i gammelskog over lengre tid før den dør av lysmangel.

1.2 Utviklingen innen skogbehandling de siste 100 år

Frem til begynnelsen av 1900-tallet var det dimensjons- og plukkhogst som var den utbredte hogstbehandlingen i Norge. Fra Tyskland kom ideene til bestandsskogbruket, men det tok litt tid før denne formen for skjøtsel slo til for fullt i Norge. I tiden før 1920 hadde man stort sett høstet uten tanke på forryngelse og fremtidig produksjon (Solbraa 1996), og hovedårsaken til at man gikk over til bestandsskogbruket var resultatene etter plukkhogsten, dimensjonshogsten og bledningshogsten (Opsahl 1953 i følge Andreassen 1994). Disse hogstformene hadde mange steder ført til glisne bestand og sviktende forryngelse i små åpninger.

I de siste årene har fokuset på biologisk mangfold blitt større. Samtidig har tilskudd til planting og forryngelsestiltak blitt mindre eller falt helt bort, og dette er nok noen av årsakene til at alternative skogbehandlingsformer har kommet sterkere på banen. Ved å utføre selektive hogster og ta vare på forhåndsforryngelsen, kan man oppnå en skog som er mer etterlignet det naturlige utviklingsmønsteret i skog. Man kan ikke generalisere dette til all skog, men i visse typer skog vil dette være oppnåelig. Når et tre blåser over ende gir dette lys og rom for småtrær til å vokse opp og ta over dette treets plass (Fries *et al.* 1997). Dette kan gjøres ved at enkelttrær tas ut og man slipper til forhåndsforryngelsen. Skogen blir dermed bestående av få trær i de store dimensjonsklassene og mange trær i de små dimensjonsklassene. Grunntanken

til bledningsskogbruket er altså at man skal ta hensyn til både hogstutbytte og tilretteleggingen for ny skog (Andreassen 1994).

1.3 Lys som vekstfaktor for gran

I denne oppgaven har jeg tatt for meg forhåndsforryngelse av treslaget gran. Definisjonen av forhåndsforryngelse er naturlig forryngelse som er kommet opp i det eldre bestandet, uten spesielle tiltak (TNC 1969 i følge Granhus 2002). Grana er som tidligere nevnt et av våre mest skyggetålende treslag. Grana kan etablere seg under andre treslag og sakte men sikkert greier den å vokse seg større og til slutt konkurrere ut de andre treslagene på det samme stedet. Ifølge Børset (1985) kan grana greie seg med bare 2 % lys i ungdommen, mens kravet til mer lys stiger etter hvert som planten blir større. I en svensk litteraturstudie sies det at eksistensminimum for gran ligger på 3-4 % av fullt sollys (Skindemoen 1946 ifølge Hannerz & Gemmel 1994).

Når man snakker om lystilgangen i et skogbestand er det gjerne den relative lystilgang man tenker på. Den uttrykkes som prosent av den lysstyrken det tilstøtende friland får. Lys som plantene utsettes for kan deles inn i direkte lys og diffust lys. Diffust lys blir også betegnet som reflektert lys. I henhold til Børset (1985) har Norge mest diffust lys på grunn av at andelen diffust/reflektert lys øker med økende breddegrad og med økende skydekke. Idet solhøyden avtar må sollyset gå igjennom tykkere luftlag og dermed blir det utsatt for mer refleksjoner før det når jordoverflata. Greis og Kellomäki (1981) har undersøkt veksten hos forhåndsforryngelse av gran under forskjellige lysforhold og funnet ut at det er den diffuse solstrålingen som har størst betydning for veksten. Plantene vil ikke greie å nyttegjøre seg av de korte periodene med store mengder direkte solstråling som treffer skogbunnen. Disse plantene er best tilpasset den diffuse solstrålingen.

Andelen lys som transmitterer til underbestandet fra oversiden av kronetaket er den samme enten det er overskyet eller klart vær, men andelen lys som transmitteres gjennom kronetaket til underbestandet, er stabil hele dagen på overskyete dager (Messier & Puttonen 1995). Dette betyr at så lenge himmelen er dekket med et jevnt skydekke, kan lysmålingene tas når som helst på dagen. Asymmetrien til direkte stråling kan trenge ned i åpninger eller rundt ugjennomtrengelige kroner, slik at måling av diffust lys under slike forhold over tid kan under- eller overestimeres (Messier & Parent 1997).

Lyset består av forskjellige bølgelengder og kvaliteten på lyset varierer med tettheten på den skogen det skal trenge gjennom. Den fotosyntese aktiverende strålingen har bølgelengder som ligger mellom 380-710 nm. Det røde lyset har bølgelengder mellom 655-665 nm og det mørke røde lyset har bølgelengder mellom 725-735 nm. Forholdet mellom rødt: mørkerødt lys synker med økende tetthet i kronetaket (Lieffers *et al.* 1999). Denne endringen skyldes at det røde lyset absorberes i bladene og forholdstallet avtar dermed etter hvert som lyset går gjennom trekronene. Forholdet påvirker prosesser i planter blant annet relativ allokering av assimilater til ulike deler av planten. Det er dermed en viktig faktor som styrer endringer i plantenes form (morfologi) ved ulik grad av beskygning.

Etter en flatehogst vil solstrålingen øke med opp til 10 ganger i forhold til solstrålingen inne i et bestand (Lundmark 1988). For grana som er et av de treslagene som kan opprettholde vekst i skyggen, kan den bli utsatt for lyssjokk ved fristilling. En annen viktig avgangsårsak for små planter ved fristilling er direkte uttørring på grunn av et lite utviklet rotsystem. Lundmark (1988) har definert lyssjokk til å være at klorofyllet i barnålene brytes ned. Når barnåler har stått i skygge en stund, kan de ved en kraftig økning av lysmengden redusere eller avbryte fotosyntesen.

Andersson (1988) har i et forsøk sett på hvordan forhåndsforryngelse av gran har reagert ved fristilling. Han så på høydeutviklingen i en 25-årsperiode. Studiet viser at selv planter som var svært deformerte og hadde en alder på 40-50 år, ville noen år etter fristilling reagere med økt høydetilvekst. Leibundgut mente i 1945 at småplanter av gran tåler en undertrykkelsestid på 100 år (Andreassen 1994). Tidligere forsøk har vist at jo høyere forhåndsforryngelsen er før fristilling, jo større er den etterfølgende høydeveksten (Skoklefald 1967, Örlander & Karlsson 2000). Enkelte studier viser også at det ikke bare er lys som spiller inn på forhåndsforryngelsens vekst inne i et granbestand (Granhus & Brække 2001). Andre faktorer som spiller inn er rotkonkurranse, fuktighet og næringsstofftilgang sammen med hvor tett skogen er.

1.4 Vegetasjonstyper

Skogsmarka i Norge er inndelt i 8 forskjellige vegetasjonstyper. I skog som er dominert av gran er det fem vegetasjonstyper som egner seg for lukkede hogster og naturlig forryngelse

dersom forholdene ligger til rette. Disse vegetasjonstypene er blåbærskog (*Eu-Piceetum myrtilletosum*), småbregneskog (*Eu-Piceetum dryopteridetosum*), storbregneskog (*Eu-Piceetum athyrietosum*), lågurtskog (*Melico-Piceetum*) og høgstaudeskog (*Melico-Piceetum aconitetosum*) (Larsson & Søgne 2003). På disse skogtypene vil man ofte få et sterkt oppslag med gras og urter etter åpne hogster, som vil føre til et dårligere etableringsgrunnlag for den nye forryngelsen. I denne oppgaven er det sett på tre forsøksfelter hvorav to ligger i blåbærtypen og ett på småbregnetypen (Andreassen 1998).

1.4.1 Blåbærskog

Blåbærskog er den vegetasjonstypen som er mest utbredt i Norge. Den er utbredt på 35 % av det produktive skogarealet (Larsson *et al.* 1994). Dette er en vegetasjonstype som ofte er relativt lett å forrynge naturlig i lavlandet, men som har dårligere forhold i åsskog på grunn av kraftig lyngvegetasjon, samt kraftig og lite omdanna humus (Larsson & Søgne 2003). I eldre skog kan det i lysåpninger komme opp forhåndsforryngelse av gran.

1.4.2 Småbregneskog

Småbregneskog utgjør ca 12 % av det produktive skogarealet i Norge (Larsson *et al.* 1994) og er den mest lettforryngelige granskogtypen. Denne vegetasjonstypen er ofte sigevannspåvirket og har godt omdannet humus som fører til gode spire- og forryngelsesforhold (Skoklefald 1997). Vegetasjonstypen opptrer ofte i liområder og lukkede hogstformer vil være det beste i småbregneskog. På denne vegetasjonstypen har grasarten skogrørkvein (*Calamagrostis purpurea*), en tendens ved snauhogst å utvikle seg voldsomt i fuktige partier, og sammen med lauvoppslag kan den forhindre forryngelsen av gran (Larsson & Søgne 2003). Ved en lukket hogst vil man kunne redusere lystilgangen slik at disse vekstene ikke greier å etablere seg i like stor grad. Dette vil gi grana, enten det er forhåndsforryngelse eller planter forrynget etter hogst, et forsprang slik at de kan utvikle seg til den nye skogsgenerasjonen.

1.5 Metoder for å estimere lysgjennomtrengingen inne i en skog

Den relative lysmengden på et bestemt punkt kan estimeres på ulike måter. Jeg vil her referere til noen metoder å gjøre dette på og opplysningene er hentet fra en artikkel av Lieffers *et al.* (1998):

1. Hemisfærefotografi. Denne metoden er godt beskrevet under materiale og metode kapitlet.
2. Kvantum sensorer som er koblet opp mot en datalogger. Sensorene kan være oppkoblet over tid slik at man kan estimere transmisjonen gjennom kronetaket for en lengre periode. Man kan også ha en sensor på over- og undersiden av kronetaket for å få en engangsmåling over den fotosyntese aktiverende strålingen (*PAR = photosynthetically active radiation*).
3. Fotokjemisk. Innebærer at man benytter et glass som inneholder en væske som forandrer farge når den blir utsatt for lys. Denne metoden har blitt brukt til å estimere PAR (den fotosyntese aktiverende strålingen) i en skog både på klare og overskyete dager.
4. Fotosensitivt papir. Papiret består av salter som blekner når det utsettes for lys. Når papiret igjen utsettes for ammoniakkdamp vil de stedene som er bleknet forbli hvite, mens resten av papiret vil bli farget. Ut fra dette kan man lese av lysstrålingen. Denne metoden kan også brukes på både klare og overskyete dager.
5. Sfærisk densiometer. Metoden benyttes til visuell estimering av kronetettheten (Lemmon 1956). Dette er et speil som har en hemisfærisk form. Oppå speilet kan man legge et rutenett og lett finne ut hvor store kroneåpningene er på et bestemt sted inne i et bestand. Dette er i prinsippet en fotografisk metode i likhet med hemisfærefotografering.
6. LAI 2000 plante-kronetaks analysator. Metoden brukes til å måle den diffuse lystransmisjonen inne i et bestand.

For å bestemme den relative lystilgangen ved plantene, er det i denne oppgaven blitt brukt hemisfærefotografi, en teknikk utviklet av Hill som i 1924 konstruerte en linse som kunne ta bilde av hemisfæren for å studere skyformasjoner, en såkalt hemisfærelinse (Anon.1999). Denne metoden har blitt brukt opp gjennom tidene for å estimere lystilgangen til planter. Før ble bildene manuelt analysert ved at man la et rutenett oppå bildene og leste av hvilke arealer som ble oppfattet som himmel og hva som ble oppfattet som trekroner eller skogsmark. Ettersom data og utvikling innen digitale kameraer har gjort store fremskritt i tiden er det nå utviklet dataprogrammer som enkelt analyserer slike bilder.

1.6 Problemstillinger

Hovedmålet med denne oppgaven er å se på vekstreaksjon hos forhåndsforryngelse av gran etter ulik grad av fristilling. Grunnlaget for datamaterialet er hogster utført vinteren 1993-94 hvor målingene før hogst ble gjort etter vegetasjonsperioden i 1993, mens tilbakemålinger av høydevekst ble gjort i 1998 og i 2004 på de tre forsøksfeltene.

Følgende delmål inngår i oppgaven:

- Analysere sammenhenger mellom forhåndsforyngelsens vekst og graden av fristilling.
- Analysere sammenhenger mellom forhåndsforyngelsens vekst og de forskjellige lystypene direkte og diffus solstråling som plantene blir utsatt for.
- Analysere vekstforskjellene hos forhåndsforyngelsen mellom de ulike forsøksfeltene.
- Undersøke om det er systematisk forskjell med hensyn på terskelverdi når to personer utfører analysene i bildeanalyseprogrammet HemiView og i hvilken grad slike forskjeller påvirker de beregnede lysverdier.

2. MATERIALE OG METODER

2.1 Beskrivelse av forsøksserien

Denne studien ble utført i flersjiktet skog av gran på Østlandet. De tre feltene som er benyttet inngår i en forsøksserie på i alt ni felter, som ble anlagt i 1993 av daværende Institutt for skogfag på NLH (nå Institutt for naturforvaltning, UMB) og Skogforsk. Dette hovedforsøket gikk ut på utradisjonell skogbehandling. Historien til disse feltene er at det før 1993 ikke hadde vært utført hogst i området på en 50-årsperiode. Hvilke inngrep som var gjort før dette er ukjent, men man regner med at det har blitt utført plukkhogst eller dimensjonshogst først på 1900-tallet og senest frem til 1940-50-tallet, basert på opplysninger fra skogeierne.

De tre feltene heter Engelian, Lindberget og Hof-Prestseter. Engelian ligger i Søndre-Land kommune i Oppland, mens de to andre feltene ligger i Åsnes kommune i Hedmark (tabell 2.1). Klimadata for de tre forsøksfeltene er gjengitt i tabell 2.2. I denne oppgaven er det benyttet 4 ruter (behandlinger) på hvert felt. På hvert forsøksfeltfelt er de samme behandlingene utført (tabell 2.3). Jeg har satt opp noen sentrale bestandsdata før og etter hogst for de forskjellige forsøksfeltene, fordelt på behandlingsruter. Dette er gjengitt i tabell 2.4.

Tabell 2.1. Beliggenhet, vegetasjonstype og bonitet på forsøksfeltene.

Sted	Breddegrad (°N)	Lengdegrad (°Ø)	Høyde over havet (m)	Vegetasjonstype	Bonitet (H ₄₀)
Engelian	60,48	10,30	510	Småbregneskog (<i>Eu-Piceetum dryopteridetosum</i>)	13,4
Lindberget	60,48	12,22	560	Blåbærskog (<i>Eu-Piceetum myrtilletosum</i>)	8,5
Hof-Prestseter	60,52	11,55	450	Blåbærskog (<i>Eu-Piceetum myrtilletosum</i>)	12,8

Før hogst var det over 90 % av treslaget gran etter grunnflate på disse tre feltene. Andre treslag som det var innblanding av var bjørk (*Betula pubescens ssp. Pubescens*), furu (*Pinus sylvestris* (L.)), rogn (*Sorbus aucuparia* (L.)) og på forsøksfeltet Engelian var det litt innblanding av gråor (*Alnus incana* (L.) Moench).

Tabell 2.2. Klimadata for de forskjellige forsøksfeltene. (Granhus & Brække 2001).

Sted	Gjennomsnittstemperatur (°C)		Nedbør (mm)		
	Januar	Juli	Årlig gj. snitt (totalt)	Månedlig gjennomsnittsnedbør (juni- september)	
				Laveste	Høyeste
Engelien	-9,0	13,2	780	80	90
Lindberget	-10,9	12,8	617	67	75
Hof-Prestseter	-10,2	13,5	617	67	75

2.2 Utvalg av behandlingene

Tabell 2.3 viser det ideelle behandlingsmønstrer på feltene, men det viste seg etter at hogstene var utført i 1993 at dette ikke stemte helt.

Tabell 2.3. Behandling i de forskjellige rutene samt rutestørrelsen.

Behandling	Betydning	Rutestørrelse
Kontroll	Ikke hogst	24 x 25 m
Svak hogst 1	25 % uttak av grunnflatesummen	36 x 60 m
Svak hogst 2	45 % uttak av grunnflatesummen	36 x 60 m
Sterk hogst	65 % uttak av grunnflatesummen	36 x 60 m
Gruppehogst	Gruppehogst	25 x 25 m

Behandlingen kontroll er en rute som er urørt slik at man kan se forhåndsforryngelsens vekstreksjon inne i en skog. I de rutene det skulle være et uttak på 25 % av grunnflatesummen var det uttatt mellom 34-45 % (tabell 2.3). Jeg har dermed valgt å kalle denne behandlingen for en svak hogst. I de rutene der det skulle tas ut 65 % av grunnflatesummen ligger uttaket rundt 50 % (tabell 2.3). Denne behandlingen har jeg valgt å kalle en sterk hogst. Under disse hogstene var det primært de største trærne som ble tatt ut. På Lindberget ble svak hogst 2 benyttet i stedet for svak hogst 1. Der var det uttatt rundt 40 % av grunnflaten i begge rutene, men ruten hvor svak hogst 2 var utført, ble valgt da denne var mer lik de andre rutene på Lindberget med hensyn på bonitet. Det ble altså i utgangspunktet benyttet de fire behandlingene kontroll, svak hogst 1, sterk hogst og gruppehogst, med unntak på Lindberget, hvor behandlingene kontroll, svak hogst 2, sterk hogst og gruppehogst ble benyttet. Senere i oppgaven blir disse behandlingsformene betegnet med kun kontroll, svak hogst, sterk hogst og gruppehogst.

Forsøksfeltet Engeliien ligger i ei østvendt li. Rutene kontroll og gruppehogst ligger vendt mot øst, mens de to andre rutene er vendt mot sørøst. På Lindberget ligger rutene på forsøksfeltet nesten på toppen av dette berget. Rutene kontroll og svak og sterk hogst ligger tilnærmet flatt i terrenget, mens gruppehogsten ligger i svak helning mot nordøst. Forsøksfeltet Hof-Prestseter har rutene kontroll og gruppehogst liggende i helling mot vest-sørvest. Rutene svak hogst og sterk hogst ligger i svak helning mot sørvest.

2.3 Utvalgskriterier

Sommeren 1993, ble det utført målinger på forsøksfeltet før behandlingene ble satt i gang vinteren 1993-1994. All forhåndsforryngelse større enn 0,50 m ble koordinatfestet. Plantene som er benyttet i oppgaven ble valgt ut tilfeldig fra det materialet som var registrert under starten av prosjektet ”*Utradisjonell skogbehandling*”. Granplantene skulle helst være jevnt fordelt utover rutene og jevnt fordelt innen de forskjellige høydeklassene.

Etter at registreringene var gjort har jeg delt inn trærne etter høyden i 1993 i tre høydeklasser 0,50-1,29 m, 1,30-1,99 m og 2,00-2,99 m. Jeg har valgt å utelate de plantene som var mindre enn 50 cm i 1993. Dette har resultert i at jeg har 246 planter fordelt på de tre forsøksfeltene som hadde hatt en normal vekstutvikling.

For å se på om det var en sammenheng mellom hogststyrken og veksten på forhåndsforryngelsen, plukket jeg ut de trærne som hadde hatt toppbrekk eller annen form for skade, slik at det bare ble de trærne som hadde hatt en positiv tilvekst som er tatt med.

2.4 De registreringene som var utført tidligere

Sommeren 1993 ble det målt høyder og lengde på de tre siste års toppskudd i cm. Ved den andre revisjonen i 1998 ble toppskuddlengde for hvert år i perioden 1993-98 tilbakemålt. Samme året ble det utført næringsanalyse av baret på forhåndsforryngelsen i disse rutene (Granhus & Brekke 2001). Det ble plukket ut 16 trær fra hver rute hvor det ble tatt barprøve av årets og fjorårets nåler. Det er disse trærne som danner kjernen i denne oppgaven. De 16 trærne var tilfeldig utvalgt blant de trærne som var i live og uskadde etter revisjonen i 1998, men ettersom fordelingen med hensyn på høyden i 1993 ikke var lik for de forskjellige rutene,

ble det tilfeldig valgt ut en del suppleringsstrær som ble tatt med under feltarbeidet sommeren 2004. Disse suppleringsstrærne ble også revidert i 1998, men de ble ikke benyttet i undersøkelsen til Granhus & Brække (2001).

Tabell 2.4. Noen sentrale bestandsdata for forsøksfeltene på hogsttidspunktet (Andreassen 1998).

Før hogst		Uttak							Etter hogst						
	Behandling	Volum (m³/ha)	Grunnflatesum (m²/ha)	Trær/ha	Husholdningsalder på bonitetstrær (år)	Bonitet (H ₄₀)	Grunnflatemiddeldiameter (mm)	Volum (m³/ha)	Grunnflatesum (m²/ha)	Trær/ha	Grunnflatemiddeldiameter (mm)	Volum (m³/ha)	Grunnflatesum (m²/ha)	Trær/ha	Grunnflatemiddeldiameter (mm)
Engelien	Kontroll	262	31	1450	183	101	12,6	164	0	0	-	262	31	1450	164
	Svak hogst	327	37	1787	190	91	13,6	161	121	13	217	206	24	1444	145
	Sterk hogst	215	27	1866	170	87	12,2	135	119	13	205	96	13	1458	107
	Gruppehogst	255	36	2640	146	63	14,2	133	255	36	2640	0	0	0	-
Lindberget	Kontroll	159	27	2417	123	96	8,1	119	0	0	-	159	27	2417	119
	Svak hogst	146	25	1810	127	74	8,4	132	72	11	449	74	13	1361	111
	Sterk hogst	153	27	1981	123	80	8,2	131	100	15	486	53	11	1495	99
	Gruppehogst	132	22	1536	127	71	9,4	135	132	22	1536	0	0	0	-
Hof-Presteseter	Kontroll	251	33	1450	168	88	12,9	170	0	0	0	251	33	1450	170
	Svak hogst	304	37	2130	171	69	14,5	149	138	16	454	167	21	1676	127
	Sterk hogst	231	28	1500	175	89	12,4	155	127	14	306	104	14	1194	122
	Gruppehogst	251	31	1008	175	80	12,2	197	251	31	1008	0	0	0	-

2.5 Registreringer utført i 2004

De målinger som ble utført sommeren 2004 var årlige toppskuddlengder fra 1998 og fram til og med 2004. Nøyaktighetsnivået ble satt til nærmeste halve cm. Samtidig ble det tatt et hemisfærefotografi over hver plante som ble brukt til å se på lystilgangen til hver plante. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 2.6.

2.6 Estimering av lystilgang

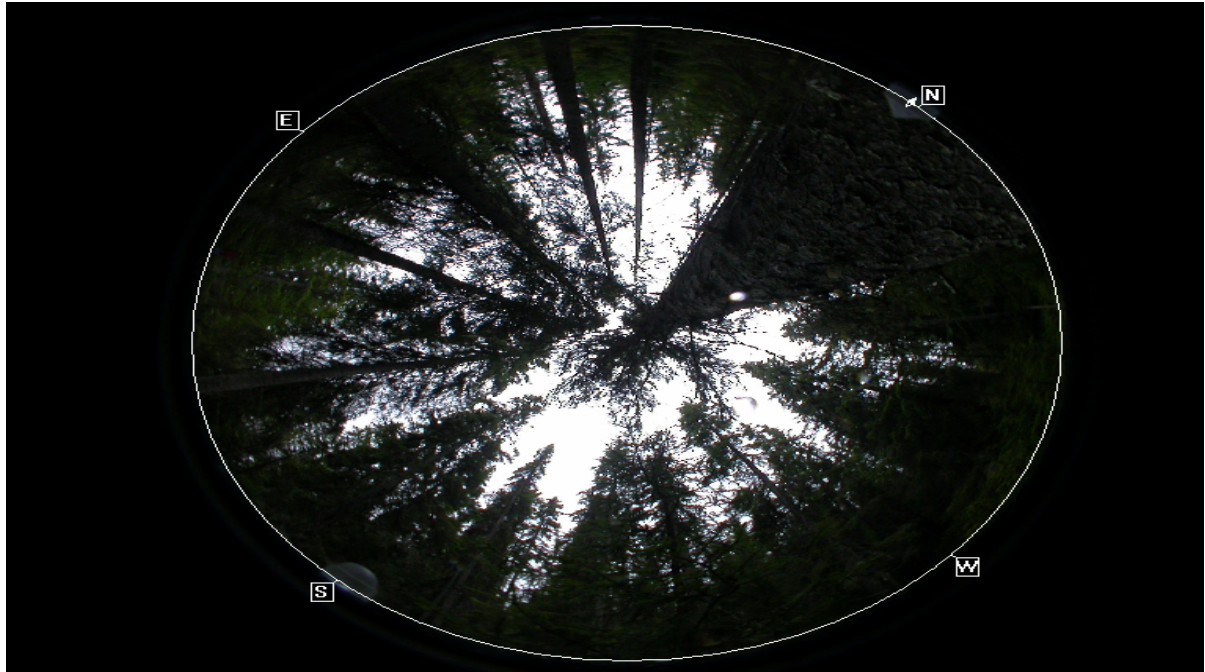
Lystilgangen for hver plante ble estimert ved hjelp av hemisfærefotografering. Av de plantene det ble tatt hemisfærefotografi av var det bare 146 planter som hadde hatt normal vekst og som kunne brukes i denne oppgaven. De plantene som jeg tok hemisfærefotografi av, var alle mellom 0,50-1,50 m høye i 1993.

2.6.1 Gjennomføring av hemisfærefotografering

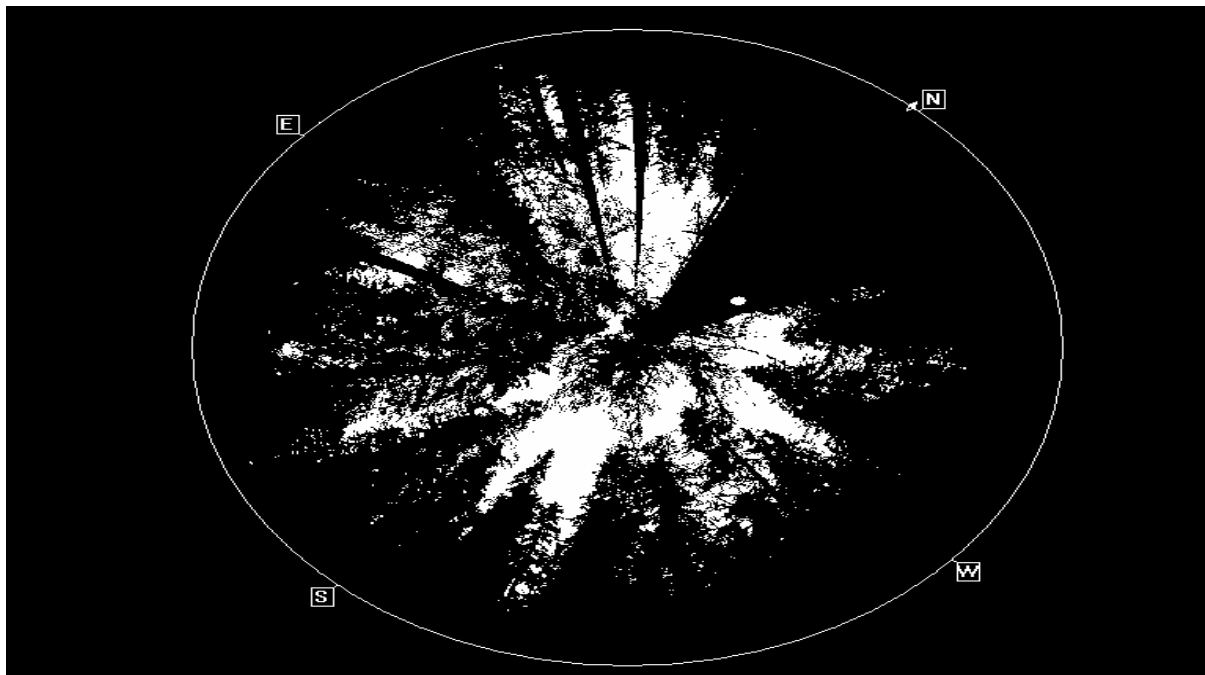
Kameraet som ble benyttet var et Nikon Coolpix 4500 digitalkamera (Nikon, Japan), bildekvalitet 4 megapixler, påmontert en 180 graders linse fra Delta-T Devices (Burwell, Cambridge, England). Fotograferingen skulle helst foregå på dager hvor det var oppholdsvær og jevnt overskyet himmel. Dette for å unngå dråper i trekronene eller på linsa. Dråper i trekronene vil isolert sett overestimere lysverdiene, mens dråper på linsa kan over- eller underestimere lysverdiene på grunn av at man får lyse og mørke flekker avhengig av bakgrunnen. Under feltarbeidet stilte jeg opp digitalkameraet over hver plante. Linsehøyden på hvert bilde ble satt til 1,3 m over bakken ved hjelp av et stativ med regulerbare føtter. Kameraet ble innstilt slik at kompassnålen pekte mot magnetisk nord og det ble vatret slik at aksene på linsa pekte rett oppover. Hver posisjon i bildet som ble tatt korresponderer med en himmelretning. Himmelretningene er representert med to vinkler, ene senit vinkelen θ og azimuth vinkelen α . θ er vinkelen som går oppover fra planet mens α er vinkelen som dannes med virkelig nord i planet. Innstillingen mot nord er viktig for å orientere bildet riktig i forhold til solas bane (Anon. 1999).

I den halvkuleformede projeksjonen ser man nedenfra og oppover mot undersiden av halvkulen. Dette gir et komplett bilde av alle himmelretningene og man får senit i midten av bildet og horisonten langs kantene rundt. Hvis man har nord pekende oppover på et slikt bilde vil øst være til venstre og vest være til høyre. Det blir altså motsatt i forhold til hvordan det er

på et kart, men da ser man jo ovenfra og nedover, mens her ser man nedenfra og oppover (bilde 2.1 og 2.2)



Bilde 2.1. Eksempel på et hemisfærefotografi. Nord er markert med et spisst grått merke oppe i øverste høyre hjørne.



Bilde 2.2. Dette er det samme bilde som ovenfor bare at her er det skilt på hva som er himmel som slipper lyset igjennom og hva som er trekroner, stammer og bakke.

2.6.2 Bildeanalyseprogrammet HemiView

De digitale hemisfærefotografiene ble analysert med bildeanalyseprogrammet HemiView (Anon.1999). Før analysene ble utført måtte enkelte parametre i programmet innstilles. Disse omfatter lengdegrad, breddegrad, høyde over havet og misvisning i forhold til himmelretningen nord. Innstillingen linsen ble innstilt på *linear 180*. Innstillingen *solar modell* ble innstilt på *simple modell (molar)*. Innstillingen *diffuse proportion* av innstrålt lys ble satt til 0,2.

På alle bildene var det et likt antall pixler og kronetaksåpningene ble satt til å være de pixlene som hadde en lyshetsgrad over en viss terskelverdi. Denne terskelverdien må fastsettes subjektivt for hvert bilde som skal analyseres. Bilde 2.2 viser et eksempel på hvordan hemisfærefotografiene ser ut når terskelverdien er innstilt.

Lysverdiene som er beregnet i programmet er DSF, ISF og GSF. DSF står for *direct site factor* og uttrykker mengden direkte solstråling som når en bestemt posisjon i forhold til et sted hvor det ikke er noen hindringer foran himmelen. Denne rangeres fra 0 til 1, hvor 0 er et sted det ikke når frem direkte sollys til og 1 er et sted hvor det direkte sollyset ikke hindres i å komme frem. ISF står for *indirect site factor* og uttrykker den diffuse solstrålingen som når en bestemt posisjon i forhold til et sted hvor det ikke fins hindringer foran himmelen. ISF rangeres på samme måte som DSF. GSF står for *global site factor* og uttrykker mengden med global stråling under et kronetak i forhold til den globale stråling utenfor kronetaket. GSF utregnes som direkte stråling pluss indirekte stråling hvor det er sett bort fra den reflekterte strålingen. GSF rangeres også fra 0 til 1.

For at jeg skulle få et best mulig materiale, ble det i samråd med mine veiledere bestemt at jeg enten måtte analysere bildene to ganger og bruke gjennomsnittet av de to analysene, eller at to personer analyserte bildene hver for seg. Hvis jeg skulle ha gjort det på den første nevnte måten måtte jeg ha utført analysen og deretter ventet i fjorten dager, for så å utføre akkurat samme analysen en gang til. Dette ville være tidkrevende og det ble bestemt at den andre metoden skulle brukes.

2.7 Statistikk

Det er utarbeidet tabeller og plott som viser henholdsvis total vekst og vekstutvikling i 11-årsperioden etter hogst for ulike høydeklasser og hogstbehandlinger. Jeg har brukt statistikkprogrammet Minitab for de statistiske analysene og de statistiske metodene som er benyttet i denne oppgaven er multippel regresjon, og en paret T-test. Multippel regresjonsanalyse har jeg benyttet for å prøve å finne ut hvilke variabler som forklarer veksten hos forhåndsforryngelsen. Modellen ser ut slik:

$$Y_i = \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \beta_4 x_{4i} + e_i \quad (\text{Modell 1})$$

x_1 , x_2 , x_3 og x_4 vil her være forklaringsvariablenes verdi for i -te observasjon som resultere i responsen y_i . e_i er et feilledd som skal være normalfordelt med forventning null og varians lik σ^2 . Koeffisientene α , β_1 , β_2 , β_3 og β_4 er ukjente men konstante størrelser. Disse skal estimeres så godt som mulig (Løvås 2001). For å vurdere modellens tilpasning til dataene ble det utarbeidet residualplott. Residualene er den observerte verdien minus den predikerte verdien. Hvis disse punktene ligger jevnt fordelt rundt en linje som er trekt igjennom punktet 0 på y-aksen indikerer dette at modellen er god. Responsen y er satt til å være kvadratroten til veksten fra 1994 til 2004. Jeg prøvde først med bare å sette y til å være veksten fra 1994 til 2004. Dette viste seg å gi en dårligere modell enn når jeg transformerte responsen til kvadratroten av veksten fra 1994 til 2004. Dette kunne man se på residualplottene at tilpassningen ble bedre ved å transformere responsen. Uten transformering ble traktformen enda sterkere, altså man fikk ikke konstant varians. Y i oppgaven er beregnet respons, mens forklaringsvariablene x_1 er høyde i 1993, x_2 er en variabel som karakteriserer styrken på hogstinngrepet, mens x_3 og x_4 er indikatorvariabler.

Jeg har i mine beregninger lagt inn de tre forskjellige stedene Englien, Lindberget og Hof-Prestseter som indikatorvariabler eller ”dummy” variabler (tabell 2.5). Disse variablene er satt til 0 og 1 (Montgomery & Peck 1991). Dette ble gjort fordi det er nærliggende å tro at veksten på plantene på disse tre stedene er forskjellig. Jeg har valgt et signifikansnivå $\alpha = 0,05$. Dette betyr at det er 5 % sjanse for at det gjøres en forkastningsfeil.

Tabell 2.5. Indikatorvariablene i regresjonsmodellene.

X₃	X₄	Betydning
0	0	Observasjonene er fra Lindberget
0	1	Observasjonene er fra Hof-Prestseter
1	0	Observasjonene er fra Engeli

3. RESULTAT

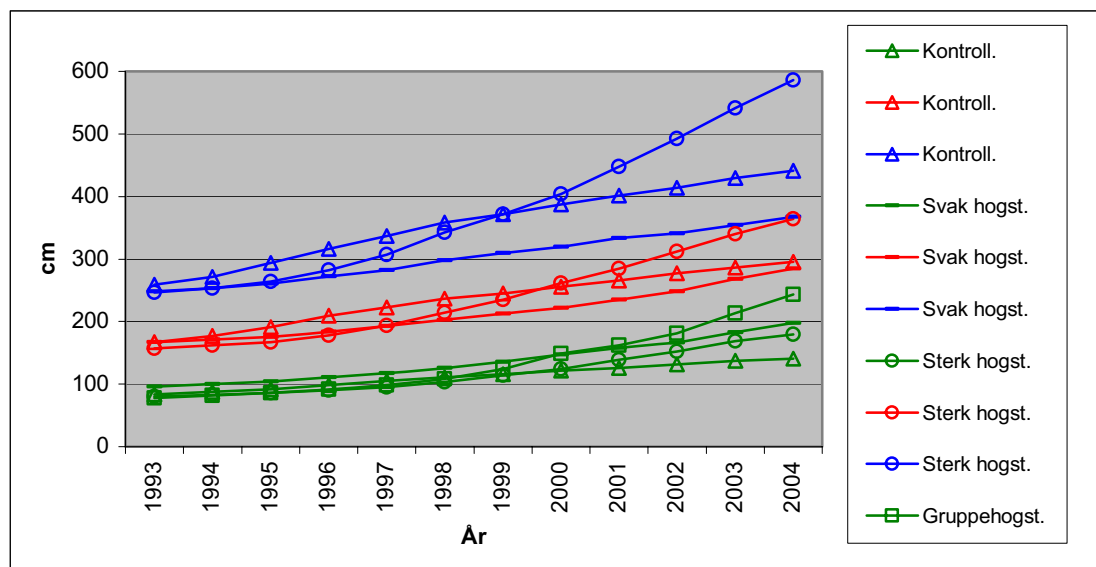
3.1 Høydeutvikling

3.1.1 Engelen

Gjennomsnittlig høydeutvikling på forsøksfeltet Engelen, fordelt på behandlinger og høydeklasser, er vist i tabell 3.1 og figur 3.1.

Tabell 3.1. Høydevekst for de ulike hogstbehandlingene fordelt på høydeklasser på forsøksfeltet Engelen. 1993 er året før hogst.

Engelen	0,50-1,29 m.				1,30-1,99 m.				2,00-2,99 m.			
Behandling	Antall planter	Gj. snitt H93 cm	Gj. snittlig total vekst 94-04 i cm	Std. avvik	Antall planter	Gj. snitt H93 cm	Gj. snittlig total vekst 94-04 i cm	Std. avvik	Antall planter	Gj. snitt H93 cm	Gj. snittlig total vekst 94-04 i cm	Std. avvik
K.	10	83	57	24	6	167	128	85	7	259	182	92
Sv. h.	9	96	101	52	7	167	118	67	6	249	119	48
St. h.	9	81	99	54	8	157	208	148	7	247	339	124
Gr. h.	12	78	166	42								



Figur 3.1. Høydeutvikling på forsøksfeltet Engelen fordelt på høydeklasser og behandlinger. De grønne strekene representerer forhåndsforryngelsen i høydeklasse 0,50-1,29 m. De røde strekene representerer forhåndsforryngelsen i høydeklasse 1,30-1,99 m. De blå strekene representerer forhåndsforryngelsen i høydeklasse 2,00-2,99 m.

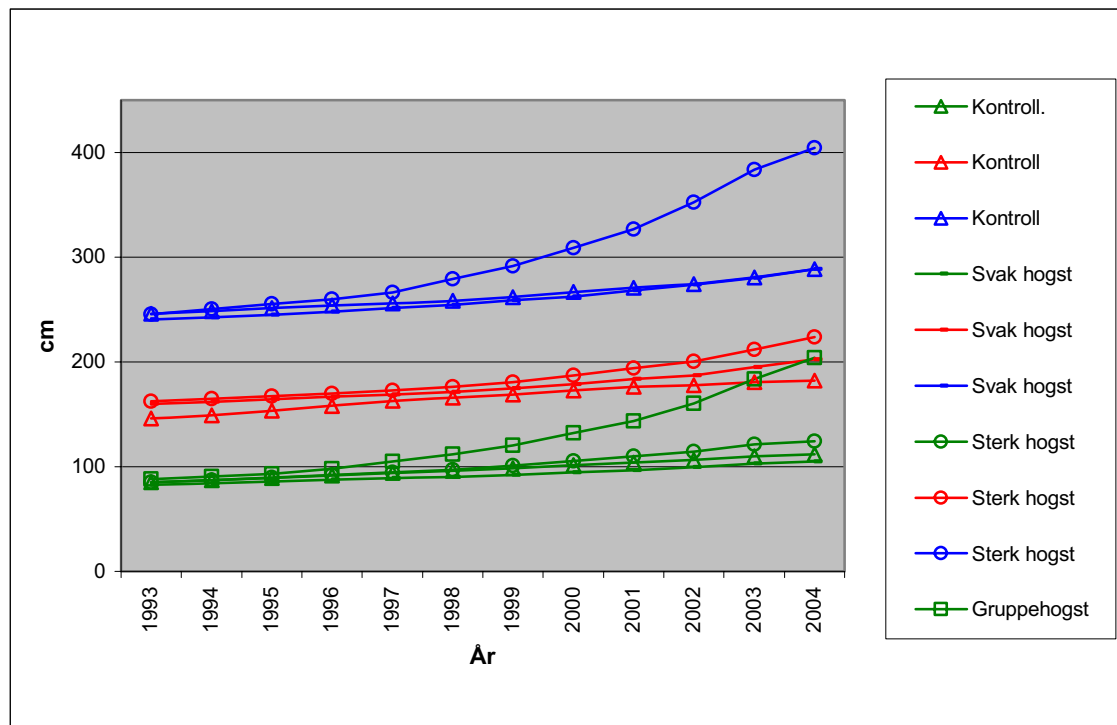
Som illustrert i figur 3.1 har plantene reagert forskjellig etter hvor høye de var da behandlingen ble utført. I høydeklasse 0,50-1,29 m har gruppehogsten hatt den største effekten når det gjelder vekst. I samme høydeklasse har den ruta hvor det ble utført en svak hogst vokst litt bedre enn den ruta hvor den sterke hogsten var utført. Det fantes ikke planter i de større høydeklassene på gruppehogsten. I høydeklassene 1,30-1,99 m og 2,00-2,99 m var det best vekst i ruta hvor den sterke hogsten var utført. Plantene på kontrollflata hadde vokst betydelig mer enn plantene i ruta hvor den svake hogsten var utført med unntak av de plantene var mindre enn 1,30 m.

3.1.2 Hof-Prestseter

Gjennomsnittlig høydeutvikling på forsøksfeltet Hof-Prestseter, fordelt på behandlinger og høydeklasser, er vist i tabell 3.2 og figur 3.2.

Tabell 3.2. Høydevekst for de ulike hogstbehandlingene fordelt på høydeklasser på forsøksfeltet Hof-Prestseter. 1993 er året før hogst.

Hof-Prestseter	0,50-1,29 m.				1,30-1,99 m.				2,00-2,99 m.			
Behandling	Antall planter	Gj. snitt H93 cm	Gj. snittlig total vekst 94-04 i cm	Std. avvik	Antall planter	Gj. snitt H93 cm	Gj. snittlig total vekst 94-04 i cm	Std. avvik	Antall planter	Gj. snitt H93 cm	Gj. snittlig total vekst 94-04 i cm	Std. avvik
K.	11	85	27	12	8	146	36	15	2	246	43	13
Sv. h.	14	83	22	9	8	160	43	18	7	240	48	55
St. h.	11	85	39	33	8	162	62	25	6	245	159	97
Gr. h.	12	88	116	61								



Figur 3.2. Høydeutvikling på forsøksfeltet Hof-Prestseter fordelt på høydeklasser og behandlinger. De grønne strekene representerer forhåndsforryngelsen i høydeklasse 0,50-1,29 m. De røde strekene representerer forhåndsforryngelsen i høydeklasse 1,30-1,99 m. De blå strekene representerer forhåndsforryngelsen i høydeklasse 2,00-2,99 m.

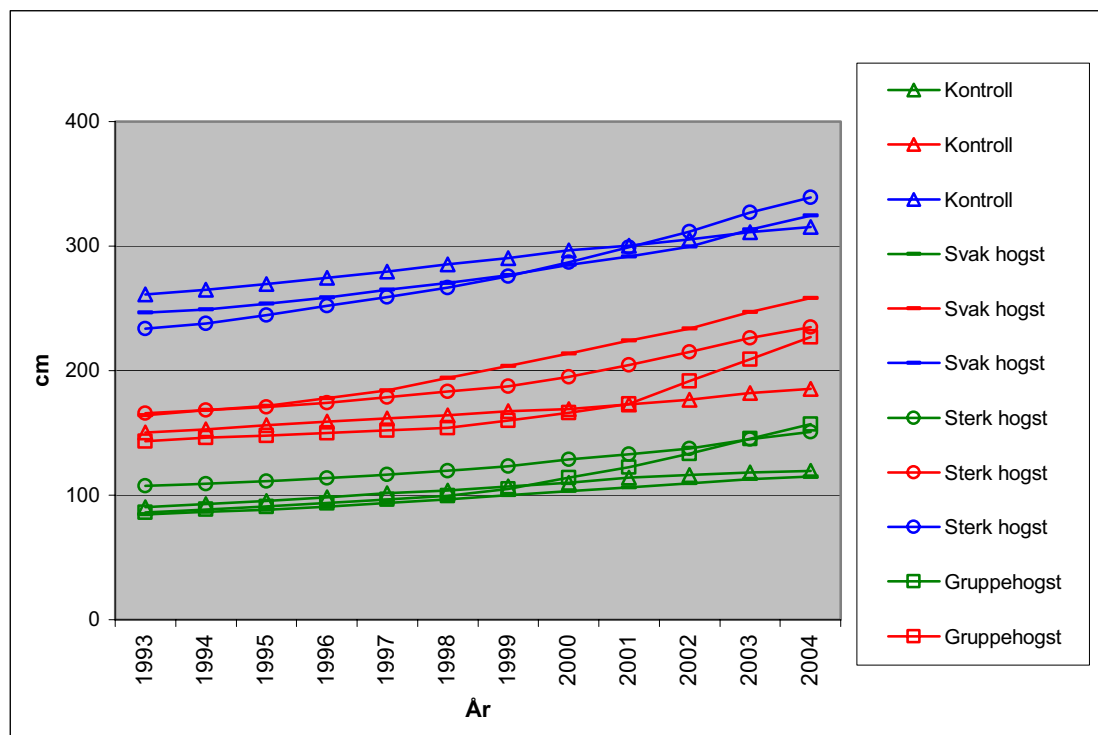
Ut fra figur 3.2 ser man at plantene har reagert lite på behandlingene med unntak av de største plantene på sterk hogst og plantene på gruppehogsten. Skal man peke på en spesiell reaksjon, blir det hos forhåndsforryngelsen i høydeklasse 0,50-1,29 m i ruta hvor det er utført gruppehogst. Gjennomsnittsveksten her har vært på 116 cm. Det er først 6-7 år etter at hogsten at plantene har reagert med betydelig økt vekst. Resten av behandlingene skiller seg ikke spesielt fra kontrollen i denne laveste høydeklassen. Den samme trenden kan man se i høydeklasse 1,30-1,99 m. I høydeklasse 2,00-2,99 m har plantene under behandlingen sterk hogst reagert med god vekst. Her har ikke vekstreaksjonen startet for fullt før etter 4-5 år etter hogsten. Kontrollen og den svake hogsten skiller seg lite fra hverandre i vekst.

3.1.3 Lindberget

Gjennomsnittlig høydeutvikling på forsøksfeltet Lindberget fordelt på behandlinger og høydeklasser, er vist i tabell 3.3 og figur 3.3.

Tabell 3.3. Høydevekst for de ulike hogstbehandlingene fordelt på høydeklasser på forsøksfeltet Lindberget.

Lindberget	0,5-1,29 m.				1,3-1,99 m.				2,0-2,99 m.			
Behandling	Antall planter	Gj. snitt H93 cm	Gj. snittlig total vekst 94-04 i cm	Std. avvik	Antall planter	Gj. snitt H93 cm	Gj. snittlig total vekst 94-04 i cm	Std. avvik	Antall planter	Gj. snitt H93 cm	Gj. snittlig total vekst 94-04 i cm	Std. avvik
K.	7	90	29	11	6	150	35	18	8	261	54	46
Sv. h.	8	85	31	18	10	164	94	80	4	247	78	63
St. h.	8	108	43	44	7	166	69	70	8	234	106	110
Gr. h.	9	86	71	55	3	143	84	57				



Figur 3.3. Høydeutvikling på Lindberget fordelt på høydeklasser og behandlinger. Grønne streker representerer forhåndsforryngelse i høydeklasse 0,50-1,29 m. De røde strekene representerer forhåndsforryngelse i høydeklasse 1,30-1,99 m. De blå strekene representerer forhåndsforryngelse i høydeklasse 2,00-2,99 m.

Plantene på Lindberget har ikke hatt noen stor vekst. Plantene i høydeklasse 0,50-1,29 m har hatt den beste veksten i ruta hvor gruppehogsten er utført, der har gjennomsnittsveksten vært 71 cm. I ruta hvor den sterke hogsten har vært utført har plantene i samme høydeklasse hatt en gjennomsnittsvest på 43 cm. Kontrollruta og ruta hvor den svake hogsten er utført skiller seg lite fra hverandre. Plantene i høydeklasse 1,30-1,99 m har hatt den beste veksten på ruta hvor den svake hogsten er utført, der har den vært 94 cm. Plantene i høydeklasse 2,00-2,99 m har hatt størst vekst på flata hvor den sterke hogsten er utført. De har i gjennomsnitt vokst 106 cm, mens plantene i ruta hvor den svake hogsten er utført har vokst 78 cm og plantene på kontrollen har vokst 54 cm. På dette feltet skiller de forskjellige behandlingene seg fra kontrollen i alle høydeklassene med unntak den svake hogsten i den laveste høydeklassen. Det er ingen markerte skiller hvor plantene på dette feltet har begynt å reagere med en betydelig kraftigere vekst. Plantene har hatt en jevn gjennomsnittsvest med unntak av høydeklasse 1,30-1,99 m på gruppehogsten. Gjennomsnittsveksten til disse plantene har økt betydelig etter 8-9 år.

3.2 Sammenheng mellom vekstrespons på plantene og % uttak av grunnflaten

Jeg har lagd en multippel regresjonsmodell med utgangspunkt i modell 1 som er beskrevet under kapittel 2.7. Denne modellen sier noe om hvordan veksten på feltene er og hvilke faktorer som er med på å forklare veksten.

Responsen (y) er kvadratroten til veksten fra 1994 til 2004. Denne modellen har fire forklaringsvariabler: prosent uttak av grunnflatesummen, høyden i 1993 og indikatorvariabler for feltene Engeli og Hof-Prestseter. 45,9 % av den observerte variasjonen i datamaterialet kan forklares ut fra denne modellen. De tre variablene prosent uttak av grunnflatesummen, høyden i 1993 og stedsvariabelen Engeli har en p -verdi som er lavere enn 0,05. Dette betyr at disse variablene er statistisk signifikante og vi kan si at det er en sammenheng mellom veksten fra 1993 til 2004 og disse variablene. Regresjonskoeffisienter med tilhørende standardfeil, t -verdi og signifikansnivåer er gjengitt i tabell 3.4, og de tilhørende residualplottene er gjengitt i figur 3.4, 3.5 og 3.6.

Variabelen x_4 = "Hof-Prestseter" gir en p- verdi som ligger på 0,592. Denne er såpass høy at man ikke kan si at det er noen forskjell mellom veksten på Lindberget og Hof-Prestseter.

Ligningen til denne modellen blir (med utgangspunkt i modell 1, kap.2.7):

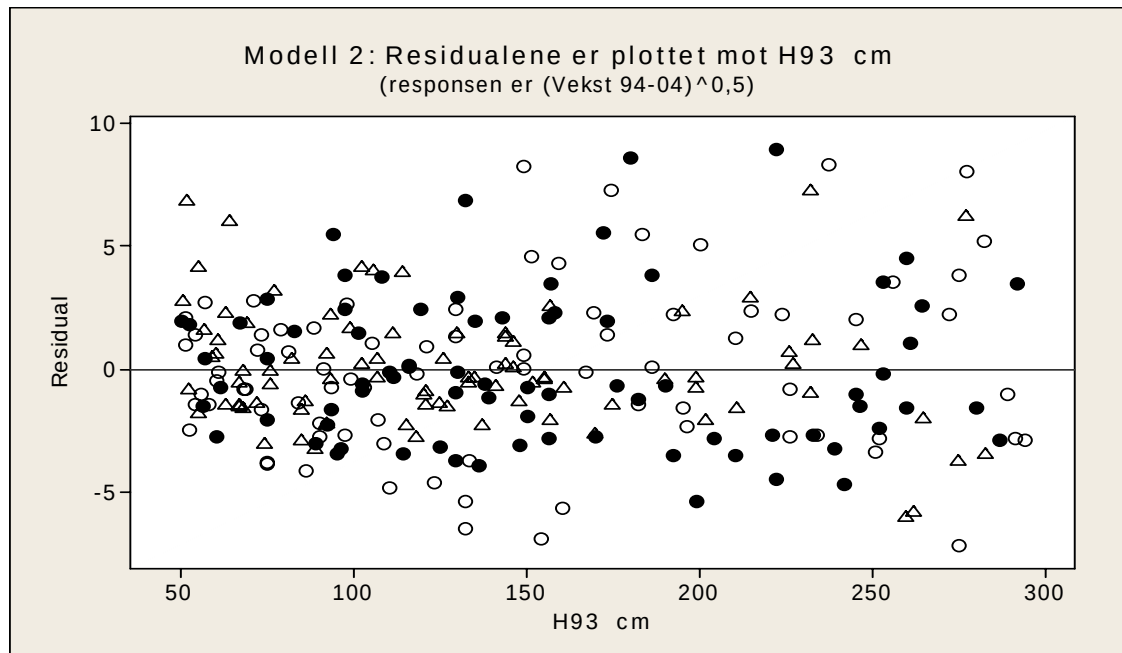
$$(\text{Vekst } 94-04)^{0,5} = 1,8516 + 0,045991 * \% \text{ uttak av grunnflatesummen} + 0,021626 * H93 + 4,6855 * \text{Engelien} + 0,2537 * \text{Hof-Prestseter.} \quad (\text{Modell 2})$$

Tabell 3.4. Resultatet av en multipl linear regresjonsanalyse av sammenhengen mellom veksten fra 1993 til 2004 og forklaringsvariablene % uttak av grunnflatesummen og høyden i 1993 (H93). Forskjeller mellom de tre feltene er testet ved å inkludere indikatorvariabler for henholdsvis Engelien og Hof-Prestseter. I denne modellen er det veksten på Lindberget som er grunnlinjen, representert ved konstantleddet.

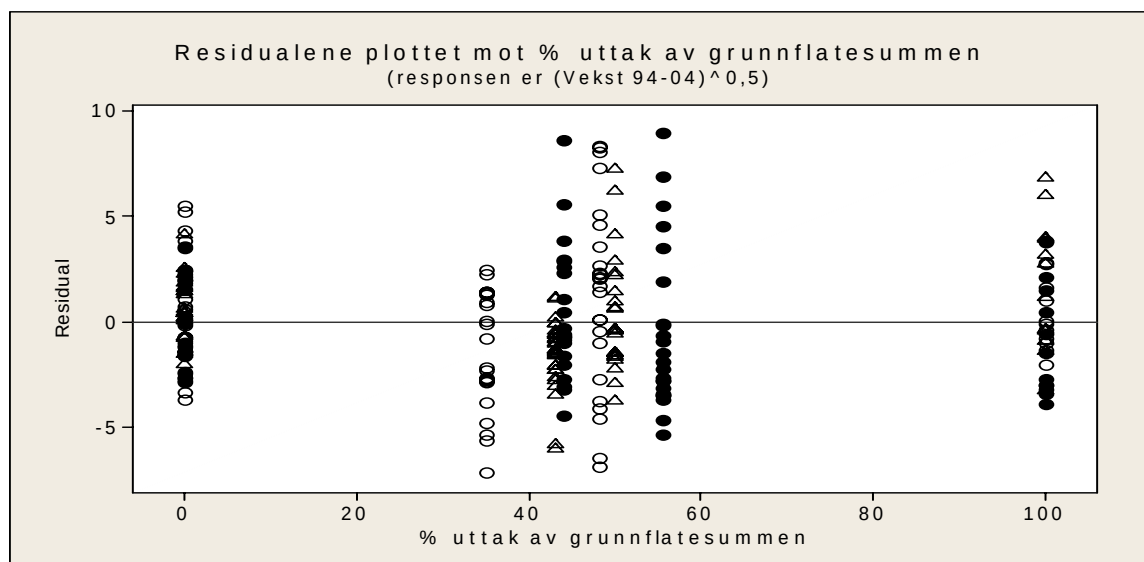
Variabel	Koeffisienter	Standardfeil	T-verdi	P-verdi
Konstant	1,8516	0,6776	2,73	0,007
% uttak av grunnflate-summen	0,045991	0,00629	7,31	<0,001
H93	0,021626	0,002931	7,38	<0,001
Engelien	4,6855	0,4782	9,80	<0,001
Hof-Prestseter	0,2537	0,4727	0,54	0,592

S = 2,99933	R-Sq = 45,9 %	R-Sq(adj) = 45,0 %
-------------	---------------	--------------------

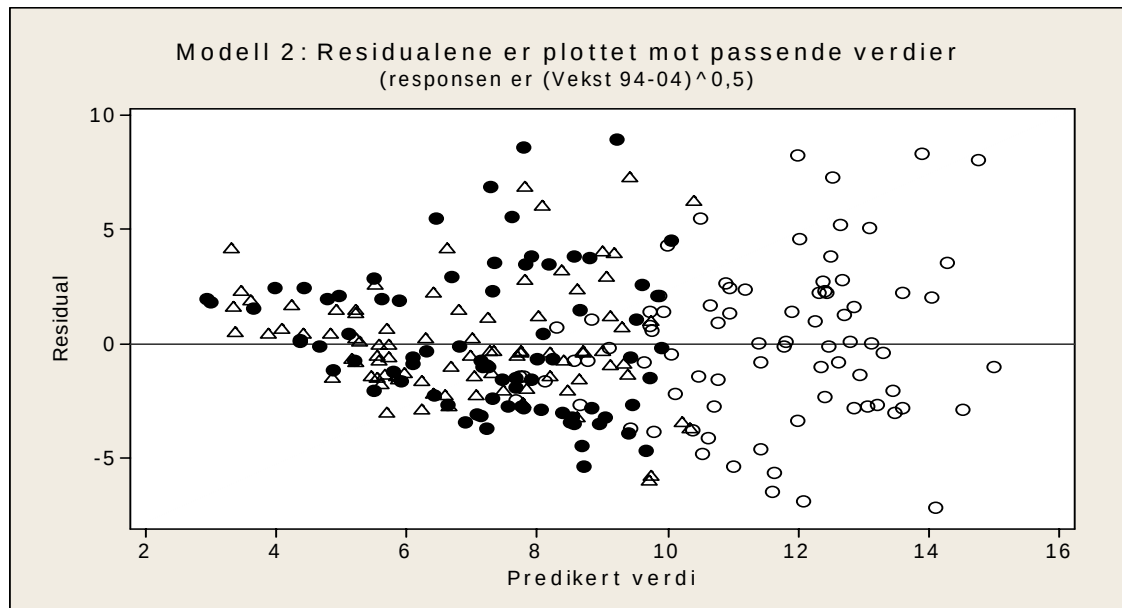
Variansanalyse					
Kilde	DF	SS	MS	F	P
Regresjon	4	1836,70	459,18	51,04	<0,001
Residual feil	241	2168,03	9,00		
Total	245	4004,73			



Figur 3.4. Residualene for modell 2 plottet mot høyden i 1993. Det tyder ikke på at variansen endrer seg betydelig ettersom trærne var høyere i 1993. De svarte sirklene representerer observasjoner fra Lindberget, trekantene representerer observasjoner fra Hof-Prestseter og de tomme sirklene representerer observasjoner fra Englien.

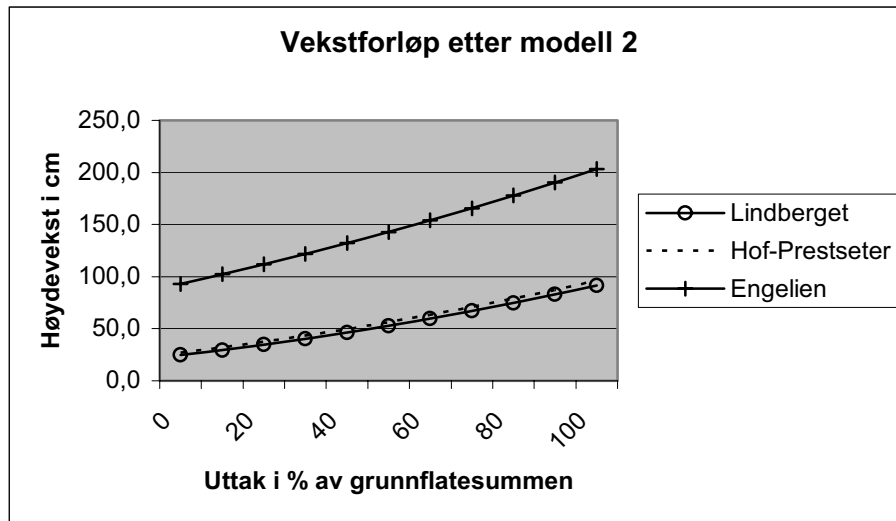


Figur 3.5. Residualene for modell 2 plottet % uttak av grunnflatesummen. De tomme sirklene representerer observasjoner fra Englien, trekantene representerer observasjoner fra Hof-Prestseter og de svarte sirklene representerer observasjoner fra Lindberget.



Figur 3.6. Residualene for modell 2 plottet mot predikerte verdier. De tomme sirklene representerer observasjoner fra Engelien, trekantene representerer observasjoner fra Hof-Prestseter og de svarte sirklene representerer observasjoner fra Lindberget.

Jeg har kjørt to multiple regresjonsanalyser til hvor jeg har hatt henholdsvis Engelien og Hof-Prestseter som grunnlinje med de samme forklaringsvariablene. Disse modellene har vist den samme tendensen som modellen for veksten på Lindberget. Veksten på Hof-Prestseter og Lindberget er statistisk ikke signifikant forskjellig. Veksten på Engelien derimot er statistisk signifikant forskjellig fra veksten på de to andre forsøksfeltene. Sammenhengen i modellen er illustrert med et eksempel i figur 3.7.



Figur 3.7. Veksten på de tre forsøksfeltene etter modellen hvor % uttak av grunnflatesummen er en forklaringsvariabel. Høyden i 1993 ble satt til å være 144 cm, som er gjennomsnittshøyden for de 246 plantene som inngår i oppgaven.

3.3 Sammenhengen mellom vekstrespons og gjenstående kubikkmasse

Jeg har kjørt en multipl regressjonsanalyse hvor kvadratrotten til veksten fra 1994-2004 er responsen og forklaringsvariablene er høyden i 1993, gjenstående kubikkmasse/ha og indikatorvariablene Hof-Prestseter og Engeli. Forklaringsgraden til denne modellen ligger på 48,7 %. Analysen med denne modellen viser at veksten på Hof-Prestseter og Engeli er statistisk signifikant forskjellig fra Lindberget ettersom p-verdiene er lavere enn signifikansnivået på 0,05. Regresjonskoeffisienter med tilhørende standardfeil, t-verdi og signifikansnivå er gjengitt i tabell 3.5 og de tilhørende residualplottene er gjengitt i figur 3.8, 3.9 og 3.10. Figur 3.11 illustrerer sammenhengen i modellen.

Ligningen til denne modellen blir da (med utgangspunkt i modell 1, kap.2.7):

$$(\text{Vekst } 94-04)^{0,5} = 5,54 - 0,0207 * \text{Gjenstående m}^3\text{-masse/ha} + 0,0215 * \text{H93 cm} + 1,56 * \text{Hof-Prestseter} + 6,07 * \text{Engeli} \quad (\text{Modell 3})$$

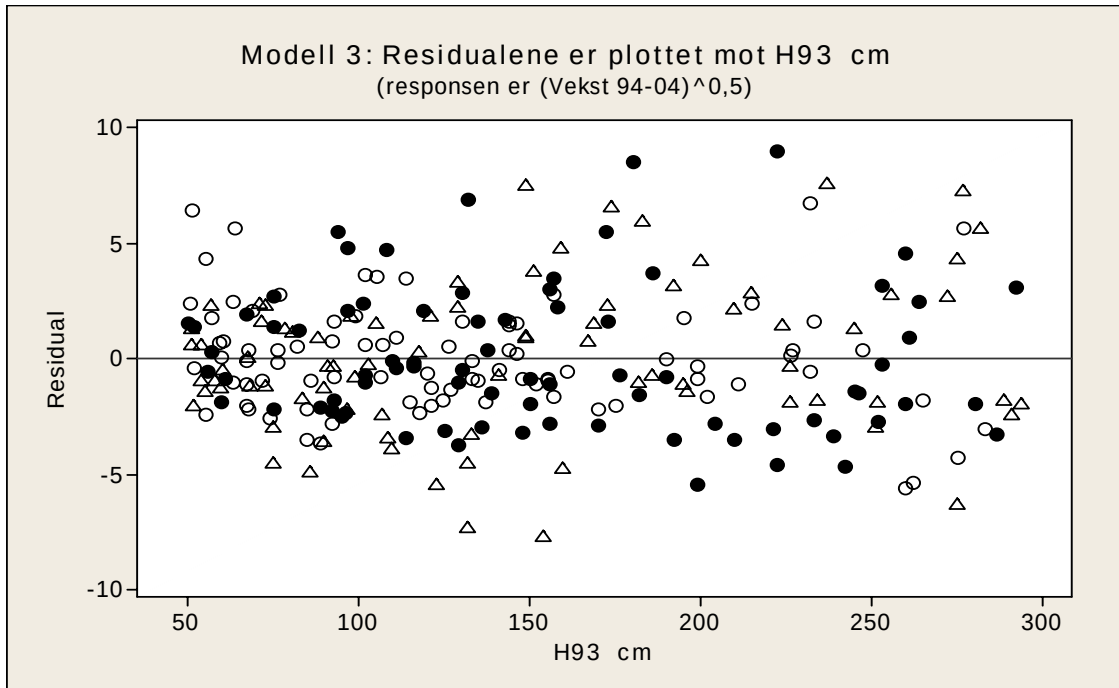
Tabell 3.5. Resultatet av en multipl lineær regressjonsanalyse av sammenhengen mellom veksten fra 1994 til 2004 og forklaringsvariablene gjenstående kubikkmasse/ha og høyden i 1993 (H93). Forskjeller mellom de tre feltene er testet ved å inkludere indikatorvariabler for henholdsvis Engeli og Hof-Prestseter. I denne modellen er det veksten på Lindberget som er grunnlinjen, representert ved konstantleddet.

Variabel	Koeffisient	Standardfeil	T-verdi	P-verdi
Konstant	5,5386	0,5483	10,10	<0,001
Gjenstående m ³ -masse	-0,020704	0,002477	-8,36	<0,001
H93	0,021543	0,002833	7,60	<0,001
Hof-Prestseter	1,5606	0,4931	3,17	0,002
Engeli	6,0733	0,5057	12,01	<0,001

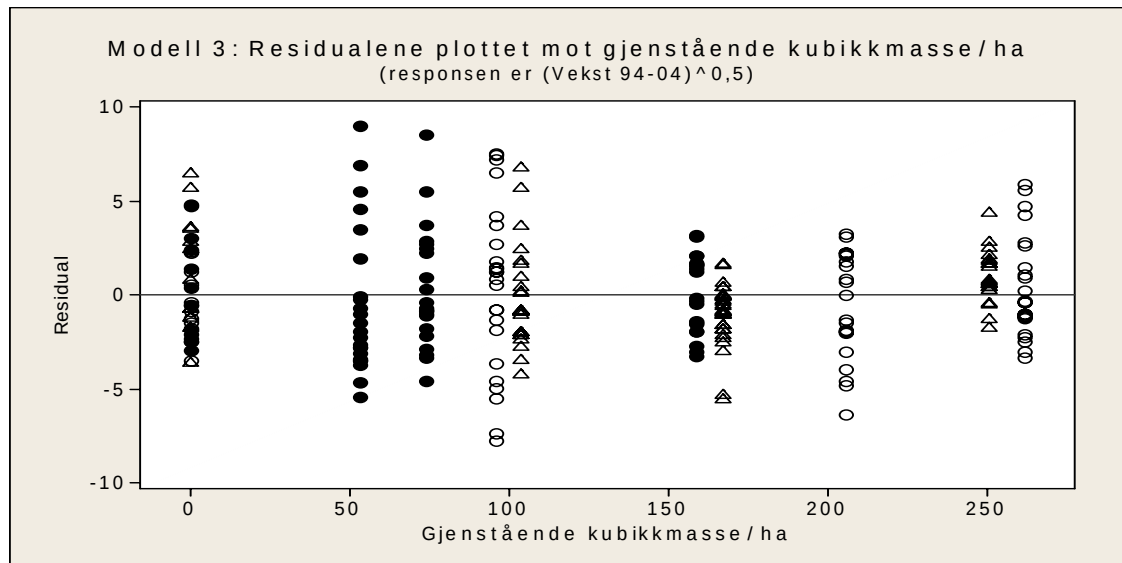
S = 2,91901	R - Sq = 48,7 %	R - Sq (adj) = 47,9 %
-------------	-----------------	-----------------------

Variansanalyse					
Kilde	DF	SS	MS	F	P
Regresjon	4	1951,25	487,81	57,25	<0,001
Residual feil	241	2053,47	8,52		
Total	245	4004,73			

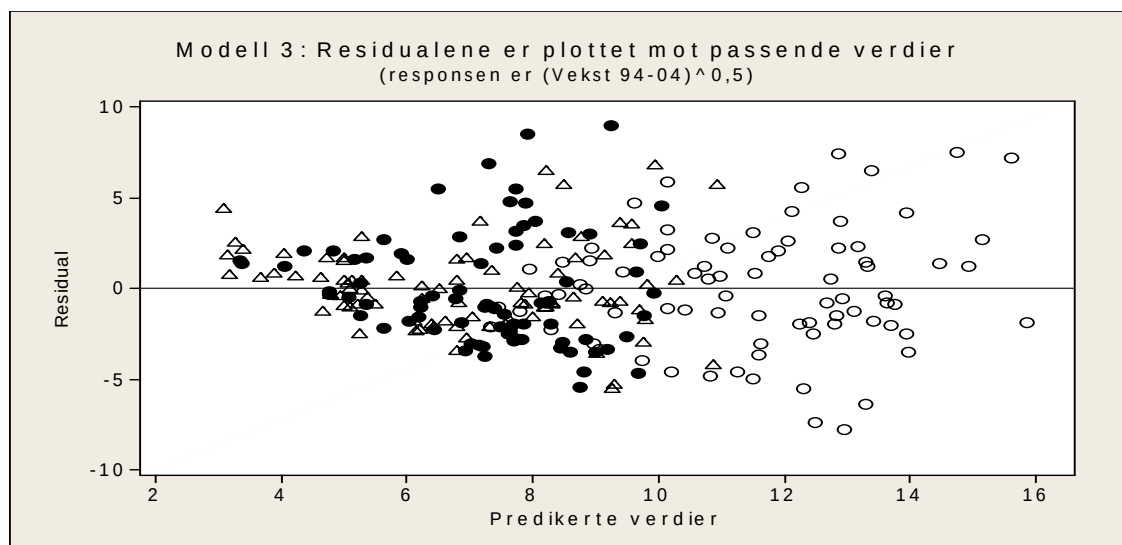
Jeg kjørte to multiple regresjonsanalyser til med henholdsvis Hof-Prestseter og Engelién som grunnlinje, og fikk samme resultat som over. Denne analysen viser at veksten på Hof-Prestseter, Engelién og Lindberget er statistisk signifikant forskjellige fra hverandre. De andre forklaringsvariablene er signifikante med veksten når signifikansnivået er 0,05.



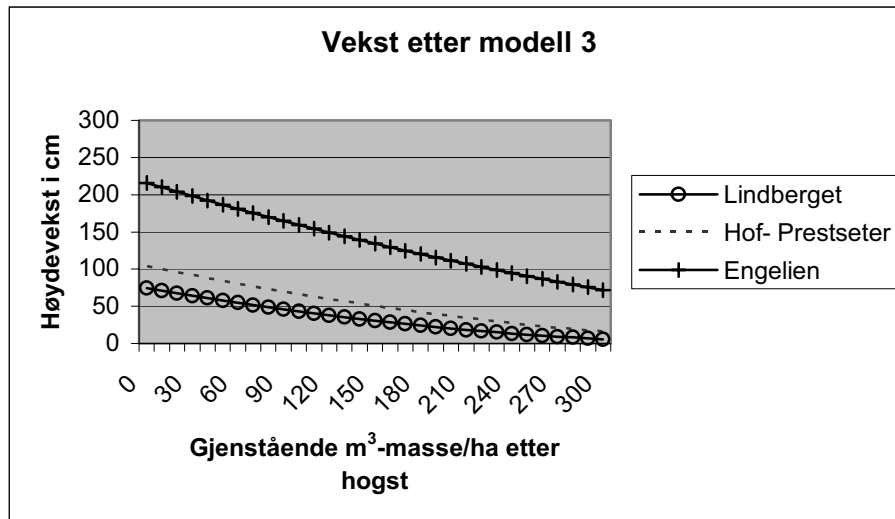
Figur 3.8. Residualene for modell 3 plottet mot høyden i 1993. De svarte sirklene representerer observasjoner fra Lindberget, trekantene representerer observasjoner fra Hof-Prestseter og de tomme sirklene representerer observasjoner fra Engelién.



Figur 3.9. Residualene for modell 3 plottet mot gjenstående kubikkmasse/ha. De svarte sirklene representerer observasjoner fra Lindberget, trekantene representerer observasjoner fra Hof-Prestseter og de tomme sirklene representerer observasjoner fra Englien.



Figur 3.10. Residualene for modell 3 plottet mot predikerte verdier. De svarte sirklene representerer observasjoner fra Lindberget, trekantene representerer observasjoner fra Hof-Prestseter og de tomme sirklene representerer observasjoner fra Englien.



Figur 3.11. Veksten på de tre forsøksfeltene etter modellen hvor gjenstående kubikkmasse/ha er en forklaringsvariabel. Høyden i 1993 ble satt til 144 cm, som er gjennomsnittshøyden til de 246 plantene som inngår i oppgaven.

3.4 Sammenheng mellom vekst og lysmengde

3.4.1 Sammenligning av de to bildeanalysene

Ved hjelp av parete T-tester har jeg sett om det var forskjell på analyseresultatene når innstillingene av terskelverdien ble utført av to forskjellige observatører. Jeg hadde 146 bilder som jeg kjørte denne testen på. Resultatene på testen er vist i tabell 3.6.

Tabell 3.6. Resultat fra de parete T- testene. I testene var det 145 frihetsgrader.

	T-verdi	P-verdi
ISF	-7,51	<0,001
DSF	-6,96	<0,001
GSF	-7,51	<0,001

De lave p-verdiene tyder på at det er en systematisk forskjell mellom de to observatørene, men når jeg plotter de parvise verdiene mot hverandre får jeg korrelasjonskoeffisienter som ligger nært opp mot 1 (tabell 3.7). Dette tyder på at sammenhengen på bildeanalysene er stor, og det går an å benytte et gjennomsnitt av disse resultatene. Den

subjektive fastsettelsen av terskelverdien kan virke som om er ganske forskjellig for de to observatørene, men det gir ikke så stort utslag på resultatene man har fått ut av dette bildeanalyseprogrammet (tabell 3.7).

Tabell 3.7. Regresjonslinjene, r^2 og r til sammenhengen mellom resultatene fra bildeanalyser utført av to observatører.

	Regresjonslinjen	r^2	r
GSF	$y = 0,9969x + 0,0109$	0,990	0,995
DSF	$y = 1,0102x + 0,0085$	0,987	0,994
ISF	$y = 0,9894x + 0,0127$	0,992	0,996
Terskelverdi	$y = 0,7629x + 21,073$	0,428	0,654

Jeg har også sett på korrelasjonen mellom lysvariablene ISF og DSF for å se om de er for sterkt korrelert til at de kan benyttes i samme regresjonsanalyse. Linjen som jeg fikk hadde en $r^2 = 0,648$, korrelasjonskoeffisienten blir da $r = 0,805$ og er dermed for høy, slik at variablene ikke kan benyttes i samme analyse.

3.4.2 Gjennomsnittlige lysverdier fordelt på forsøksfelt og behandlinger

Gjennomsnittlige lysverdier fordelt på forsøksfelt behandlinger er gjengitt i tabell 3.8.

Tabell 3.8. Gjennomsnittlige lysverdier fordelt på forsøksfelt og behandlinger med standardavvik. N = antall planter. cm = gjennomsnittlig vekst fra 1993 til 2004 med standardavvik.

Lindberget									
Rute	ISF	Std. avv	DSF	Std. avv	GSF	Std. avv	cm	Std. avv	N
K.	0,199	0,025	0,148	0,057	0,179	0,021	31	13	11
Sv. h.	0,292	0,054	0,235	0,121	0,270	0,048	36	26	10
St. h.	0,331	0,157	0,241	0,094	0,296	0,128	58	64	10
Gr. h.	0,620	0,070	0,478	0,135	0,565	0,082	68	51	11
Engelien									
Rute	ISF	Std. Av	DSF	Std. Av	GSF	Std. Av	cm	Std. avv	N
K.	0,200	0,032	0,143	0,046	0,178	0,023	55	23	11
Sv. h.	0,236	0,067	0,176	0,075	0,213	0,067	106	65	11
St. h.	0,249	0,108	0,154	0,082	0,212	0,094	97	55	11
Gr. h.	0,622	0,073	0,465	0,116	0,561	0,082	159	37	11
Hof-Prestseter									
Rute	ISF	Std. Av	DSF	Std. Av	GSF	Std. Av	cm	Std. Av	N
K.	0,222	0,032	0,174	0,089	0,204	0,037	29	11	17
Sv. h.	0,218	0,047	0,226	0,074	0,221	0,047	27	14	18
St. h.	0,268	0,060	0,229	0,081	0,253	0,063	40	31	13
Gr. h.	0,515	0,098	0,532	0,233	0,521	0,141	116	61	12

3.4.3 Sammenhengen mellom den diffuse solstrålingen (ISF) og veksten på de forskjellige forsøksfeltene

Jeg har kjørt en multipl regressjonsanalyse hvor responsen y er kvadratroten til veksten fra 1994 til 2004 og x -variablene er høyden i 1993, den diffuse solstrålingen (ISF) og indikatorvariablene Hof- Prestseter og Engeliën. Hof-Prestseter har en p - verdi på 0,040 og den viser at veksten på Hof-Prestseter er statistisk signifikant forskjellig fra veksten på Lindberget. Det samme gjelder for Engeliën. Forklaringsvariabelen høyden i 1993 og den diffuse solstrålingen var begge statistisk signifikant. Denne modellen har en forklaringsgrad på 56,2 %. Dette er vist i tabell 3.9 og de tilhørende residualplottene er gjengitt i figur 3.12, 3.13 og 3.14.

Regressjonslinjen for modellen blir (med utgangspunkt i modell 1, kap.2.7):

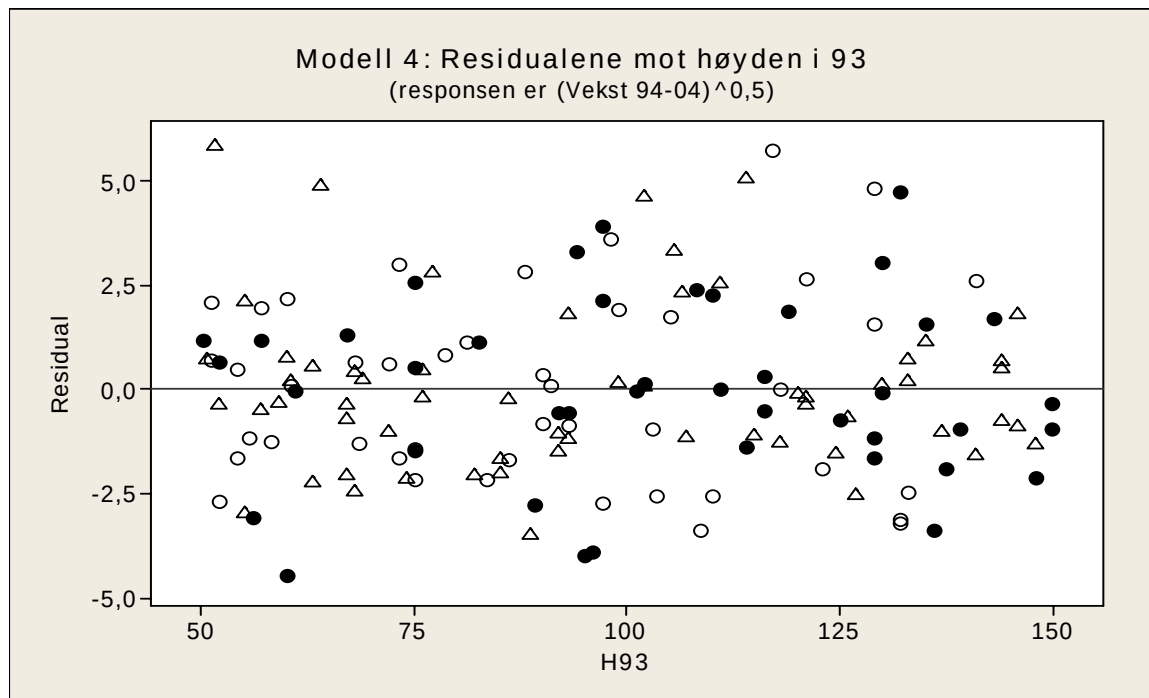
$$(\text{Vekst } 94-04)^{0,5} = 0,872 + 0,0135 * H93 + 11,4 * ISF + 0,917 * \text{Hof-Prestseter} + 3,95 * \text{Engeliën} \quad (\text{Modell 4})$$

Tabell 3.9. Resultatet av en multipl lineær regressjonsanalyse av sammenhengen mellom veksten fra 1994 til 2004 og forklaringsvariablene høyden i 1993 (H93) og den diffuse solstrålingen (ISF). Forskjeller mellom de tre feltene er testet ved å inkludere indikatorvariabler for henholdsvis Engeliën og Hof-Prestseter. I denne modellen er det veksten på Lindberget som er grunnlinjen, representert ved konstantleddet.

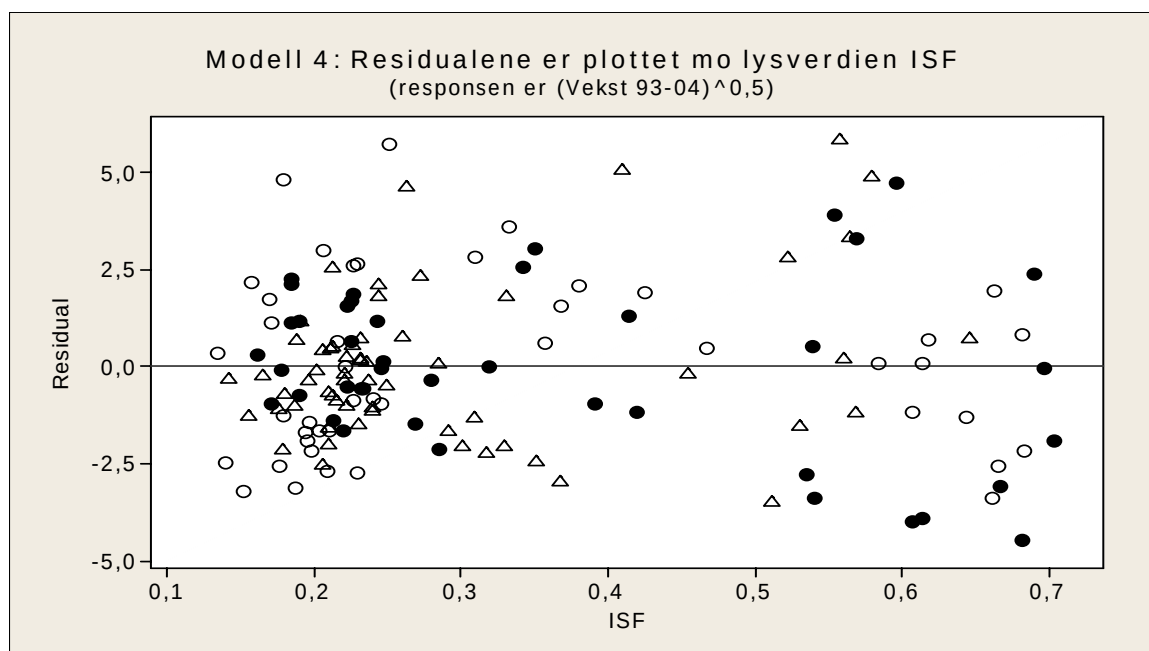
Variabel	Koeffisient	Standardfeil	T-verdi	P-verdi
Konstant	0,8723	0,9064	0,96	0,338
H93	0,013463	0,006291	2,14	0,034
ISF	11,428	1,115	10,25	<0,001
Hof-Prestseter	0,9174	0,4437	2,07	0,04
Engeliën	3,9489	0,4747	8,32	<0,001

S = 2,14231	R - Sq = 56,2 %	R - Sq (adj) = 54,9 %
-------------	-----------------	-----------------------

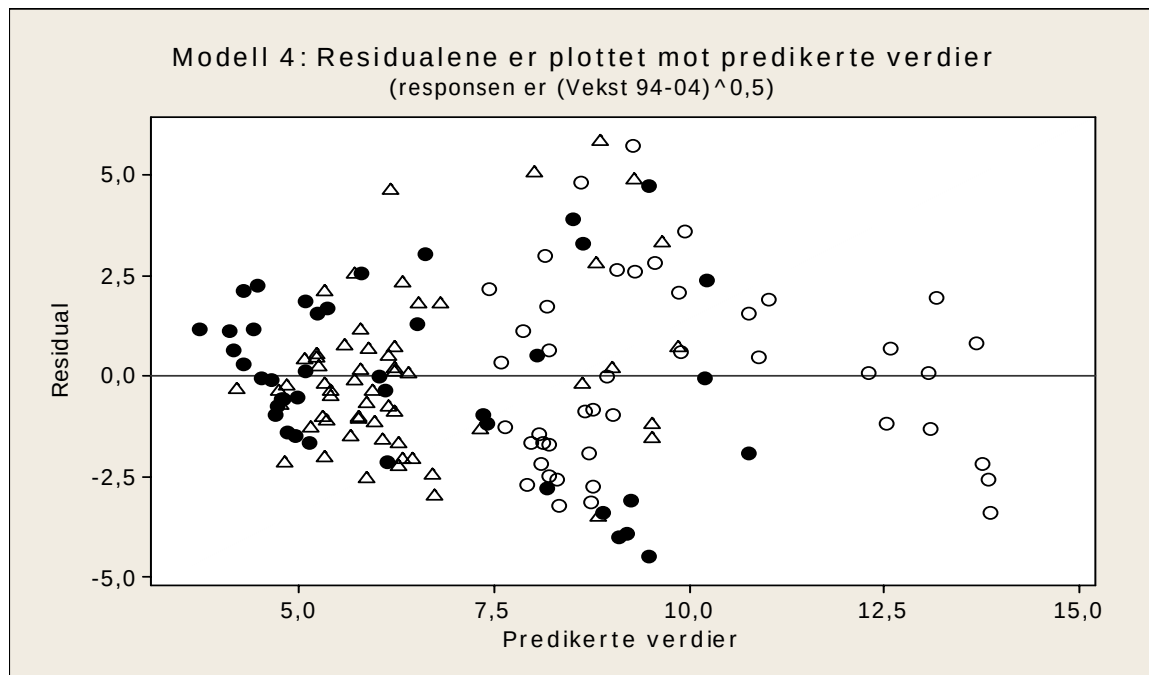
Variansanalyse					
Kilde	DF	SS	MS	F	P
Regresjon	4	828,96	207,24	45,16	<0,001
Residual feil	141	647,12	4,59		
Total	145	1476,08			



Figur 3.12. Residualene for modell 4 plottet mot høyden i 1993. De svarte sirklene representerer Lindberget, de tomme sirklene representerer Engelien og trekantene representerer Hof-Prestseter.

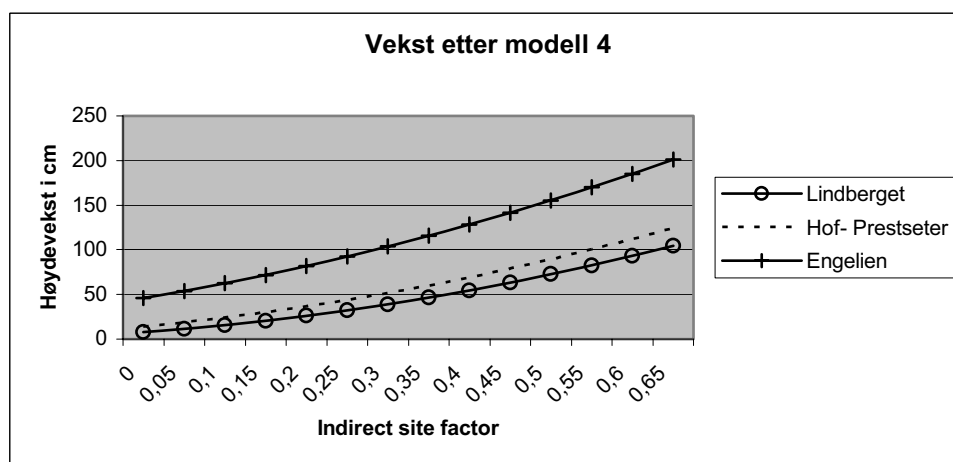


Figur 3.13. Residualene for modell 4 plottet mot ISF. De svarte sirklene representerer observasjoner fra Lindberget, de tomme sirklene representerer observasjoner fra Engelien og trekantene representerer observasjoner fra Hof-Prestseter.



Figur 3.14. Residualene for modell 4 plottet mot predikerte verdier. De svarte sirklene representerer observasjoner fra Lindberget, de tomme sirklene representerer observasjoner fra Engelien og trekantene representerer observasjoner fra Hof-Prestseter.

Jeg har kjørt to multiple regresjonsanalyser til med henholdsvis Hof-Prestseter og Engelien som grunnlinje, med samme respons og de samme forklaringsvariablene. Da fant jeg ut at forklaringsvariablene var statistisk signifikante med et signifikansnivå på 0,05 og at Hof-Prestseter og Lindberget var statistisk signifikant forskjellige fra hverandre. Figur 3.15 illustrerer sammenhengen i modellen.



Figur 3.15. Veksten på de tre forsøksfeltene etter en modell hvor den diffuse solstrålingen (ISF) er forklaringsvariabel. Høyden i 1993 er satt til å være 144 cm, som er gjennomsnittshøyden til de 246 plantene som inngår i oppgaven.

3.4.4 Sammenheng mellom den globale solstrålingen (GSF) og veksten på de forskjellige forsøksfeltene

Kvadratrotten til veksten fra 1994 til 2004 er responsen og høyden i 1993, GSF og indikatorvariablene Hof-Prestseter og Engeliien er forklaringsvariablene. Det er Lindberget som er grunnlinjen i denne modellen. Denne modellen gir en forklaringsgrad på 53,8 %. Denne modellen viser at veksten på Hof-Prestseter og Lindberget ikke er signifikant forskjellig. Veksten på Engeliien er signifikant forskjellig fra veksten på Lindberget. Dette er vist i tabell 3.10 og de tilhørende residualplottene er vist i figur 3.16, 3.17 og 3.18.

Regresjonslinja blir slik (med utgangspunkt i modell 1, kap.2.7):

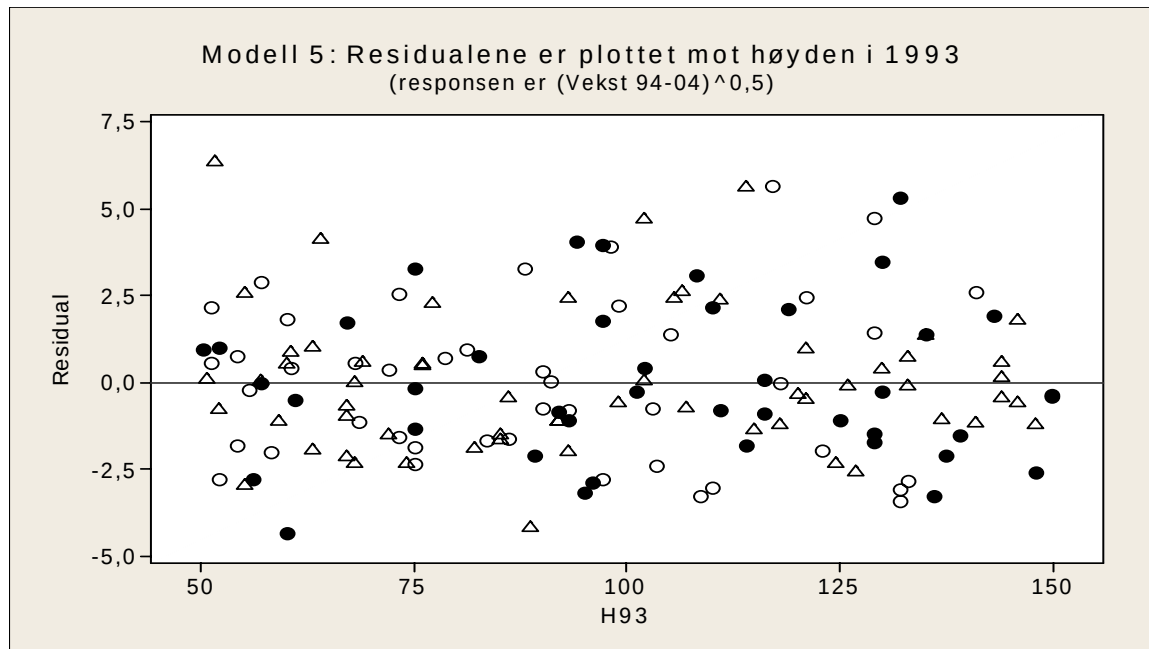
$$(\text{Vekst } 94-04)^{0,5} = 1,18 + 0,0141 * H93 + 11,4 * \text{GSF} + 0,6148 * \text{Hof-Prestseter} + 3,98 * \text{Engeliien} \quad (\text{Modell } 5)$$

Tabell 3.10. Resultatene av en multippel lineær regresjonsanalyse som viser sammenhengen mellom responsen kvadratrotten til veksten fra 1994 til 2004 og forklaringsvariablene høyden i 1993 (H93) og lysfaktoren GSF. Forskjeller mellom de tre feltene er testet ved å inkludere indikatorvariabler for henholdsvis Engeliien og Hof-Prestseter. I denne modellen er det veksten på Lindberget som er grunnlinjen, representert ved konstantleddet.

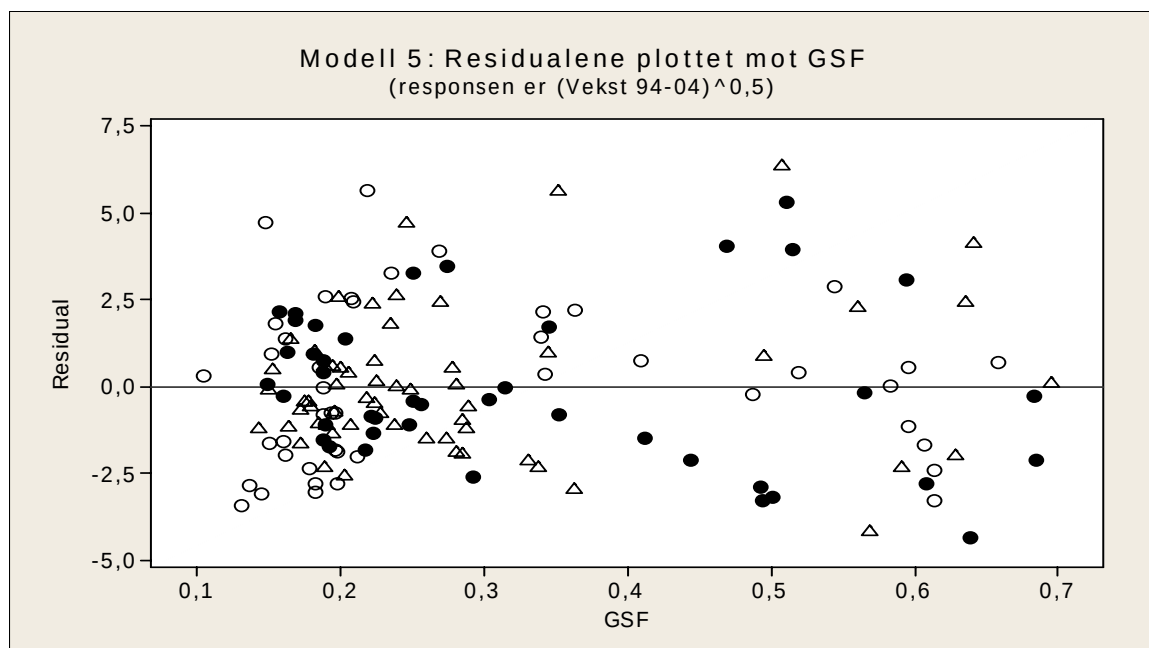
Variabel	Koeffisient	Standardfeil	T-verdi	P-verdi
Konstant	1,183	0,9244	1,28	0,203
H93	0,014063	0,006487	2,17	0,032
GSF	11,447	1,191	9,61	0,000
Hof-Prestseter	0,6148	0,4506	1,36	0,175
Engeliien	3,9848	0,4883	8,16	<0,001

S = 2,19980	R - Sq = 53,8 %	R - Sq (adj) = 52,5 %
-------------	-----------------	-----------------------

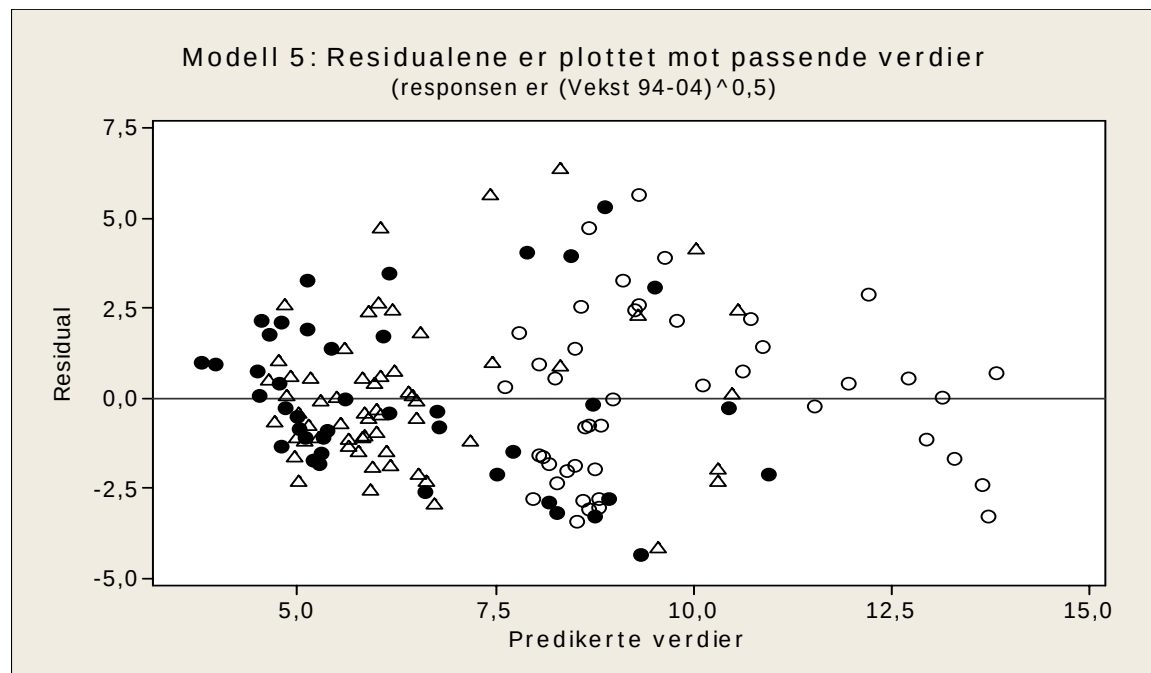
Variansanalyse					
Kilde	DF	SS	MS	F	P
Regresjon	4	793,76	198,44	41,01	<0,001
Residual feil	141	682,32	4,84		
Total	145	1476,08			



Figur 3.16. Residualene for modell 5 plottet mot høyden i 1993. De svarte sirklene representerer observasjoner fra Lindberget, de tomme sirklene representerer observasjoner fra Engelien og trekantene representerer observasjoner fra Hof-Prestseter.



Figur 3.17. Residualene for modell 5 plottet mot GSF. De svarte sirklene representerer observasjoner fra Lindberget, de tomme sirklene representerer observasjoner fra Engelien og trekantene representerer observasjoner fra Hof-Prestseter.



Figur 3.18. Residualene for modell 5 plottet mot predikerte verdier. De svarte sirklene representerer observasjoner fra Lindberget, de tomme sirklene representerer observasjoner fra Engelien og trekantene representerer observasjoner fra Hof-Prestseter.

Jeg kjørte også her to multiple regresjonsanalyser til, hvor jeg hadde henholdsvis Engelien og Hof- Prestseter som grunnlinjer med den samme responsen og de samme forklaringsvariablene. Jeg fikk da at veksten på både Hof-Prestseter og Lindberget var statistisk signifikant forskjellig fra veksten på Engelien. Forklaringsvariablene høyden i 1993 og GSF var signifikante på 95 % nivå.

3.4.5 Sammenhengen mellom den direkte solstrålingen (DSF) og veksten på de forskjellige forsøksfeltene

Jeg har kjørt en tilsvarende multipl regressjonsanalyse hvor kvadratroten til veksten fra 1994 til 2004 var responsen og forklaringsvariablene var høyden i 1993 og lysvariabelen DSF. Forskjeller mellom de tre forsøksfeltene ble også her testet ved å inkludere indikatorvariabler for stedene Engelien og Hof-Prestseter. Forklaringsgraden på denne modellen ble 44,1 %, men variabelen høyden i 1993 var ikke signifikant. Denne modellen viste også at veksten på Hof- Prestseter ikke var signifikant forskjellig fra Lindberget ved å bruke DSF som forklaringsvariabel.

4. DISKUSJON OG KONKLUSJON

4.1 Materiale og metoder

Det ligger et ganske stort datamateriale bak denne oppgaven. Da jeg var ute for å registrere de dataene som var nødvendig for å gjennomføre oppgaven, var det enkelte observasjoner som ikke stemte overens med de gamle måleresultatene som forelå. Da måtte jeg måle tilbake for å finne høydeveksten for det enkelte år helt tilbake til 1993. Tilbakemåling av vekst var ikke bestandig like enkelt, særlig hvis planten hadde hatt en meget beskjeden høydevekst. Dette er en mulig feilkilde.

Representativiteten på materialet er etter min mening ganske bra. Datamaterialet består totalt av 246 forhåndsforryngede planter som det er gjort høydemålinger på. Jeg har delt opp forhåndsforryngelsen i hver rute på de forskjellige forsøksfeltene i tre høydeklasser. Høydeklassene er 0,50-1,29 m, 1,30-1,99 m og 2,00-2,99 m. Det mest ideelle ville ha vært om man kunne ha delt inn trærne i 0,50 m klasser eller mindre, men da ville det blitt få planter i hver høydeklasse, og derfor har jeg delt inn plantene slik som det er gjort i oppgaven.

Plantene skulle være tilfeldig fordelt rundt omkring på rutene, men dette viste seg å ikke stemme i alle rutene. I enkelte av rutene var veldig mange av de forhåndsforryngede plantene klumpvis lokalisert. Disse plantene stod noen steder skjermet av større trær mens det i åpninger i samme rute ikke fantes planter. Dette kan ha kommet av at under hogsten ble de plantene som stod i nærheten av de trærne som ble tatt ut, så kraftig skadd at de døde (Granhus & Fjeld 2001). Dermed har man fått en slik klumpvis fordeling av forhåndsforryngelsen, som igjen kan ha ført til at enkelte av plantene ikke har fått nyttegjørt den økte solstrålingen, det økte rommet i rotsonen, samt den økte tilgjengeligheten av næringsstoffer.

I gruppehogstrutene på forsøksfeltene Engeli og Hof-Prestseter fantes det ikke forhåndsforryngelse som var over 1,30 m i 1993, og på forsøksfeltet Lindberget var det kun tre planter som tilhørte høydeklasse 1,30-1,99 m. Det hadde jo selvsagt vært best om man hadde hatt trær i flere høydeklasser slik at man hadde hatt sammenligningsgrunnlag med de andre rutene hvor det fantes trær i de større høydeklassene.

Det var 146 planter som ble benyttet til å undersøke sammenhengen mellom veksten og de forskjellige lysverdiene. De plantene som jeg tok hemisfærefotografi av, var alle mellom 0,50-1,50 m høye i 1993. Planter som var høyere enn dette var blitt såpass store sommeren 2004 at det ikke var praktisk mulig å bøye treet til siden for så å ta bildet. Hadde dette blitt gjort ville trærne blitt ødelagt. Dette er årsaken til at jeg benyttet et lavere antall planter til å undersøke sammenhengen mellom plantenes vekst og solstrålingen. Ettersom alle trærne lå innenfor en høydeklasse som strekker seg over en meter delte jeg ikke opp plantene i flere høydeklasser.

4.2 Feilkilder ved bildene og analysene av dem

Været skulle være overskyet når hemisfærefotografiene skulle tas. Dette var for at man skulle få et mest mulig jevnt lys og unngå direkte solskinn som fører til refleksjoner i trekronene. Det skulle også være oppholdsvær, slik at ikke regndråper i trekronene og på linsa førte til refleksjoner av lyset. Under feltarbeidet var jeg så uheldig at det var ganske skiftende vær. Jeg opplevde overskyet vær, sol fra skyfri himmel og regn. De fleste bildene ble tatt under overskyete forhold, men enkelte av bildene ble tatt når skydekket hadde sprukket. Dette førte til at under analysen av bildene, ble helt klar himmel veldig mørk og de registrerte verdiene ble lavere enn det som egentlig var tilfelle. Det motsatte skjedde da det regnet og dråper hang i kronene og reflekterte lyset, da ble en større del av trekronene oppfattet som himmel slik at den relative solstrålingen ble for stor. Dråper på linsa ble oppfattet som himmel når det var stammer eller trekroner foran himmelen, mens dråper på linsa mot himmelen ble delvis svarte. Dette kan man legge merke til på bildene som er gjengitt under materiale og metodedelen (bilde 2.1 og 2.2). På disse bildene er det en hvit flekk på den ene stammen og dette er en regndråpe på linsa.

Da bildene ble analysert i programmet HemiView skulle det subjektivt fastsettes en terskelverdi for hvert bilde. Denne var vanskelig å fastsette fordi når horisonten i bildet ble ganske bra, med tanke på kontrast, ble det altfor lyst i sentrum. Det samme skjedde når lysheten i sentrum var bra, da ble horisonten for mørk. Jeg var nødt til å sette en terskelverdi på hvert bilde som gjorde at det verken ble for mørkt eller for lyst i horisonten. Dette viste seg å ikke ha så mye å si for resultatet man fikk ut av analysen. Selv om denne terskelverdien var ganske forskjellig satt på de samme bildene, ble analyseresultatene ganske like. Dette ser man

av de høye korrelasjonskoeffisientene jeg fikk da jeg sammenlignet de to analysene (tabell 3.7).

Et hemisfærefotografi kan underestimere lysintensiteten inne i en skog som slipper veldig lite lys inn (Ducrey 1975 ifølge Greis & Kellomäki 1981). Dette resultatet hadde Ducrey kommet frem til under en studie av lysstyrke i et bøkebestand (*Fagus ssp*). Bøk er som kjent et treslag som slipper inn veldig lite lys til skogbunnen, og Ducrey's studie viste at under forhold med 90 % skyggelegging ville bildene underestimere lysverdiene slik at de lå 30 % under de korrekte verdiene. Ut i fra dette kan jeg ikke påstå at mine bilder som ble tatt på kontrollflatene viser de korrekte verdiene, men jeg har gått ut fra det.

4.3 Høydeutviklingen

Når man ser på høydeveksten på de forskjellige feltene ser man at det er plantene i de største høydeklassene som har hatt den beste veksten. Dette stemmer bra med undersøkelsene Skoklefald (1967) gjorde i skjermstillinger i Siljan og i Hurdal. Örlander & Karlsson (2000) har også konkludert med, at høyden til forhåndsforryngelsen før hogst er en god indikator på hvordan høydeutviklingen vil være etter hogst hos gran. Ferguson & Adams (1980) så på vekstreaksjon til kjempe-edelgran (*Abies grandis* [Dougl.] Lindl.) etter en skjermstrellingshogst, og de fant ut at høydetilveksten 5 år før hogst var den beste forklaringsvariabelen. Dette vil si at den forhåndsforryngelsen som har den beste veksten mens plantene står i en lukket skog, vil som oftest få en god vekst etter hogst. Dette ble også konklusjonen til Helms og Standiford (1985) som undersøkte høydeutvikling til forhåndsforryngelse av coloradoedelgran (*Abies concolor* (Gord. & Glend.) Lindl. Ex Hildebr.), praktedelgran (*Abies magnifica* (Murr.)) og douglasgran (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), men de hadde i tillegg variabelen kroneprosent og en variabel som forklarte om høydeveksten de fem siste år før hogst forløp synkende, uendret eller økende.

Hvis man ser på rutene på forsøksfeltet Engeli, ser man at plantene i høydeklasse 2,00-2,99 m har hatt den største veksten etter behandlingsformen sterk hogst (tabell 3.1 og figur 3.1). Det som er litt oppsiktsvekkende er at de største plantene i kontrollruta har hatt en betydelig større vekst enn i ruta hvor den svake hogsten var utført. Etter at jeg så på dette sammen med min veileder, fant vi årsaken. I den ene delen av kontrollruta hadde flere større trær tørket ut

og flere av mine prøvetrær i denne høydeklassen lå i denne delen av ruta. Disse hadde da automatisk fått mindre rotkonkurranse fra de store trærne og en større mengde lys hadde sluppet inn til plantene.

Hvis man ser på trender i høydeutviklingen på Lindberget, ser man at i ruta hvor den svake hogsten er utført, har plantene i høydeklasse 1,30-1,99 m hatt en større gjennomsnittlig vekst enn plantene i høydeklasse 2,00-2,99 m (se tabell 3.3). Plantene i den mellomste høydeklassen kan ha stått friere enn plantene i den største høydeklassen. Dette kan tenkes å være årsaken ut i fra den gjennomsnittlige diffuse solinnstrålingen på det samme feltet. Den gjennomsnittlige ISF var atskillig høyere på denne ruten sammenliknet med rutene hvor den svake hogsten var utført på de andre forsøksfeltene (tabell 3.8). Dette blir spekulering fordi jeg ikke har hemisfærefotografi av forhåndsforryngelse som var større enn 1,50 m i 1993, slik at sammenligningsgrunnlaget ikke blir det samme.

4.4 Sammenhengen mellom veksten og % uttak av grunnflaten og gjenstående kubikkmasse pr hektar

Jeg fikk en litt større forklaringsgrad da jeg benyttet gjenstående kubikkmasse i stedet for prosent uttak av grunnflatesummen. Samtidig fikk jeg i modell 2, at veksten på Lindberget og Hof-Prestseter ikke var signifikant forskjellig, men da jeg brukte gjenstående kubikkmasse fikk jeg en signifikant forskjell (modell 3). Veksten mellom de tre forsøksfeltene var også signifikant forskjellig i modell 4. På grunn av at sammenligningsgrunnlaget ikke er det samme kan jeg ikke sammenligne modell 2 og 3 med modell 4.

Da jeg brukte prosent uttak av grunnflatesummen var dette tallet tilnærmet like stort på både Hof-Prestseter og Lindberget. På Hof-Prestseter var uttaket 43 % og 50 % på rutene med henholdsvis svak og sterk hogst. På Lindberget var det 44 % og 56 % på de samme behandlingene. Dette vil være med på å likestille feltene ettersom man brukte et relativt tall i stedet for den virkelige uttatte grunnflatesummen. Ser man på de eksakte tallene for uttatt grunnflatesum så er heller ikke de tallene så veldig ulike for disse feltene, men det er forskjell (se tabell 2.4). Koistinen og Valkonen (1993) har i en studie benyttet uttatt grunnflatesum som en forklaringsvariabel, ved et forsøk på å modellere høydevekst til forhåndsforryngelse av gran og furu etter fristilling. De benyttet den virkelige uttatte grunnflatesummen i sine beregninger. Hvis jeg ser på den gjenstående kubikkmassen i min oppgave, så er derimot forskjellene større

(tabell 2.4). I kontrollruta og ruta hvor den svake hogsten er utført er det ca $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ mer skog igjen på Hof-Prestseter enn på Lindberget. I ruta hvor den sterke hogsten er utført er det ca $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ mer skog igjen på Hof-Prestseter enn på Linberget. Dette er nok en årsak til at jeg fikk en signifikant vekstforskjell mellom forsøksfeltene da jeg brukte gjenstående kubikkmasse som forklaringsvariabel, og ikke fikk noen signifikant forskjell i veksten da jeg brukte forklaringsvariabelen prosent uttak av grunnflatesummen. Jeg mener at det er den gjenstående kubikkmassen som er den beste forklaringsvariabelen av disse to. Dette er jo et eksakt tall og sier noe mer enn det relative tallet prosent uttak av grunnflatesummen. Gjenstående kubikkmasse sier også noe om konkurransen på stedet, i motsetning til prosent uttatt grunnflatesum.

Det er heller ikke så overraskende at veksten på forsøksfeltet Hof-Prestseter er noe større enn veksten på forsøksfeltet Lindberget. Dette begrunner jeg med at det er bedre bonitet på Hof-Prestseter enn Lindberget (tabell 2.4). Det er faktisk ikke så stor forskjell på registrert bonitet på forsøksfeltene Engelian og Hof-Prestseter ifølge registreringene som ble gjort i 1993, selv om det er ganske stor forskjell på veksten hos forhåndsforryngelsen. Vegetasjonsmessig sett er det noe frodigere på Engelian og det virker som det er noe tilsig av næringsrikt vann der. Hvor godt boniteten stemmer på disse tre forsøksfeltene, er usikkert. Det er nemlig ikke så enkelt å bonitere i flersjiktet skog med H_{40} -systemet fordi en slik skog er hogd fra toppen (Andreassen 1992). Når man bruker H_{40} -systemet er det overhøyden i et bestand som blir benyttet. De trærne som står i en flersjiktet skog vil alltid i en fase ha stått undertrykt, slik at de ikke har fått utviklet seg fritt. Dette kan være med på å gi en feilestimering av boniteten i en flersjiktet skog.

Residualplottene for de predikerte verdiene (figur 3.6, 3.10, 3.14 og 3.18) viser at modellene ikke er helt perfekte selv om responsen har blitt transformert til kvadratroten av veksten fra 1994 til 2004. Det er antydning til traktform på disse plottene. Hvis de hadde vært perfekte, ville residualene ligget jevnt spredt rundt 0-linjen. Residualene i den venstre del av plottene ligger systematisk over 0-linja, og dette tyder på at modellen predikerer for lav vekst i forhold til hvordan den observerte veksten har vært. Det er residualene til Lindberget og Hof-Prestseter som ligger i denne delen av plottene. Det kan virke som modellene passer best til veksten på Engelian. Hvis jeg skulle ha fått til en bedre tilpassning burde jeg ha prøvd å transformere en eller to av forklaringsvariablene, eller prøvd å ta hensyn til samspilleffekter mellom forklaringsvariablene i modellene. Hvis jeg hadde gjort dette kunne jeg kanskje ha

fått en modell som hadde forklart veksten bedre. Ved å ta hensyn til samspilleffekter kunne jeg fått en modell for hvert forsøksfelt hvor stigningstallene ville vært forskjellige. Ettersom det ikke var et hovedmål i denne oppgaven å lage en perfekt regresjonsmodell som forklarte veksten på disse tre forsøksfeltene, har jeg valgt å presentere de dataene som jeg har fått ut av mitt arbeid.

4.5 Sammenhengen mellom veksten og de forskjellige lysverdiene

Jeg fant at det var den modellen med diffus solstrålingen som forklaringsvariabel som ga best forklaringsgrad. Jeg brukte diffus solstråling sammen med høyden til plantene i 1993 og fikk at begge variablene var signifikante. Dette stemmer jo ganske godt overens med det Børset (1986) sa at det er den diffuse solstrålingen som har mest å si for veksten til plantene i den boreale skogen.

Da jeg benyttet den globale solstrålingen sammen med plantenes høyde i 1993 fikk jeg at de var signifikante, og jeg fant ut at veksten på forsøksfelt Hof-Prestseter og Lindberget ikke var signifikant forskjellig fra hverandre. Denne modellen hadde en dårligere forklaringsgrad enn modellen hvor diffus solstråling inngikk som forklaringsvariabel. At jeg fikk en dårligere forklaringsgrad her kommer nok av at denne strålingstypen er et resultat av både den direkte og den diffuse solstrålingen.

Til slutt prøvde jeg den direkte solstrålingen som forklaringsvariabel, men den fikk en dårligere forklaringsgrad og høyden i 1993 ble ikke signifikant. Veksten på Hof- Prestseter og Lindberget kunne heller ikke sies å være signifikant forskjellig fra hverandre ved bruk av denne forklaringsvariabelen.

Greis & Kellomäki (1981) gjorde en undersøkelse som gikk på kronestruktur og vekst hos forhåndsforryngelse av gran under forskjellige grader av fristilling. De fant ut at det var en sterk sammenheng mellom plantenes vekst og den diffuse solstrålingen og fotosynteseproduksjonen. Deres arbeid omfattet derimot bare den diffuse solstrålingen og målingene deres var gjort på kun 26 prøvetrær. Greis & Kellomäki mener at det er kun et generelt mønster de har funnet. På grunnlag av sin undersøkelse mener de at den direkte solstrålingen bare har en ubetydelig innvirkning på vekst og utvikling av forhåndsforryngelse av gran. Dette mønstret har gjentatt seg i min oppgave også. Jeg har ikke funnet noe litteratur

hvor noen spesifikt har testet sammenhengen mellom den direkte solstrålingen og veksten hos forhåndsforryngelsen.

Jeg har fått en økning i veksten ettersom kronetaket har blitt mer åpnet og mer lys har kommet inn til plantene på de forskjellige forsøksfeltene. Det generelle lyskravet øker med økende trestørrelse (Messier *et al.* 1999). Dette tyder på at jo høyere trærne blir, jo større krav får de med tanke på tilgjengelig lys. Dermed er det ikke så rart at forhåndsforryngelsen i de største høydeklassene har reagert med stor vekst ved fristilling. De større trærne har sannsynligvis et større vekstpotensial. Men dette er nok også avhengig av andre faktorer på stedet hvor planten vokser. På Engelién har det vært en slik respons i de største høydeklassene. Plantene i den største høydeklassen på Hof-Prestseter har også reagert godt på den sterke hogsten, men på Lindberget har det ikke vært en slik respons. Dette kan tyde på at de stedsbundne forholdene som beliggenhet, bonitet og næringsforhold har mye å si for veksten.

En ting som er merkelig er at den gjennomsnittlige diffuse solstrålingen (ISF) på forsøksfeltet Hof-Prestseter var 0,222 på kontrollruta, mens i ruta hvor den svake hogsten var utført var den bare 0,218 (se tabell 3.8). Vekstreaksjonene skiller seg ikke fra hverandre på disse to rutene. Det som kan ha hatt noe å si for dette resultatet, er at på ruta hvor den svake hogsten var utført, kan forhåndsforryngelsen som det ble gjort målinger på, ha stått i nærheten av større trær. Sirén (1950) fant ut at undertrykte og hemmede planter av gran på steder hvor rotkonkurransen var stor, hadde et høyere topp: rot forhold enn planter som ikke var undertrykte. Økt næring- og vanntilgang samt redusert lystilgang kan øke topp: rot forholdet. Dermed har konkurransen om andre faktorer enn lyset hatt innvirkning på veksten. Lys er ikke den eneste begrensende faktoren for vekst hos forhåndsforryngelse av gran i bestand med en grunnflate på tilnærmet 30 m²/ha (Granhus & Brække 2001), men under kontrollerte forhold ved veldig lav lystilgang har Reed *et al.* (1983) funnet ut at nitrogenkonsentrasjonen har hatt meget liten påvirkning på veksten til douglasgran. Dette kan bety at for større planter har andre faktorer, sammen med lys, mer å si for veksten enn for mindre planter, hvor lyset ser ut til å være den største begrensende faktoren.

Lystilgangen er målt etter vegetasjonsperioden i 2004. Da har det gått 11 år siden hogsten ble gjennomført. På disse årene vil kronetaket ha forandret seg i forhold til hvordan det var rett etter hogsten. En forandring vil naturligvis gå raskere desto bedre bonitet man har. På bedre boniteter vil man ha hatt en større økning i stående volum samt at kronetaket vil slutte seg

fortere enn på mindre gode boniteter. Representativiteten på lystilgangen målt i 2004 som mål på situasjonen i hele 11-årsperioden vil være best på de dårligste bonitetene. Det vil være forsøksfeltet Lindberget som ikke vil ha forandret seg så mye i forhold til hvordan lysforholdene var etter hogst. Den gode veksten på Engelian kan ha ført til at kroneslutning og økningen i stående kubikkmasse har økt betydelig på de 11 årene som har gått. Dette kan ha medført at representativiteten på lysmålingene på dette feltet ikke er den beste på grunn av store forandringer på 11 år.

4.6 Oppsummering/konklusjon

Som oppsummering kan jeg si at høyden til forhåndsforryngelsen før hogst og vekstforholdene på stedet har betydning for hvordan vekstreaksjonen har vært etter fristilling. På forsøksfeltet Engelian er det gode vokseforhold og plantene har reagert med god vekst. På forsøksfeltet Lindberget derimot har ikke plantene reagert med noen stor vekst. Dette kan nok forklares ut fra hvordan forholdene er på disse to stedene med tanke på bonitet og vegetasjonstype. På Engelian er det en småbregnetype som har friskt tilsig av vann, mens på Lindberget er det en tørr blåbærtype på toppen av en ås. På Hof-Prestseter er det også blåbærskog som er vegetasjonstypen, og det har heller ikke her vært noen stor vekst, med unntak av gruppehogstruten i den laveste høydeklassen og sterk hogst ruten i den største høydeklassen. Dette kan tyde på at gjennomhogster på litt bedre mark gir en bedre vekstreaksjon hos forhåndsforryngelsen i forhold til gjennomhogster på dårligere mark.

Gjenstående kubikkmasse pr hektar etter hogst og høyden til forhåndsforryngelsen før hogst, er de to forklaringsvariablene som gir den beste modellen i mine beregninger, av de modellene som ikke inkluderer lysverdier. Skulle jeg ha funnet en bedre modell måtte jeg gått dypere inn i datamaterialet og sett mer på samspilleffekter mellom forklaringsvariablene eller prøvd å transformere en eller flere av forklaringsvariablene.

Når det gjelder de forskjellige lysverdiene fant jeg ut at det var den diffuse solstrålingen som var den beste forklaringsvariabelen til veksten. Den direkte solstrålingen var en meget dårlig forklaringsvariabel.

Det ble funnet en forskjell mellom de to observatører med hensyn på subjektiv bedømming av terskelverdi i HemiView. Men dette viste seg å ikke ha så mye å si for de forskjellige lysverdiene man fikk ut av programmet.

LITTERATURLISTE

- Andreassen, K. 1992. Volumtilvekst og produksjonsevne i fleraldret og flersjiktet granskog. s.14-25 i: Solbraa, K. & Grønvold, S. (red.). Skogøkologi og flersidig skogbruk III. Del B. Skoglige tilpasninger, friluftsliv og konsekvensvurderinger. Rapp. Skogforsk. Nr. 14: 1-54.
- Andreassen, K. 1994. Bledning og bledningsskog – en litteraturstudie. Rapport VIII fra forskningsprogrammet ”Skogøkologi og flersidig skogbruk”. Aktuelt fra Skogforsk nr. 2. 1-23.
- Andreassen, K. 1998. Description of the experimental series ”Alternative forest management”. Upubl. Notat. Skogforsk, Ås. 1-29.
- Andersson, O. 1988. Granmarbuskar som inslag vid beståndsanläggning. *Severly suppressed trees of Picea abies as complement at forest regeneration*. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Yield Research, Report No. 24. Garpenberg. 1-48.
- Anonym. 1999. Hemi View User Manual. Version 2.1. Delta- T Devices Ltd. Burwell, Cambridge. 1-77.
- Børset, O. 1985. Skogskjøtsel 1. Skogøkologi. Landbruksforlaget, Oslo. 1-494.
- Ferguson, D. E. & Adams, D. L. 1980. Response of advance grand fir regeneration to overstorey removal in Northern Idaho. For. Sci. 26(4): 537-545.
- Fries, C., Johansson, O., Pettersson, B. & Simonsson, P. 1997. Silvicultural models to maintain and restore natural stand structures in Swedish boreal forests. For. Ecol. Manage. 94: 89-103.
- Granhus, A. & Brække F. H. 2001. Nutrient status of *Picea abies* stands subjected to different levels of overstory removal. Trees 15: 393-402.

- Granhus, A. & Fjeld, D. 2001. Spatial distribution of injuries to Norway spruce advance growth after selection harvesting. *Can. J. For. Res.* 31 (11): 1903-1913.
- Granhus, A. 2002. Forhåndsgjenvekst – biologi og fristilling. s. 32-41 i: Brække, F. H., Frank, J. & Frivold, L. H. (red.). *Skogskjøtsel for bærekraftig skogbruk. – Norges Landbrukshøgskole. Rapporter 1: 1- 93.*
- Greis, I. & Kellomäki, S. 1981. Crown structure and stem growth of Norway spruce undergrowth under varying shading. *Silva Fennica* 15 (3): 306-322.
- Hannerz, M. & Gemmel, P. 1994. Granföryngring under skärm – en litteraturstudie med kommentarer. Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut. Redogörelse nr. 4: 1-51.
- Helms, J. A. & Standiford, R. B. 1985. Predicting release of advance reproduction of mixed conifers species in California following overstorey removal. *For. Sci.* 31 (1): 3-14.
- Koistinen, E. & Valkonen, S. 1993. Models for height development of Norway spruce Scots pine advance growth after release in southern Finland. *Silva Fennica.* 27 (3): 179-194.
- Larsson, J. Y., Kielland-Lund, J. & Søgne, S. M. 1994. Barskogens vegetasjonstyper. Landbruksforlaget. Oslo. 1-132.
- Larsson, J. Y. & Søgne, S. M. 2003. Vegetasjon i norsk skog – vekstvilkår og skogforvaltning. Landbruksforlaget, Oslo. 1-256.
- Lemmon, P. E. 1956. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *For. Sci.* 2 (4): 314-320.
- Lieffers, V. J., Messier, C., Stadt, K. J., Gendron, F., Comeau, P. G. 1999. Predicting and managing light in the understory of boreal forests. *Can. J. For. Res.* 29 (6): 796-811.
- Lundmark, J. E. 1988. Skogsmarkens ekologi. Ståndortsanpassat skogsbruk. Del 2 – tillämpning. Skogstyrelsen, Jönköping. 1-319.

Løvås, G. 2001. Statistikk – for universiteter og høyskoler. 5.opplag, Universitetsforlaget. Oslo. 1-406.

Messier, C. & Puttonen, P. 1995. Spatial and temporal variation in the light environment of developing Scots pine stands: the basic for a quick and efficient method of characterizing light. Can. J. For. Res. 25 (6): 343-354.

Messier, C. & Parent, S. 1997. Reply – The effects of direct- beam light on overcast- day estimates of light availability: On the accuracy of the instantaneous one- point overcast- sky conditions method to estimate mean daily % PPFD under heterogeneous overstory canopy conditions. Can. J. For. Res. 27 (2): 274-275.

Messier, C., Doucet, R., Ruel, J. C., Claveau, Y., Kelly, C. & Lechowicz, M. J. 1999. Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests. Can. J. For. Res. 29 (6): 812-823.

Montgomery, D. C. & Peck, E. A. 1991. Introduction to linear regression analysis. Second edition. Wiley series in probability and mathematical statistics. John Wiley & Sons, New York. 1-527.

Reed, K. L., Shumway, J. S., Walker, R. B. & Bledsoe, C. S. 1983. Evaluation of the interaction of two environmental factors affecting Douglas- fir seedling growth: light and nitrogen. For. Sci. 29 (1): 193-203.

Sirén, G. 1950. On the biology of undergrown spruce . Acta Forestalia Fennica 58: 1-90.

Skoklefald, S. 1967. Fristilling av naturlig gjenvekst av gran. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen. 13: 381-401.

Skoklefald, S. 1997. Naturlig forryngelse av barskog. Forelesning ved doktorandkurs i Umeå, SLU. 18. september 1997. 1-34.

Solbraa, K. 1996. Veien til et bærekraftig skogbruk. Universitetsforlaget, Oslo. 1-183.

Örlander, G. & Karlsson, C. 2000. Influence of shelterwood density on survival and height increment of *Picea abies* advance growth. Scand. J. For. Res. 15: 20-29.