

OVERJORDISK BIOMASSE FOR SITKAGRAN (PICEA SITCHENSIS) I NORGE.

ABOVE GROUND BIOMASS OF SITKA SPRUCE (PICEA SITCHENSIS) IN NORWAY.

PÅL HAGBART JOHNSEN

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2009



Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på 5 års skogfagsstudier ved Institutt for naturforvaltning, Universitetet for miljø- og biovitenskap. Jeg tok kontakt med Bernt- Håvard Øyen ved Norsk institutt for skog og landskap, regionkontoret i Bergen angående aktuelle masteroppgaver våren 2008. Skog og landskap hadde da startet opp et prosjekt der de gjorde tester på eksisterende biomassefunksjoner (overjordisk biomasse) for gran, furu og bjørk. Vi ble enige om at en utvidelse til sitkagran kunne være interessant, og bestemte oss for å gjennomføre en biomasseundersøkelse for sitkagran.

Jeg vil takke veileder Tron Eid for all nyttig korreksjon og konstruktiv kritikk underveis i oppgaveskrivingen. Biveileder Bernt-Håvard Øyen må jeg også takke for god veiledning under feltarbeidet og oppgaveskrivingen. Uten veiledning fra disse to ville denne oppgaven vært betraktelig vanskeligere å gjennomføre. Jeg er veldig takknemmelig for den jobben de har gjort, og den åpne tonen vi hadde under veiledningen.

Jeg ønsker å takke Jan-Ole Skage og Åge Østgård ved Norsk institutt for skog og landskap i Bergen for laboratoriearbeidet de gjorde med materialet som jeg samlet inn i Bergen. Skog og landskap i Bergen stilte med et forsøksbestand der jeg tok ut prøvetrær. De stilte også med hybel som jeg fikk benytte under feltarbeidet i Bergen.

Grete og Anton Antonsen stilte to av sine sitkabestand til disposisjon der jeg kunne ta ut prøvetrær. Hanne og Magnar Johnsen var til stor hjelp under feltarbeidet i Leirfjord. Jeg er meget takknemmelig for den hjelpen alle fire har bidratt med til denne oppgaven.

Ås, 12. mai 2009

Pål Hagbart Johnsen

Sammendrag

Johnsen, P. H. 2009. Overjordisk biomasse for sitkagran (*Picea sitchensis*) i Norge. Masteroppgave ved Institutt for naturforvaltning, Universitetet for miljø- og biovitenskap. 35 sider.

Denne masteroppgaven omhandler overjordisk biomasse i sitkagran som vokser i Norge. Arbeidet har foregått i kystkommunene Bergen i Hordaland og Leirfjord i Nordland. Hovedformålet har vært å utvikle biomassefunksjoner for norsk sitkagran, videre å teste noen tidligere utviklede biomassefunksjoner for norsk gran opp mot sitkagran. I tillegg har det vært en målsetting å utlede en biomasseekspansjonsfaktor for å kunne estimere CO₂-mengden bundet i norske bestand med sitkagran.

I alt ble 10 trær ble felt og biomassen til hver enkelt tredel registrert. Det ble utviklet biomassefunksjoner for sum overjordisk biomasse og for å kunne predikere biomassen til tredelene stammeved, levende kvister, døde kvister, nåler og bark. Funksjonstypen som ble funnet best egnet hadde følgende form:

$$\ln(Y) = b_0 + b_1 * \ln(D),$$

der Y er biomasse (kg tørrstoff) og D er diameter med bark i brysthøyde (cm). Funksjonen hadde en gjennomsnittlig R² på 0,8, og alle parameterestimatene var signifikante på 0,05- nivå eller bedre.

Det kommer frem at biomassefunksjoner utviklet for norsk gran ikke predikerer biomassen til de forskjellige tredelene i sitkamaterialet tilfredsstillende, og særlig store er avvikene for levende så vel som døde greiner, der sitkagran oppviser langt større verdier for tørrvekt.

Ut i fra testmaterialet ble en biomasseekspansjonsfaktor for CO₂ bindingen i norske sitkagranbestand utledet. Denne biomasseekspansjonsfaktoren ble beregnet til 1,65.

Det er estimert at CO₂-lageret i norske sitkagranbestand utgjør ca. 5,9 mill tonn CO₂. Med en årlig tilvekst i bruttovolum på 0,4 mill m³ tilsvarer det en årlig binding i overjordisk biomasse på 0,52 mill tonn CO₂. Med et samlet norsk utslipsnivå på ca. 55 mill tonn kompenserer opptaket i sitkabestandene for om lag 1 % av nasjonalt samlet CO₂ utslipp.

Summary

Johnsen, P. H. 2009. Above ground biomass of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) in Norway. Master thesis, Department of Ecology and Natural Resource Management, Norwegian University of Life Science. 35 pages.

The aim of this master thesis has been to obtain basic knowledge on above ground biomass for Sitka spruce planted in Norway. The main objective has been to develop biomass functions for Norwegian Sitka spruce. Another objective has been to test previously developed biomass function for Norwegian spruce against Sitka spruce and to develop a biomass expansion factor that can be applied to predict CO₂ storage in Norwegian Sitka spruce.

The fieldwork was conducted in Bergen and Leirfjord municipality, in western Norway. Totally 10 trees were destructively sampled and the biomass of every tree component registered. It was develop total aboveground- and tree component biomass functions so that the total biomass and the biomass in stem wood, living branches, dead branches, needles and bark could be predicted. The biomass function with the best performance had following form:

$$\text{Ln}(Y) = b_0 + b_1 * \text{Ln}(D),$$

where Y is biomass (kg dry weight) and D is diameter with bark in breast height (cm). Average R² value for this function was 0,8, and every parameter estimate was significant at 0,05- level or better.

This work shows that previous developed biomass functions for Norway spruce, do not predict biomass of the different tree components whit the same accuracy as the best function from the present study. The deviations are particularly large for living as well as dead branches where Sitka spruce shows far larger values for dry weight.

From the test material a biomass expansion factor was developed so that the CO₂ storage in Norwegian Sitka forests could be estimated. This biomass expansion factor was quantified to 1,65.

The amount of stored CO₂ in above ground biomass in stands of Sitka spruce in Norway accounts for approximately 5,9 mill tons. With an annual estimated growth in Sitka spruce stands in Norway of 0,4 mill m³, the annual net uptake is approximately 0,52 mill tons of CO₂, which corresponds to approximately 1 % of the gross national emissions of CO₂.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning.....	1
1.2 Problemstilling	3
2. Materiale og metode.....	4
2.1 Voksestedbeskrivelse.....	4
2.2 Registreringer og biomassebestemmelse	5
2.3 Beregninger	11
3. Resultat.....	15
3.1 Biomassefunksjoner for sitkagran	15
3.2 Tester mot biomassefunksjoner for gran	22
3.3 CO ₂ - binding for sitkagran i Norge	23
4. Diskusjon.....	25
4.1 Datamaterialet.....	25
4.2 Valg av modell	26
4.3 Sammenligning mellom Marklund (1988), Lehtonen (2004) og modell 4	28
4.4 Biomasseekspansjonsfaktor.....	30
4.5 CO ₂ estimerer.....	31
5. Konklusjon	33
6. Litteratur.....	34
Vedlegg	

1. Innledning

Sitkagran (*Picea sitchensis*) kommer fra et kystbelte som strekker seg fra California til Alaska i Nord- Amerika, og er tilpasset oseanisk klima med betydelig vind- og saltpåkjenninger (Solbraa 2001). Sitkagran i Nord-Amerika blir betydelig større enn sitkagran i Norge, i Nord-Amerika kan sitkagran bli om lag 100 meter høy (se for eksempel Weider & Skogstad 1999), mens i Norge er høyeste sitkagran på Tippetue, Fløyen ved Bergen målt til 46 m (2006).

Sitkagran ble først innført og plantet på Vestlandet mot slutten av 1800-tallet, og ble plantet fra 1920-tallet. Hovedtyngden av plantefeltene er etablert mellom 1965 og 1985, slik at bestandene fortsatt er relativt unge. Det er i alt tilplantet ca. 500 000 daa. med sitkagran i Norge, størstedelen er i Nordland (137 000 daa.) (Øyen 2005). Sitkagran er det innførte treslaget som det er plantet mest av i Norge (Øyen 2004), og har vist seg velegnet på Vestlandet og i Nord-Norge. Sitkagran (heretter kalt sitka) vokser relativt raskt, og har en høyere volumproduksjon enn vanlig gran (*Picea abies*) under samme vekstforhold. Settes sitkaproduksjonen till 100 %, er det estimert at i gjennomsnitt vil dunbjørk (*Betula pubescens*), furu (*Pinus sylvestris*) og gran utvise hhv. 24, 38 og 74 % av produksjonsevnen på samme voksested (Øyen & Tveite 1998). Sitka er først og fremst et kysttre som trives godt i fuktig kystklima, men treslaget har også blitt plantet med godt resultat i skogstrøkene (Vadla 2008). Det største vekstmessige fortrinn fremfor andre treslag har sitka vist på voksesteder utsatt for sterk vind og sjøsalt (Bauger & Smitt 1960).

For sitka i Norge er det utviklet volumfunksjoner, på og under bark, av Bauger (1995), videre beregnet Bauger kubikktabeller for disse funksjonene. Under dette arbeidet utviklet også Bauger funksjoner for bestemmelse av barkvolumprosenten. Materialet som disse volumfunksjonene er bygget på kommer fra Vestlandet og kyststrøk i Nordland. Det er også utviklet et boniteringssystem for sitka i Norge av Orlund (2001). Dette materialet er samlet inn fra 1921 fram til 1995, og representerer kystfylkene fra Vest- Agder til Møre og Romsdal. Øyen (2005) benyttet dette boniteringssystemet samt et sett av nye tilvekstfunksjoner for å utvikle nye produksjonstabeller for treslaget.

Biomassefunksjoner brukes for å estimere biomassen til trær. Det er et godt redskap i bioenergisammenheng, for å predikere de forskjellige tredelenes størrelse, og når CO₂-bindingen i trærne skal beregnes.

Når man skal beregne karbonbinding i skogen er det nødvendig å vite tørrstoffinnholdet i trærne. I rå ved utgjør vann omtrent halvparten av vekten. Når vannet er fjernes ved tørking ned til 0 % fuktighet, er det bare tørrstoff igjen (Weider & Skogstad 1999). Karbonet i lufta bindes i veden til trærne, og er det grunnstoffet som det er mest av i trevirket, og utgjør ca. 50 % av tørrstoffet til trevirket (Nagoda 1982). Biomassefunksjoner er et bra verktøy for å predikere mengden av de forskjellige tredelene. Hvis man til bioenergiformål vil utnytte for eksempel greiner til brensel, kan man med enkle inngangsverdier, som for eksempel diameter i brysthøyde, benytte en biomassefunksjon for å estimere hvor mye greinbiomasse det er pr. tre eller i et bestand. Biomasseekspansjons-faktorer (BEF) er også en enkel måte for å predikere biomassen på. BEF regnes normalt som forholdstallet mellom overjordisk biomasse og volumet av stammeved. Kjenner man den overjordiske biomassen, kan man predikere karbon og videre CO₂ som er lageret i trevirket.

Biomassefunksjoner for enkelttrær benyttes for å anslå tørrstoffet i stammeved, greiner, bar, bark, stubbe, røtter og for hele treet. Biomassen av et tre kan følgelig bli utledet på flere måter; som summen av enkeltkomponentene eller den totale biomassen direkte. Differansen mellom de to metodene og den observerte biomassen kan bli sammenlignet for å bestemme hvilken metode som gir de mest nøyaktige estimatene (Velle 1995). Biomassefunksjoner angir ressursfordelingen i treet og kan også bli brukt til å modellere innholdet av vann, næringsstoffer og karbon i trærne (Green et al. 2005).

Det foreligger, så langt det er brakt på det rene, ingen biomassefunksjoner for sitka plantet i Norge. I Europa er det også lite arbeid som er gjort på området, unntatt for Irland og Storbritannia. Tobin & Nieuwenhuis (2005) utførte over- og underbakkeregistreringer av biomasse i sitkabestand i Irland og utledet en biomasseekspansjonsfaktor fra dette arbeidet. Green et al. (2005) undersøkte fordelingen av biomasse over og under bakken i et utynnet bestand med sitka i Irland. Black et al. (2004) utviklet biomasseekspansjonsfaktorer for sitkagran fra Irland. Levy et al. (2004) presenterte biomasseekspansjonsfaktorer for sitka i Storbritannia, basert på 1096 trær. Zianis et al. (2005) har sammenstilt biomassefunksjoner av en rekke treslag i Europa. Det eneste som omfatter sitka, er en skotsk funksjon for røtter. Muukkonen & Mäkipää (2006) jobbet videre med prosjektet til Zianis et al. (2005), men heller ikke i dette arbeidet kom det fram noe mer om sitka. Det alt vesentlige som forefinnes om biomasse i sitka stammer fra dens hjemland, USA og Canada (se for eksempel Ung et al. 2008). Hvorvidt biomassefunksjoner bygget på naturskog i USA og Canada er egnet når man skal beregne biomasse i kulturbestand i Europa er fortsatt uavklart.

Bakgrunnen for dette arbeidet var et ønske om å framskaffe mer kunnskap om overjordisk biomasse for sitka plantet i Norge. Et spørsmål er om biomassefunksjoner utviklet for den nært beslektede arten norsk gran kan brukes med tilfredsstillende nøyaktighet for sitka. Det kunne være naturlig å spørre seg om to så tilsynelatende like treslag som gran og sitka egentlig krever hver sin biomassefunksjon.

1.2 Problemstilling

Hovedformålet med denne oppgaven er å bestemme overjordisk tørrstoffinnhold og dens fordeling i sitkagran i Norge. Dette inkluderer følgende delproblemstillinger;

- 1) Å utvikle biomassefunksjoner for sitka i Norge (total biomasse og ulike tredeler).
- 2) Å teste tidligere utviklede biomassefunksjoner for gran mot materialet samlet inn for sitka.
- 3) Å framlegge en biomasseekspansjonsfaktor med bakgrunn i materialet innsamlet i denne oppgava, og ved hjelp av denne;
- 4) Anslå hvor mye CO₂ som er bundet i den overjordiske biomassen til sitka i Norge.

2. Materiale og metode

2.1 Voksestedsbeskrivelse

Materialet kommer fra de to fylkene i landet hvor det er plantet mest sitkagran, Nordland med ca. 137 000 daa. og Hordaland med ca. 61 500 daa. (Øyen 2005). Datainnsamlingen foregikk i tre bestand og representerer således sitkagran i en gradient fra kysten av Sør- Norge og opp til nordlige utplantningsområder i Nord- Norge. Boniteten fra bestandet i Hordaland er svært høy (S- 30), mens boniteten i bestandene i Nordland er middels til låg (S- 17). Alderen på trærne varierte fra 12 til 61 år.

Bestand nr. 1, Sele

Sele ligger i Bergen kommune i Hordaland fylke (Figur 1) (60°16' N, 05°23' Ø). Den årlige middeltemperaturen er 6,7 °C og det faller 2041 mm nedbør årlig (1961-1990) (Meteorologisk institutt 2009).

Bestandet ligger i nordhelling og er et forsøksbestand til Norsk institutt for skog og landskap. Bestandet skiller seg ut fra nabobestandene som det med klart størst overhøyde, og ble plantet i 1946, på tidligere beitemark. Nabobestandene er av forskjellige fremmede treslag. Hele bestandet er på ca. 4,0 daa., mens forsøksruten er i underkant av 1 daa. Feltet må betegnes å være i en sen hogstklasse IV, boniteten er beregnet til S- 30. Ved siste revisjon i 2008 sto det 117 m³ pr. daa. Proveniensen er Petersburg, Alaska. Alle de fem prøvetrærne fra Hordaland ble tatt ut i dette bestandet.

Bestand nr. 2 og 3, Løkås

Løkås ligger i Leirfjord kommune i Nordland fylke (Figur 1) (66°04' N, 12°52' Ø). Den årlige middeltemperaturen er 5,7 °C og det faller 1769 mm nedbør i året (1961-1990) (Meteorologisk institutt 2009).

Bestand 2 ligger i sørhelling, den sørlige delen av bestandet grenser mot en elv og den nordlige delen grenser mot en skogsbilveg. Tidligere var bestandet gran, men i 1960 ble dette sluttavvirket, og sitkagran ble plantet i 1962 med proveniens Kenai Alaska, Seward. Bestandet er på 4,9 daa. og er i hogstklasse IV, boniteten er beregnet til S- 17. Nabobestandet i vest er norsk gran i hogstklasse II (overhøyde 1 m), mens nabobestandet i øst er norsk gran i hogstklasse II (overhøyde 6 m). Det er fire prøvetrær som kommer fra dette bestandet.

Bestand 3 ligger i bratt sørhelling. I sør grenser bestandet til en myr, i nord, vest og øst grenser bestandet mot glissen skog med gran og bjørk. Bestandet ble tilplantet på snau skogsmark i 1967 med proveniens Kenai Alaska, Seward, boniteten er beregnet til S- 17. Bestandet er på 7,0 daa., og er i hogstklasse III. Fra dette bestandet ble ett prøvetre tatt ut.

Boniteten til bestand 2 og 3 var i skogbruksplanen satt til G- 14. Ved omregning av granboniteten til sitkabonitet etter Orlund (2001), ble boniteten beregnet til S- 17.



Figur 1: Bestand 1, Bergen og bestand 2 og 3, Leirfjord

2.2 Registreringer og biomassebestemmelse

For å få et mest mulig representativt materiale, ble lagt vekt på å samle inn data fra herskende, medherskende og undertrykte trær med forskjellig plassering i bestandet (Tabell 1). Det ble også lagt vekt på at prøvetrærne skulle ha variasjon i størrelse, fra juletræstørrelse til grovt

sagtømmer (Tabell 2), samtidig som trærne skulle ha normal form og avsmalning. Prøvetrærne ble skjønnsmessig valgt ut slik at disse kriteriene ble oppfylt.

Tabell 1: Lokalisering og sosial status til prøvetrærne

Prøvetre	Bestand	Lokalitet	Plassering i bestandet	Sosial status
S 1	1	Bergen, Sele	Før innesluttet, nå kanttre ¹	Undertrykt
S 2	1	Bergen, Sele	Innesluttet	Herskende
S 3	1	Bergen, Sele	Innesluttet	Medherskende
S 4	1	Bergen, Sele	Innesluttet	Medherskende
S 5	1	Bergen, Sele	Naturlig forynget, utkant	Medherskende
S 6	2	Leirfjord, Løkås	Glissen del av bestandet	Herskende
S 7	2	Leirfjord, Løkås	Naturlig forynget, utkant	Medherskende
S 8	2	Leirfjord, Løkås	Innesluttet	Medherskende
S 9	3	Leirfjord, Løkås	Innesluttet	Undertrykt
S 10	2	Leirfjord, Løkås	Kanttre	Herskende

¹Treet ble stående i ny bestandskant etter stormfelling av deler av bestandet.

Registreringene på prøvetrærne ble gjort etter at treet var felt med motorsag, på fallende kant. På hvert enkelt tre ble det gjort følgende registreringer:

- Diameter i brysthøyde (kryssklaving)
- Diameter ved 0,5m, 1,5m, 2,5m... og til treets topp (kryssklaving)
- Barktykkelse (dobbel) ved 0,5m, 1,5m, 2,5m... og til treets topp
- Siste 5 års høydetilvekst (m)
- Høyde opp til nederste grønne grein og nederste grønne greinkrans (1/3 friske kvister)
- Trehøyde i meter
- Kvistantall (friske og tørre)

Diametere og barktykkelse

- Stammen til prøvetrærne ble inndelt i 1- meters seksjoner fra rotavskjær. Det ble målt diametere med kryssklaving på stammen fra 0,5 meter fra rotavskjær og videre for hver

meter fra dette punktet til treets topp. Dette for å få midtdiameteren til hver meterseksjon. Middeltallet for kryssklavingen ble beregnet, og midtflateformelen (Fitje & Strand 1989) ble brukt for å bestemme volumet for hver seksjon. Volumet til meterseksjonene ble summert og stammevolumet for hele treet over stubbe ble deretter beregnet. Dobbel barktykkelse ble registrert med samme intervall. Barkvolumet ble beregnet som differansen mellom volum på og under bark.

Siste 5 års høydetilvekst

- Lengden (m) fra toppen av treet ned til femte greinkrans ble målt med målebånd for å finne høydetilveksten siste 5 år til hvert enkelt tre. For de minste trærne ble siste 3 års tilvekst målt på samme måte.

Nederste grønne grein, nederste grønne greinkrans

- Lengden (m) fra rotavskjær til nederst grønne grein og nederste grønne greinkrans ble målt for å fastsette hvor stor del av treets krone som var levende. Lengden på den levende krona til treet ble regnet ut i prosent av trelengden, det for å få et mål på hvor stor andel av trekorna som var levende. Større andel levende trekrone vil normalt si større overjordisk biomasse.

Fra hvert tre ble det kappet ut stammeskiver på 4-6 cm tykkelse, ved rotavskjær, i brysthøyde, ved 5 m fra rotavskjær og ved 30, 50 og 80 % av trehøyden. For prøvetre S- 7, som kun var 2,5 m høyt, ble stammeskiven som skulle bli tatt ut ved 5 meter fra rotavskjær, tatt ut 2 meter fra rotavskjær. På stammeskivene ble massen registrert og tørrdensiteten bestemt på følgende måte;

Masse

- Stammeskivene ble veid på en digital vekt (nøyaktighet 0,1 gram), stammeskiver over 5 kilogram ble veid med en analog vekt (nøyaktighet 0,1 kilogram), i rå tilstand med barken på. For at barken skulle slippe stammeveden lett, ble barken fjernet fra stammeskivene rett etter veiing i rå tilstand. Stammeskivene og barken ble deretter tørket hver for seg til de var helt tørre, for så å bli veid i tørr tilstand. Stammeskiver og bark ble tørket ved 60 °C i minst 3 døgn. Materialet fra bestandet i Sele ble tørket i tørkeskap, mens materialet fra Løkås ble tørket i stekeovn. For å kontrollere om materialet var helt tørt, ble materialet tatt ut av tørkeskapet etter ca 2,5 døgn og veid

på nytt. Hadde vekten falt ytterligere når prøvene ble veid etter 3 døgn, ble de tørket lengre. Da vekten av stammeskivene var stabil, ble stammeskivene ansett som helt tørre. Barken som ble tørket trengte aldri mer enn 3 døgn tørking.

Volum og densitet

- Tørrdensiteten, etter Kollmann (1968), ble funnet ved å dividere tørr vekt på tørt volum for hver av stammeskivene. Volumet til stammeskivene ble funnet ved at de ble dyppet i vann. Det ble satt et kar med vann på vekta som stammeskivene ble dyppet ned i, og volumet (cm^3) av stammeskivene ble lest av vekta. Det ble skåret ut tre deler av de største stammeskivene før volum og vekt ble beregnet for hver av delene. Densiteten til hver av delene ble beregnet, og snittet av densiteten til de tre delene av stammeskiven ble brukt som densiteten til stammeskiven. Stammeskivene som var for små til at det kunne skjæres ut 3 deler av, ble dyppet hele. Den densiteten som ble brukt videre for trærne, var gjennomsnittet av alle stammeskivene til treet (Tabell 2).

Tabell 2: Diameter med bark i brysthøyde, høyde, alder, volum under bark, densitet og levende krone for alle prøvetrærne.

Prøvetre	Diameter (cm)	Høyde (m)	Alder (år)	Volum (dm^3 u/b)	Densitet (g/cm^3)	Levende krone (%)
S 1	15,8	17,7	51	152,9	0,477	34
S 2	43,2	34,0	61	2207,7	0,397	44
S 3	33,6	33,0	58	1208,2	0,440	33
S 4	26,7	26,5	53	588,6	0,438	52
S 5	11,0	9,4	17	30	0,386	100
S 6	26,3	15,5	49	331,8	0,395	86
S 7	2,2	2,6	12	0,8	0,514	100
S 8	30,3	19,3	53	566,4	0,397	50
S 9	10,2	9,5	42	26,9	0,427	57
S 10	33,5	16,2	47	482,4	0,430	74

For å kunne beregne kvistmassen til prøvetrærne, ble det totale kvistantallet registrert. Det ble også tatt ut prøvekvister slik at man kunne få en representativ størrelse på kvistene for hele treet. Første prøvekvist som ble samlet inn var fra tredje greinkrans fra treet topp, neste prøvekvist ble tatt fra femte greinkrans. Etter den femte greinkransen ble det samlet inn en prøvekvist fra hver tredje greinkrans nedover treet. Sitkagran er et treslag som kan skyte

perlekvister. Var det perlekvister mellom greinkransene, ble et skjønnsmessig antall perlekvister valgt ut og lagt sammen med prøvekvisten for vedkommende greinkrans. Prøvekvistene ble valgt ut etter fallende kant, det vil si den kvisten i greinkransen som var på oversiden av treet etter at treet var felt. Det ble skilt mellom levende og døde kvister. Kvister uten barnåler ble definert som døde. I tilfeller der kvistkransen hadde både friske og døde kvister, ble det tatt ut en frisk og en død prøvekvist fra greinkransen. Hver enkelt av de friske prøvekvistene ble sortert i hver sin pose, de døde prøvekvistene ble samlet i en samleprøve. Prøvekvistene ble klippet opp i deler slik at de ble lettere å håndtere. Registreringer som ble gjort for hver prøvekvist var;

Kvistdiameteren

- Prøvekvistene ble kappet av treet helt inne ved trestammen og diameteren ble målt med skyvelære ved kappstedet.

Kvistlengden

- Lengden til kvisten ble målt med målebånd fra der hvor den ble kappet av ved stammen til den lengste enden av kvisten.

Vekt

- Kvisten ble først veid i rå tilstand. På laboratoriet ble posene oppbevart luftig, dette for at det ikke skulle bli sopp og muggdannelse på kvisten. Etter noen uker med lufttørking ble kvister med nåler tørket ved 60 °C i 3 døgn. Etter tørking ble nålene skilt fra den levende kvisten. Kvist og nåler ble så veid hver for seg. Samleprøvene av de døde kvistene ble tørket og veid sammen. Den totale kvist- og nålebiomassen til trærne ble funnet ved å summere tørrvekta av alle prøvekvister og nålene til kvistene. På de prøvekvistene der det var kongler, ble konglene fjernet fra kvisten før veiing. Kongler er altså ikke tatt med i biomasseregistreringene.

Ved å multiplisere volum uten bark med densiteten til treet ble den faste biomassen i kilogram til det enkelte treet funnet. For bark ble en fast densitet (Vadla 2008) brukt for å finne barkbiomassen. Barkdensiteten som Vadla beregnet som middeldensiteten for materialet sitt, var 351 kg/m³. Ved å summere vekten av stamme, levende kvister, døde kvister, nåler og bark ble den totale biomassen til hvert prøvetre funnet (Tabell 3).

Tabell 3: Tørrvekt i kg og % for hver enkelt tredel til prøvetrærne og total biomasse

Prøvetre	Stamme		Levende greiner		Døde greiner		Nåler		Bark		Total biomasse	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
S 1	72,9	55,4	1,1	0,8	49,3	37,5	0,8	0,6	7,5	5,7	131,6	100
S 2	876,4	78,1	73,3	6,5	100,1	8,9	31,8	2,8	40,5	3,6	1122,1	100
S 3	531,6	62,4	26,4	3,1	245,6	28,8	14,1	1,7	34,6	4,1	852,3	100
S 4	257,8	63,1	49,8	12,2	55,9	13,7	24,4	6,0	20,5	5,0	408,4	100
S 5	11,6	45,8	5,4	21,3	0,0	0,0	5,8	23,0	2,5	9,9	25,3	100
S 6	131,0	43,8	63,0	21,1	39,7	13,3	49,1	16,4	16,0	5,4	298,8	100
S 7	0,4	23,5	0,5	29,4	0,0	0,0	0,7	41,2	0,1	5,9	1,7	100
S 8	224,9	41,6	36,1	6,7	230,0	42,5	23,9	4,4	25,9	4,8	540,8	100
S 9	11,5	20,6	5,2	9,3	19,5	35,0	17,5	31,4	2,1	3,8	55,7	100
S 10	207,4	41,1	112,5	22,3	110,5	21,9	52,6	10,4	21,8	4,3	504,8	100

For å undersøke om prøvetrærnes form og avsmaling er lik det sitkagran normalt har i Norge, ble det utført en test der prøvetrærne ble satt inn i volumfunksjonen som Bauger (1995) utviklet for sitkagran på Vestlandet. Materialet til Bauger er i likhet med materialet i denne oppgaven seksjonsmålt med 1- meters seksjoner. Funksjonene som ble brukt var volumfunksjon på bark og hadde følgende form:

$$V = 0,1614 * H^{3,7060} * D^{1,9747} * (H-1,3)^{-2,2905} * (D+100)^{1,1855}$$

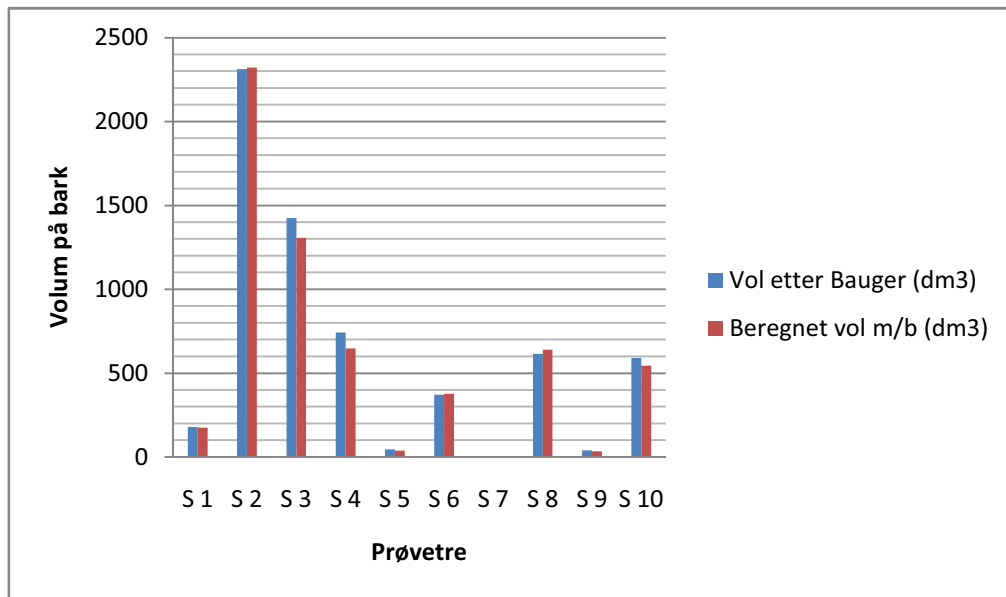
Hvor:

V = Volum over stubbe med bark, dm³

H = Trehøyde over stubbe (m)

D = Diameter i brysthøyde på bark (cm)

Som vist i figur 2, er det svært god sammenheng mellom volumet observert for prøvetrærne og volum beregnet med volumfunksjonen til Bauger (1995).



Figur 2: Forhold mellom målt volum m/bark og volum beregnet med volumfunksjon av Bauger (1995).

2.3 Beregninger

Dataprogrammet SAS JMP 7 (JMP 2002) ble brukt for å lage biomassefunksjoner. Det ble laget funksjoner for biomassen i stamme, levende greiner, døde greiner, nåler, bark og total biomasse. Tester ble gjort av forskjellige regresjonsmodeller for å se hvilken funksjonstype som ga best sammenhenger. De forskjellige modelltypene som ble testet ut hadde disse generelle formene:

Modell 1: $Y = b_0 + b_1 * D$

Modell 2: $Y = b_0 + b_1 * D^2$

Modell 3: $Y = b_0 + b_1 * D^2 + b_2 * H$

Modell 4: $\ln(Y) = b_0 + b_1 * \ln(D)$

Modell 5: $\ln(Y) = b_0 + b_1 * \ln(D) + b_2 * \ln(H)$

Hvor: $Y = \text{Biomasse (kg tørrstoff)}$

$D = \text{Diameter i brysthøyde på bark (cm)}$

$H = \text{Trehøyde over stubbe (m)}$

b_0, b_1, b_2 er regresjonskoeffisienter

For å rangere hvilken av disse modellene som hadde de beste statistiske egenskapene, ble det sett på R^2 , R^2_{adj} og RMSE. Forklaringsgraden til modellen uttrykkes med R^2 , som uttrykker hvor godt modellen passer til det datasettet som er grunnlaget for modellen. R^2 uttrykkes som:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

Hvor SSR uttrykker den forklarte variasjonene og SST er den totale variasjonen.

R^2_{adj} er et alternativ til R^2 som er tilpasset etter antall parametere i modellen. Den justerte R^2 er gitt som:

$$R^2_{adj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) (1 - R^2)$$

Hvor n er antall observasjoner og p er antall regressorer inkludert konstantleddet.

RMSE forteller oss hvor langt unna regresjonslinja man kan regne med å komme. RMSE gir et estimat på kvadratroten av variansen til modellen. Formelt blir den uttrykt som:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}$$

Hvor $\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2$ er summen av alle prediksjonenes kvadratavvik fra den sanne responsverdi.

I tillegg ble det sett på om parametrene var signifikante og på hvilket nivå de var signifikante. Signifikansnivåene som ble registrert var 0,001 (***), 0,01 (**) og 0,05 (*).

Funksjonene ble testet på den måten at diameter i brysthøyde og høyden til prøvetrærne ble satt inn i funksjonene, og avviket mellom den predikerte biomassen ble sett opp mot den observerte biomassen.

Det ble utført testing av datasettet samlet inn i denne oppgaven mot eksisterende biomassefunksjoner for norsk gran. Dette ble gjort for å se om funksjoner for norsk gran kan brukes i sin eksisterende form for å beregne biomassen til sitkagran. Marklund (1988) lagde biomassefunksjoner for norsk gran i Sverige. Disse funksjonene predikerer tredelene

stammeved, levende greiner, døde greiner, bark og nåler. Lehtonen et al. (2004), har laget en biomassefunksjon for norsk gran i Finland. Denne funksjonen predikerer biomassen i de forskjellige tredelene, karbon, CO₂ innhold for enkelttre og bestand.

For å kunne estimere CO₂ mengden lagret og som årlig blir bundet i norsk sitkagran, ble det beregnet en biomasseekspansjonsfaktor på basis av testmaterialet. Med årlig CO₂- binding menes at man beregner CO₂- bindingen knyttet til den årlige tilveksten. Eventuell binding i stubbe, finrøtter, grovrøtter og i humus og mineraljord er da ikke inkludert.

Biomasseekspansjonsfaktoren for materialet ble laget ved at vi summerte opp stammevolumet under bark for de 10 prøvetrærne. For å fastslå tørrstoffet til dette volumet, ble snittet av tørrdensiteten til prøvetrærne brukt. Den overjordiske biomassen til prøvetrærne ble summert opp og dividert på tørrstoffet til stammene.

Biomasseekspansjonsfaktor for materialet ble funnet på følgende vis:

$$BEF = OJB / (Vol\ u/b * \rho_{0,0})$$

Hvor:

BEF = Biomasseekspansjonsfaktor

OJB = Overjordisk biomasse (kg tørrstoff)

$\rho_{0,0}$ = Tørrdensitet

Videre for å beregne karboninnholdet (C) til materialet, ble den overjordiske biomassen multiplisert med 0,5. På denne måten ble karbonet som er lagret i prøvetrærne bestemt. For å beregne CO₂ lagret i prøvetrærne, ble karbonlagret multiplisert med 3,667².

For å kunne estimere CO₂ bundet i sitkagran i Norge, ble det brukt tall fra Skog og landskap. Landsskogstakseringen har estimert stående kubikkmasse under bark for sitkagran i Norge til å være i overkant av 4millioner m³, og Øyen (2005) har ut fra tilvekstberegninger beregnet et stående volum på 4,6 mill m³. Denne kubikkmassen ble multiplisert med snittedensiteten for materialet i denne oppgave for å finne tørrstoffet. Videre ble dette tørrstoffet multiplisert med biomasseekspansjonsfaktoren og den overjordiske biomassen deretter predikert.

² 3,667 er forholdet mellom atomvekten til to oksygenmolekyl og ett karbon molekyl.

Øyen (2005) har kommet fram til at det er 500 000 daa. som er tilplantet med sitkagran i Norge. Forutsetter man at gjennomsnittstilveksten på dette arealet er $0,8 \text{ m}^3/\text{daa}/\text{år}$, får man en årlig tilvekst på ca. 400 000 m^3 . Med den årlige tilveksten kan man beregne hvor mye CO_2 som årlig bindes i norsk sitkagran.

3. Resultat

3.1 Biomassefunksjoner for sitkagran

Tabell 4-8 viser konstantleddet og parameterestimatene til de uavhengige variablene for de forskjellige modellene, både for funksjonene med total biomasse og biomassen til de ulike tredelene. I tillegg viser tabellene ulike statistiske størrelser som R^2 , R^2_{adj} og RMSE. Signifikansnivået til de forskjellige uavhengige variablene kommer også fram.

Tabell 4: Modellparametre for modell 1 ($Y = b_0 + b_1 \cdot D$)

Modell for:	Konstantledd	D (cm)	R^2	R^2_{adj}	RMSE (kg)
Stamme	-187,4714	18,077**	0,703	0,666	160,1
Levende greiner	-14,7865	2,2433**	0,595	0,545	25,2
Døde greiner	-22,37903	4,6233*	0,451	0,383	69,6
Nåler	0,3047208	0,93675*	0,433	0,362	14,6
Bark	-7,216203	1,0489436***	0,918	0,908	4,3
Total Biomasse	-231,5491	26,929723***	0,861	0,843	147,7

* signifikant på 5 % nivå, ** signifikant på 1 % nivå, *** signifikant på 0,1 % nivå

Det framgår av tabell 4 at diameter i brysthøyde gir et signifikant bidrag til å forklare variasjoner i biomasse både for total biomasse og biomassen til alle de ulike tredelene hver for seg. Parameterestimatene for alle modellene er signifikante på 0,05- nivå, to av dem er signifikante på 0,001- nivå. Forklaringsgraden er høyest for funksjonene for total biomasse og bark med R^2 på henholdsvis 0,861 og 0,918, mens den er lavest for døde greiner og nåler.

Tabell 5: Modellparametre for modell 2 ($Y = b_0 + b_1 \cdot D^2$)

Modell for:	Konstantledd	D^2 (cm)	R^2	R^2_{adj}	RMSE (kg)
Stamme	-66,04432	0,4333506***	0,847	0,828	115,1
Levende greiner	4,5915293	0,0475209*	0,559	0,504	26,3
Døde greiner	21,491911	0,0922308	0,376	0,298	74,2
Nåler	9,3286102	0,0184911	0,353	0,272	15,6
Bark	1,3037953	0,0230057***	0,925	0,916	4,1
Total Biomasse	-29,32877	0,6145981***	0,939	0,931	97,6

* signifikant på 5 % nivå, ** signifikant på 1 % nivå, *** signifikant på 0,1 % nivå

Tabell 5 viser at diameter kvadrert ikke gir et signifikant bidrag til å forklare variasjoner i biomassen for døde greiner og nåler. Forklaringsgraden er også lav for disse to tredelene med R^2 på henholdsvis 0,376 og 0,353. Parameterestimatene for funksjonen for levende greiner er signifikant på 0,05- nivå, mens parameterestimatene for funksjonene for stamme-, bark-, og den totale biomassen er signifikant på 0,001- nivå.

Tabell 6: Modellparametre for modell 3 ($Y = b_0 + b_1 * D^2 + b_2 * H$)

Modell for:	Konstantledd	D^2 (cm)	H (m)	R^2	R^2_{adj}	RMSE (kg)
Stamme	-154,2688	0,2804017*	10,542589	0,894	0,863	102,6
Levende greiner	25,064122	0,0830128**	-2,44642	0,697	0,611	23,3
Døde greiner	-9,916279	0,03772805	3,7531946	0,434	0,272	75,5
Nåler	20,478187	0,0378204*	-1,332345	0,524	0,388	14,3
Bark	-2,933585	0,0156597***	0,5063556*	0,967	0,957	2,9
Total Biomasse	-121,5758	0,4546757***	11,023269*	0,967	0,958	76,5

* signifikant på 5 % nivå, ** signifikant på 1 % nivå, *** signifikant på 0,1 % nivå

Modell 3 har to uavhengige variabler, diameter kvadrert og trehøyde. Som vist i tabell 6 er det bare døde greiner som ikke kan forklares signifikant når man ser på diameter kvadrert, men for høyde er det bare tredelen bark og den totale biomassen som gir signifikant bidrag til å forklare variasjoner i biomasse. Forklaringsgraden R^2 varierer fra 0,967 for total biomasse til 0,434 for døde greiner.

Tabell 7: Modellparametre for modell 4 ($\ln(Y) = b_0 + b_1 * \ln(D)$)

Modell for:	Konstantledd	$\ln(D)$ (cm)	R^2	R^2_{adj}	RMSE
Stamme	-3,15293058	2,5798088***	0,972	0,968	0,412
Levende greiner	-2,1552345	1,8284104***	0,756	0,725	0,977
Døde greiner	-0,061981395	1,4263393*	0,576	0,505	0,616
Nåler	-0,8142155	1,3297443**	0,562	0,508	1,103
Bark	-4,273459	2,1825049***	0,991	0,990	0,192
Total Biomasse	-1,3302605	2,2224826***	0,976	0,974	0,321

* signifikant på 5 % nivå, ** signifikant på 1 % nivå, *** signifikant på 0,1 % nivå

Modell 4 er en Ln-funksjon. Det vil si at man bruker logaritmen til den uavhengige variabelen i modellen, som er diameter i brysthøyde. Modell 4 gir signifikant bidrag til å forklare

variasjonen i biomasse for både total biomasse og de ulike tredelene, slik det framgår av tabell 7. Alle parameterestimaterne er signifikante og det er bare to som ikke er signifikante på 0,001- nivå. R^2 for bark er høyest med 0,991, men lavest for nåler med 0,562.

Tabell 8: Modellparametre for modell 5 ($\ln(Y) = b_0 + b_1 * \ln(D) + b_2 * \ln(H)$)

Modell for	Konstant	Ln (D) (cm)	Ln (H) (m)	R^2	R^2_{adj}	RMSE
Stamme	-3,64644422	1,4987763**	1,3208159**	0,991	0,988	0,257
Levende greiner	-1,4982665	3,8123571**	-2,424005	0,855	0,813	0,805
Døde greiner	-0,302245	1,1374984	0,4021726	0,591	0,428	0,662
Nåler	-0,1073065	3,4890467*	-2,638258	0,727	0,649	0,931
Bark	-4,4555795	1,7552339***	0,5220437*	0,995	0,994	0,147
Total Biomasse	-1,539884	1,7251532**	0,6076419	0,982	0,977	0,300

* signifikant på 5 % nivå, ** signifikant på 1 % nivå, *** signifikant på 0,1 % nivå

I den femte modellen (Tabell 8) er det to uavhengige variabler, logaritmen til diameter i brysthøyde og trehøyde. Man ser at døde greiner ikke er signifikant for logaritmen til diameter i brysthøyde. For logaritmen til trehøyden er det bare tredelene stamme og bark som gir signifikant bidrag til å forklare variasjoner i biomasse. Forklaringsgraden R^2 er jevnt over høy med lavest verdi for døde greiner, med 0,591 og høyest for bark, stamme og total biomasse med henholdsvis 0,995, 0,991 og 0,982.

Det blir ikke riktig å sammenligne R^2 , R^2_{adj} og RMSE fra modeller som er Ln funksjoner og modeller som ikke er det. Det som kan gjøres for å sammenligne en Ln funksjon med en vanlig lineær funksjon, er å teste funksjonene med det materialet man har, og se på avviket fra predikert resultat og observert resultat. Sammenligner man disse svarene får man en oversikt over hvilken modell som predikerer biomassen med størst nøyaktighet. I tabell 9 vises den observert og predikerte totale biomassen til de fem modellene for alle prøvetrærne.

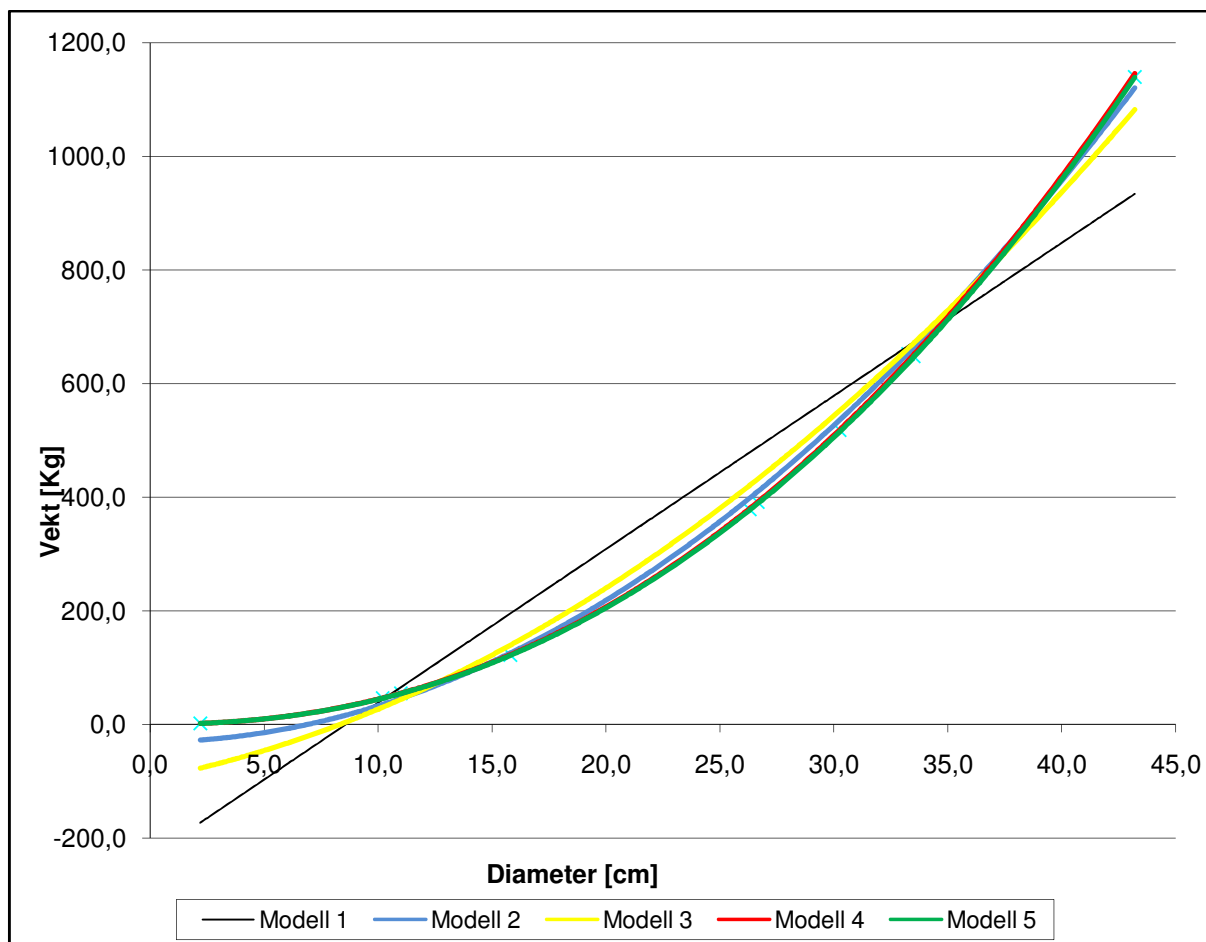
Tabell 9: Observert og predikert total biomasse (kg) for de forskjellige modellene.

Prøvetre	Obs. total bio kg	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4	Modell 5	Avvik modell 1	Avvik modell 2	Avvik modell 3	Avvik modell 4	Avvik modell 5
S 1	1,7	-172,3	-26,4	-90,7	1,5	1,5	-174,0	-28,1	-92,4	-0,2	-0,2
S 2	55,7	43,1	34,6	30,5	46,1	46,3	-12,6	-21,1	-25,3	-9,6	-9,4
S 3	25,3	64,7	45,0	37,1	54,5	52,4	39,4	19,7	11,8	29,2	27,1
S 4	131,6	193,9	124,1	187,0	122,0	143,7	62,3	-7,5	55,4	-9,6	12,1
S 5	298,8	476,7	395,8	363,8	378,5	319,3	177,9	97,0	65,0	79,6	20,5
S 6	408,4	487,5	408,8	494,7	391,4	454,0	79,1	0,4	86,3	-17,0	45,6
S 7	540,8	584,4	534,9	508,6	518,5	465,7	43,6	-5,9	-32,2	-22,3	-75,1
S 8	852,3	673,7	664,5	755,5	652,4	771,1	-179,0	-187,8	-96,8	-199,9	-81,2
S 9	504,8	670,6	660,4	567,3	648,1	497,9	165,8	155,6	62,5	143,3	-6,9
S 10	1122,1	931,8	1117,7	1101,8	1140,5	1211,4	-190,3	-4,4	-20,4	18,4	89,3
Gj.Snitt	394,2	395,4	396,0	395,5	395,4	396,3	1,2	1,8	1,4	1,2	2,2

I tabell 9 ser man at gjennomsnittene for avviket til modellene er relativt likt. Alle modellene har et gjennomsnitt for avviket på under 3 kg, men det er modell 1 og 4 som har det beste gjennomsnittet. Disse modellene predikerer biomassen summert for alle trærne med 1,2 kg over summen av den observerte biomassen.

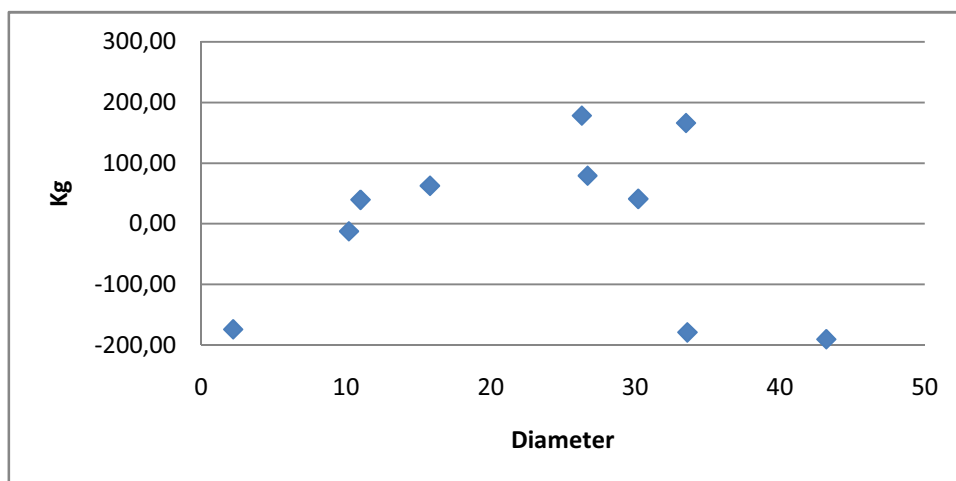
Det er for de enkelte modellene til dels store variasjoner mellom predikerte og observerte verdier. Modell 1 og 4 er den modellen som samsvarer best mellom predikert og observert total biomasse når man ser på gjennomsnittet til avviket til modellene. Det kommer fram av figuren at modell 1, 2 og 3 predikerer negativ biomasse for det minste treet, i motsetning til modell 4 og 5 som kun underestimerer biomassen til dette treet med -0,2 kg. For de største trærne er det spesielt modell 1 som predikerer biomassen med store avvik.

Modellene 4 og 5 er de to modellene som følger de beregnede verdiene best (Figur 3). Det anses som uheldig at modell 1, 2 og 3 predikerer negativ biomasse for det minste prøvetreet, samt at modell 1 overvurderer biomassen til de midlere trærne og undervurderer igjen biomassen til de største trærne.



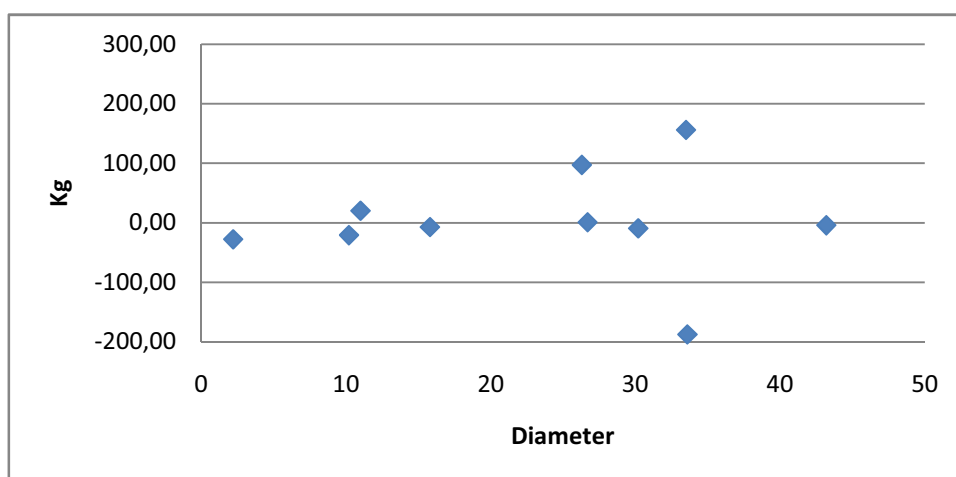
Figur 3: Samsvar mellom den predikerte og observert totale biomassen for de forskjellige modellene.

Figur 4-8 viser residualplottene for modellene 1 til 5 (total biomasse). Ideelt sett skal avviket være jevnt for alle diameterne. Dette betyr at modellen predikerer den totale biomassen med lik feil for de forskjellige diameterne. Danner spredningen til modellene et usymmetrisk bilde, som for eksempel en traktform eller at spredningen svinger rundt det observerte resultatet, betyr det at modellen systematisk feilpredikerer biomassen for enkelte trestørrelser.



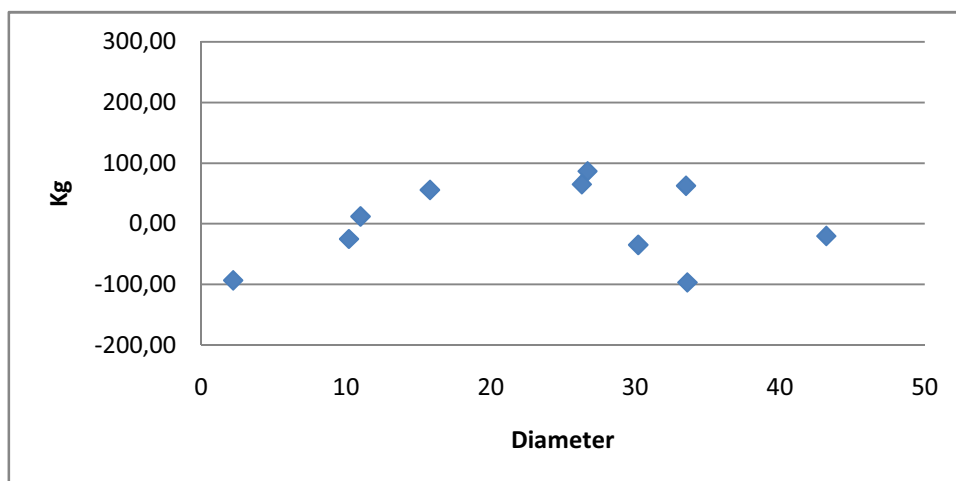
Figur 4: Residualplott til modell 1 for total biomasse

Figur 4 viser at modell 1 har en viss svingning for den predikerte biomassen. Man ser også her at modellen undervurderer de minste og største træerne, men den overvurderer de midlere træerne.



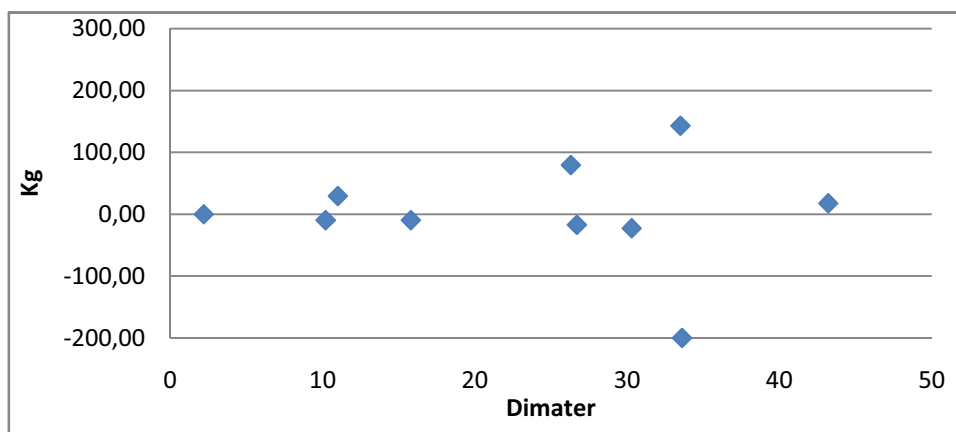
Figur 5: Residualplott til modell 2 for total biomasse

Som vist i figur 5 ser vi at spredningen for den predikerte biomassen til modell 2, har en viss traktformet spredning. Modellen predikerer biomassen med lite spredning for de minste og midlere træerne, men spredningen øker for de største træerne.



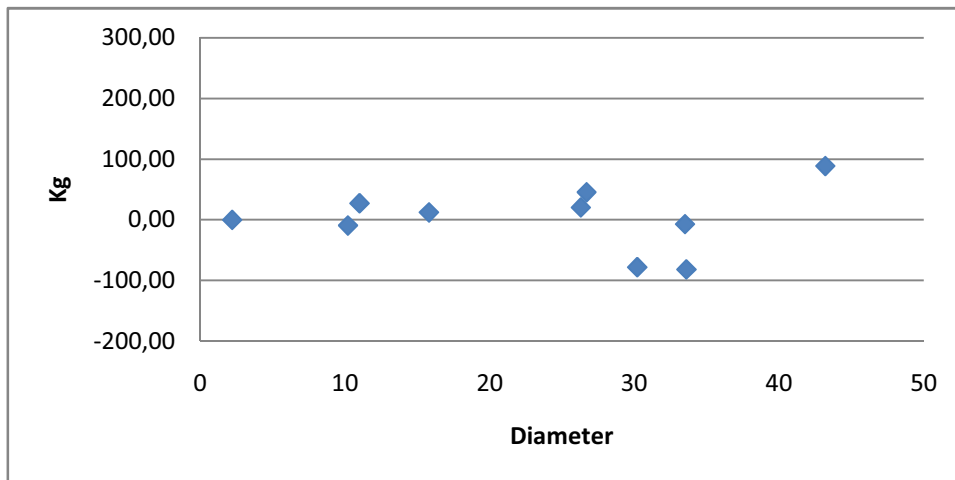
Figur 6: Residualplott til modell 3 for total biomasse

Modell 3 har relativt liten spredning for avviket til modellen for total biomasse (Figur 6).



Figur 7: Residualplott til modell 4 for total biomasse

Spredningen til modell 4 vises i figur 7. I figuren ser vi en tendens til traktformet spredning for de største trærne, mens de minste og midlere trærne har relativt liten spredning.



Figur 8: Residualplott til modell 5 for total biomasse

I figur 8 ser vi at den predikerte totale biomassen til modell 5 har relativt lite spredning.

For å teste om funksjonen for total biomasse gav det samme resultatet som funksjonene for hver tredel, ble biomassen for hver tredel summert og differansen mellom summen av hver enkelt tredel og den total biomasse sammenlignet. I tabell 10 ser en at det er modell 1, 2 og 3 som skiller seg klart ut. For disse modellene var differansen ≈ 0 .

Tabell 10: Summert biomasse med funksjonene for hver tredel og total biomasse (kg).

Modell	Sum deler (kg)	Sum total (kg)	Differanse (kg)
1	3953,7	3953,8	0,1
2	3959,5	3959,5	0,1
3	3955,1	3955,4	0,3
4	4070,2	3953,7	116,5
5	4148,8	3963,2	186,6

3.2 Tester mot biomassefunksjoner for gran

Testmaterialet ble undersøkt ved hjelp av biomassefunksjoner for norsk gran. Granfunksjonene fra Marklund (1988), er utarbeidet med materiale Sverige, mens Lehtonen et al. (2004), har utviklet beslektede funksjoner for Finland. I tabell 11 til 13 er den totale observerte biomassen summert for hver enkelt tredel og sett opp i mot den predikerte biomassen for Marklund, Lehtonen og modell 4. Avviket i kg og % er satt opp for å beskrive forskjellene mellom predikert og observert biomasse.

Med funksjonene til Marklund og Lehtonen ser vi at stammebiomassen blir predikert relativt bra. Barkfunksjonen fungerer bra for Marklund, men dårlig for Lehtonen. Både funksjonene for levende og døde greiner fungerer dårlig. Dette kommer nok av at det er helt andre kvistegenskaper hos sitkagran kontra norsk gran.

Tabell 11: Predikert og observert biomasse (kg), funksjoner av Marklund (1988)

Tredel	Obs. Biomasse (kg)	Pred. Marklund (kg)	Avvik (kg)	% avvik
Stamme	2325,6	2038	-287,5	-12,4
Bark	171,6	178,2	6,7	3,9
Levende greiner	373,4	782,1	408,7	109,5
Døde greiner	850,4	50,7	-799,8	-94,0
Nåler	220,7	274,1	53,4	24,2
Sum	3941,6	3323,1	-618,9	-15,7

Tabell 12: Predikert og observert biomasse (kg), funksjoner av Lehtonen (2004)

Tredel	Obs. Biomasse (kg)	Pred. Lehtonen (kg)	Avvik (kg)	% avvik
Stamme	2325,6	2090,6	-235	-10,1
Bark	171,6	237,5	65,9	38,4
Levende greiner	373,4	736,2	362,9	96,9
Døde greiner	850,4	62,0	-788,4	-92,7
Nåler	220,7	484,0	263,3	119,3
Sum	3941,6	3610,3	-331,3	-8,4

Tabell 13: Predikert og observert biomasse (kg), modell 4

Tredel	Obs. Biomasse (kg)	Pred. Modell 4 (kg)	Avvik (kg)	% avvik
Stamme	2325,6	2221,1	-104,5	-4,5
Bark	171,6	181,4	9,8	5,7
Levende greiner	373,4	440,0	66,6	17,8
Døde greiner	850,4	913,2	62,8	7,4
Nåler	220,7	310,5	89,8	40,7
Sum	3941,6	4070,2	128,6	3,3

3.3 CO₂- binding for sitkagran i Norge

Tabell 14 viser gjennomsnittlig volum under bark og gjennomsnittlig tørrdensitet for prøvetrærne. Videre viser den det beregnede tørrstoffet i stammene til prøvetrærne, og den registrerte overjordiske biomassen. Biomasseekspansjonsfaktoren for materialet i denne oppgave ble beregnet til 1,65.

Tabell 14: Biomasseekspansjonsfaktoren for materialet

Volum u/bark (m ³)	Tørredensitet (kg/m ³)	Tørrstoff i stammer (kg)	Overjordisk biomasse (kg)	BEF
5,6	430	2408	3941,7	1,65

I tabell 15 vises en kalkyle for total CO₂- lagret i prøvetrærne, i sitkagran i Norge og årlig CO₂- binding i den overjordiske biomassen. Den totale CO₂ mengden som ble anslått bundet i prøvetrærne var 7,2 tonn, mengden i sitkagran i Norge har lagret omlag 5,9 millioner tonn. Med en forutsatt tilvekst på 0,8 m³ pr. daa. årlig, ble den årlige CO₂- bindingen i Norge estimert til 0,52 millioner tonn.

Tabell 15: CO₂ binding for prøvetrær, totalt i Norge og årlig i Norge for sitkagran

	Prøvetrær	Nasjonalt overjordisk biomasse - lagret	Nasjonalt, tilvekst i overjordisk biomasse
Volum u/bark (m3)	5,6	4 600 000	400 000
Tørredensitet (kg/m3)	430	430	430
Tørrstoff i stamme (kg)	2408	1 978 000	172 000
BEF	1,65	1,65	1,65
Overjordisk biomasse (kg)	3941,7	3 243 920	282 080
C- lager (kg)	1970,8	1 621 960	141 040
CO ₂ - lager (kg)	7227,1	5 947 727,3	517 193,7

4. Diskusjon

4.1 Datamaterialet

Biomasseundersøkelser er et svært arbeidskrevende arbeid ved at det er mange registreringer som må gjøres ute i felt og inne på laboratoriet. Så langt det er brakt på det rene finnes det ingen tidligere biomasseundersøkelser som omfatter sitkagran i Norge, dermed er det ikke undersøkelser som kan sammenlignes med dette arbeidet for norske forhold. Materialet i denne oppgaven spenner vidt: fra sør til nord og fra svært høy til middels bonitet. Det er også et stort spenn i materialet med tanke på sosial status og størrelse på prøvetrærne.

Materialet er lite, noe som kan føre til at usikkerheten i resultatene blir stor. Til tross for dette ser man i figur 2 at materialet har god samsvar med hensyn på form og avsmaling sammenlignet med det sitkagran normalt har i Norge. Dette tyder på at materialet i denne oppgaven gir et rimelig representativt bilde på form og avsmaling for sitkagran i Norge. I volumfunksjonene til Bauger (1995) er nedre høydegrense satt til 4 meter, men for prøvetre S-7 som er 2,6 meter høyt, var det også god sammenheng mellom målt og predikert volum.

Nøyaktigheten i arbeidet må være stor da materialet må håndteres mange ganger. Det at materialet må fraktes fra felten og inn på laboratoriet kan føre til at feilskilder oppstår. Når stammeskivene ble kappet av prøvetrærne, ble det påsett at det ikke var uforholdsmessig mye kvist som ble inkludert i stammeskiven. Kvisten til sitkagran har langt høyere densitet enn stammeveden, så hvis det er mye kvist i veden når densiteten skal beregnes, kan dette føre til at densiteten blir for høy. Under feltarbeidet der hvor dette var aktuelt å korrigere for, ble stammeskiven tatt ut ved nærmeste kvistfrie sted på stammen. En annen ting med håndtering av stammeskiver, er at barken kan slites av både under selve utskjæringen, og under forflytning av stammeskivene. Innsamlingen av kvister er en arbeidskrevende del av biomasseregistreringer. Små deler av kvisten, og nåler kan falle av under håndtering av kvisten. Prøvekvistene som ble valgt ut, ble kuttet opp i mindre deler og lagt i poser slik at faren for å miste deler av materialet ble minimal. Forurensing av kvistmaterialet som for eksempel lav som vokser på kvisten, eller annen vegetasjon som har vokst opp i de nederste greinene kan bli med inn på laboratoriet og veid. Ved at kvisten ble valgt ut etter fallende kant, kan det ha blitt valgt ut kvist som kommer fra en side av treet med enten for stor eller for liten kvistbiomasse i forhold til snittet for treet. Siden det bare er et av prøvetrærne som er et kanttre (se Tabell 1), er det sannsynlig at den fallende kanten er representativ for

kvistmengden rundt hele treet. Kanttrær har som regel større kvistmengde på den siden av treet som vender ut mot kanten av bestandet. Kanttreet ble inkludert for å få representert en mellomting mellom den delen av treet som sto inn mot bestandet og den delen som sto ut fra bestandet. Som følge av at det ble tatt ut prøvekvister nedover hele treet, er kvistbildet forventet å være rimelig dekkende.

Diameter og barktykkelse ble registrert i meterseksjoner oppover treet, og for å få nøyaktighet på registreringene ble et målebånd lagt langs stammen på treet. Det ble lagt vekt på å måle diameteren et stykke unna greinkranser slik at ikke greinkransen skulle gi for høy diameter for stammen. Det ble gjort kryssklaving av stammediameteren for å ta hensyn til at stammen kunne ha en oval form. Barkdensiteten som ble brukt er hentet fra arbeidet til Vadla (2008). Her er densiteten beregnet som basisdensitet, og ikke som tørrdensitet slik som i materialet innsamlet under feltarbeidet. At det er brukt basisdensitet til bark kan føre til at tørrstoffet til barken er blitt undervurdert. Dette fordi basisdensiteten er forholdet mellom massen i absolutt tørr tilstand og volumet ved fuktighet over fibermetningspunktet, og ikke forholdet mellom absolutt tørr vekt og volumet i absolutt tørr tilstand slik tørrdensiteten beregnes.

En tørketid på 2 døgn ved 60 °C skal være tilstrekkelig, men for å være sikre på at prøvene var helt tørre, ble prøvene tørket i 3 døgn ved denne temperaturen. Prøvene ble kontrollveid for å forsikre seg om at de var helt tørre. Tørketiden ble forlenget hvis vekten av prøvene ikke hadde sluttet å synke etter 3 døgn. Grunnen til at tørketiden til stammeskivene i enkelte tilfeller måtte overstige 3 døgn kan være at det er mer masse som skal tørkes enn hos kvist og bark. Ved veiing av materialet ble det brukt en digital vekt med nøyaktighet 0,1 gram for de prøvene som var under 5 kg. Oversteg prøvene 5 kg, ble det benyttet en analog vekt med nøyaktighet på 0,1 kg. Under densitetsmålingene ble den digitale vekten benyttet, og volumet av stammeskivene ble lest av rett etter at hele stammeskiven var senket under vann. Tar det for lang tid før man leser av volumet, vil stammeskivene begynne å trekke vann slik at volumet blir feil. Overflaten til stammeskivene ble også pusset på slik at ikke ujevnheter dannet luftlommer som kunne føre til at volumet ble feil.

4.2 Valg av modell

Når det skulle velges ut en biomassefunksjon ble det, ved siden av at funksjonen hadde gode statistiske egenskaper, lagt vekt på at funksjonen skulle være lett å anvende. Alle de modellene som er utviklet i denne oppgaven er enkle å bruke ved at det er få inngangsverdier

som kreves for å beregne biomassen. Det er også samme inngangsverdier som brukes til å predikere biomassen for hver enkelt tredel som til den totale biomassen. Modell 1, 2 og 4 har bare diameter i brysthøyde som inngangsverdi. Diameter i brysthøyde kan lett og nøyaktig registreres mens trærne er stående. Høyden kan være vanskelig å registrere helt nøyaktig for stående trær. Modell 3 og 5 har både diameter i brysthøyde og trehøyde som inngangsverdier. Forholdet mellom diameter i brysthøyde og høyde er ikke lineær, og det kan derfor være en fordel å bruke en funksjon som har begge disse som uavhengige variabler for å dekke denne variasjonen (*pers. medd. Øyen 2009*). Materialet som modellene er utviklet fra, har et varierende høyde/ diameterforhold (se Tabell 2). Man ser at trær med tilnærmet lik diameter, har relativt store høydeforskjeller. Modell 4 og 5 er logaritmiske modeller. En fordel med en logaritmisk modell, er at man ikke risikerer å predikere negativ biomasse. Dette kommer også fram når man sammenligner modell 1 til 5. Modell 1, 2 og 3 predikerer alle negativ biomasse for små diametre, i motsetning til de logaritmiske modellene, 4 og 5 (Figur 3).

Parameterestimatene til de uavhengige variablene bør ha logiske fortegn. Har parameterestimatene positivt fortegn, vil den biomassen funksjonen predikerer, øke med en økende verdi på uavhengige variabelen, mens den predikerte biomassen vil avta når parameterestimatet har negativt fortegn. Ser man på modell 1, 2 og 4, som har diameter i brysthøyde som uavhengig variabel, er alle parameterestimatene positive. Betydningen av dette er at med større diameter i brysthøyde, øker biomassen som blir predikert. For modell 3 og 5, som har både diameter i brysthøyde og trehøyden som uavhengige variabler, har parameterestimatene for levende greiner og nåler negativt fortegn for den uavhengige variabelen høyde. Det at biomassen for levende greiner, og dermed også nålebiomassen, minker med økende trehøyde virker naturlig ettersom den levende delen av trekronen ofte kan minke med økende trehøyde når trær vokser i tette bestand.

Det er bare modell 1 og 4 som har signifikansnivå på 0,05 eller bedre for alle parameterestimatene. For modell 3 og 5, som har to uavhengige variabler, er det bare to av parameterestimatene for høyde som er signifikante. Modell 2 har ikke signifikante parameterestimer for døde greiner og nåler. Modell 4 har signifikansnivå på 0,001 for alle modellene foruten døde greiner og nåler, disse har et signifikansnivå på henholdsvis 0,05-, og 0,01. For modell 1 er det bare modellene for bark og total biomasse som holder et signifikansnivå på 0,001. Modellene for stammeved og levende greiner holder et signifikansnivå på 0,01, mens modellene for døde greiner og nåler har et signifikansnivå på 0,05.

Modell 4 har bedre forklaringsgrad enn modell 1 med tanke på R^2 og R^2_{adj} , med et gjennomsnitt på henholdsvis 0,805 og 0,778. Modellen hadde størst R^2 og R^2_{adj} for bark med 0,991 og 0,990, og lavest R^2 for nåler på 0,562 og lavest R^2_{adj} for døde geiner på 0,505. Gjennomsnittet til modell 1 med tanke på R^2 og R^2_{adj} er på henholdsvis 0,660 og 0,617. Med største R^2 og R^2_{adj} for bark med 0,918 og 0,908, og lavest R^2 og R^2_{adj} for nåler med 0,433 og 0,362. Med dette kan man se at modell 4 har bedre forklaringsgrad enn modell 1, og modell 4 passer bedre til materialet som er grunnlaget for modellene.

Sammenligner man figur 4 og 7, som er residualplott for modell 1 og 4 for predikert total biomasse, ser man forskjellen i spredningen av den predikerte biomassen i kilogram mot den observerte biomassen. Det skal være jevn spredning for feilen til den predikerte biomassen. Modell 1 har god jevnhet i spredningen, mens modell 4 har en tendens til en traktform på spredningen. Figur 4 viser at modell 1 har et stort avvik for det minste og de største prøvetrærne. Det minste treet blir undervurdert med nesten 200 kg. Modellen under- og overvurderer også fire av de største trærne med nesten 200 kg. Residualplottet til modell 4 (Figur 7) viser at det kun er to trær som blir under og overvurdert med over 100 kg, det ene med nesten 200 kg. Dette er tre som har tilnærmet lik diameter (33,5 og 33,6 cm i brysthøyde), men det er stor forskjell på høyden (16,2 og 33,0 m) for disse trærne. Dette kan antas å være årsaken til den traktformete spredningen til modell 4. Det at modell 1 undervurderer biomassen til det minste treet betydelig (174,0 kg), tilsier at modellen ikke bør brukes for de minste trærne.

I tabell 10 ser man avviket mellom modellene for total biomasse og biomassen summert for hver enkelt tredel. Det kommer fram at modell 1 har bra samsvar mellom modellene for hver enkelt tredel og modellen for total biomasse. Avviket er på 0,9 kg. Modell 4 har et større avvik med 116 kg. Likevel framstår modell 4, alle forhold tatt i betraktning, som den modellen som beskriver biomassen til trærne med størst nøyaktighet.

4.3 Sammenligning mellom Marklund (1988), Lehtonen (2004) og modell 4

Funksjoner for norsk gran utviklet i Sverige av Marklund (1988) og av Lehtonen et al. (2004) i Finland ble testet for å se om det var mulig å predikere biomasse for sitkagran tilfredsstillende med funksjoner for vanlig norsk gran. Disse funksjonene er basert på et stort grunnmateriale og predikerer de forskjellige tredelene stammeved, levende og døde greiner, nåler og bark. Funksjonen til Marklund predikerer ikke den totale biomassen. Funksjonen til

Lehtonen bygger på en "pipe-modell", det vil si totalbiomassen predikeres og så avledes komponentene.

Den predikerte biomassen fra funksjonene ble sammenlignet med den observerte biomassen. Det samme ble gjort for modell 4 fra denne oppgaven for å se om modell 4 predikerer biomassen med større nøyaktighet enn funksjonene til Marklund og Lehtonen. Det var til dels store avvik med bruk av funksjonene for norsk gran når man ser på de forskjellige tredelene. Funksjonen til Marklund (Tabell 11) underestimerte biomassen for døde greiner med 799,8 kg, det vil si 94 % avvik. Funksjonen fra Marklund overestimerte også biomassen for levende greiner med 408,7 kg, noe som tilsvarer 109,5 % avvik. Det samme bildet ser man for funksjonen for Lehtonen som også undervurderer biomassen for døde greiner med 92,7 % og overvurderer biomassen til levende greiner med 96,9 %. Årsaken til at funksjonene til Marklund og Lehtonen underestimerer biomassen til døde greiner, kan være at sitkagrana har mer og grøvre kvist enn norsk gran, og den døde kvisten henger lengre på treet før den faller av. Det største avviket for funksjonen til Lehtonen var for nåler, avviket var på 119 % og 263,3 kg.

Funksjonen til Marklund predikerte biomassen for bark bra, med et avvik på 3,9 %. Modell 4 hadde et avvik for barkbiomassen på 5,7 %. Nålebiomassen ble også predikert bedre for funksjonen til Marklund enn modell 4, med 24,2 % for Marklund, mot 40,7 % for modell 4. Funksjonene til Lehtonen predikerte ingen av de enkelte tredelene bedre enn modell 4, men den predikerte biomassen for stamme, levende og døde greiner bedre enn funksjonen til Marklund.

Den predikerte biomassen til hver enkelt tredel ble summert og sammenlignet med summen av den observerte biomassen til tredelene. Da hadde modell 4 det klart minste avviket med 128,6 kg og 3,3 %. Lehtonen hadde et avvik på -331,3 kg og 8,4 %, mens Marklund hadde et avvik på -618,9 kg og 15,7 %.

Med hensyn på disse resultatene kan man konkludere med at modell 4 egner seg bedre til å predikere den overjordiske biomassen til sitkagran enn funksjonene til Marklund og Lehtonen.

4.4 Biomasseekspansjonsfaktor

Det ble først beregnet en biomasseekspansjonsfaktor for hvert enkelt av prøvetrærne og tatt gjennomsnittet av disse. Variasjonen lå fra 1,28 til 4,86. På grunn av at tyngdepunktet av størrelsen til prøvetrærne er små til middels store gir et aritmetisk middeltall trolig et skjevt bilde. Isteden ble det valgt å beregne en faktor basert på summen av prøvetrærne. Biomasseekspansjonsfaktoren for materialet ble beregnet til 1,65. En biomasseekspansjonsfaktor vil normalt være høyere for ungskog og frittstående trær. Andelen kvister for disse trærne er høyere enn for trær som står innesluttet i et tett bestand. I materialet på 10 trær som biomasseekspansjonsfaktoren her er utviklet fra, er det to trær fra hogstklasse II, et kanttre og et tre fra en glissen del av bestandet. Dette er trær som har stor andel overjordisk biomasse i forhold til stammevolumet, og som kan være årsaken til at biomasseekspansjonsfaktoren er noe høyere enn hva biomasseekspansjonsfaktorer som tidligere er utviklet for sitkagran i Europa er.

Levy et al. (2004) presenterte biomasseekspansjonsfaktorer for overjordisk biomasse fra Storbritannia for sitkagran. Disse biomasseekspansjonsfaktorene hadde et snitt på 1,44, og varierte fra 1,05 til 2,32. Biomasseekspansjonsfaktoren for materialet er noe høyere enn snittet til Levy et al. (2004), men ligger godt innenfor intervallet i deres undersøkelse.

Black et al. (2004) presenterte biomasseekspansjonsfaktorer for sitkagran fra Irland. Variasjonen for disse faktorene var fra 1,4 til 5,0. De laveste faktorene var for eldre skog, og de høyeste var i hogstklasse II. De skriver at å bruke en biomasseekspansjonsfaktor på 1,3 vil gi en underestimert på 2 til 4 ganger, og da de største feilene i ungskogsbestand. I eldre sitkabestand viser deres studie at biomasseekspansjonsfaktoren ligger ned mot 1,4. Beregningene til Black et al. samsvarer bra med det arbeidet Levy et al. presenterte.

Med en gjennomsnittsalder på 44 år kan ikke materialet i denne oppgaven som biomasseekspansjonsfaktoren er beregnet for, ansees som eldre skog. Det virker derfor rimelig at biomasseekspansjonsfaktoren som her er beregnet ligger noe over det Black et al. (2004) fant. Øyen (2000b) anslo at det største volumet for norsk sitkagran står i bestand mellom 30 og 40 år, med en kubikkmasse på 2,5 millioner m³. I bestand over 50 år anslo Øyen at den stående kubikkmassen var på 0,5 millioner m³. Ut i fra disse anslagene kan man hevde at prøvetrærne er representative med tanke på alder for sitkagran i Norge, og at biomasseekspansjonsfaktoren i denne studien er representativ for den største andelen av sitkaarealet i Norge i dag.

4.5 CO₂ estimerer

Den stående kubikkmassen med sitkagran i Norge er på om lag 4,6 millioner m³ under bark. Øyen (2000b) antyder en stående kubikkmasse på 4,5-5 millioner m³, og estimerer tilveksten til ca. 600 000 m³ pr. år. Hvor mye av denne tilveksten som høstes årlig er usikkert, men årshogsten de siste årene har neppe oversteget 50 000 m³. Et langsiktig hogstkvantum, forutsatt fortsatt planting av sitkagran, på 3-400 000 m³ vil være et svært nøkternt estimat (Øyen 2000b).

Det er flere som har gjort anslag på hvor mange daa. som er tilplantet med sitkagran her til lands. Solbraa (1996) beregnet at arealet tilplantet med sitkagran og lutzgran (*Picea lutzii*) er på ca 550 000 daa., Øyen (2000b) anslo med tall fra Skogdirektøren (1899-1997) at arealet var på 536 800 daa. Arealet tilplantet med sitkagran i Norge som er benyttet for disse beregningene, er arealet som Øyen (2005) anslo til å være ca. 500 000 daa. Med en forutsatt tilvekst for dette arealet på 0,8 m³/daa/ år ble den årlige nettotilveksten satt til 400 000 m³.

CO₂- lagret i sitkagran i Norge ble estimert til 5,9 millioner tonn forutsatt en stående kubikkmasse på 4,6 millioner m³, etter at snittdensiteten til materialet var brukt for å finne tørrstoffet til denne kubikkmassen. Biomasseekspansjonsfaktoren for materialet ble brukt for å estimere den overjordiske biomassen. Med forutsetninger om en tilvekst på 0,8 m³ årlig pr. daa., noe som tilsvarer 400 000 m³ årlig, ble den årlige CO₂- bindingen anslått til 0,52 millioner tonn CO₂. Dette tilsvarer ca. 0,9 % av det årlig samlede CO₂- utslippet i Norge. Det ble i 2007 sluppet ut 55,1 millioner tonn CO₂- ekvivalenter i Norge (SSB 2009).

Tilvekstestimatet på 0,8 m³/daa/år synes meget forsiktig ansatt. Øyen (2005) viser i sine tilvekstmodeller angitt at S- 14 forventes å oppvise en middeltilvekst på 1,2 m³/daa/år, mens S- 29 har hele 3,25 m³/daa/år. Hovedtyngden av norske sitkabestand har en bonitet på S- 23 tilsvarende en middeltilvekst på 2,4 m³/daa/år (102 års omløp).

Når det ble sett på karbon- og CO₂- lageret i denne oppgaven, ble det bare sett på den overjordiske biomassen. Det er også betydelig biomasse som er bundet i stubbe og røtter. Vyskot (1981) utførte en biomasseundersøkelse i granbestand i Tsjekkoslovakia. Undersøkelsen hans viste at biomassen i røtter ned til 0,1 cm i diameter, utgjorde 13,9 % av den totale biomassen til trærne i et 52 år gammelt bestand, i et bestand på 68 år var utgjorde

rotbiomassen 12,9 %. Man må derfor regne med at den totale mengden CO₂ bundet i norsk sitkagran er noe større enn de tallene som er estimert i denne oppgaven.

5. Konklusjon

Et testmateriale med 10 trær fra tre sitkagran bestand i Norge er benyttet for å undersøke biomassen i overjordiske tredeler. Med bakgrunn i materialet samlet inn under feltarbeidet er det modell 4 som gir det beste bildet av biomassemengden og biomassefordelingen.

Funksjonstypen som ble funnet best egnet hadde følgende form:

$$\ln(Y) = b_0 + b_1 * \ln(D),$$

der Y er biomasse (kg tørrstoff) og D er diameter med bark i brysthøyde (cm). Funksjonen hadde en gjennomsnittlig R^2 på 0,805, og alle parameterestimatene var signifikante på 0,05-nivå eller bedre.

Siden materialet som modell 4 er bygget på er lite, anbefales det en utvidelse der man tester funksjonen med et større materiale.

Modell 4 predikerer biomassen til de enkelte tredelene langt bedre enn funksjonen for norsk gran utviklet av Marklund (1988) og Lehtonen et al. (2004).

Biomasseekspansjonsfaktoren som ble beregnet er noe høyere enn biomasseekspansjonsfaktorene som tidligere er utviklet for Irland og Storbritannia, men vurdert fra grunnmaterialets sammensetning er det god grunn til å tro at denne biomasseekspansjonsfaktoren gir et rimelig dekkende bilde av forholdet mellom stammevolum og overjordisk biomasse for den største andelen av sitkaarealer i Norge i dag.

CO₂-mengden bundet overjordisk i sitkagran i Norge er her estimert til å være ca. 5,9 millioner tonn. Det er her bare beregnet CO₂ bundet i den overjordiske biomassen. Det er også en betydelig andel av trærnes biomasse som finnes i stubbe, røtter, humus og jord. Den mengden CO₂ som totalt er bundet i sitkagran i Norge er derfor trolig en god del høyere enn de verdier som her er angitt.

6. Litteratur

- Bauger, E. (1995). Funksjoner og tabeller for kubering av stående trær: furu, gran og sitkagran på Vestlandet. *Rapport fra skogforskningen*, 16/95: 26 s.
- Bauger, E. & Smitt, A. (1960). Et treslags- og proveniensforsøk. Meddelelse fra Vestlandets forstlige forsøksstation (34): 121 s., 12 bl.
- Black, K. Tobin, B. Siaz, G. Byrne, K.A. Osborne, B. (2004). Allometric regressions for an improved estimate of biomass expansion factors for Ireland based on a Sitka spruce chronosequence. *Irish Forestry* 61:50-65.
- Fitje, A. & Strand, L. (1989). Tremåling. [Oslo]: Landbruksforlet. 190 s.
- Green, C. Tobin, B. O`Shea, M. Farrell, E. P. & Byrne, K. A. (2005). Above- and belowground biomass measurements in an unthinned stand of Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). *European Journal of Forest Research* 4/07:179-188.
- JMP. (2002). Statistics and Graphics Guide. 5 ed: SAS Institute Inc, USA. 707 s.
- Kollmann, F. F. P. & Coté, W. A. (1968). *Principles of wood science and technology*. Vol. 1. Berlin: Springer-Verlag. 592 s.
- Lehtonen, A. Makipaa, R. Heikkinen, J. Sievanen, R. & Liski, J. (2004). Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 188 (1-3): 211-224.
- Levy, P.E, Hale, S.E, Nicoll, B.C (2004) Biomass expansion factors and root: shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. *Forestry* 77:421-430
- Marklund, L. G. (1988). Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. *Sveriges lantbruksuniversitet*, 48/88: 1-79.
- Meteorologisk institutt. (2009) - Ekstern tilgang til Meteorologisk institutts klimadata. (2009). Tilgjengelig fra:
http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=33,6979,33_14938&_dad=portal&_schema=PORTAL. (lest 27.03.09)
- Muukkonen, P. & Makipaa, R. (2006). Biomass equations for European trees: Addendum. *Silva Fennica*, 40 (4): 763-773.
- Nagoda, L. (1982). Trevirkets kjemiske oppbygging og egenskaper. Ås-NLH: Institutt for treteknologi, Norges Landbrukshøgskole. fl.pag (72 bl.) s.

- Orlund, A. (2001). *Bonitering av plantet gran (Picea abies L. Karst.) og sitkagran (Picea sitchensis Bong. Carr.) på Vestlandet*. Rapport fra skogforskningen. Ås: Norsk institutt for skogforskning. 17 s.
- Skogdirektørens årsmelding (1899-1997). Landbruksdepartementet.
- Solbraa, K. (1996). Naturlig spredning av utenlandske treslag. Høringsnotat per 19.08.96. 4 s.
- Solbraa, K. (2001). Skogskjøtsel: teknisk fagskole : fordypningsområde skogskjøtsel. Oslo: Gan. 206 s.
- SSB. (2009) Utslipp av klimagasser. 1990-2007. Tilgjengelig fra:
<http://www.ssb.no/emner/01/04/10/klimagassn> (Lest 08.04.09)
- Tobin, B. & Nieuwenhuis, M. (2005). Biomass expansion factors for Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Irland. *European Journal of Forest Research* 2/07: 189-196.
- Ung, C-H. Bernier, P. and Guo, X.-J. (2008). Canadian national biomass equations: new parameter estimates that include British Columbia data. *Can.J.For.Res.* 38: 1123-1132.
- Vadla, K. (2008). Virkesegenskaper hos sitkagran fra forskjellige lokaliteter i Sør-, Midt- og Nord-Norge. Rapport fra skogforskningen, 8/08: 23 s.
- Velle, K. (1995). Estimation of standing stock of woody biomass in areas where little or no baseline data are available: a study based on field measurements in Uganda. Ås: Department of Forest Sciences, Agricultural University of Norway. 1 b. (flere pag.) s.
- Vyskot, M. (1981). Biomass of the tree layer of a spruce forest in the Bohemian Uplands. Praha: Academia. 396 s.
- Weider, I. & Skogstad, P. (1999). Treteknisk håndbok. Oslo: Norsk treteknisk institutt. 291 s.
- Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R. & Mencuccini, M. (2005). Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. *Silva Fennica* (4): 63.
- Øyen, B.-H. (2000b). Ressurser av sitkagran i Norge. Norsk institutt for skogforskning – Bergen. Notat 10.08.2000: 3 s.
- Øyen, B. -H. (2004). Fremmede treslag – studentkurs SMI 220. Powerpoint presentasjon. 28 s.
- Øyen, B. -H. (2005). Vekst og produksjon i bestand med sitkagran (*Picea sitchensis* Bong. Carr.) i Norge. Rapport fra skogforskningen, 4/05: 46 s.
- Øyen, B.-H. & Tveite, B. (1998). En sammenligning av høydebonitet og produksjonsevne mellom ulike treslag på samme voksested i Vest- Norge. Rapport fra skogforskningen. 15/98: 1-32.

Vedlegg 1. Skjema for biomasseregistrering

Skjema for testing av biomassefunksjoner

Strategisk grunnbudsjettprogram (SGB) – Bioenergi

Delprosjekt 1: Råstoffkvalitet

Underpunkt 3) Evaluere karbonbindingsevne

Høstedata: / - 08

Sted:

Treslag:

Herkomst:

Flatenr. Avd/Blokknr. Trenummer:

Tetthet: m²

Diam: cm

Høyde: m

Greinkrans (fra toppen)									Stammeskive (10 cm)			
Krans			Grein		Kvister		Stamme		Bark			
Grein		Rå g	Tørr g	Nåler Tørr g	Rå g	Tørr g	Nåler Tørr g	Rå g	Tørr g	Rå g	Tørr g	
D mm	L cm											
1.										1. rot	.....	.....
2.										2. dbh	.....	.....
3.										3. 5 m	.....	.....
4.										4. 30 %	.....	.....
5.										5. 50 %	.....	.....
6.										6. 80 %	.....	.....
7.										7. Småtrær	.....	.....
8.											ikke bark	.....
9.												
10.												
21. Småtrær total vekt												
22. Småtrær all kvist												
23. Nåleprøver												

Beskrivelse av voksested:

.....
.....
.....

Lokalisering/plassering av rot:

.....

Merknader:

G=gran F=furu B=bjørk

.....
.....
.....

Vedlegg 2. Skjema for registrering av volum og tredata

NISK - BERGEN

	Diam. i mm				Kubikm. og kvadrat- m	Dobb. bark- tykk. mm	Diam. uten bark cm	Kubikm. og kvadrat- m	Diam. 2 m, seksjon
	ved	paral. med korset	perp. på korset	Mid- deltall					
Den / 19 Betegn.	1,3								
Treslag	0,5								
Prøvestammens nr.	1,5								
	2,5								
Forsøksfeltets nr. avd.	3,5								
	4,5								
Brh. diam., målt på stående tre	5,5								
..... cm cm middeltall	6,5								
Treets lengde fra marken m	7,5								
Treets lengdetilvekst de siste år	8,5								
..... m.	9,5								
	10,5								
I. Nederste grønne gren m	11,5								
	12,5								
over mark.	13,5								
	14,5								
II. Nederste grønne grenkrans m	15,5								
	16,5								
over mark.	17,5								
	18,5								
Diameter midt på treet cm cm	19,5								
..... middeltall.	20,5								
	21,5								
Årringer på stubben år	22,5								
	23,5								
Stubbehøydens antatte alder år	24,5								
	25,5								
Sum alder år	26,5								
	27,5								
Korrigert høyde m.	28,5								
	29,5								