



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

En sammenligning av produksjonen hos vanlig gran og sitkagran i Norge

NIBIO RAPPORT | VOL. 5 | NR. 90 | 2019



Kjell Andreassen
Divisjon for skog og utmark

TITTEL/TITLE

En sammenligning av produksjonen hos vanlig gran og sitkagran i Norge

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Kjell Andreassen

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
12.08.2019	5/90/2019	Åpen	316007	19/00962
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02379-1	2464-1162	32		

OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

Utviklingsfondet for skogbruk, Skogtiltaksfondet, ALLSKOG, Vestskog og Skognæringa Kyst

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Espen Loe

STIKKORD/KEYWORDS:

Sitkagran, gran, volumproduksjon, sammenligning

Sitka spruce, Norway spruce, forest volume growth, comparison

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Skog, trær, skogproduksjon, skogbehandling

Forest, trees, forest growth and yield, forest management

SAMMENDRAG/SUMMARY:

I denne undersøkelsen har vi sammenlignet bestandsutvikling og produksjon ($m^3/ha/år$) hos sitkagran og vanlig gran i kyststrøk i Norge. Rapporten bygger på data fra langsiktige feltforsøk som er fulgt med jevnlig målinger og takseringer over en lang periode fra 1952 på de første feltforsøkene og frem til 2015 på de feltene som er målt sist. Måleperioden var maksimalt 53 år, mens noen forsøk er fulgt over en kortere periode. Forsøksfeltene er lokalisert fra Rogaland i sør til Troms i nord ($58^\circ - 69^\circ N$). I alt er data fra 36 forsøksskoger benyttet i denne analysen der vi både har forsøksfelt med sitkagran og felt med vanlig gran slik at langsiktige produksjonsdata fra begge treslagene kan sammenlignes. Det var i gjennomsnitt 5 år mellom hver måling, og i alt 174 tilvekstperioder inngikk i analysen. Stående kubikkmasse varierte fra 71 til $1319 m^3/ha$. Forskjellen i tilvekst er beregnet som den gjennomsnittlige tilveksten hos sitkagran i prosent av tilveksten hos vanlig gran for hver forsøksskog.

Resultatene viser at produksjonen (tilvekst av stammevolum) i sitkagran i gjennomsnitt var 86 % høyere enn i vanlig gran i Nord-Norge mens forskjellen var 38 % på Vestlandet (Figur 2 og Tabell 2). Med økende breddegrad, jo mere øker tilvekstforskjellen mellom gran og sitkagran. Relativt sett er sitkagran særlig velegnet i Nord-Norge når man ønsker høy produksjon (Figur 3). Det er derfor viktig å presisere landsdel og breddegrad når produksjon i gran og sitkagran skal sammenlignes.

Jo høyere stående volum, høyere bestandsalder og større middeldiameter, jo større er tilvekstforskjellene. Disse bestandsvariablene henger sammen, men vi kan enkelt si at med

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

økende bestandsalder blir forskjellen større. Volumtilveksten i sitkagran holder seg på et relativt stabilt høyt nivå ved høy alder mens den avtar noe i gran i kyststrøk (Figur 2 og Figur 6). Dette er også et viktig resultat da vi her antagelig kan få en høyere gevinst ved å ha lang omløpsti i sitkagran og ikke hogge den for tidlig. Det må bemerkes at vi i denne undersøkelsen ikke har eldre sitkabestand enn 92 år. Det virker som sitkagran greier å utnytte markas produksjonsevne langt bedre enn vanlig gran i kyststrøk, og særlig i siste halvdel av omløpet.

Den karbonbinding og CO₂ opptak man oppnår i skog følger i hovedsak utviklingen i stående volum, men er enda høyere i sitkagran hvis man inkluderer stubbe og røtter. Sitkagran har en større andel rot- og stubbefraksjon enn vanlig gran. Den gevinsten man oppnår ved karbonbinding i sitkagran fremfor vanlig gran er derfor også høyest i Nord-Norge, ved høy bestokning og ved høy alder.

I denne rapporten er det også sammenstilt en del kunnskap om sitkagran. Sitkagran har lenge vært det viktigste utenlandske treslaget for produksjon av tømmer i Nordvest-Europa med i alt ca 1,2 millioner hektar plantninger, herav ca 50 tusen hektar i Norge. I likhet med annen skog er sitkagran også grunnlaget for mange andre økosystemtjenester utover tømmerproduksjon som for eksempel karbonbinding, landskap, estetikk, rekreasjon og biodiversitet.

I sitkaskog er den viktigste skogskjøtselmetoden flatehogst og planting. Undersøkelser i sitkaskog på de britiske øyer angir at alternative skogbehandlingsmetoder som selektive hogst av enkelttrær og gruppehogster som skaper irregulære fleraldrede og flersjiktete skogstrukturer kan stå seg bedre mot utfordringer og tilpasninger ved klimaendringer og kan også redusere vindfellingsfaren.

Treslaget regnes som middels skyggetolerant og en lysintensitet på 50-60 % av fullt lys er det optimale for gjenvekst for å sikre at de vokser godt samt at de er beskyttet av overbestandet mot frostskafer. Er det gode forhold for naturlig foryngelse, kan en gjennomhogst legge godt til rette for naturforyngelse og redusere behovet for planting etter sluttavvirkning. Evnen treslaget har til naturforyngelse og spredning oppfattes også som en ulempe av mange dersom man ikke ønsker treslaget på arealet lenger

Av skadedyr bør nevnes sitkagranlus. Denne lusa har vanlig gran som et viktig vertstre og har antagelig også vært tilstede i Norge før sitkagran ble innført, dog uten at lusa har gjort nevneverdig skade på grana.

Forskere har pekt på at flere arter og også innslag av utenlandske treslag kan forsterke skog som er skadeutsatt og spre risikoen for direkte eller indirekte skader ved klimaendringer. Flere arter av treslag kan komplettere og supplere stedege arter som er på vikende front overfor biotiske og abiotiske skader.

LAND/COUNTRY: Hele landet

FYLKE/COUNTY:

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

STED/LOKALITET:

GODKJENT /APPROVED

Bjørn-Håvard Evjen

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Kjell Andreassen

NAVN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Innhold

1 Innledning.....	5
2 Materiale og metode.....	8
3 Resultater	10
4 Diskusjon.....	21
5 Konklusjon	25
Referanser	26

1 Innledning

Hovedformålet med denne undersøkelsen er å undersøke skogproduksjonen i sitkagran og sammenligne den med gran under ulike bestands- og vekstforhold. I denne undersøkelsen har vi også sammenstilt en del fakta og kunnskap om produksjon og skjøtsel av sitkagran. Dette er viktige spørsmål å belyse for å kunne forvalte skogressursen sitkagran på en best mulig måte.

Sitkagran har i kyststrøk i Norge og Nordvest-Europa lenge vært et populært utenlandsk treslag grunnet god trivsel, rask vekst, god tømmerkvalitet og treslagets evne til å tåle vindslit (Øyen m.fl. 2009, Skovsgaard 1997, Mason 2007). Treslaget har et stort potensial for ulike økosystemtjenester inkludert produksjon av tømmer og karbonlagring. De siste årene har det vært en økt interesse for sitkagran med blant annet mye medieomtale (jf. Kystskogbruket 2018, Håpnæs m.fl. 2018, Bjørn 2015 m.fl.). Den økte interessen for dette treslaget har i hovedsak sin bakgrunn i treets store potensiale for biomasseproduksjon og karbonbinding på den ene siden (Øyen 2008), og på den annen side en bekymring for treslagets evne til å danne sluttet skog og spredning av naturforyngelse (Nygaard & Øyen 2017, Nygaard & Stabbetorp 2006, Nygaard m.fl. 2000) på arealer der det før ofte har vært sparsomt med skog. Denne bekymringen henger sammen med at et innført utenlandsk treslag kan komme i konkurranse med naturlige stedegne arter og forstyrre deres naturlige habitat. I tillegg kan vi få sykdommer eller skadelige insekter og sopp som vi ikke har naturlig i Norge, og som vi er usikre på konsekvensene av. Dagens fokus på spredningsrisiko med økte krav for å unngå spredning har medført at planting av sitkagran nå må omsøkes fylkesmannen for tillatelse (forskrift av Klima- og miljødepartementet 2012). På noen arealer i ytre kyststrøk er sitkagran hogd der man ikke lenger ønsker treslaget (Vesterbukt 2017a,b), og enkelte ganger er naturforyngelsen overvåket etter hogsten (Vesterbukt 2018a,b).

Norge har i dag ca 50 tusen hektar sitkagran som er tilplantet hovedsakelig i kyststrøk fra Agder i sør til Troms i nord (jf. Bergan 1994, Bergan 1997, Øyen m.fl. 2009, Tomter & Dalen 2014). Selv om dette bare utgjør 0,6 % av det produktive skogarealet er tilveksten svært høy med mer enn 500 tusen m³ pr år. Sitkagran er plantet på ca 1,2 millioner hektar i Nordvest-Europa og treslaget er en viktig ressurs i disse landene (Hasenauer m.fl. 2017). Særlig på de britiske øyer er sitkagran utbredt der Irland har 335 tusen hektar (Farrally 2011, Hasenauer m.fl. 2017), mens Storbritannia inkludert Nord-Irland har ca 700 tusen hektar (Mason 2007, 2012).

Skog er en viktig ressurs både i innlandet og i kyststrøk (Moen m.fl. 2015). Sitkagran har vist seg å trives godt i skogreisningsstrøk på kysten (Bergan & Orlund 1992, Bergan 1997). Sitkagran er, som annen skog, grunnlaget for mange økosystemtjenester utover tømmerproduksjon som for eksempel karbonbinding, landskap, estetikk, rekreasjon, biodiversitet og som habitat for ulike dyr, planter og sopp (Deal m.fl. 2014).

For sitkagran er den viktigste skogskjøtselmetoden i Norge flatehogst og planting (Øyen 2009), og denne metoden er også mest benyttet i Storbritannia (Malcolm 1997, Mason and Perks 2011). Noen tar til orde for bruk av alternative skogbehandlingsmetoder som selektive hogster av enkeltrær og gruppehogster som skaper irregulære fleraldrede og flersjiktete skogstrukturer (Pommerening and Murphy 2004), blant annet siden sitkagran er moderat skyggetålende og har gode evner til naturforyngelse i halvskygger (Malcolm m.fl. 2001). Alternative skogbehandlingsmetoder istedenfor flatehogst kan øke biodiversiteten (Humphrey m.fl. 2003), og irregulære skogbestand er ofte en mer foretrukket skogtype for besøkende (Edwards m.fl. 2012). Mange mener at irregulære bestand, inkludert treslagsblandinger, også står seg bedre mot utfordringer og tilpasninger ved klimaendringer (Kirby m.fl. 2009), samt redusert vindfellingsfaren (Ni Dhubhain m.fl. 2001, Mason 2002). Flere undersøkelser konkluderer med at selektiv hogst er dyrere enn flatehogst (Dale m.fl. 1993), og dette gjelder også for sitkagran (Davies & Kerr 2011). Andre forskere igjen tar til ordet for at selektiv hogst fremfor flatehogst kan redusere risikoen for både abiotiske og biotiske skader (Jactel m.fl. 2009).

Norske produksjonstabeller (stammevolum) for sitkagran er tidligere utarbeidet av Øyen (2005) og Bauger (1961), og for vanlig gran av Braastad (1975). Som nevnt er sitkagran viktig for ulike økosystemtjenester i kyststrøk, men produksjon av trevirke utgjør den viktigste økonomiske interessen (Deal m.fl. 2014). Med den økningen av stående volum vi har hatt i Norges skoger over mange 10-år (Granhus m.fl. 2012), utgjør trærnes biomasse et stadig økende karbonlager. Biomasse fra skog kan benyttes både til tømmer, massevirke og som bioenergi til erstatning for fossilt drivstoff.

Sitkagran stiller normalt ikke så store krav til voksestedet og vi kan få store dimensjoner på relativt næringsfattig jord (Malcolm 1997, Peterson m.fl. 1997). Når treslaget dessuten vokser raskt og har høy produksjon (Øyen 2005) blir treslaget også økonomisk fordelaktig. I både Storbritannia og Irland er sitkagran det økonomisk viktigste treslaget (Mason 2012). Bergan & Orlund (1992) påpeker at sitkagran er et velegnet treslag under vanskelige foryngelsesforhold i kyststrøk.

Med sitt opphav fra kyststrøk i Nordvest-Amerika og en utbredt plantning i kystklima i Nordvest-Europa med sterke vindpåkjenninger (Mason & Perks 2011, Quine m.fl. 1995) er vindstabilitet svært sentralt for dette treslaget. Flere forskere og undersøkelser peker på at sitkagran nettopp har høy vindstabilitet (Gardiner m.fl. 2004, Hale m.fl. 2004, Quine m.fl. 2007, Suarez-Minguez 2010).

På typiske kystarealer med mye vind kan tynning innebære høy vindfallsrisiko. Særlig den første tiden etter et tynningsinngrep er risikoen stor (Agestam 2015). Flere forskere påpeker muligheten til å skjøtte sitkagran med få eller ingen tynninger (Skovsgaard 1997, Quine m.fl. 1995) blant annet for å unngå de risikable første årene etter tynningsinngrepet. Andre forskere igjen mener at en skogbehandling ned selektiv hogst av enkeltrær er et bidrag for å redusere vindfallsrisikoen (Ni Dhubhain m.fl. 2001, Mason 2002) og at irregulære og fleraldrede sitkabestand kan være mer stabile (Mason 2015). Et mellomsjikt og et underbestand bidrar til å redusere vindbelastningen på de største trærne (Shütz 1989, Gardiner m.fl. 2005). Andre mener derimot at en utpreget topptynning detroniserer stabiliteten i bestandet siden selektiv hogst normalt innebærer at de dominante og mest vindstabile trærne fjernes (Suarez-Minguez 2010). Noen forskere mener derimot tidlige og sterke tynninger kan bidra til å redusere vindfallsrisikoen (Mason 2002, 2003, Agestam 2015).

Erfaringer og forskning fra England peker på at i bestand yngre enn 25 år bør tynningen ha en form for kronetynning nettopp for å styrke og videreutvikle utvalgte dominante trær som normalt står seg godt mot vind og skaper stabilitet i bestandet (Wellpot 2008, Hale m.fl. 2012).

Sitkagran har lokalt vist en god evne til regenerering ved naturforyngelse og småplanter som vokser opp (McNeill & Thompson 1982, Nelson 1991, Von Ow m.fl. 1996, Hale 2004, Mason 2008, Stokes & Kerr 2013). Denne egenskapen er svært nyttig hvis man ønsker en rimelig naturforyngelse og reetablering av sitkaskog etter hogst. Men evnen treslaget har til naturforyngelse og spredning kan også oppfattes som en ulempe dersom man ikke ønsker treslaget på arealet lenger (Thorvaldsen 2016, Johansen m.fl. 2017, Vesterbukt 2017a,b).

Sitkagran har et relativt beskjedent krav til lys for at småplanter skal overleve. Feltforsøk viser at småplantene trenger minimum 20-25 % av fullt lys for å overleve (Black m.fl. 2005, Page & Cameron 2006, Kennedy m.fl. 2007, Bertin m.fl. 2011), mens modellprediksjoner viser at det trengs minimum 20 % lysgjennomtrenging fra kronetaket for at små sitkaplanter skal overleve (Hale 2004, Hale m.fl. 2009). Erfaringer fra feltforsøk viser at en lysintensitet på 50-60 % av fullt lys er det optimale for sitkaplanter der de både vokser godt samt at de er beskyttet av overbestandet mot frostskafer (Mason m.fl. 2004) og mot uttørring ved direkte soleksponering (Black m.fl. 2005). Sitkagran karakteriseres til å være middels skyggetolerant (Mason m.fl. 2004, Kennedy m.fl. 2007).

Sitkagran kan bli angrepet av sitkagranlus (Carter m.fl. 1998, Bladon 2010, Bertin m.fl. 2010). Tørkestressede småplanter under stortrærnes kronetak er mye utsatt. Som navnet tilsier angriper denne lusa mest sitkagran, men den har vanlig gran som et viktig vertstre og har antagelig hele tiden vært i Norge uten at lusa har gjort nevneverdig skade på grana (Orlund & Austarå 1996). Den suger plantesaft fra nålene slik at disse gulner, dør og treet kan få en kraftig defoliasjon og påfølgende

reduksjon i tilvekst. Angrepet kan pågå over flere år og diametertilveksten kan fort bli halvert og i noen tilfeller dør treet (Orlund & Austarå 1996).

Av andre insekter er det særlig gransnutebillen som representerer en fare for sitkagran, særlig på småplantene etter flatehogst (Leather m.fl. 1999). Det er flere råd for beskyttelse av granplanter mot gransnutebiller (blant annet voksing eller plastbeskyttelse av rothals) som også kan benyttes ved planting av sitkagran. En annen måte å redusere faren for snutebilleangrep er å bytte ut flatehogst med selektiv hogst som både øker beskygningen av småplantene og reduserer hogstavfallslukten som tiltrekker gransnutebillene (Mason 2015). Fra Danmark og Nord-Tyskland rapporteres det om angrep av kjempebarkbille (*Dendroctonus micans*) på sitkagran (Bejer 1988).

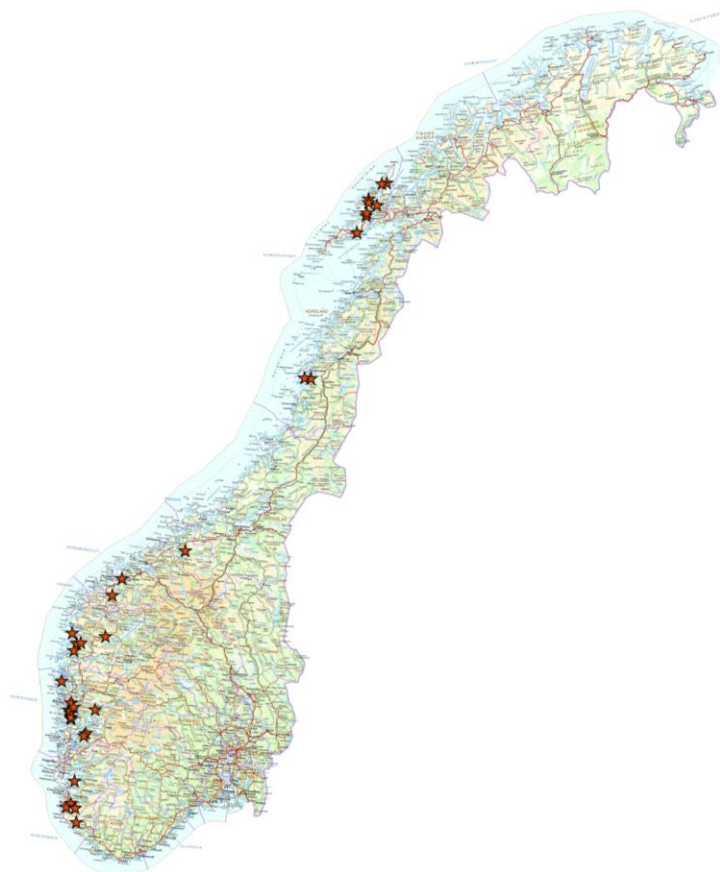
Flere har undersøkt kvaliteten på sitkagran og konkluderer med at treslaget er på høyde med vanlig gran for flere styrkeegenskaper (Vadla 2007 og 2008, Moore 2011). Både sitkagran og vanlig gran vokst opp under en skjerm, for eksempel ved selektiv hogst, har mindre andel ungdomsved enn fritt oppvokste trær etter flatehogst (Piisapanen m.fl. 2014, Cameron m.fl. 2015). Basisdensiteten i sitkagran er i ca 360 kg/m³ (Klem 1965, Vadla 2008a, 2008b), mens gran har en noe høyere densitet på 380 kg/m³. Densiteten varierer også med årringbredde, hvor høyt i treet treprøven tas fra og med breddegrad (Vadla 2008a, 2008b).

Mange forskere mener et større innslag av flere treslag kan forsterke skog som er skadeutsatt og spre risikoen for direkte eller indirekte skader ved klimaendringer (Pötzelsberger 2018, Madsen m.fl. 2013a,b). Blir for eksempel det ene treslaget drept av insekter eller en soppinfeksjon vil det andre treslaget stå igjen og ta over rot og kronerom til trær som er gått ut og dermed fortsette produksjonen og opprettholde skogstrukturen. Dette gjelder innslag av både stedegne og av utenlandske treslag. I dag opplever vi betydelige klimaendringer og skog rammes hyppigere av både biotiske og abiotiske skader. De abiotiske skadene gjør trærne enda mer utsatt for biotiske skader. Provenienser og anbefalte treslag er imidlertid ofte tilpasset fortidens klima, og i dag bør man derfor tenke nytt (Madsen m.fl. 2013b). Med skiftende betingelser for klima og vekstfaktorer kan tiden kanskje være inne for å vurdere hvilke dyrkingstreslag som er best egnet i ulike geografiske voksesteder i Norge (Madsen m.fl. 2013b). For eksempel sliter vanlig gran på mange tørkeutsatte steder på Østlandet (Solberg m.fl. 2013). Både norske og utenlandske treslag kan komplettere og supplere stedegne arter som er på vikende front. Slik kan skogbildet bevares og som igjen gjør at mangfoldet og ulike økosystemtjenester i skog inkludert tømmerproduksjon kan opprettholdes i et nytt klimaregime (Ray m.fl. 2014, Cameron 2015).

2 Materiale og metode

Vi har benyttet empiriske data fra langsiktige feltforsøk til NIBIO der ulike forsøksfelt er fulgt med jevnlig målinger og takseringer over en lengre periode. Ved slike gjentatte og jevnlig målinger får man god oversikt over bestandsutviklingen med både tilvekst og dimensjonsfordeling.

I denne undersøkelsen inngår data fra langsiktige feltforsøk på 36 skogeiendommer der vi både har felt med sitkagran og felt med vanlig gran slik at langsiktige produksjonsdata fra begge treslagene kan sammenlignes. Forsøksfeltene lå i hovedsak på mineraljord, og strakte seg fra Rogaland i sør til Troms i nord fra 58°N som det sydligste og til 69°N for det nordligste. Geografisk fordeling i ulike kommuner av de i alt 36 skogeiendommene er vist i Figur 1. De fleste bestandene er fulgt med målinger frem til eldre skog. Måleperioden er opptil 53 år, mens noen forsøk er fulgt over en mye kortere periode (Tabell 1). Gjennomsnittlig revisjonsperiode er 6 år mellom hver måling, og totalt 174 revisjonsperioder inngikk i analysen. I løpet av observasjonsperioden varierte stående volum på sitkafeltene fra 71 til 1319 m³/ha (middel 420), mens volumet på granfeltene varierte fra 65 til 900 m³/ha (middel 310). Bestandets middelhøyde varierte fra 8 til 34 meter for sitkagran, og fra 6 til 26 meter for vanlig gran. Hvert tre med brysthøydiameter større enn 2,5 cm ble klavet, og høyder på om lag hvert fjerde tre ble målt ved hver revisjon. Den årlige tilveksten ble beregnet som økningen av stående volum inkludert selvtynning og innvokst foryngelse mellom to tidsperioder (m³/ha/år).



Figur 1. Oversikt over forsøksskoger.

Tabell 1. Forsøksskoger med observasjonsperiode, kubikkmasse og totalalder for sitkagran.

Skognavn	Fra	Til	Tilvekst- perioder	Min m ³ /ha	Max m ³ /ha	Totalalder min år	Totalalder max år
Alstahaug	1969	2011	7	189	941	42	84
Auestad	1976	2011	5	213	861	58	92
Bjørnskinn	1979	1999	4	338	548	57	77
Bontveit	1991	2014	4	749	1319	63	86
Breidablikk	1956	1968	4	199	368	40	52
Byrkjelo	1989	1996	1	528	642	40	47
Dale	1952	1990	12	94	696	28	66
Dimmelsvik	1964	1978	3	222	463	42	56
Djupadal	1963	1968	1	295	446	39	44
Erikstad	1967	1988	4	294	613	29	50
Ferstadvollen	1977	1995	2	318	923	38	56
Follerøli	1961	1976	4	236	464	39	54
Hamre	1957	1991	14	151	732	34	69
Haugland	1974	1990	4	183	405	43	61
Hopland	1955	1970	5	150	356	33	48
Husby	1967	1993	5	199	446	36	62
Kobbeltveit	1986	1993	2	184	409	35	42
Kongsmarka	1972	1999	5	238	632	50	77
Langdalslia	1965	2000	5	184	633	42	77
Leitet	1972	1991	3	384	793	45	64
Lomeland	1988	2012	4	292	723	66	90
Lysekloster	1959	1987	3	289	949	36	64
Moberglien	1952	2005	2	109	1068	23	53
Sele	1953	1994	9	122	832	26	55
Skjåjord	1979	2015	6	307	1143	45	81
Steiro	1972	2015	7	270	1196	46	89
Stokmarknes	1967	1999	5	165	649	41	68
Svela	1976	1978	1	71	107	52	54
Svidal	1953	1979	9	178	664	31	57
Sølferstrand	1979	2015	5	328	695	48	84
Sørbovågen	1961	1991	6	278	781	39	69
Tarlebø	1977	2013	5	136	899	26	62
Vasstrand	1975	2008	5	271	1015	41	74
Vik	1964	1969	1	259	305	42	47
Vikøy	1963	1976	3	361	723	41	54
Åse	1963	2015	9	144	923	32	83
Middel	1969	1994	5	248	705	41	65

Ved beregning av volumtilvekst (IV) har vi beregnet denne for *hvert felt* som et gjennomsnitt av alle de løpende tilvekstperioder (totalt 174 tilvekstperioder, middel 5 perioder pr forsøksskog) som er registrert for hvert av de to treslagene i løpet av forsøksperioden. I en forsøksskog som er revidert ti ganger teller hver av de ti observasjonene like mye. For hver av de parvise forsøksfeltene i en forsøksskog har vi igjen beregnet den gjennomsnittlige tilveksten hos sitkagran i prosent av tilveksten hos vanlig gran for hver tilvekstperiode. Prosenttallet til *hver* av de 36 forsøksskogene med de parvise feltene teller derfor like mye ved den totale gjennomsnittsberegningen. På denne måten unngår vi at forsøksfelt med høyest bonitet og høyest tilvekst teller mer enn felter med lavere bonitet. Vi har også bare benyttet skogforsøk der vi har tilnærmet lik alder for sitkagran og vanlig gran.

3 Resultater

Produksjonen i stammevolum for sitkagran var i gjennomsnitt 38 % høyere enn for vanlig gran på Vestlandet og 86 % høyere i Nord-Norge. (Figur 2 og Tabell 2). Tilveksten i sitkagran var fra 32 % lavere til 176 % høyere enn i gran på Vestlandet. I Nord-Norge var forskjellen enda tydeligere med 43-144 % høyere tilvekst. Siden det i denne sammenligningen også inngår mange observasjoner i yngre skog, må det understrekes at produksjonsforskjellen er enda høyere i middels gammel og i eldre skog – se nedenfor. I parentes bemerkes at tar man den gjennomsnittlige tilveksten til sitkagran for alle de 36 forsøksskogene på 23,7 m³/ha/år og dividerer med tilsvarende gjennomsnittlige grantilvekst på 16,6 vektlegges forsøksfelter på høy bonitet sterkest og da blir tilvekstforskjellen mindre (bare 43 % mot 53 % i Tabell 2). Vektlegges hvert av de parallelle feltforsøk like mye og man tar produksjonsforskjellen i % av hvert forsøk som vi har gjort vektlegges hvert forsøk likt.

Tabell 2. Tilvekst i gran og sitkagran i feltforsøk som er sammenlignet (min-max i parentes) over hele forsøksperioden.

Treslag	m ³ /ha/år Middel	% av grantilvekst		
		Middel	Vestlandet	Nord-Norge
Sitkagran	24 (15-34)	153 (68–276)	138 (68–276)	186 (143–244)
Vanlig gran	17 (8-27)	100	100	100

Over hele forsøksperioden varierte gjennomsnittsproduksjonen i sitkagran fra 15-34 m³/ha/år og 8-27 m³/ha/år for gran. Betraktes hver enkelt revisjonsperiode varierte den fra 7-46 m³/ha/år i sitkagran og fra 6-35 m³/ha/år i gran. Som nevnt under metodikk har vi vektlagt hvert forsøk og hver revisjonsperiode like mye i denne sammenslåingen.

Tabell 3. T-Test for tilvekstsammenligningen

	Middel	Minimum	Maximum	Standard feil	t -verdi	Pr > t
Differanse	53 %	-32 %	+176 %	7 %	7,65	<,0001

Tabell 3 viser at det er klar signifikant forskjell i tilveksten hos sitkagran og gran. Tilveksten varierte fra minus 32 % til pluss 176 % i favør av sitkagran.

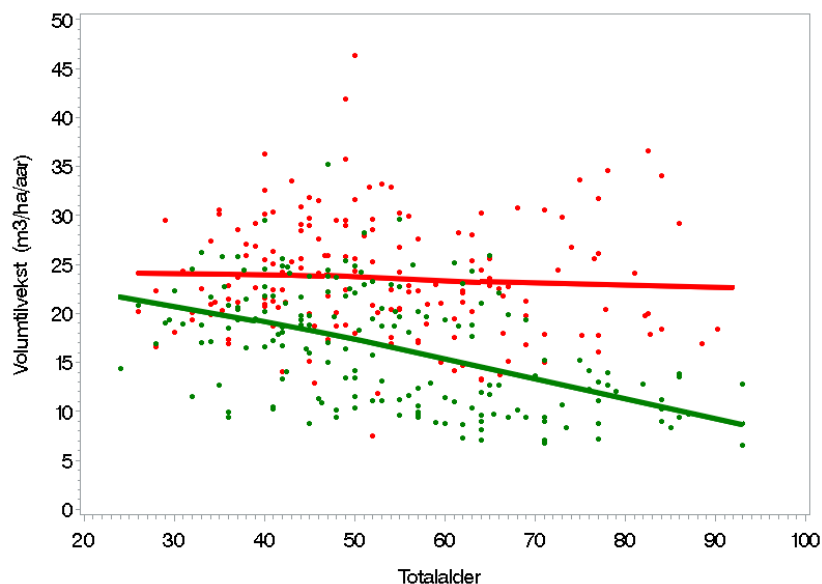
Vi ville også undersøke hvilke bestands- og voksestedsvariabler som betydde mest for tilvekstforskjellen mellom sitkagran og vanlig gran, og kjørte derfor en standard lineær regresjonsanalyse med en og en av de aktuelle variablene (Tabell 4).

Tabell 4. Persons korrelasjonskoeffisient mellom tilvekstforskjell og noen bestands- og voksestedsfaktorer. *) = ikke signifikant.

Stående volum sitkagran	0,53	
Stående volum gran	-0,01	*)
Bestandsalder	0,56	
Middeldiameter sitkagran	0,48	
Middeldiameter gran	0,13	*)
Treantall sitkagran	-0,24	
Treantall gran	-0,18	
Avstand til kystlinje	-0,21	
Breddegrad	0,41	

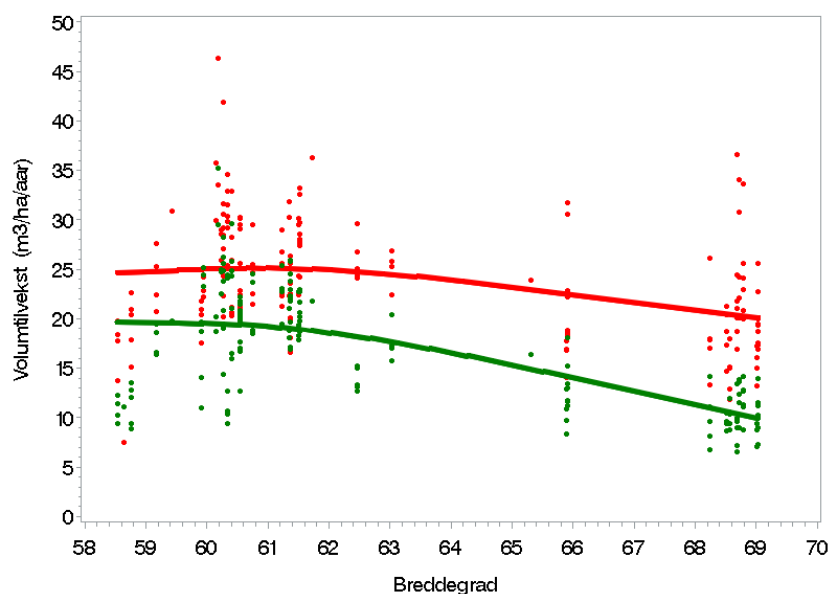
Det fremgår at de variablene som hadde størst korrelasjon med tilvekstforskjellen var stående volum og bestandsalder i sitkagran (Tabell 4). Deretter følger middeldiameter til sitkagran og breddegrad. Andre variabler viste liten korrelasjon, eller var ikke signifikante. Siden korrelasjonskoeffisienten ikke er kvadrert ser vi også fortegnet og dermed retningen på sammenhengen. Høyere volum, bestandsalder og middeldiameter i sitkaskog øker tilvekstforskjellen. Mange av disse variablene henger sammen med hverandre der for eksempel volum kan direkte avledes av middeldiameter og treantall. Det har derfor ikke så stor verdi å inkludere mange variabler og som viser de samme mønstre i sammenhenger med tilveksten. Vi undersøkte også om variabler som observasjonsårstall (årstall for målingene) og antall måleperioder (antall tilvekstperioder pr forsøkskog) påvirket tilvekstforskjellen, men disse var ikke signifikante og viste liten sammenheng.

Nedenfor og videre fremover vil vi undersøke nærmere hvilken betydning de viktigste bestands- og voksestedsfaktorer har for tilvekstforskjellen mellom sitkagran og vanlig gran.



Figur 2. Volumtilvekst ($m^3/ha/\text{år}$) i sitkagran og i vanlig gran ved ulike bestandsalder (gjennomsnittlig 6 års tilvekstperiode). Sitkagran=rød, gran=grønn, totalalder fra frøspiring.

Forskjellen i tilvekst er høyere ved middels og høy bestandsalder (Figur 2). Vi ser også at tilveksten er mer utholdende i eldre sitkabestand sammenlignet med eldre gran på disse områdene nær kysten. En av forklaringene på lavere tilvekst i granfelter ved høyere alder er at vi har et større innslag av felter lengre nord med lav bonitet (og lengre omløpstid) og følgelig lavere tilvekst. Siden figuren gjenspeiler gjennomsnittstall for mange boniteter er lavere bonitet en av årsakene til lavere tilvekst i gran med økt bestandsalder. Middeltilveksten i gran kulminerer normalt ved høy alder, og vi har lavest kulminasjonsalder på de høye boniteter. Vi ser at tilveksten i sitkagran (rød linje) holder seg på et bemerkelsesverdige jevnt og høyt nivå nærmest uavhengig av bestandsalder (Figur 2).



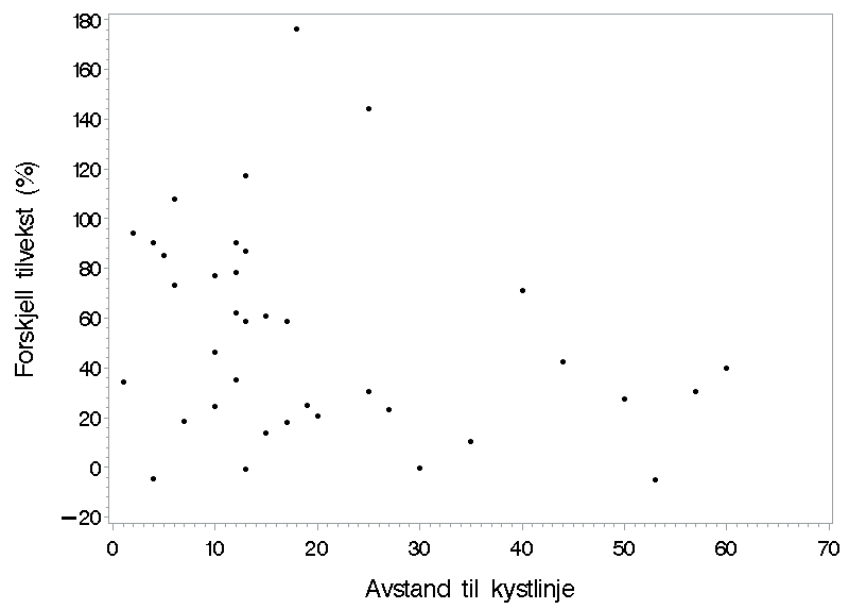
Figur 3. Volumtilvekst (m³/ha/år) i sitkagran og gran ved ulike nordlige breddegrader. Sitkagran=rød, gran=grønn.

Vekstforskjellene er tydeligst lengst mot nord (Figur 3). Som nevnt er tilvekstforskjellen gjennomsnittlig 38 % på Vestlandet i favør av sitkagran, mens forskjellen er omtrent 86 % i Nord-Norge. Dette peker på at det er ekstra lønnsomt med biomasseproduksjon av sitkagran på voksesteder i kyststrøk i Nord-Norge.

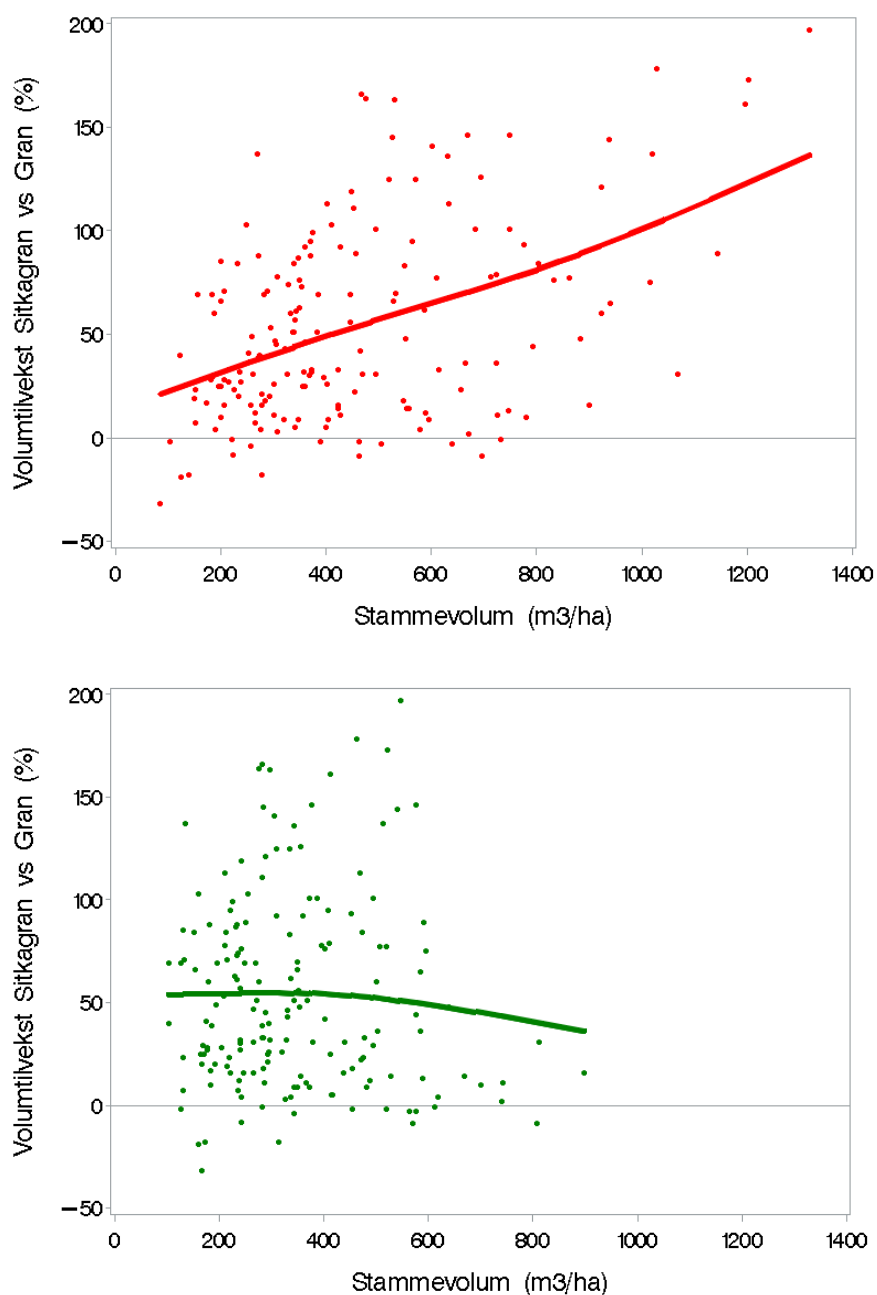
En regresjonsanalyse der vi sjekket betydningen av avstanden fra kysten til forsøksskogen viser at det ikke er signifikant sammenheng med tilvekstforskjellen for denne faktoren (Tabell 5). Vi ser at tilvekstforskjellen mellom gran og sitkagran reduseres med 0,85 % for hver km man fjerner seg fra kystlinjen. Et plott av tilvekstforskjellen mot avstanden fra kystlinjen vises i Figur 4. I analysen benytter vi en blandet regresjonsmodell som inkluderer både tilfeldige og faste effekter slik at vi også tar hensyn til at målinger er repetert hvert sjette år innen samme forsøksskog som fast effekt.

Tabell 5. Regresjon av sammenhengen mellom tilvekstforskjell og avstand til kystlinje *)=ikke signifikant)

Variabel	Parameter estimat	Standard feil	t-verdi	Pr > t
Konstantledd	75	13	5,9	<,0001
Avstand kysten (km)	-0,85	0,47	-1,82	0,08 *)



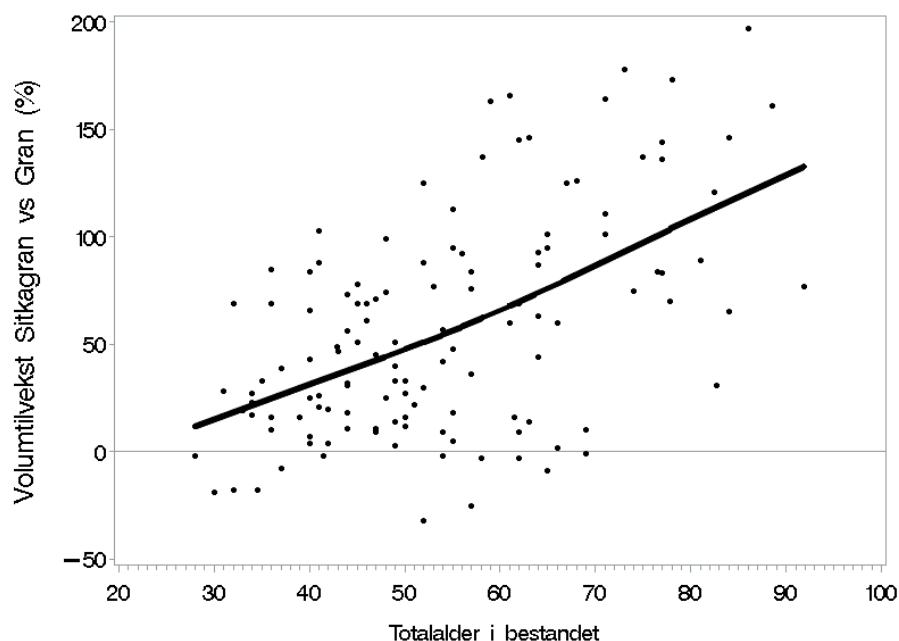
Figur 4. Tilvekstforskjell mellom sitkagran og vanlig gran ved ulike avstander fra kysten.



Figur 5. Tilvekst av sitkagran i % av grantilvekst (Y-akse) ved ulike tettheter av bestandsvolumet (X-akse). Sitkagran (rød øverst) og i gran (grønn nederst).

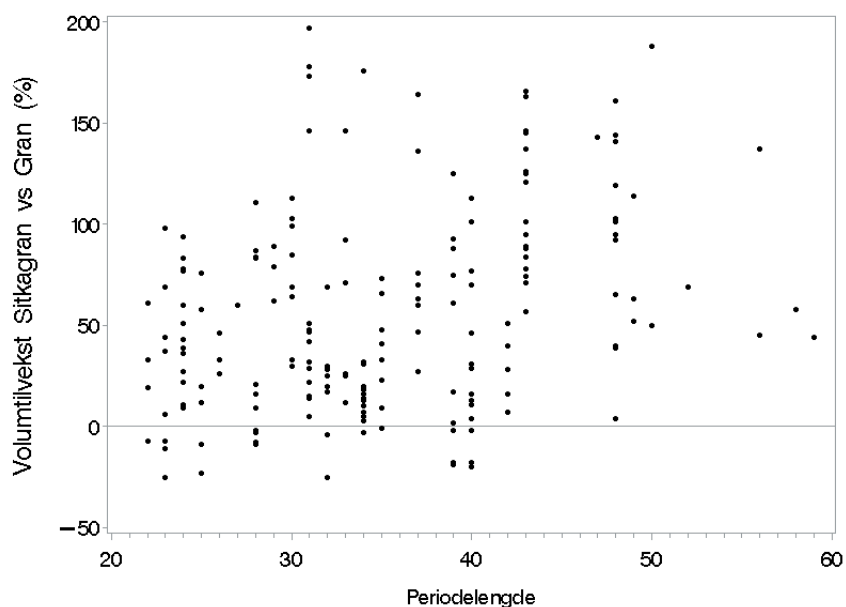
Det fremgår at størrelsen på bestandsvolumet (m^3/ha) i *gran* har mindre betydning for tilvekstforskjellen mellom sitkagran og gran (Figur 5 grønn nederst). Derimot ser det ut til at økt bestandstetthet og bestandsvolum i *sitkabestanden* har stor betydning for den relative tilveksten (Figur 5 rød øverst) – se også Tabell 4. Det fremgår at tett sitkaskog greier å utnytte produksjonskapasiteten bedre enn tett granskog og at det oppnås størst tilvekstforskjell mellom gran og sitkagran i tette bestand.

Bestandsalder (totalalder fra frøspiring) har stor betydning for tilvekstforskjellen mellom sitkagran og gran (Figur 6). Vi ser at det er liten tilvekstforskjell ved ung bestandsalder. Med økende alder øker imidlertid tilvekst-forskjellen. I vår undersøkelse har vi imidlertid ikke eldre sitkaforøk enn 92 år, men sitkagrana på disse vokser tydeligvis svært godt og med en løpende årlig tilvekst som er det dobbelte av det vanlig gran fremviser ved høy alder. Hvordan det går videre med sitkabestand som blir enda eldre er det vanskelig å si noe om. Vi har riktignok noen få sitkaforøk over 100 år, men disse forsøksskogene er da uten parallellforsøk med gran som en kan sammenligne med.



Figur 6. Tilvekst av sitkagran i % av grantilvekst ved ulike bestandsalder.

Vi ville også undersøke om lengden på forsøksperioden hadde betydning og sammenlignet denne med tilveksten (Figur 7). Det fremgår her at det er liten sammenheng mellom forsøkets levetid og tilvekst-forskjellen. Lengde på forsøksperiode var heller ikke signifikant da vi undersøkte betydningen av ulike bestandsvariabler (Tabell 4).



Figur 7. Tilvekst av sitkagran i % av grantilvekst ved ulike lengde på totale forsøksperiode.

Vi ville til slutt undersøke hvilke sammenhenger vi fikk dersom flere av bestands- og voksestedsfaktorene inngikk i samme analyse av tilvekstforskjellen mellom sitkagran og gran. Vi utførte da først en trinnvis regresjon der de beste variabler automatisk ble plukket ut (Tabell 6), og deretter en blandet regresjonsmodell (med både tilfeldige og faste effekter) der vi også tok hensyn til repeterte målinger innen samme forsøksskog som fast effekt (Tabell 7).

Tabell 6. Variabler i beste trinnvise regresjonsmodell og korrelasjonskoeffisient (R^2). Alle signifikante variabler er med.

Bestands- alder (år)	Bestandsvolum gran (m^3/ha)	Bestandsvolum sitkagran (m^3/ha)	Breddegrad (°N)	R^2	Antall variabler i modellen
X				0,30	1
X	X			0,47	2
X	X	X		0,52	3
X	X	X	X	0,55	4

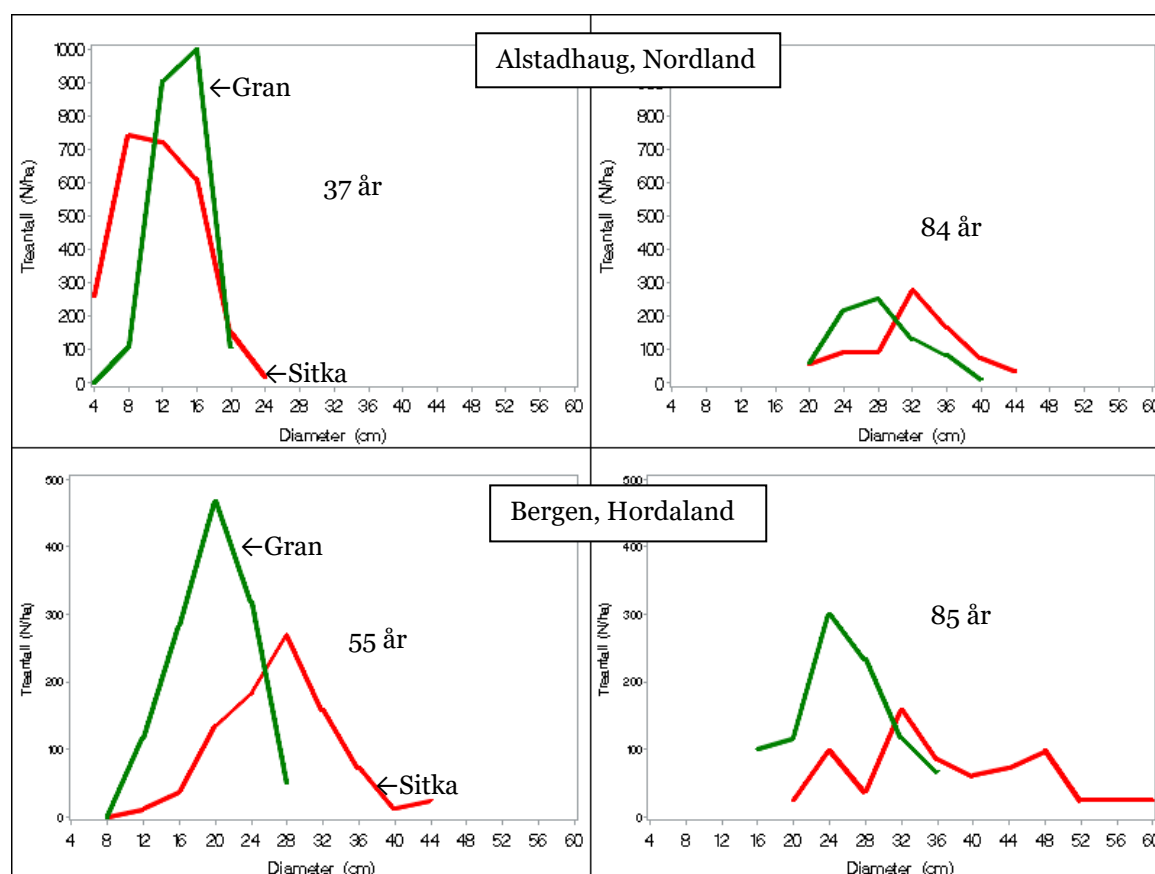
Det fremgår at korrelasjonen øker betydelig fra 0,30 til 0,55 ved å inkludere opptil fire bestands- og voksestedsvariabler til å forklare tilvekstforskjellen. Å inkludere treantall og middeltilvekst i tillegg til disse fire var ubetydelig i denne multiple regresjonsmodellen – se også Tabell 4. Selv om de to siste variablene var signifikante viser Tabell 6 at det er bestandsalder, bestandsvolum og breddegrad som forklarer mest av tilvekstforskjellen mellom sitkagran og vanlig gran. Og det er nettopp de variablene vi har lagt mest vekt på foran (Figur 2 – Figur 6).

Tabell 7 viser en blandet regresjonsmodell som beskriver sammenhengen mellom tilvekstforskjell og de fire mest aktuelle bestands- og voksestedsfaktorer inkludert faste effekter. Det fremgår at flere av variablene har byttet fortegn fra det som er gjengitt i Tabell 4, men dette er normalt ved multipl regressjon.

Tabell 7. Blandet regresjonsmodell for sammenhengen mellom tilvekstforskjell og bestands- og voksestedsvariabler. $R^2 = 0,55$

Variabel	Parameter estimat	Standard feil	t-verdi	Pr > t
Konstantledd	-128	51,8	-2,46	0,0146
Stående volum sitkagran	0,075	0,0147	5,06	<,0001
Stående volum gran	-0,101	0,0143	-7,02	<,0001
Bestandsalder	1,87	0,283	6,60	<,0001
Breddegrad	2,99	0,860	3,48	0,0006

Vi har også undersøkt hvordan dimensjonsfordelingen i gran og sitkagran har utviklet seg over tid for to forsøksskoger. Vi ser at til å begynne med i de første 30 årene er ikke forskjellen så stor og grana har flest store dimensjoner. Etter 50 år ser vi at bestokningen i sitkagran rykker ifra og vi får flere store sitkatrær jo eldre bestandet er (Figur 8). I Alstadhaug må det bemerkes at de to bestandene som er sammenlignet ligger ca 600 m fra hverandre og har noe ulik vegetasjonstype. Produksjonsforskjellen er likevel helt i tråd med det vi finner på de andre skogeiendommene.



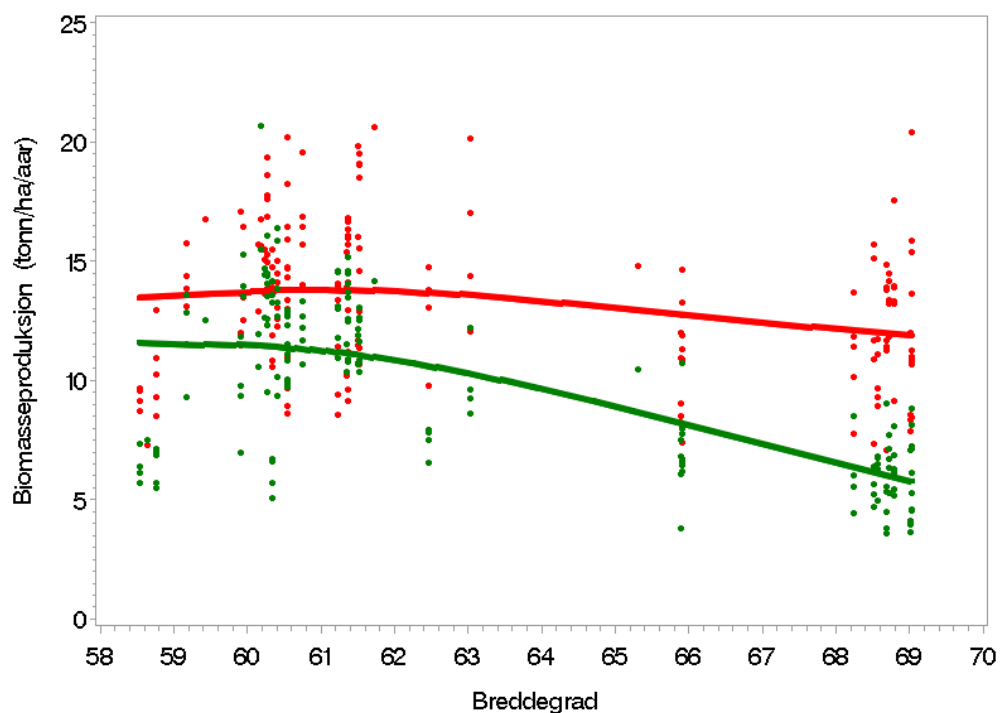
Figur 8. Dimensjonsfordeling (4 cm klasser). Øverst felt 350 (sitkagran=rød) og felt 352 (gran=grønn) i Alstadhaug begge plantet i 1932 med totalalder 37 år i 1964 og 84 år i 2011. Nederst Felt 571 og felt 570 i Bergen begge plantet i 1933 med totalalder 55 år i 1984 og 85 år i 2014.

Vi har også sammenlignet overjordisk biomasseproduksjon (AGB, inkludert grener og bar) hos gran og sitkagran (Tabell 8 og Figur 9). Her har vi benyttet biomassemodeller av Nord-Larsen & Nielsen 2015, Øyen & Nygaard 2017 og Johnsen 2009. I Norge anvendes normalt svenske biomassefunksjoner for gran (Marklund 1988).

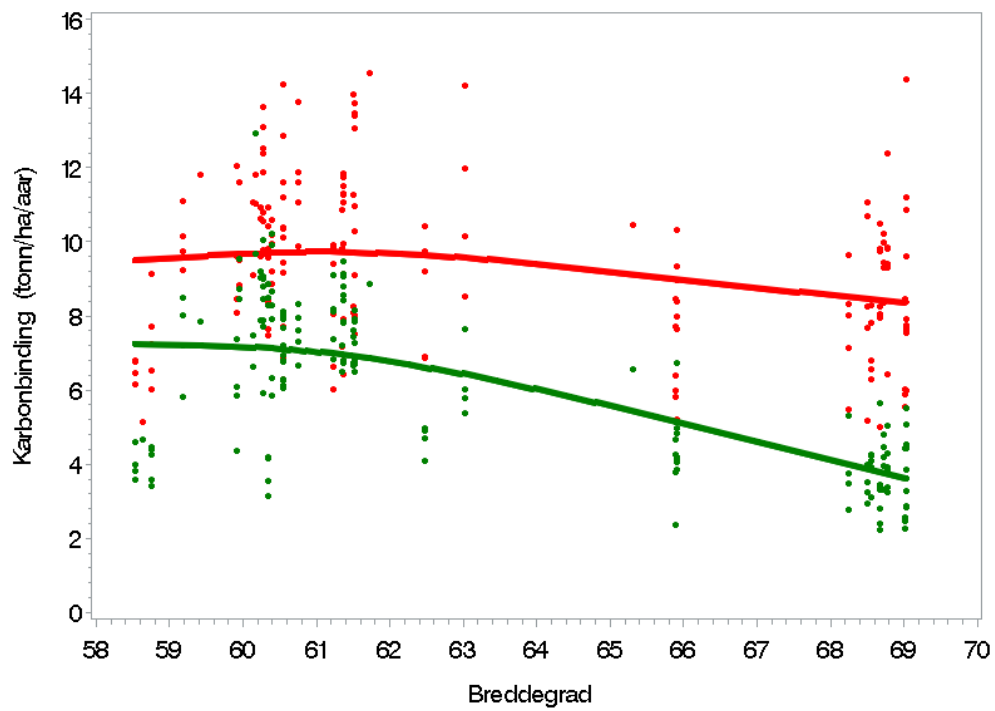
Vi har også benyttet såkalte biomasseekspansjonsfunksjoner (BEF) og omregnet fra volumtilvekst med BEFs på 1,55 og 1,60 (Levy m.fl. 2004 og Black m.fl. 2004) og basisdensiteter på 380 og 360 kg/m³ (Vadla 2007, Vadla 2008) hos henholdsvis gran og sitkagran (Tabell 8).

Det fremgår at forskjellen ved bruk av BEFs og biomassefunksjoner i stedet for stammevolum gir noe variasjon der den gjennomsnittlige tilvekstforskjell sitkagran versus gran er +53 % ved bruk av stammevolum, +50 % ved bruk av BEFs og +45 % ved bruk av biomassefunksjoner (Tabell 8). Det samme geografiske mønsteret vi har sett for stammevolum gjentar seg imidlertid også her (Figur 9).

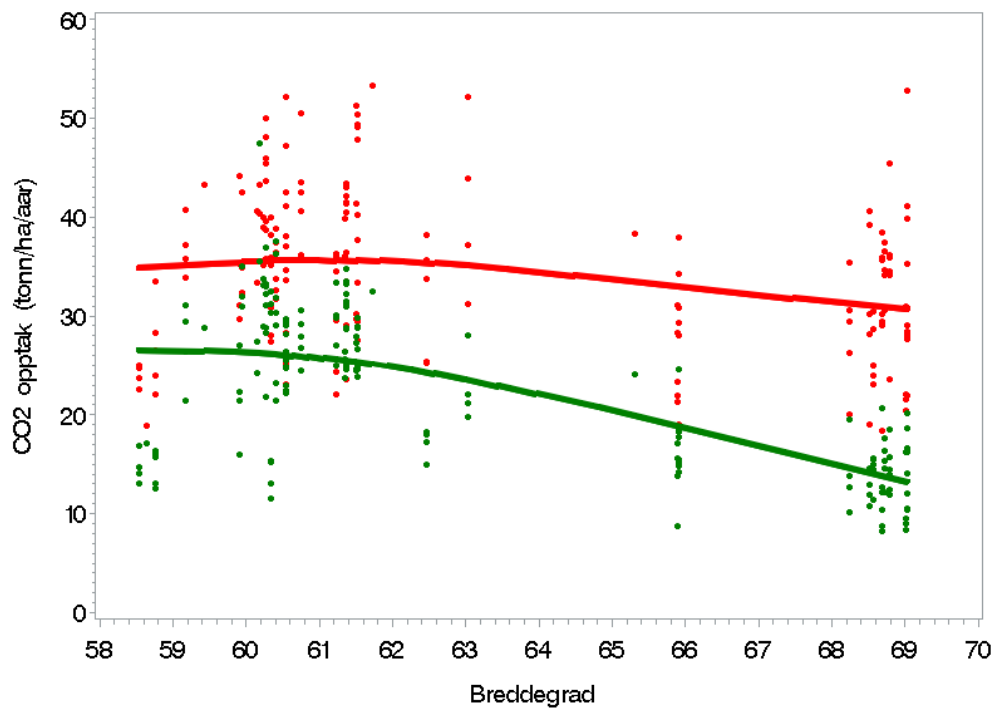
Ved beregning av karbonbinding (Figur 10) og CO₂ opptak (Figur 11) har vi forutsatt at halvparten av biomassen er karbon. Her har vi også inkludert produsert rotfraksjonen (stubbe og røtter) og som er noe større hos sitkagran med et tillegg på 25 og 41 % for henholdsvis gran og sitkagran (Levy et al 2004). Inkluderes denne rotfraksjonen blir forskjellen i karbonbinding og CO₂ opptak mellom sitkagran og vanlig gran på +64 % i favør av sitkagran når vi benytter biomassefunksjoner. Benyttes BEFs ved denne beregningen av karbonbinding og CO₂ opptak blir forskjellen +69 %.



Figur 9. Overjordisk biomasseproduksjon (AGB, tonn/ha/år) ved ulike nordlige breddegrader. Sitkagran=rød, gran=grønn.



Figur 10. Karbonbinding totalt inkludert produsert biomasse over og under jord (tonn/ha/år). Sitkagran=rød, gran=grønn



Figur 11. CO₂ opptak totalt (tonn/ha/år). Sitkagran=rød, gran=grønn

**Tabell 8. Produksjonsforskjeller for ulike trefraksjoner (tilvekst i sitkagran i % av grantilvekst).
BEF=Biomasseekspansjonsfunksjoner. AGB=Biomasse over jord. Rotbiomasse av stubbe og røtter.**

Fraksjon	Middel	Vestlandet	Nord-Norge
Stammevolum	153	138	186
AGB fra BEF	150	135	182
AGB fra biomassefunksjoner	145	127	187
AGB fra BEF + Rotbiomasse	169	153	206
AGB fra biomassefunksjoner + Rotbiomasse	164	144	210

4 Diskusjon

Resultatene i denne undersøkelsen viser en betydelig høyere produksjon i sitkagran enn i vanlig gran der gevinsten i gjennomsnitt er 53 % og med 38 % økt tilvekst i favør av sitkagran på Vestlandet og 86 % i Nord-Norge. I Nord-Norge ser vi at produksjonen i sitkagran er nesten dobbelt så høy som i gran – se nedenfor. Gjennomsnittstallet på 53 % i vårt datamateriale med 2/3 av feltene fra Vestlandet og 1/3 fra Nord-Norge er i tråd med tidligere undersøkelser. Øyen (1998) fant i gjennomsnitt 34 % høyere volumproduksjon i relativt sett yngre sitkagran, mens Øyen & Nygaard (2017) fant 56 % høyere biomasseproduksjon i tre forsøksskoger. Bauger (1962 og 1968) fant henholdsvis 13 og 35 % høyere produksjon i sitkagran. I en undersøkelse i Sverige rapporterte Tengberg (2005) om 14 % produksjonsgevinst for sitkagran sammenlignet med gran. I Tengbergs undersøkelse med lav sitkatilvekst var det imidlertid usikkerhet om riktig sitkaproveniens var brukt, det inngikk flere sitkabestand med lang avstand til kysten og bestandsalder for 11 av 12 forsøksfelt var bare middels gammel (40-54 år). I vår undersøkelse har vi sett at produksjonsgevinsten kommer særlig i siste halvdel av omløpet. Mason & Connolly (2014) fant at blandingsbestand med sitkagran og furu gir høyere produksjon enn monokultur med sitkagran ved andre gangs rotasjon på samme voksested i en forsøksskog i Nordvest England. Det må også påpekes at det kan være forskjeller i voksested og vegetasjonstype innen samme forsøksskog, og dette kan også påvirke resultatene.

I dette arbeidet har vi hatt anledning til å analysere flere forsøksskoger og flere tilvekstperioder enn tidligere undersøkelser og vi har også kunnet inkludere forsøk som ble anlagt mot slutten av forrige århundre. I vår undersøkelse inngikk hele 36 forsøksskoger og 174 tilvekstperioder, mens Øyen (1998) undersøkte 17 forsøksfelt over en kortere overvåkingsperiode og med færre revisjoner. Kortere overvåkingsperiode (fra etablering av forsøksfeltet til siste måling) gir færre tilvekstperioder og dermed færre observasjoner og mer usikre tall. Øyen & Nygaard (2017) hadde en annen problemstilling og analyserte bare tre forsøkslokaliteter. Med et høyere antall observasjoner i vår studie sammenholdt med andre undersøkelser har vi også hatt muligheter til å analysere effektene av ulike gradienter som for eksempel betydningen av breddegrad, avstand til kysten, bestandsalder, bestandstetthet (volum/ha), middeldiameter, treantall/ha og observasjonslengde (antall år fra etablering av forsøk til siste måling). En annen fordel med flere forsøk og flere revisjonsperioder er bedre presisjon og høyere signifikans.

Volumtilveksten i sitkagran holder seg på et relativt stabilt nivå mens den avtar noe ved høy alder i gran i våre forsøksskoger nær kysten (Figur 2 og Figur 6). Dette er et viktig resultat da vi her kan få en høyere gevinst ved å ha noe lengre omløpstid i sitkagran. Utholdenhet i tilvekst hos sitkagran har også vært påpekt av andre, men kommer tydelig frem i vår undersøkelsen med et større og bredere datamateriale. Øyen (2005), Orlund (2001) og Bauger (1970) påpeker at høydekurven i sitkagran øker mer enn i gran ved tilsvarende bonitet ved middels og høy bestandsalder, og dette harmonerer med økt tilvekstforskjell ved høy alder som vi observerer.

Sitkagran ser også ut til å tåle høy tetthet (m^3/ha) svært godt og tilvekstgevinsten mot gran øker ved høyere tetthet. Det ser ikke ut til at vanlig gran greier å øke produksjonen like mye ved høy tetthet (Figur 5).

Det er liten sammenheng mellom lengden på forsøket og tilvekstforskjellen (Figur 7). Den svake trenden vi likevel ser gjenspeiler antagelig effekten av høy bestandsalder.

Flere undersøkelser peker på at det har vært en produktivitetsøkning i gran særlig de siste 20-30 (Kvaalen & Andreassen 2018, Tveite 2017, Sharma m.fl. 2011, Böhler & Øyen 2011). Det er mange teorier om årsakene til dette igjen, men mest sannsynlig er det en følge av varmere klima, mer nedbør, økt nitrogendeposisjon, genetisk gevinst av planteforedling og bedre skogbehandlingsmetoder (Kvaalen & Andreassen 2018). Det ser ut til at sitkagran har vokst enda bedre enn gran, og har en mer utholdende tilvekst ved høyere alder. Sannsynligvis er det heller høy bestandsalder enn bedre

vekstforhold som indikerer enda større forskjell i tilvekst mellom sitkagran og gran de siste 30 årene siden det i vanlig gran er påvist en bonitetsheving med økt tilvekst. Gevinsten av klimaendring er derfor inkludert i gran i samme tidsperiode, og denne bonitetshevingen for gran er som nevnt dokumentert av flere. Det må understrekes at forskjellen likevel er høyest de siste 30 år, men årstall for måling og tilvekstperiode var som nevnt ikke signifikant i tilvekstsammenligningen (Figur 7).

Effekten av høyere alder, høyere tetthet, lengre forsøksperiode og senere måleperiode (10-årsperiode) viser samme trend og henger naturlig nok sammen. Alle disse effektene fremgår tydelig i figurene. Dimensjonsspredningen øker også med økt bestandsalder der dimensjonsspredning og andelen av store dimensjoner øker raskere i sitkagran enn i vanlig gran (Figur 8).

Svake og moderate tynninger påvirker produksjonen lite, mens sterke tynninger reduserer produksjonen betydelig i sitkagran (Øyen 2001). Skovsgaard (1997 og 2009) mener også at produksjonen er høyest der det er ingen eller svake tynninger. Tynning er normalt viktig for å styrke bestandet og øke fleksibiliteten (Agestam 2015). Men tynning kan også øke vindfallsfaren i sitkagran og dermed også redusere karbonbindingen (Mason og Perks 2011). Forsiktige og tidlige tynninger vil derimot normalt øke vindstabiliteten da de gjenstående trærne vil bli sterkere med kraftigere rotsystem, gunstigere grensetting og økt D/H-forhold (Agestam 2015).

Øyen (2001) har undersøkt hvordan tynning påvirker tømmerandelen i sitkagran på Vestlandet og konkluderer med at mengden skurtømmer er omtrent like høy i utynnet som i tynnet skog. Øyen (2001) viser også til at totalproduksjonen er høyest der tynningene er svakest. Ved tynningsfri dyrking av sitkagran får man en betydelig spredning av dimensjonene inkludert grove tømmerdimensjoner slik at avkastningen også blir tilfredsstillende ved en slik driftsform (Skovsgaard 1997). I vår undersøkelse har vi ikke utført særskilte analyser av effekten av tynning på produksjonen.

Bedre og mer høyproduktive provenienser av sitkagran vil kunne øke produktiviteten og dermed karbonbindingen ytterligere. Det har vært en god del innsats innen planteforedling og proveniensforskning for sitkagran i Norge (Magnesen 2001, Øyen m.fl. 2009), i Danmark (Larsen & Roulund 1997) og i Nordvest-Europa (Lee m.fl. 2013). Foredling og valg av vanlig gran har imidlertid kommet lengst her i landet, så det er nok rom for betydelig forbedring av provenienskunnskapen om sitkagran. Som nevnt tror vi den økte produksjonsforskjell vi har observert de siste årene har størst årsak i høy bestandsalder og bedre utholdenhet i sitkagran enn den siste tidens (30 årene) klimaendringer. De statistiske analysene (Tabell 4 og 6, og Figur 5 og 6) viser også dette. Det må også bemerkes at for de tidligste plantningene med sitkagran var det oftere problemer med valg av proveniens inntil man fikk mer kontroll og retningslinjer for proveniensvalg for det nye treslaget. I dag har vi nye proveniensanbefalinger for hvilke klimaarter av sitkagran og opphavsregion som passer best for ulike landsdeler og høydeler i Norge (Skogfrøverket 2014).

Forskjellen i volumproduksjon mellom sitkagran og gran er tydeligst nær kysten og lengst mot nord (Figur 3 og 4). Tilvekstforskjellen er minst på Vestlandet (38 %) i favør av sitkagran, mens forskjellen er omtrent det dobbelte i Nord-Norge (86 %). Den karbonbinding som kan oppnås i denne landsdelen har derfor et dobbelt så stort potensiale i sitkagran sammenlignet med vanlig gran. Betydningen av breddegrad er vanskelig å påvise uten mange revisjonsperioder, men Øyen og Tveite (1998) antyder også at felter i nordre deler av Nordland viser klareste produksjonsgevinst i sitkagran. Kyststrøk i Nord-Norge kan være mer utsatt for ekstremvær enn Vestlandet, og Magnesen (1992) påpeker at i værharde kyststrøk er barmassen hos gran mer utsatt for salt-sviing og uttørring grunnet sterk vind. Dette resultatet peker på at i kyststrøk i Nord-Norge er det enda større grunn til å prioritere sitkagran fremfor gran med hensyn til biomasseproduksjon og karbonbinding som tiltak for å motvirke klimaendringer. En eventuell økning av plantearealet med sitkagran står i kontrast til de restriksjoner som flere ønsker for dette treslaget i Norge (f.eks. Klima- og miljødepartementet 2012, Bjørn 2015, Håpnæs m.fl. 2018). Et annet viktig resultat i denne undersøkelsen er at produksjonen av sitkagran også generelt holder seg på et høyt nivå i Nord-Norge og med en gjennomsnittlig volumtilvekst på hele 22 m³/ha/år, mens den er ca 25 m³/ha/år på Vestlandet. Til sammenligning viser våre kystnære

feltforsøk med gran en produksjon på ca 12 og 18 m³/ha/år i henholdsvis Nord-Norge og på Vestlandet og som viser et betydelig fall i granboniteten i Nord-Norge. Altså er tilveksten i gran, isolert sett, redusert med 35 % fra Vestlandet til Nord-Norge, mens i sitkagran er tilveksten bare redusert med 14 % på våre nordligste forsøksfelt.

Siden vi i vår undersøkelse har forsøksfelt med litt kortere avstand til kystlinjen i Nord-Norge kan denne effekten forklare noe av årsaken til større forskjell mellom gran og sitkagran lengre nord enn på Vestlandet. Men en sjekk av betydningen av avstanden fra kysten til forsøksskogen viser at det bare er en svak reduksjon i tilvekstforskjellen jo lengre vekk fra kysten man kommer. Denne svake reduksjonen er imidlertid ikke signifikant på 5 % nivå (Tabell 5). Et plott av tilvekstforskjellen mot avstanden fra kystlinjen vises i figur 4. Kystavstanden kan derfor ikke forklare hele denne forskjellen.

Gevinsten vi får ved produksjon av sitkagran fremfor vanlig gran gir seg også utslag i høyere biomasseproduksjon, karbonbinding og CO₂ opptak (Tabell 8). Disse produksjonstallene hos gran og sitkagran er beregnet for ulike nordlig breddegrad (Figur 9, Figur 10 og Figur 11) og viser det samme mønsteret som vi fant for stammetilveksten (Figur 3). Jo lengre nord vi kommer, jo større er også biomasseproduksjon, karbonbinding og CO₂ opptak. For eksempel er CO₂ opptaket for sitkagran og vanlig gran henholdsvis 36 og 26 tonn/ha/år på Vestlandet, mens i Nord-Norge er forholdet 31 mot 15 tonn/ha/år. Det må understrekes at disse resultatene er for kyststrøk – lengre inn i landet utlignes mye av forskjellen og gran kommer bedre ut.

En slik omregning med biomassefunksjoner og BEFs (biomasseekspansjonsfunksjoner) er noe unøyaktig på grunn av at vi her tar utgangspunkt i middeldimensjon og stammevolum samt at basisdensiteten varierer noe med tredimensjonene. Store herskende sitkatrær har 8-9 % lavere densitet enn mindre undertrykte sitkatrær (Vadla 2008), og dette kan være noe av forklaringen til lavere densitet i sitkagran med et større innslag av store dimensjoner. En mer nøyaktig beregning av biomasseproduksjon og karbonopptak krever anvendelse av biomassefunksjoner som også tar hensyn til ulike tredimensjoner ved hver revisjon, sosial status og åringbredder og ikke bare beregninger ut fra middeltreet. Biomassefunksjoner tar normalt ikke hensyn til sosial status (herskende versus undertrykte trær) eller åringbredde. Vadla (2008) fant en reduksjon i basisdensiteten hos sitkagran i størrelsesorden 10 % når åringbredden ble doblet fra 1 til 2 mm. Det må også bemerkes at ulike biomassefunksjoner gir ulike resultater. Vi mener likevel at forskjellen mellom sitkagran og gran er ca +50 % som et gjennomsnitt siden våre beregninger ligger innenfor 45-53 % enten vi benytter stammevolum, BEFs, biomassefunksjoner eller AGB. For karbonbinding og CO₂ opptak blir forskjellen ca +67 % i favør av sitkagran når røtter og stubbe inkluderes siden sitkagran har noe større rotfraksjon enn vanlig gran (Levy m.fl. 2004), se Figur 10, Figur 11 og Tabell 8.

Med høye klimagassutslipp inkludert fossilt karbon over lang tid som en sannsynlig årsak til klimaendringene (IPCC 2013), kan økt karbonbinding i skog være et viktig bidrag for å motvirke klimaendringene (Dalsgaard m.fl. 2015). Flere påpeker at en forlenget omløpstid i skog gir økt karbonbinding (Lundmark m.fl. 2018, Dalsgaard m.fl. 2015). En generell økt avvirkning (ved for eksempel redusert omløpstid) øker derimot CO₂ mengden i atmosfæren (Holtmark 2011). En slik forlengelse av omløpstiden utover normal hogstmodenhetsalder forventes å gi et større karbonlager i levende biomasse (Nilsen og Strand 2013). Hos vanlig gran må imidlertid en forlenget omløpstid avveies mot en gradvis redusert tilvekst og dermed redusert karbonopptak i forhold til arealets maksimale produksjonsevne (Dalsgaard m.fl. 2015). Figur 6 viser at tilveksten i sitkagran er nettopp dobbelt så høy som i gran ved høy alder i kyststrøk. Vi får derved også en høyere karbonbinding i eldre sitkagran sammenlignet med eldre granskog. Med 400 tusen m³ i årlig netto tilvekst i sitkagran i Norge bindes årlig ca 0,52 millioner tonn CO₂ (Øyen m.fl. 2009). I tillegg kommer røtter og stubber. Utover gevinsten i produsert trebiomasse ved forlenget omløpstid i den utholdende sitkagrana forventes det også en økt mengde akkumulert jordkarbon. Tapet av jordkarbon i tiden etter hogst er i størrelsesorden 7 – 22 prosent og som dermed er meget høyt siden det meste av karbonet pr arealenhet er lagret i jorda (Dalsgaard m.fl. 2017). Høy bestandsalder øker imidlertid også

akkumuleringen av mengden jordkarbon (Liski m.fl. 1998, Covington 1981, Nave m.fl. 2010). Ved høy alder vil antagelig karbonlageret i jord også øke mer i sitkaskog enn i granskog, men dette vet vi lite om. Uansett er vi rimelig sikre på at sitkagran med sin utholdenhet og høye produksjon kan binde mye karbon ved noe forlenget omløpstid. Gran derimot må sannsynligvis hogges tidligere og man må begynne på nytt med å bygge opp bestandet og produksjonsapparatet for å binde karbon i kysstrøk. I gran vet vi det er usikkerhet knyttet til tilvekst og avgang ved omløpsforlengelse (Nilsen m.fl. 2007). Selv om sitkagran ser ut til å ha god utholdenhet, er det også knyttet usikkerhet til hvor godt dette treslaget tåler lang omløpstid. Det må understrekes at vi vet ikke så godt hvor utholdende sitkagran er siden vi ikke har eldre sitkaforsøk enn 92 år i denne undersøkelsen.

5 Konklusjon

Resultatene viser at tilveksten av stammevolum i gjennomsnitt var 53 % høyere i sitkagran enn i vanlig gran i vårt datamateriale. De variablene som hadde mest betydning for tilvekstforskjellen var stående volum, bestandsalder og middeldiameter til sitkagran. I tillegg betydde nordlig breddegrad også mye. Jo lengre nord vi kommer, jo mere øker tilvekstforskjellen mellom gran og sitkagran, og dette gjør at sitkagran er særlig velegnet i Nord-Norge hvis man ønsker høy produksjon. I Nord-Norge var forskjellen i stammetilvekst i gjennomsnitt 86 %, men på Vestlandet viste våre feltforsøk en tilvekstforskjell på gjennomsnittlig 38 %. Det er derfor viktig å også inkludere landsdel og breddegrad når produksjonen i gran og sitkagran skal sammenlignes.

Produksjonen var også høyest i bestand med høy bestokning og høyt volum. Det virker som sitkagran greier å utnytte markas produksjonsevne bedre enn vanlig gran i kyststrøk. Høyere bestandsalder viste også signifikans med tilvekstforskjellen – jo høyere alder jo større var forskjellen. Volumtilveksten i sitkagran holder seg på et relativt stabilt høyt nivå ved høy alder mens den avtar noe i gran. Det virker også som om sitkagran har noe større utholdenhet enn vanlig gran. Dette er et viktig resultat da vi antagelig kan få en høyere produksjonsgevinst ved å forlenge omløpstiden noe i sitkagran. Det må bemerkes at vi i denne undersøkelsen ikke har eldre sitkabestand enn 92 år.

Den karbonbinding og CO₂-opptak man oppnår i skog følger i hovedsak utviklingen i stående volum. Men forskjellen er her enda større da vi har en større rot- og stubbefraksjon hos sitkagran enn hos vanlig gran. Den gevinsten man oppnår ved karbonbinding og CO₂-opptak var i gjennomsnitt ca 108 % i favør av sitkagran i Nord-Norge. På Vestlandet var tilsvarende tall ca 50 %. Ved høy bestokning og høy alder blir forskjellen enda større.

Analysen understreker også betydningen av å ha lange tidsserier for å kunne sammenligne tilveksten til to treslag. En kort tidsserie med for eksempel en bestandsalder på bare 30 år ville gitt feil resultat med svært liten tilvekstforskjell mellom de to treslagene.

Referanser

- Agestam, Eric 2015. Gallring. Skogsskötserien nr 7. Skogsstyrelsen. 93 s.
- Bauger, E. 1961. Foreløpige produksjonstabell for sitkagran på Vestlandet. Meddr. Vestl. Forstl. Forsøksstasjon 35:127-172.
- Bauger, E. 1962. Gran og sitkagran. Produksjonsmuligheter på Vestlandet. Norsk Landbr. 10:328-329.
- Bauger, E. 1968. Fra produksjonsundersøkelsene ved Vestlandets forstlige Forsøksstasjon. Foredrag VNIF 8 s.
- Bauger, E. 1970. Sammenligning mellom sitkagranens og granens høydeutvikling på Vestlandet og i Nord-Norge. Meddr. Vestl. Forstl. Forsøksstasjon 50:149-221.
- Bejer, B. 1988. Sitkagran og micans. Dansk skovforenings tidsskr. Hefte 1 (88), 12–15.
- Bergan, J. & Orlund, A. 1992. Treslagsvalg under vanskelige foryngelsesforhold i skogreisingsstrøk. Rapport fra Skogforsk 12/92, 165–176.
- Bergan, J. 1994 (red.). Faglige emner innen primærproduksjonen i skogbruket i Nord-Norge. Rapport NISK, 112 s.
- Bergan, J. 1997. Treslagsforsøk med bartrær i Troms og Finnmark. Intern rapport, Norsk institutt for skogforskning, Ås. 37 s.
- Bertin, S., Palmroth, S., Kim, H.S., Perks, M.P., Mencuccini, M., Oren, R. 2011. Modelling understorey light for seedling regeneration in continuous cover forestry canopies. *Forestry* 2011, 84, 397–409.
- Bertin, S., Perks, M.P., Straw, N., Bertin, J.M., Mencuccini, M. 2010. Green spruce aphid infestations cause larger growth reductions to Sitka spruce under shade. *Tree Physiol.* 2010, 30, 1403–1414.
- Bjørn, Stein 2015. Han hater sitkagrana. *Adressavisen* 5. mars 2015 side 8.
- Black, Kevin, Tobin, Brian, Saiz, Gustavo, Bymed, Kenneth A. and Osbomea, Bruce. 2004. Improved estimates of biomass expansion factors for Sitka spruce. *Irish Forestry* 61(1):50-65.
- Black, K., Davis, P., McGrath, J., Doherty, P., Osborne, B. 2005. Interactive effects of irradiance and water availability on the photosynthetic performance of *Picea sitchensis* seedlings: Implications for seedling establishment under different management practices. *Ann. For. Sci.* 2005, 62, 413–422.
- Bladon, F.M. 2010. Green Spruce Aphid (*Elatobium Abietinum*) in a Changing Forest Environment: Population Patterns and Their Underlying Causes. Ph.D. Thesis, University of Ulster, Coleraine, Northern Ireland, UK, November 2010.
- Braastad, Helge 1975. Produksjonstabeller og tilvekstmodellprogram for gran. *Medd.No. Inst. Skogforskning* 31(9):357-537.
- Bøhler, F. & Øyen, B.-H. 2011. Bonitering i eldre fjellskog av gran (*Picea abies* L. Karst.). *Forskning fra Skog og landskap* 1/11:1- 17.
- Cameron, A.D., Gardiner, B.A., Ramsay, J., Drewett, T.A. 2015. Effect of early release from intense competition within high density natural regeneration on the properties of juvenile and mature wood of 40-year-old Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). *Ann. For. Sci.* 2015, 72, 99–107.
- Carter, C., Halldórsson, G. 1998. Origins and background to the green spruce aphid in Europe. In *The Green Spruce Aphid in Western Europe: Ecology, Status, Impacts and Prospects for Management*; Day, K.R., Halldórsson, G., Harding, S., Straw, N.A., Eds., Forestry Commission: Edinburgh, UK, 1998; pp. 1–10.

- Covington WW. 1981. Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in Northern Hardwoods. *Ecology* 62: 41-48.
- Dale, Øystein, Kjöstelsen, Leif, Aamodt, Hans 1993. Flerbruksrettet driftsteknikk. Mekaniserte lukkede hogster. Rapport fra Skogforsk, 20/93. 23 s.
- Dalsgaard, Lise, O. Janne Kjønås og Holger Lange (Eds); Kjell Andreassen, Signe K. Borgen, Ingeborg Callesen, Lise Dalsgaard, Gro Hysten, O. Janne Kjønås, Holger Lange, Jørn-Frode Nordbakken, Ingvald Røsberg, Silje Skår, Arne Stuanes, Tonje Økland, (kapittel forfattere) 2017. Forest soil carbon changes from measurements and models - Site-specific comparisons and implications for UNFCCC reporting. ISBN 978-82-17- 01935-0, ISSN 2464-1162. NIBIO RAPPORT 3 (114):1-111.
- Dalsgaard, Lise; Granhus, Aksel; Søgaard, Gunnhild; Andreassen, Kjell; Børja, Isabella; Clarke, Nicholas; Kjønås, O. Janne; Stokland, Jogeir Nicolai 2015. Karbondynamikk ved ulike hogstformer og avvirkningsstrategier. En litteraturstudie med fokus på Oslo kommuneskog. Oppdragsrapport 4/2015:1-83.
- Davies, O., Kerr, G. 2011. The Costs and Revenues of Transformation to Continuous Cover Forestry: Modelling Silvicultural Options with Sitka Spruce, 2011. p. 63.
- Deal, R.L., Hennon, P., O'Hanlon, R., D'Amore, D. 2014. Lessons from native spruce forests in Alaska: Managing Sitka spruce plantations worldwide to benefit biodiversity and ecosystem services. *Forestry* 2014, 87, 193–208.
- Edwards, D., Jay, M., Jensen, F.S., Lucas, B., Marzano, M., Montagne, C., Peace, A., Weiss, G. 2012. Public preferences for structural attributes of forests: Towards a pan-European perspective. *For. Policy Econ.* 2012, 19, 12–19.
- Gardiner, B.A., Marshall, B., Achim, A., Belcher, R., Wood, C. 2005. The stability of different silvicultural systems: A wind-tunnel investigation. *Forestry* 2005, 78, 471–484.
- Gardiner, B.A., Suarez, J., Achim, A., Hale, S.E., Nicoll, B.C. ForestGALES 2—A PC-Based Wind Risk Model for British Forests—User Guide; Forestry Commission: Edinburgh, UK, 2004.
- Granhus, Aksel, Gro Hysten og Jan-Erik Ørnelund Nilsen 2012. Skogen i Norge. Statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge registrert i perioden 2005-2009. Statistics of Forest Conditions and Resources in Norway. ISBN: 978-82-311-0164-2 ISSN: 1504-696. Ressursoversikt 03/2012 89 s.
- Farrelly, Niall, Ni Dhubhain, A., Nieuwenhuis, M., Grant, J. 2011. The distribution and productivity of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) in Ireland in relation to site, soil and climatic factors - *Irish Forestry* Vol 66:51-73
- Hale, S.E., Edwards, C., Mason, W.L., Price, M., Peace, A. 2009. Relationship between canopy transmittance and stand parameters in Sitka spruce and Scots pine stands in Britain. *Forestry* 2009, 82, 505–513.
- Hale, S.E., Gardiner, B.A., Wellpot, A., Nicoll, B.C., Achim, A. 2012. Wind loading of trees: Influence of tree size and competition. *Eur. J. For. Res.* 2012, 131, 203–217.
- Hale, S.E., Levy, P.E., Gardiner, B.A. 2004. Trade-offs between seedling growth, thinning and stand stability in Sitka spruce stands: A modelling analysis. *For. Ecol. Manage.* 2004, 187, 105–115.
- Hasenauer, Hubert, Gazda, A., Konnert, M., Lapin, K., Mohren, G.M.J (Frits), Spiecker, H., Marcela van Loo, Pötzelsberger, E. 2017. Non-native tree species for European forests: Experiences, Risks and Opportunities. Cost Action FP1403 NNEXT Country report, joint volume 3rd Edition. BOKU, Wien, Østerrike. 431 s.

- Holtmark, B. (2011, 23. mars). Skog og klima oppsummert.
[Http://forskning.no/meninger/kronikk/2011/03/skog-og-klima-oppsummert](http://forskning.no/meninger/kronikk/2011/03/skog-og-klima-oppsummert).
- Humphrey, J.W., Ferris, R., Quine, C.P. 2003. Biodiversity in Britain's Planted Forests; Forestry Commission: Edinburgh, UK, 2003; 117 s.
- Håpnes, Arnold, Hanssen, Even W. Lundemo, Sverre 2018. Heltar og pøblar i skogen. Harstad tidende 6. nov. 2018 side 15.
- IPCC 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V og Midgley PM (red.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535
- Jactel, H., Nicoll, B.C., Branco, M., Gonzalez-Olabarria, J.R., Grodzki, W., Langstrom, B., Moreira, F., Netherer, S., Orazio, C., Piou, D., 2009. The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Ann. For. Sci.* 2009, 66, 18.
- Johansen, Line, Vesterbukt, Per, Grenne, Synnøve. 2017. Kartlegging av kystlynghei og sitkagran i Vikna kommune, Nord-Trøndelag. Oppfølging av trua naturtyper og fremmede arter i Vikna kommune. Ås: NIBIO 2017 (ISBN 978-82-17-01875-9), Volum 3.120 s. NIBIO Rapport(82)
- Johnsen, P. H. 2009. Overjordisk biomasse for sitkagran (*Picea sitchensis*) i Norge. Masteroppgave ved Institutt for Naturforvaltning, NMBU. 35 s.
- Kennedy, S., Black, K., O'Reilly, C., Ní Dhubhain, A. 2007. The impact of shade on morphology, growth and biomass allocation in *Picea sitchensis*, *Larix x eurolepis* and *Thuja plicata*. *New For.* 2007, 33, 139–153.
- Kirby, K.J., Quine, C.P., Brown, N.D. 2009. The adaptation of UK forests and woodlands to climate change. In *Combating Climate Change-A Role for UK Forests. An Assessment of the Potential of the UK's Trees and Woodlands to Mitigate and Adapt to Climate Change*; Read, D.J., Freer-Smith, P.H., Morison, J.I.L., Hanley, N., West, C.C., Snowdon, P., Eds., The Stationery Office: Edinburgh, UK, 2009; pp. 164–179.
- Klima- og miljødepartementet 2012. Forskrift om utsetting av utenlandske treslag til skogbruksformål. FOR-2012-05-25-460. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-05-25-460>
- Kvaalen, Harald og Andreassen, K. 2018. Bonitetsendringer i gran og furu. Verknader på bestandstetleik, volumproduksjon og inntekter ved ulike bestandsalder. NIBIO rapport Vol 4 nr 126. 41 s.
- Kystskogbruket 2018. Har vi strukket oss for langt? Intervju med Kristine Jacobsen i NORSKOG. Editor Helge Kårstad i Kystskogbruket. http://www.kystskogbruket.no/artikkel.cfm?ID_art=16093
- Klem, Gustav 1965. Tørrvolumvektsvariasjoner hos fremmede bartreslag og vanlig gran fra Sør- og Vestlandet. *Medd.No. Inst. Skogforskning* 20:137-169.
- Larsen, J.B. & H. Roulund 1997. Sitkagran-proveniensvariasjon, forædling og frøkildevalg. *Dansk Skovbrugs Tidsskrift* 82 (1), 158–168.
- Leather, S.R., Day, K.R., Salisbury, A.N. 1999. The biology and ecology of the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptora: Curculionidae): A problem of dispersal. *Bull. Entomol. Res.* 1999, 89, 3–16.
- Lee, Steve, Thompson, David and Kehlet Hansen, Jon 2013. *Forest tree breeding in Europe*. ISSN 1568-1319, ISBN 978-94-007-6145-2. Springer 527 s.
- Levy, PE, Hale, SE, and Nicoll, BC. 2004. Biomass expansion factors and root : shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. *Forestry* 77(5):421-430.

- Liski J, Ilvesniemi H, Mäkelä A og Starr M. 1998. Model analysis of the effects of soil age, fires and harvesting on the carbon storage of boreal forest soils. *European Journal of soil Science* 49: 407-416.
- Lundmark, Tomas, Poudel, Bishnu Chandra, Stal, Gustav, Nordin, Annika 2018. Carbon balance in production forestry in relation to rotation length. *Canadian journal of forest research*, Vol 48(6):672-678.
- Madsen, Palle, Solberg, S., Finne, E. 2013. Robust framtidsskog – valg av treslag, proveniens eller foredlet genetisk materiale – husk å spre risiko! *Norsk Skogbruk*, 2/2013, 44-45.
- Madsen, Palle, Solberg, S., Finne, E. 2013. Trenger vi ny skogbehandling for å møte klimaendringene? *Norsk Skogbruk*, 1/2013, 44-45.
- Magnesen, S. 1992. Treslagets og proveniensens betydning for skogskader: En litteraturstudie fra en ca. 100 årig epoke i norsk skogbruk. *Rapp. Skogforsk* 7/92, 1–46.
- Magnesen, S. 2001. Forsøk med ulike bartreslag og provenienser i Vest-Norge. *Aktuelt fra Skogforskningen* 1/01, 20 s.
- Malcolm, D.C. 1997. The silviculture of conifers in Great Britain. *Forestry* 1997, 70:293–307.
- Malcolm, D.C., Mason, W.L., Clarke, G.C. The transformation of conifer forests in Great Britain—regeneration, gap size, and silvicultural systems. *For. Ecol. Manage.* 2001, 151:7–23.
- Marklund, Lars Gunnar 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Institutionen för skogstaxering, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå. Rapport 45, 73 s.
- Mason, Bill 2015. Implementing continuous cover forestry in planted forests: Experiences with sitka spruce (*Picea Sitchensis*) in the British isles. *Forests* 6(4):879-902.
- Mason, Bill and Connolly, T. 2014. Mixtures with spruce species can be more productive than monocultures: evidence from the Gisburn experiment in Britain. *Forestry* 87:209-217.
- Mason, W.L. 2002. Are irregular stands more windfirm? *Forestry* 2002, 75, 347–355.
- Mason, W.L. 2003. Continuous Cover Forestry: Developing close-to-nature forest management in conifer plantations in upland Britain. *Scott. For.* 2003, 57, 141–149.
- Mason, W.L. 2007. Changes in the management of British forests between 1945 and 2000 and possible future trends. *Ibis* 2007, 149, 41–52.
- Mason, W.L. 2008. Natural regeneration of Sitka spruce in the Forest of Ae: Development over 25 years. *Scott. For.* 2008, 62, 2–8.
- Mason, W.L. 2012. The role of true fir species in the silviculture of British forests: Past, present and future. *Kastomonu University. J. For. Fac.* 2012, 12, 15–26.
- Mason, W.L., Edwards, C., Hale, S.E. 2004. Survival and early seedling growth of conifers with different shade tolerance in a Sitka spruce spacing trial and relationship to understorey light climate. *Silva Fenn.* 2004, 38, 357–370.
- Mason, W.L., Perks, M.P. 2011. Sitka spruce (*Picea sitchensis*) forests in Atlantic Europe: Changes in forest management and possible consequences for carbon sequestration. *Scand. J. For. Res.* 2011, 11, 72–81.
- McNeill, J.D., Thompson, D.A. Natural regeneration of Sitka spruce in the Forest of Ae. *Scott. For.* 1982, 36, 269–282.
- Moen, Alf Daniel, Håvard Kongshaug, Anne Wiik, Nils Harald Rennestraum, Kjell-Sverre Myrvoll, Stig Klomsten 2015. *Melding om kystskogbruket 2015*. 110 s.

- Moore, J.R. 2011. Wood Properties and Uses of Sitka Spruce in Britain; Forestry Commission Research Report; Forestry Commission: Edinburgh, UK, 2011; 48 s.
- Nave LE, Vance ED, Swanston CW og Curtis PS. 2010. Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecology and Management* 259: 857-866.
- Nelson, D.G. 1991. Management of Sitka spruce natural regeneration. For. Comm. Res. Info. Note 204, Forestry Commission, Edinburgh.
- Ni Dhubhain, A., Walshe, J., Bulfin, M., Keane, M., Mills, P. 2001. The initial development of a windthrow risk model for Sitka spruce in Ireland. *Forestry* 74:161-170.
- Nilsen P og Strand LT. 2013. Carbon stores and fluxes in even- and uneven-aged Norway spruce stands. *Silva Fennica* 47(4).
- Nilsen P, Hobbelstad K. og Clarke N. 2008. Opptak og utslipp av CO₂ i skog. Vurdering av omløpstid, hogstmetode og hogstfredning for CO₂-binding i jord og trær. Oppdragsrapport fra Skog og landskap 06/2008. 24 s.
- NIR 2018. Greenhouse Gas Emissions 1990-2016, National Inventory Report. Norwegian Environment Agency. Report M-985 – 2018. 524 s.
- Nord-Larsen, Thomas & Anders Tærø Nielsen (2015) Biomass, stem basic density and expansion factor functions for five exotic conifers grown in Denmark, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30:2, 135-153.
- Nygaard, P.H. & Stabbetorp, O.E. 2006. Økologiske effekter av skogreising. Oppdragsrapport Skogforsk 1/06, 24 s.
- Nygaard, P.H., Skre, O. & Brean, R. 2000. Naturlig spredning av utenlandske treslag. Oppdragsrapport Skogforsk, 19/99, 28 s.
- Nygaard, Per Holm, Øyen, B.H- 2017. Spread of the Introduced Sitka Spruce (*Picea sitchensis*) in Coastal Norway. *Forests* 8(24):1-13.
- Orlund, A. & Austarå, Ø 1996. Effects of *Elatobium abietinum* infestation on diameter growth on Sitka spruce. *Medd. Skogforsk* 47(13):1-12.
- Orlund, A. 2001. Bonitering av plantet gran og sitkagran på Vestlandet. Rapp. Skogforsk 2/01, 1-17.
- Page, L.M., Cameron, A.D. & Clarke, G.C. 2001. Influence of overstorey basal area on density and growth of advance regeneration of Sitka spruce in variably thinned stands. *For. Ecol. Manage.* 151: 25-35.
- Page, L.M., Cameron, A.D. 2006. Regeneration dynamics of Sitka spruce in artificially created forest gaps. *For. Ecol. Manage.* 2006, 221, 260-266.
- Peterson, E.B., Peterson, N.M., Weetman, G.F., Martin, P.J.E. 1997. *Ecology and Management of Sitka Spruce, Emphasising Its Natural Range in British Columbia*; UBC Press: Vancouver, Canada, 1997; 336 s.
- Piispanen, R., Heinonen, J., Valkonen, S., Mäkinen, H., Lundqvist, S.O., Saranpää, P. 2014. Wood density of Norway spruce in uneven-aged stands. *Can. J. For. Res.* 2014, 44, 136-144.
- Pommerening, A., Murphy, S.T. 2018. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry* 2004, 77, 27-44.
- Pötzelsberger, Elisabeth (Ed) 2018. Should we be afraid of non-native trees in our forests? Stories about successes and failures with versatile tree species. Institute of Silviculture, University of natural resources and life sciences. Wien, Østerrike. 32 s.

- Quine, C.P., Coutts, M.P., Gardiner, B.A., Pyatt, D.G. 1995. Forests and Wind: Management to Minimise Damage; Forestry Commission Bulletin 114; HMSO: London, UK, 1995.
- Quine, C.P., Malcolm, D.C. 2007. Wind driven gap development in Birkley Wood, a long-term retention of planted Sitka spruce in upland Britain. *Can. J. For. Res.* 2007, 37, 1787–1796.
- Ray, D., Bathgate, S., Moseley, D., Taylor, P., Nicoll, B., Pizzirani, S., Gardiner, B. 2014. Comparing the provision of ecosystem services in plantation forests under alternative climate change adaption management options in Wales. *Reg. Environ. Chang.* 2014.
<http://link.springer.com/article/10.1007/s10113-014-0644-6>.
- Schütz, J.-Ph. 1989. Der Plenterbetrieb. Fachbereich Waldbau, ETH Zürich. 54 s.
- Sharma, R.P., Brunner, A., Eid, T., Øyen, B.H. 2011. Modelling height growth from national forest inventory data with short time series and large errors. *For. Ecol. Manage.* 262: 2162-2175.
- Skogfrøverket 2014. Proveniensenbefalinger for sitka- og lutzgran. Kunde info nr 5/2014. 2 s.
- Skovsgaard, J.P. 1997. Tynningsfri drift av sitkagran. KVL, Skov & Landskap, Forskningsserien 19, 525 s.
- Skovsgaard, Jens Peter 2009. Analysing effects of thinning on stand volume growth in relation to site conditions: A case study for even-aged Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr). *Forestry* 82(1):87-104.
- Solberg, S., Andreassen, K., Antón Fernández, C., Børja, I., Čermák, J., Dalsgaard, L., Eklundh, L., Garcia, M., Gessler, A., Godbold, D., Hentschel, R., Kayler, Z., Madsen, P., Nadezhdina, N., Rosner, S., Světlík, J., Tollefsrud, M.M., Tveito, O.E. & Øyen, B.-H. 2013. Grantørkeprosjektet. Sluttrapport. Rapport fra Skog og landskap 22/13: V, 27 s.
- Stokes, V., Kerr, G. 2013. Long-term growth and yield effects of respacing natural regeneration of Sitka spruce in Britain. *Eur. J. For. Res.* 2013, 132, 351–362.
- Suarez-Minguez, J.C. 2010. An Analysis of the Consequences of Stand Variability in Sitka Spruce Plantations in Britain Using a Combination of Airborne LiDAR Analysis and Models. Ph.D. Thesis, University of Sheffield, Sheffield, UK, February 2010; 285 s.
- Thorvaldsen, Pål. 2016. Sitkagran *Picea sitchensis* i stor spredning i det norske kystlandskapet: Eksempel fra Stadlandet, Selje kommune [Sitka spruce *picea sitchensis* as an invasive species in the norwegian coastal landscapet: Example from Stadlandet, Selje municipality]. *Blyttia : Norsk botanisk forenings tidsskrift* 2016, Volum 74.(3) s. 160-171.
- Tomter, Stein, Dalen, L. 2014. Bærekraftig skogbruk i Norge. Norsk institutt for bioøkonomi. 240 s.
- Tveite, Bjørn 2017. Bonitetane har blitt betre. *Norsk Skogbruk* 2017(9):40-42.
- Vadla, Kjell 2007. Sitkagran. Utbredelse, egenskaper og anvendelse. *Viten fra Skog og landskap* 2/07, 27–31.
- Vadla, Kjell 2008. Virkesegenskaper for sitkagran fra forskjellige lokaliteter i Sør-, Midt- og Nord-Norge. *Forskning fra Skog og landskap* 8/08, 1–23.
- Vadla, Kjell 2008b. Virkesegenskaper hos bartrevirke fra forskjellige lokaliteter i Nord-Norge - densitet, avsmaling, bark og kjerneved. *Forskning fra Skog og landskap* 9/08, 1–28.
- Vesterbukt, Per. 2017a. Effekt av fjerning av sitkagran (*Picea sitchensis*) i kystlynghei på Svinøya. Ås: NIBIO 2017 (ISBN 978-82-17-01798-1), Volum 3.24 s. NIBIO Rapport(22)
- Vesterbukt, Per. 2017b. Effekt av fjerning av sitkagran (*Picea sitchensis*) i kystlynghei på Troningen. Ås: NIBIO 2017 (ISBN 978-82-17-01791-2), Volum 3.24 s. NIBIO Rapport(21)

- Vesterbukt, Per. 2018a. Overvåking av re-vegetering med sitkagran (*Picea sitchensis*) etter fjerning av plantasjer i kystlynghei på Svinøya. Ås: NIBIO 2018 (ISBN 978-82-17-02048-6), Volum 4.24 s. NIBIO Rapport(23)
- Vesterbukt, Per. 2018b. Overvåking av re-vegetering med sitkagran (*Picea sitchensis*) etter fjerning av plantasjer i kystlynghei på Troningen. Ås: NIBIO 2018 (ISBN 978-82-17-02056-1), Volum 4.24 s. NIBIO Rapport(29)
- Von Ow, F., Joyce, P. & Keane, M. 1996. Factors affecting the establishment of natural regeneration of Sitka spruce. *Irish Forestry* 53:2–18.
- Wellpot, A. 2008. The Stability of Continuous Cover Forests. Ph.D. Thesis, University of Edinburgh, Edinburgh, UK, October 2008; 160 s.
- Øyen, B. H-, Andersen, H.L., Myking, T., Nygaard, P.H., Stabbetorp, O.E. 2009. Økologiske egenskaper for noen utvalgte introduserte bartreslag i Norge. Norsk Institutt for skog og landskap. Ås, Norway- Viten 1/09, 40 s.
- Øyen, B.-H. & Tveite, B. 1998. En sammenligning av høydebonitet og produksjonsevne mellom ulike treslag på samme voksested i Vest-Norge. Rapp. Skogforsk 15/98, 1–32.
- Øyen, B.-H. 2001. Langsiktige effekter etter tynning i plantefelt med sitkagran (*Picea sitchensis* Bong Carr) i Vest-Norge. Rapp. Skogforsk 11/01, 1–23.
- Øyen, B.-H. 2005. Vekst og produksjon i bestand med sitkagran (*Picea sitchensis* Bong. Carr.) i Norge. Rapp. Skogforsk 4/05, 46 s.
- Øyen, B.-H. 2008. Kystskogbruket. Potensial og utfordringer de kommende tiårene. Oppdragsrapport fra Skog og landskap 01/2008, 79 s.
- Øyen, Bernt-Håvard, Eid, Tron, Johnsen, Pål. 2009. Sitkagranas CO₂-binding i Norge. Norsk Skogbruk 2009, Volum 55.(12) s. 30-31.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.