



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Suppleringsplanting og hjelpekultur etter kultur- og naturforyngelse: Effekter på tilvekst og karbonopptak

NIBIO RAPPORT | VOL. 10 | NR. 78 | 2024



Kjersti Holt Hanssen, Ignacio Sevillano, Inger Sundheim Fløistad og Aksel Granhus
Divisjon for skog og utmark

TITTEL/TITLE

Suppleringsplanting og hjelpekultur etter kultur- og naturforyngelse: Effekter på tilvekst og karbonopptak

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Kjersti Holt Hanssen, Ignacio Sevillano, Inger Sundheim Fløistad, Aksel Granhus

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
24.06.2024	10/78/2024	Åpen	53564	23/01046
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03534-3	2464-1162	32	4	

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Landbruks- og matdepartementet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Jon Olav Brunvatne

STIKKORD/KEYWORDS:

Klimatiltak, skogbruk, skogkultur

Climate change mitigation, forestry, reforestation

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Skogbruk

Forestry

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Landbruks- og Matdepartementet ga sommeren 2023 NIBIO i oppdrag å utrede effekter av suppleringsplanting med henblikk på potensialet for «karbon-fangst» og klimabidrag. Oppdraget omfattet en evaluering av følgende tiltak:

1. Suppleringsplanting etter tradisjonell kulturfor yngelse (nyplanting) av gran.
2. Hjelpekultur (supplering) for å komplettere naturforyngelse av furu.
3. Behovet for hjelpekultur (supplering) for å sikre tilfredsstillende for yngelse etter lukkede hogster i granskog.
4. Hjelpekultur (supplering) for å komplettere naturforyngelse etter fjellskoghogst.

Problemstillingene knyttet til hvert av tiltakene slik de er konkretisert av oppdragsgiver er gjengitt i kapittel 1. I løsningen av oppdraget er det benyttet en kombinasjon av data fra Resultatkartleggingen og Landsskogtakseringen, i tillegg til modellsimuleringer og gjennomgang av tilgjengelig litteratur. De to første tiltakene behandles samlet i rapportens kapittel 2, mens de to siste tiltakene belyses i kapitlene 3 og 4.

Tiltak 1 og 2: Klimaeffekten av de to første tiltakene fram mot år 2100 er estimert ved å sammenligne akkumulert opptak av CO₂ for et basisscenario uten supplering, med scenarier der det forutsettes et aktivitetsnivå som dekker opp behovet slik det er registrert i Resultatkartleggingen i perioden 2018-2022. Analysene gav som resultat at scenariet med supplering i både gran- og furuforyngelser gir et akkumulert meropptak på 34,6 Mt CO₂ fram mot år 2100 sammenlignet med scenariet uten supplering. Supplering i kun granforyngelser gav som resultat et meropptak på 27,9



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Mt CO₂, mens meropptaket ved supplering i kun furuforyngelser ble estimert til 6,1 Mt CO₂. Den akkumulerte forskjellen på 34,6 Mt CO₂ mellom scenariet uten supplering og scenariet med supplering i både gran og furu utgjør et ekstra årlig opptak på 0,4 Mt CO₂ når differansen fordeles over 80 år. Siden det meste av meropptaket kommer i siste del av perioden har tiltaket liten betydning for å nå klimamål for 2030 og 2050, men desto større effekt i et lengre tidsperspektiv. Basert på diskontert kostnad havner begge tiltakene i den lavere delen av kostnadskategorien «under 500 kr per tonn», uansett skogtype (treslag, bonitet).

Tiltak 3 og 4: Resultatet ved naturlig foryngelse kan variere mye etter lukkede hogster i granskog. Noen vegetasjonstyper, for eksempel fattige utforminger av bærlyng- eller blåbærskog med tjukke råhumusmatter, skiller seg negativt ut. For hogstformer som skjermstillingshogst og gruppehogst vurderer vi at oppfølging av resultatet nokså raskt etter hogst, etterfulgt av suppleringsplanting der det er behov, vil kunne bidra til at plantetettheten er på et visst nivå. Men det er også store usikkerheter knyttet til effekten, fordi veksten er langsom og dødeligheten i foryngelsen nokså stor, ikke minst ved de gjentatte hogstinngrepene som kjennetegner lukkede hogster. Ved selektive hogster er det viktig å ha i bakhodet at innvoksingen (årlig rekruttering av nye trær inn i minste diameterklasse) ikke trenger å være veldig stor for å erstatte de trærne som hogges. Her er det også svært vanskelig å forutsi hvilke planteplasser i bestandet som vil sikre plantene god utvikling, over alle de tiårene som trengs før de vokser inn i dominerende tresjikt.

Grunnet mangelfulle data og empiri for lukkede hogstformer, inkludert fjellskoghogst, er effekter på karbonopptak ved suppleringsplanting ikke kvantifisert, utover å angi et grovt estimat for fjellskoghogst i granskog i Innlandet fylke. Det årlige omfanget av fjellskoghogst i fylket var i perioden 2010-2022 i gjennomsnitt på 456 ha (Resultatkartleggingen, upubliserte data), og kontrollørene vurderte at det var behov for supplering på 48 prosent av dette arealet (218 ha). Dersom en legger til grunn et årlig areal med fjellskoghogst i fylket som i dag og en effekt som for supplering etter åpen hogst (tiltak 1) på tilsvarende boniteter, får vi et potensiale i størrelsesorden 0,6 Mt CO₂ i økt akkumulert opptak per 2100. Gitt den nevnte usikkerheten knyttet til plantenes etablering, overlevelse og vekst etter lukkede hogster som også dels gjelder for fjellskoghogst, må dette estimatet anses som usikkert, og trolig i øvre del av det som er sannsynlig.

GODKJENT /APPROVED

Bjørn Håvard Evjen

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Aksel Granhus

NAVN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Denne rapporten svarer på et oppdrag gitt av Landbruks- og matdepartementet til NIBIO i supplerende tildelingsbrev av 26. juni 2023. Bakgrunnen for oppdraget og de konkretiserte problemstillingene er nærmere beskrevet i innledningen på side 6. Undertegnede har vært NIBIOs prosjektleder for oppdraget.

Ås, 7. juni 2024

Aksel Granhus

Innhold

1	Innledning.....	6
2	Supplering etter tradisjonell kulturforryngelse av gran og naturlig forryngelse av furu.....	9
2.1	Tidligere undersøkelser	9
2.2	Scenarier.....	10
2.3	Simuleringsverktøyet SiTree.....	10
2.4	Estimater på potensiell klimaeffekt.....	12
2.5	Arealer og kostnader	15
3	Suppleringsplanting etter lukkede hogster i granskog.....	17
3.1	Lukkede hogster	17
3.1.1	Skjermstillingshogst	17
3.1.2	Gruppegogst	18
3.1.3	Selektive hogster.....	18
3.2	Vurderinger av behov og effekt.....	18
4	Suppleringsplanting for å komplettere naturforryngelse etter fjellskoghogst	21
4.1	Fjellskog og fjellskoghogst	21
4.2	Forryngelsesforhold i fjellskogen	21
4.3	Effekten av supplering/økt plantetetthet etter fjellskoghogst i grandominert fjellskog.....	22
4.4	Effekt av etablering av furudominert fjellskog i Nord-Østerdalen	22

1 Innledning

Landbruks- og matdepartementet ga sommeren 2023 NIBIO i oppdrag å utrede effekter av suppleringsplanting med henblikk på potensialet for «karbon-fangst» og klimabidrag.

Vi gjengir her bakgrunnen for oppdraget, slik det er formulert overordnet i oppdragsteksten:

Begrepet suppleringsplanting har tradisjonelt vært begrenset til kulturfornyelser, mens begrepet hjelpekultur har vært forbeholdt planting for å komplettere naturfornyelse (Børset 1986). Ordningen med tilskudd til tettere planting som klimatiltak ble innført i 2016. Senere ble det også innført et tilsvarende tilskudd til suppleringsplanting. Begge ordningene har vært og er virksomme.

De faglige vurderingene omkring dette, senest ved NIBIO-rapport 22/2023, har dreid seg om tettere planting ved nyplanting, med hensyn til effekt på klima (binding av CO₂) og ellers volum- og verditilvekst. Effekter av suppleringsplanting etter nyplanting og hjelpekultur (supplering) ved naturfornyelse har så vidt kjent ikke vært vurdert tilsvarende.

Økt bruk av lukkede hogster, hogstformer som tradisjonelt baserer seg på naturlig fornyelse, aktualiserer ellers spørsmål- og problemstillinger omkring tilfredsstillende fornyelse og mulige behov for hjelpekultur (supplering). De siste 10-åra er det nok først og fremst i fjellskog slike hogstformer i noen utstrekning har vært nyttet under samlebetegnelsen fjellskoghogst.

Det er nærliggende å tenke seg at tradisjonell suppleringsplanting i kulturfornyelse og hjelpekulturer ved naturfornyelse også vil gi positive bidrag til klima, volum- og verditilvekst. Det samme for lukkede hogster i granskog, inkludert fjellskoghogst, hvor den naturlige fornyelsen ikke fullt ut slår til.

I oppdragsteksten bes det om at NIBIO gjør en nærmere faglig vurdering av fire ulike tiltak som er beskrevet i det følgende. Departementet ber om at NIBIO så langt det er mulig, og ut fra eksisterende datagrunnlag, kvantifiserer produksjonsgevinster og mulige klimabidrag for følgende tiltak:

1. Suppleringsplanting etter tradisjonell kulturfornyelse (nyplanting) av gran.
2. Hjelpekultur (supplering) for å komplettere naturfornyelse av furu.
3. Behovet for hjelpekultur (supplering) for å sikre tilfredsstillende fornyelse etter lukkede hogster i granskog.
4. Hjelpekultur (supplering) for å komplettere naturfornyelse etter fjellskoghogst.

Problemstillingene knyttet til tiltakene slik de er konkretisert av oppdragsgiver er som følger:

Tiltak 1 - Suppleringsplanting etter tradisjonell kulturforyngelse (nyplanting) av gran:

Resultatkartleggingen viser at en stor del av foryngelsesarealet på granmark etter flatehogst har lavere plantetall 3 år etter hogst enn det som er anbefalt på den aktuelle bonitet for å nytte markas produksjonsevne optimalt.

Spørsmål: Med hvilket omfang kan suppleringsplanting bidra til å tette dette gapet mellom dagens tilstand og det som ellers er optimalt med hensyn til tetthet, tilvekst og klimaeffekt?

Foruten en kort faglig gjennomgang, ønskes et anslag på potensiell klimaeffekt gitt et aktivitetsnivå med vellykket resultat, kostnad (kr/tonn/CO₂) og kostnadskategori.

På samme måte en vurdering av hvordan bonitet påvirker klimaeffekt, kostnad (kr/tonn/CO₂) og kostnadskategori for dette tiltaket.

Tiltak 2 - Hjelpekultur (supplering) for å komplettere naturforyngelse av furu:

Resultatkartleggingen viser at en stor del av foryngelsesarealet på furumark, som er tilrettelagt for naturlig foryngelse, har lavere plantetall 3 år etter hogst enn det som er anbefalt på den aktuelle bonitet for å nytte markas produksjonsevne optimalt.

Spørsmål: Med hvilket omfang kan hjelpekultur (supplering) bidra til å tette dette gapet mellom dagens tilstand og det som ellers er optimalt med hensyn til tetthet, tilvekst og klimaeffekt?

Foruten en kort faglig gjennomgang og vurdering, ønskes et anslag på potensiell klimaeffekt gitt et aktivitetsnivå med vellykket resultat, kostnad (kr/tonn/CO₂) og kostnadskategori.

På samme måte en vurdering av hvordan bonitet påvirker klimaeffekt, kostnad (kr/tonn/CO₂) og kostnadskategori for dette tiltaket.

Tiltak 3 - Behovet for hjelpekultur (supplering) for å sikre tilfredsstillende foryngelse etter lukkede hogster i granskog:

Lukkede hogster, fortrinnsvis i granskog, er av ulike årsaker aktualisert. Tradisjonelt er dette hogstformer som baserer seg på naturlig foryngelse. Forholdene for naturlig foryngelse varierer blant annet med vegetasjonstyper, jordbunnsforhold og høyde over havet. Blant annet med erfaringene som lå til grunn og den store diskusjonen omkring hogstformer, foryngelse og skogbehandling for snart 100 år siden, er det ikke gitt at naturlig foryngelse og tilvekst vil bli optimal over alt etter lukkede hogster.

Spørsmål: Er det grunn til å tro at det vil være behov for hjelpekultur (supplering) etter lukkede hogster i granskog og med hvilket omfang for å sikre en tilfredsstillende tetthet, tilvekst og klimaeffekt?

Det finnes så vidt kjent begrenset med materiale som gir grunnlag for analyser knyttet til slike hogster. Av den grunn begrenses dette til en kortfattet faglig gjennomgang og vurdering av tiltakets mulige bidrag til økt volumtilvekst og klimaeffekt, avhengig av bonitet og omfang på slike hogster i fortsettelsen.

Tiltak 4 - Hjelpekultur (supplering) for å komplettere naturforyngelse etter fjellskoghogst:

Fjellskogen er gjerne preget av relativt lavt treantall (tre/daa) og volum (m^3/daa). Fjellskoghogst har de siste 30-40 årene ofte vært nyttet i fjellskogen, først og fremst i grandominert fjellskog, der forholdene ligger til rette for det. Begrunnelsen for å bruke en slik hogstform har nok delvis vært av hensyn til klimatiske forhold og delvis ut fra hensyn til landskap og miljø. I stor grad har nok også økonomiske hensyn veid tungt, fordi planting faller dyrt (kr/ m^3 hogd) når hogstvolumet (m^3/da) er lavt. Foryngelsen etter en fjellskoghogst har for en stor del vært basert på forhåndsgjenvækst og naturlig foryngelse. Helt uvanlig har det nok heller ikke vært med noen form for hjelpekultur (supplering) der forhåndsgjenvækst og utsiktene for naturlig foryngelse er dårlig.

Spørsmål 1: Med hvilket omfang kan hjelpekultur (supplering) og økt plantetetthet etter fjellskoghogst i grandominert fjellskog bidra til økt tilvekst og klimaeffekt i fjellskogen?

Spørsmål 2: Med hvilket omfang kan hjelpekultur (supplering) for å etablere furudominert skog i fjellskog (med referanse til Nord-Østerdalen) hvor den opprinnelige furuskogen etter hogst (gruvedida) i stor grad har blitt forynget naturlig med lauv.

Denne spørsmålstillingen (spørsmål 1 og 2) begrenses i denne omgang til Innlandet fylke.

Det finnes så vidt kjent begrenset med materiale som gir grunnlag for analyser knyttet til slike hogster. Av den grunn begrenses dette til en kortfattet faglig gjennomgang og vurdering av tiltakets mulige bidrag til økt volumtilvekst og klimaeffekt med bakgrunn i de arealer og boniteter som kan være aktuelle for slik hogst og foryngelse i Innlandet.

For Spørsmål 2 vil det nok mer være snakk om noen form for åpen hogst med påfølgende natur- og kulturforyngelse av furu. Det synes ellers naturlig blant annet å ta utgangspunkt i NIBIO-rapportene [7/98/2021](#) og [9/18/2023](#) for å svare på de to spørsmålstillingene.

I løsningen av oppdraget er det benyttet en kombinasjon av data fra Resultatkartleggingen for skogbruk og miljø (se f.eks. Bjørken (2023)) og Landsskogtakseringen (se f.eks. Breidenbach mfl. (2020), samt modellsimuleringer og gjennomgang av tilgjengelig litteratur.

Siden vi har benyttet samme metodikk i besvarelsene av de de to første tiltakene behandles disse samlet i kapittel 2, mens de to siste tiltakene belyses i kapitlene 3 og 4.

Vi gjør oppmerksom på at ulike arealoversikter i tabeller og figurer er oppgitt i hektar (ha), mens i teksten benevnes arealer som hovedregel i dekar (daa).

2 Supplering etter tradisjonell kulturforryngelse av gran og naturlig forryngelse av furu

Her går vi innledningsvis (Kap. 2.1) gjennom relevant litteratur som viser hvordan suppleringsplanting kan bidra til å tette gapet mellom dagens tilstand og det som ellers er optimalt med hensyn til tetthet, tilvekst og klimaeffekt. Videre redegjør vi for simuleringene som er definert for å undersøke klimaeffekten av supplering (Kap. 2.2), modelleringsverktøyet (Kap. 2.3) og til slutt for resultatene fra simuleringene (Kap. 2.4)

2.1 Tidligere undersøkelser

NIBIO har tidligere vurdert sammenhengen mellom tettere planting og høyere volumproduksjon basert på en rekke planteavstandsforsøk (Søgaard mfl., 2017) og gjennomført beregninger som viser hvordan økt plantetetthet kan ha betydning for netto opptak av CO₂ (Søgaard mfl., 2020). Siden 2016 har det vært gitt tilskudd til tettere plantinger for å oppnå denne klimagevinsten.

Tiltak for å oppnå god tetthet i forryngelsen drøftes av Søgaard mfl. (2023). Der legges det blant annet vekt på kunnskapsbehov knyttet til plantenes overlevelse i felt og stedstilpasset skogskjøtsel for å tilrettelegge for god forryngelse. Suppleringsplanting ble ikke drøftet i den rapporten. Effekten av suppleringsplanting har generelt vært lite studert, men enkelte forsøk fra Sverige (Nilsson & Gemmel, 2007) og Norge (Braathe, 1992) belyser spørsmålet.

Nilsson og Gemmel (2007) la ut forsøk for å studere vekst og overlevelse etter suppleringsplanting med fire ulike treslag; gran, furu, vrifuru og hybridlerk. Det ble etablert åpninger i to etablerte granplantefelt to og seks år etter planting. Høyden på de opprinnelig utsatte plantene var ca. 40 cm i begge feltene, og åpningene ble etablert med radius på henholdsvis 7, 5 og 2,5 meter. På grunn av beiting, feiing og frostskafer var det lav overlevelse av furu, vrifuru og hybridlerk. Men for granplantene ble vekst og overlevelse fulgt i 24 år etter etablering av forsøket. Overlevelsen var generelt høy, men fra ti-årsalder førte selvtynning til gradvis redusert overlevelse. Størst avgang var det blant de minste plantene og der det var supplert inn i de minste bestandsåpningene (~20 m²).

På begge feltene i forsøkene til Nilsson og Gemmel (2007) var stammevolum på de supplerte plantene lavere enn på de opprinnelige utsatte plantene. På feltet hvor suppleringsplanting ble gjennomført seks år etter planting, var stammevolum i suppleringsplantene påvirket av størrelsen på åpningene, med størst vekst i de største åpningene (~150 m²). Stammevolum i suppleringsplantene var ikke påvirket av størrelsen på åpningene i bestandet på det feltet som ble supplert to år etter planting.

Dette understreker betydningen av å gjennomføre supplering raskt etter planting.

«Kanttrær» 0-2 m fra bestandsåpningene hadde høyere stammevolum enn resten av bestandet der det ikke var gjennomført suppleringsplanting i store (~150 m²) og middels store (~80 m²) bestandsåpninger (Nilsson & Gemmel, 2007). Ved registreringer etter 24 år var diameter på trær som omkranset en stor (~150 m²) og mellomstor (~80 m²) bestandsåpning større der bestandsåpningen ikke var supplert, sammenlignet med der det var gjort suppleringsplanting (Nilsson & Gemmel, 2007). Suppleringsplanting i små bestandsåpninger påvirket ikke diameter på trærne som omkranset åpningen (~20 m²).

På grunn av den økte tilveksten på trærne som omkranset bestandsåpninger hvor det ikke ble gjennomført suppleringsplanting, konkluderte ikke forsøkene til Nilsson og Gemmel (2007) med økt volumvekst etter suppleringsplanting. Forfatterne forklarer dette uventede resultatet med at det var veldig tydelige bestandskanter mellom bestandet og åpningene som ble etablert. Ved naturlig avgang i et plantefelt vil ofte åpningene i bestandet være mer tilfeldig fordelt og ujevne i størrelse, med mindre

definerte kanter. **Deres konklusjon er at suppleringsplanting ikke vil være økonomisk regningsvarende i åpninger mindre enn 150 m².**

I forsøkene som ble etablert med suppleringsplanting i bestandsåpninger av tre ulike størrelser (Nilsson & Gemmel, 2007) ble også stammeform og kviststørrelse undersøkt ett år etter første tynning (Pfister mfl., 2008). De fant da at flere tretekniske egenskaper ble påvirket. Trær som stod i kanten av bestandsåpninger hadde større kvistmengde og større avsmalning enn sammenlignbare trær i bestandsåpninger hvor det var supplert. De peker videre på at forskjellen vil øke ettersom kvistene vil fortsette å vokse og trær i kanten av bestandsåpninger ikke vil bli tatt ut i tynninger for ikke å lage enda større bestandsåpninger. **Deres konklusjoner er derfor at suppleringsplanting kan påvirke kvistmengde og stammeform, og denne effekten er størst i større bestandsåpninger (~150 m²).**

Braathe (1992) analyserte resultater i en forsøksserie anlagt i perioden 1960-63. Det ble supplert i felter hvor det var bestandsåpninger etter naturlig foryngelse av gran. I tillegg til gran ble det supplert med furu og sibirsk lerk i separate forsøksruter. **Hovedfaktorer for å lykkes med suppleringsplanting basert på denne undersøkelsen var hvor store åpninger som var i bestandet før suppleringsplanting (nullruteprosenten) og høyden på forhåndsforyngelsen.** Større suppleringsplanter gav også bedre resultater enn mindre planter. På grunn av høy elgtetthet, ble furuplantene beitet hardt og suppleringsplanting med furu anbefales ikke der det er mye elg. **Hvis det ikke er risiko for beiting av elg, konkluderer Braathe (1992) med at furu kan være et meget godt treslag for suppleringsplanting på grunn av rask ungdomsvekst.**

2.2 Scenarier

Fire scenarier ble definert:

1. **Uten suppleringsplanting:** For all barskog (gran og furudominert skog) som forynges forutsettes et suppleringsbehov som registrert gjennom Resultatkartleggingen 2018-2022 (prosentvis andel av foryngelsesarealet), med tilhørende registrert planteantall per dekar¹. På øvrige arealer forutsettes et planteantall per dekar ihht. anbefalingene i bærekraftforskriften.
2. **Suppleringsplanting gran:** For all granskog som forynges forutsettes et planteantall per dekar ihht. anbefalingene i bærekraftforskriften. For deler av arealet på furumark forutsettes en plantetetthet som registrert for arealer med suppleringsbehov i Resultatkartleggingen¹.
3. **Suppleringsplanting furu:** For all furuskog som forynges forutsettes et planteantall per dekar ihht. anbefalingene i bærekraftforskriften. For deler av arealet på granmark forutsettes en plantetetthet som registrert for arealer med suppleringsbehov i Resultatkartleggingen¹.
4. **Suppleringsplanting gran-furu:** For all barskog (gran og furudominert skog) som forynges forutsettes et planteantall per dekar ihht. anbefalingene i bærekraftforskriften¹.

Siden bærekraftforskriften angir anbefalte plantetetthet i form av brede intervall per treslag og bonitetsklasse, har vi her valgt som forutsetning et treantall som ligger om lag midt mellom minimum og maksimum anbefalt tetthet som utgangspunkt, se «Mål for plantetall etter suppleringsplanting» i Tabell 1.

2.3 Simuleringsverktøyet SiTree

Simuleringer er utført med enkelttre-skogvekstsimulatoren som er implementert i simuleringsverktøyet SiTree (Antón-Fernández & Astrup, 2022). I simuleringene benyttet vi det omfattende datasettet fra Landsskogtakseringen (Breidenbach mfl., 2020). SiTree fungerer slik at den

¹ Med registrert planteantall i Resultatkartleggingen menes her den plantetetthet som er oppgitt av kontrolløren som «forventet planteantall i etablert foryngelse» etter tenkt avstandsregulering.

legger eksisterende, målte trær på Landsskogtakseringens prøveflater til grunn, og modellerer bestandens videre utvikling med enkeltrærnes tilvekst, naturlig mortalitet og etablering av nye trær. Videre er det rutiner i SiTree for å fjerne trær etter spesifiserte regler, som følge av ulike typer hogst som sluttavvirking og tynning.

Tabell 1. Forutsetninger om plantetall per hektar og andel areal med suppleringsbehov i scenariene.

Hovedtreslag i nytt bestand	Bonitet	Anbefalt plantetall (n/ha)	Andel areal med suppleringsbehov (%)	Plantetall på arealer med suppleringsbehov (n/ha)	Mål for plantetall etter suppleringsbehov (n/ha)	Ekstra plantebehov (n/ha)
Gran	Lav 6-11	600-1400	27	606	1000	395
	Middels 14-17	1300-2300	31	1064	1800	735
	Høy >=20	1800-3000	40	1273	2400	1125
Furu	Lav 6-8	800-1300	12	336	1050	715
	Middels 11-14	1200-2400	16	670	1800	1135
	Høy >=17	1900-3400	21	789	2650	1860

Simuleringene skjer stegvis for perioder på fem år. Utgangssituasjonen er tilstanden på prøveflatene i Landsskogtakseringen slik det ble målt/registrert i løpet av et fullt femårig omdrev (2016-2020). Vi brukte en tilskrivningsbasert metode (eng: imputation) for å estimere tilvekst (trenivå), mortalitet (avgang, på trenivå) og innvoksing² (på flatenivå). Basert på utgangstilstanden simuleres veksten til enkeltrærne og mortalitet gjennom en «nærmeste nabo» tilnærming. Tilstanden for det enkelte tre og prøveflate oppdateres basert på «nærmeste nabo» (1 – nn) i referansedatabasen, som omfatter alle registreringer på prøveflaten fra 2006 og fram til 2020. Med hensyn til innvoksing av nye trær identifiseres «nærmeste nabo-flate» for samme treslagsgruppe (gran, furu, lauv) ut fra variablene bonitet, breddegrad, grunnflatesum, antall trær per dekar, samt andel gran, furu og lauv i prøveflata. Når «nærmeste nabo-flata» er identifisert blir innvoksingen av nye trær som er registrert tilskrevet flata av interesse. For tilvekst og mortalitet gjelder samme generelle prinsipp. De variabler som er brukt for å søke opp «nærmeste nabo-treet» er de samme som er anvendt i tilvekstfunksjonene i Bollandås mfl. (2008): bonitet, brysthøydiameter, breddegrad, total grunnflatesum i prøveflata, samt grunnflatesum (m² per ha) for trær som er større enn treet av interesse. Når vekst, mortalitet og innvekst (rekruttering av nye trær) er generert danner så dette grunnlaget for å oppdatere utgangssituasjonen etter 5 år, og samme prinsipp benyttes for suksessive oppdateringer av skogtilstanden gjennom påfølgende femårsperioder. Hundre simuleringer ble utført for å jevne ut effekten av stokastiske prosesser som ble bygget inn i simuleringene. Resultatene vises som gjennomsnittet av de hundre simuleringene.

Felles forutsetninger for alle scenarier (spesifikke plantetettheter for hvert scenario er beskrevet ovenfor i kap. 2.2 og Tabell 2):

- Det årlige hogstvolumet i hver femårsperiode er satt likt for alle scenariene og er det samme som i BAU-framskrivningen i Mohr mfl. (2022).
- Hogstintensiteten er satt ulikt for ulike strata, dvs. grove klasser definert etter skogtype (gran-, furu- eller lauvtdominert), bonitet og driftskostnad basert på observerte forholdstall mellom strataene i referanseperioden. Volumet som hogges i hvert stratum er likt for alle scenariene.
- Innen hvert stratum og hogstklasse ble sannsynligheten for hogst rangert ved hjelp av en empirisk sannsynlighetsmodell (Antón-Fernández & Astrup, 2012). Dette innebærer at utvelgelsen av

² Med innvoksing menes hvor mange trær som rekrutteres inn i den laveste diameterklassen per femårsperiode (her benyttes 5 cm diameter i brysthøyde).

prøveflater med simulering av hogst startet med flatene med høyest hogstsannsynlighet inntil målet for årlig hogstkvantum i femårsperioden er nådd.

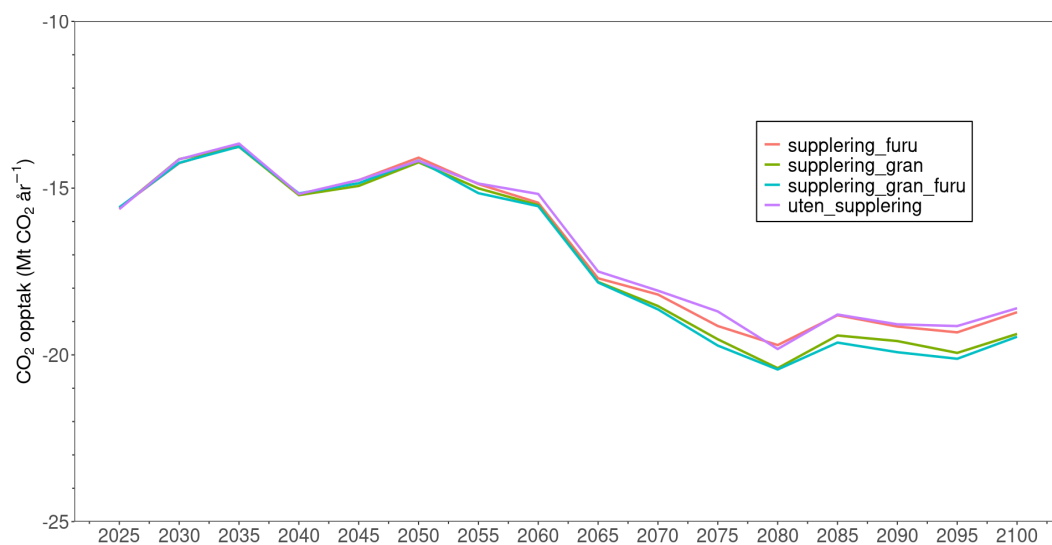
- Som i Mohr mfl. (2022) har vi lagt til grunn fremtidige klimaendringer tilsvarende RCP 4.5 i framskrivningene. Framtidige effekter av klimaendringer er inkludert i beregningene i SiTree som en bonitetsendring estimert på grunnlag av Antón-Fernández mfl. (2016). Vi bruker klimadata fra fem klimamodeller (se Mohr mfl., 2022) fra Meteorologisk institutt for hver Landsskogflate som er inkludert i datasettet (NVE, 2016).
- Det forutsettes videre i alle scenariene at andelen skogvern øker opp til 10% (vernescenario A i Hylén mfl. (2022)). I framskrivningene er det lagt til grunn at omfanget av avgang på grunn av barkbiller, vindfelling, skogbrann, osv. vil være som i referanseperioden. Dette følger implisitt når en bruker en tilskrivningsbasert tilnærming ('nærmeste nabo') for tilvekst og avgang. En eventuell økning i skader grunnet klimaendringer vil følgelig ikke fanges opp gjennom disse framskrivningene.
- Det er forutsatt at skogarealet vil være uendret. Dermed vil CO₂-utslipp og opptak assosiert med endring av areal gjennom avskoging og påskoging bli ekskludert fra simuleringen.
- Mengden overjordisk biomasse som fjernes ved slutthogst og tynning er basert på observerte uttaksnivå på Landsskogtakseringens prøveflater, noe som resulterte i andeler på henholdsvis 94% og 34%.
- 78 % av arealet med granskog som hogges plantes på nytt med gran. Øvrig areal forutsettes forynget naturlig med lavere andel bartrær og høyere lauvtreandel enn arealet som tilplantes.
- Ungskogpleie gjennomføres på et areal tilsvarende alt av foryngelsesarealet.
- Nitrogengjødsling 10 år før slutthogst avgrenset opp til 5000 daa/år i restriksjonssone og opp til 41000 daa/år utenfor restriksjonssone.
- Plantetetthet i etablert foryngelse og ventetid (Tabell 2) varierer avhengig av bonitet, treslag og scenario-definisjonen ovenfor.
- Foredlingseffekt i gran, ikke furu. Forventet andel av plantede trær som er fra foredlet frømateriale (frøplantasjefrø) er estimert av Skogfrøverket (se Mohr mfl., 2022). Det antas at foredlet granmateriale gir 6% økning av bonitet de første 10 årene og 10% økning etter 10 år.

2.4 Estimerer på potensiell klimaeffekt

Figur 1 viser beregnet opptak for de fire scenariene. Forskjellen mellom scenariet uten supplering og scenariet med supplering furu er relativt marginale. Dette resulterte i om lag samme akkumulert opptak med bare supplering furu og uten supplering for hele simuleringsperioden sett under ett (Tabell 3). Scenariet med supplering av foryngelser i både gran- og furudominert skog hadde høyest akkumulert opptak, tilsvarende et meropptak på 34,6, 27,9 og 6,1 Mt CO₂ sammenlignet med scenariene uten supplering, supplering i furuforyngelser og supplering i kun granforyngelser.

Tabell 2. Forutsetninger for tetthet i etablert foryngelse og ventetid. 'Øvrig areal' omfatter her arealer uten suppleringsbehov samt arealer hvor det suppleringsplantes.

Hovedtreslag i nytt bestand	Bonitet	Arealkategori	Bartrær (n/ha)	Lauvtrær (n/ha)	Ventetid (år)
Gran	Lav 6-11	Uten supplering	606	400	10
		Øvrig areal	1000	200	
	Middels 14-17	Uten supplering	1064	400	0
		Øvrig areal	1800	200	
	Høy >= 20	Uten supplering	1273	400	0
		Øvrig areal	2400	200	
Furu	Lav 6-11	Uten supplering	336	400	10
		Øvrig areal	1050	200	
	Middels 14-17	Uten supplering	670	400	5
		Øvrig areal	1800	200	
	Høy >= 20	Uten supplering	789	400	5
		Øvrig areal	2650	200	
Lauvtrær	Lav 6-11		200	1000	5
	Middels 14-17	Alt areal	200	1800	5
	Høy >= 20		400	2400	5



Figur 1. Årlig netto CO₂-opptak for levende biomasse fram til år 2100 for alle fire scenariene. Merk at negative verdier illustrerer opptak av CO₂.

På kort til mellomlang sikt (før 2050) er det kun marginale forskjeller mellom scenariene med hensyn til totalt akkumulert opptak, hvoretter forskjellene øker fram mot slutten av simuleringsperioden (Figur 1, Tabell 3). Den akkumulerte forskjellen på 34,6 Mt CO₂ mellom scenariet uten supplering og scenariet med supplering i både gran og furu utgjør et ekstra årlig opptak på 0,4 Mt CO₂ når differansen fordeles over 80 år. Dette tilsvarer 0,9% av Norges totale antropogene utslipp utenom arealbrukssektoren i 2021 (Miljødirektoratet, 2023).

Tabell 3. Akkumulert netto CO₂-opptak (Mt CO₂) per 2030, 2050, 2075 og 2100 for scenarier hhv. uten supplering (Uten_supplering), med supplering kun i granforyngelser (Supplering_gran), kun i furuforyngelser (Supplering_furu) og i med supplering i både gran og furuforyngelser (Supplering_gran_furu). Øvrig skog inkluderer lauvtdominert, uproduktiv, og vernet skog. Merk at negative verdier illustrerer opptak av CO₂. Se Vedleggene 1-4 for årlig CO₂ opptak for hver femårsperiode.

Scenario	Skogtype	Bonitet	År			
			2021-2030	2021-2050	2021-2075	2021-2100
Uten_supplering	Grandominert	Lav 6-11	-1,6	-8,8	-15,4	-28,5
		Middels 14-17	-26,1	-79,1	-123,6	-166,1
		Høy >=20	-6,8	-2,3	-21,3	-51,3
		Totalt	-34,6	-90,2	-160,3	-245,9
	Furudominert	Lav 6-8	-12,7	-37,5	-76	-111
		Middels 11-14	-8,7	-19,4	-50,1	-88
		Høy >=17	2,8	14,5	19	13,1
		Totalt	-18,5	-42,4	-107,1	-185,9
	Øvrig skog		-95,7	-305,1	-591,8	-904,7
	Totalt		-148,8	-437,7	-859,3	-1336,4
Supplering_gran	Grandominert	Lav 6-11	-1,6	-9,5	-17,8	-32,4
		Middels 14-17	-27,2	-80,1	-124,2	-169,8
		Høy >=20	-6,1	-2,3	-30	-68,1
		Totalt	-34,9	-91,9	-172	-270,3
	Furudominert	Lav 6-8	-12,7	-37,5	-76,1	-112,3
		Middels 11-14	-8,8	-19,8	-50,6	-87,2
		Høy >=17	3	14,6	18,9	12,6
		Totalt	-18,5	-42,6	-107,8	-187
	Øvrig skog		-95,3	-304,9	-591,5	-907,6
	Totalt		-148,7	-439,4	-871,3	-1364,9
Supplering_furu	Grandominert	Lav 6-11	-1,6	-9	-16,7	-31
		Middels 14-17	-26,3	-80,6	-122,2	-161,7
		Høy >=20	-7,3	-1,1	-22,4	-51,2
		Totalt	-35,1	-90,7	-161,3	-243,9
	Furudominert	Lav 6-8	-12,6	-37,4	-76	-113,2
		Middels 11-14	-8,8	-19,9	-52,9	-91,1
		Høy >=17	2,9	14,7	18,3	12,1
		Totalt	-18,5	-42,6	-110,6	-192,1
	Øvrig skog		-95,5	-304,6	-592,7	-907,1
	Totalt		-149,2	-437,9	-864,6	-1343,1
Supplering_gran_furu	Grandominert	Lav 6-11	-1,5	-9,4	-18	-33,2
		Middels 14-17	-27	-79,8	-122,7	-169,3
		Høy >=20	-6,9	-2,4	-29,8	-67,8
		Totalt	-35,4	-91,6	-170,5	-270,3
	Furudominert	Lav 6-8	-12,6	-37,6	-76,2	-112,8
		Middels 11-14	-8,5	-19,6	-51,6	-91,8
		Høy >=17	2,8	14,5	17,9	11,5
		Totalt	-18,4	-42,7	-109,9	-193,1
	Øvrig skog		-95,3	304,5	-592,8	-907,5
	Totalt		-149,1	-438,8	-873,2	-1371

2.5 Arealer og kostnader

Suppleringsbehovet i scenariene framgår av Tabell 4, uttrykt som årlig areal fordelt på skogtype (dominerende treslag) og grove bonitetsklasser. Det årlige arealet fordeler seg tilnærmet jevnt gjennom simuleringsperioden, men med noe ulik fordeling mellom bonitetsklassene i de ulike tidsperiodene. Dette henger sammen med dagens aldersfordeling av skogen relativt til hogstmodenhet, som gjenspeiles i det foryngede arealets fordeling på treslag og bonitetsklasser i prognosene.

Tabell 4. Årlig areal (ha) med suppleringsbehov i simuleringene, periodevis fordelt på bonitetsklasser samt gran- og furudominert skog.

Skogtype	Bonitet		Årlig suppleringsbehov per periode (ha)				Gjsn. Alle år
			2021-2030	2031-2050	2051-2075	2076-2100	
Grandominert	Lav	6-11	2091	1661	1533	1217	1536
	Middels	14-17	2496	3028	3030	2709	2862
	Høy	>=20	1956	2030	2160	2741	2283
	Totalt		6543	6718	6723	6667	6682
Furudominert	Lav	6-8	469	459	342	364	394
	Middels	11-14	1027	1134	1023	860	1000
	Høy	>=17	388	521	409	372	423
	Totalt		1884	2113	1773	1597	1817
Totalt			16853	17663	16993	16527	16998

Kostnadene forbundet ved tiltaket er estimert ved å ta utgangspunkt i kostnader for skogplanting oppgitt av Statistisk Sentralbyrå (SSB, 2024). Statistikken viser en gjennomsnittlig kostnad på 6,24 kroner per plante. Vi har ikke informasjon om hvordan de innrapporterte kostnadene fordeler seg mellom ordinær planting og suppleringsplanting, men vi kan anta at andelen suppleringsplanting som ligger til grunn er forholdsvis lav. Vi har derfor med støtte i tidsstudien til Granhus og Fjeld (2008) lagt til grunn en kostnad som er 50% høyere for suppleringsplanting sammenlignet med tallene fra SSB. Dette gir da en kostnad på 9,36 kr per plante som er benyttet i beregningene. Den samlede årlige kostnaden som forutsettes for tiltaket framkommer ved å multiplisere kostnad per plante med beregnet plantebehov per ha fra Tabell 1 og årlig suppleringsbehov i ha fra Tabell 4. Strømmen av kostnader fram til år 2100 er deretter diskontert med en diskonteringsrente på 2,5%. Diskontert kostnad fordelt per tonn CO₂ i meropptak per 2100 for suppleringsplanting i gran- og furuforyngelser blir med dette som vist i Tabell 5. Meropptaket som ligger til grunn i beregningen er her forskjellen mellom scenariet uten suppleringsplanting (Uten_supplering) og scenariet med suppleringsplanting i både gran og furu (Supplering_gran_furu):

Tabell 5. Estimert kostnad per tonn akkumulert meropptak CO₂ per 2100.

Skogtype	Akkumulert opptak uten suppleringsplanting (Mt CO ₂)	Akkumulert opptak med suppleringsplanting (Mt CO ₂)	Differanse opptak totalt (Mt CO ₂)	Differanse opptak per ha supplert (Mt CO ₂)	Diskontert kostnad per ha (Kr)	Diskontert kostnad per tonn meropptak (Kr/T CO ₂)
Grandominert	245,9	270,3	24,4	45,6	3 110	68,1
Furudominert	185,9	193,1	7,2	59,5	5 123	103,4

En finere inndeling på grove bonitetsklasser gir ingen tydelige mønstre med hensyn til estimert kostnad per tonn meropptak (data ikke vist), slik en kunne forvente gitt høyere produksjonsevne med økende bonitet. Dette må ses i lys av at suppleringsbehovet som er lagt til grunn (antall suppleringsplanter per ha, Tabell 1) også øker med økende bonitet, og dermed også de samlede kostnadene.

Med disse forutsetningene havner begge tiltakene i kostnadskategorien «under 500 kr per tonn» med god margin. I og med at beregningen tar utgangspunkt i diskonterte kostnader for suppleringsplanting delt på akkumulert meropptak kan en argumentere med at verdien av et økt karbonopptak til ulike tider ikke vektlegges. En tilsvarende øvelse med en diskontert kroneverdi per tonn årlig meropptak vil i så måte bedre ta høyde for den samfunnsmessige klimanytten, men en slik beregning er ikke foretatt her. Diskontert kostnad vil naturlig nok også avhenge av diskonteringsrenten, som her er satt til 2,5%.

3 Suppleringsplanting etter lukkede hogster i granskog

3.1 Lukkede hogster

Med lukkede hogster forstås vanligvis hogster som i stor grad bevarer bestandets mikroklima og (i større eller mindre grad) kontinuiteten i skogbildet. En vanlig definisjon i Norge er at det står igjen flere enn 15 store trær per dekar etter hogst, eller at hogståpningene ikke overstiger to dekar (Børset, 1986; PEFC, 2022).

Hovedtypene innenfor lukkede hogstformer omfatter skjermstillingshogst, gruppehogst og selektiv hogst (bledning) (Routa & Huuskonen, 2024, Granhus mfl., 2024). I tillegg finnes hogstformer som tar opp i seg flere av disse elementene, for eksempel fjellskoghogst.

Lukkede hogstformer blir oftest forbundet med naturlig foryngelse, men det er også mulig å kombinere med kulturforyngelse. Hvilken form for lukket hogst som gjennomføres har betydning for etablering og vekst av foryngelsen, og hvor enkelt det er å sette inn ulike tiltak som planting eller supplering.

Lukkede hogster passer best for skyggetålende trær, som i Norge i stor grad vil bety gran. Andre arter som furu eller bjørk vil kreve tilpasninger av hogstformen, med lavere bestandstetthet eller større åpninger, slik at også disse mer lyskrevende artene kan forynge seg og med tiden vokse inn i øvre sjikt (Brunner mfl., 2023).

Granhus mfl. (2024) gir en mer detaljert gjennomgang av de ulike lukkede hogstformene. Her oppsummeres noen hovedtrekk ved hogstmetodene og foryngelsesforholdene:

3.1.1 Skjermstillingshogst

Her settes det igjen 16-40 trær per dekar jevnt fordelt over arealet. Skjermtrærne skal produsere frø, og verne småplantene mot varme, tørke, frost og konkurrerende vegetasjon. Det er vanlig å velge tynnede, stabile bestand og gjennomføre en forberedende hogst noen år før skjermen settes. Hele prosessen fram til skjermtrærne avvirknes kan ta flere tiår. Skjermtrærne tas vanligvis ut når tilstrekkelig foryngelse er kommet opp i 0,3-1 meters høyde, og skjermen kan avvikles i flere trinn. Mye foryngelse vil gå ut under avvirkning av skjermen.

Foryngelsesresultatet etter skjermstillinger varierer. Skoklefeldt (1989) undersøkte resultat etter skjermstilling i høyereliggende granskog i Løten, både med og uten markberedning. Åtte år etter sluttavvirkning var det ca. 150 planter per dekar og en nullruteprosent på ca. 60 uten markberedning, mot 40 % nullruter med markberedning. I Sverige undersøkte Sikström (1997) resultatet i 52 skjermstillinger i Sør- og midt-Sverige, 2-8 år etter skjermstilling og før hogst av skjermtrærne. Han fant best resultat i sør (hvor 65 % av bestandene hadde mer enn 400 granplanter per dekar, mot 38 % lenger nord), og antok at det skyldtes bedre klimaforhold og høyere forekomst av fuktige jordtyper.

Selv om skjermtrærne beskytter småplantene, er de også sterke konkurrenter om lys, vann og næring, og reduserer veksten til foryngelsen i den perioden skjermen står. I Norge har blant annet Bergan (1971), Skoklefeldt (1989) og Hanssen mfl. (2003) funnet sterkt redusert vekst av granforyngelse under skjerm, i tillegg til at det er stor avgang under hogsten. Veksten kan imidlertid ta seg godt opp etter at skjermen er fjernet (Skoklefeldt, 1989).

3.1.2 Gruppehogst

Hogst av små grupper eller småflater, fra noen hundre kvadratmeter opp til ca. 2 dekar. Formålet med gruppehogst er normalt at arealet skal forynges naturlig fra kanten av gjenstående skog, men det er også mulig å plante. Størrelse, antall, plassering og gradvis utvidelse av gruppene må tilpasses treslag og lokalitet, og kan variere mye.

Som for skjermtrær, vil trærne langs kanten av en gruppehogst påvirke foryngelsen på ulike måter. Nordiske studier viser at gruppehogster i hovedsak har resultert i god nok foryngelse med hensyn på tetthet, i både gran-, furu- og barblandingsskog (Hanssen mfl., 2003; Valkonen mfl., 2011; Hallikainen mfl., 2019; Goude mfl., 2022). Veksten er imidlertid vanligvis påvirket av kanteffekter fra trærne rundt åpningen, med redusert vekst for småplantene nærmest kanten. Dette er vist både for gran og furu. Ulike studier viser viktigheten av å utvide åpningene med jevne mellomrom, slik at foryngelsen nærmest kantrærne ikke blir stående for lenge og sture (Granhus mfl., 2024).

3.1.3 Selektive hogster

Disse kan defineres som «hogster basert på definerte kriterier for trevalg, som utvikler eller bevarer en sjiktet skogstruktur» (Lexerød & Eid, 2005). Den klart vanligste formen av selektiv hogst i Fennoskandia er **bledning**. Det er en systematisk hogst av enkelttrær hvor man går inn med jevne mellomrom (gjerne hvert 10.-20. år) i flersjiktete bestand. I hovedsak høstes store «utvokste» trær, og også trær med skader og dårlig kvalitet eller vitalitet.

Målet er å opprettholde en flersjiktet bestandsstruktur og optimal tetthet, for både god vekst og konstant foryngelse. Å få til denne balansen er krevende. Bestandtettheten vil variere både i tid og rom, og foryngelsesprosessen foregår hele tiden. Dødeligheten er stor for småplanter, og ikke minst ved hogstingrepe vil mange små og mellomstore trær skades eller dø (Hanssen mfl., 2007, Granhus & Fjeld, 2001). Generelt trenger innveksten (antall trær som vokser inn i nederste diameterklasse i bestandet) likevel ikke å være mer enn ca. 10 tre per hektar og år for at de kan erstatte de trærne som hogges i hvert inngrep (Brunner mfl., 2023).

Studier av selektive hogster i Skandinavia viser varierende resultater med hensyn til innvoksing (Tabell 6). De fleste studiene er likevel i snitt innenfor «tommelfingerregelen» om minst 10 trær per hektar og år.

Tabell 6. Eksempler på innvoksing (antall per ha og år inn i laveste diameterklasse) fra ulike skandinaviske studier.

Studie	Materiale bak undersøkelsen	Terskelverdi for innvoksing (DBH, cm)	Antall per ha/år (minimum-maksimum)
Moan, 2021	14 forsøksfelt inkl. Kontus-felt	2,5	20 (0-73)
Granhus mfl., 2021b	19 bestand på Østlandet	5,0	5 (0-18)
Lundqvist mfl., 2007	14 forsøksruter, N-Sverige	5,0	14 (4-24)
Lundqvist mfl., 2007	14 forsøksruter, Midt-Sverige	5,0	21 (11-33)
Ahlström & Lundqvist, 2015	7 bestand, N-Sverige	5,0	13 (8-23)

3.2 Vurderinger av behov og effekt

Hvor vellykket den naturlige foryngelsen blir, avhenger av faktorer som vegetasjonstype, tilgang på frøtrær, forekomst av frøår, klimaforhold i foryngelsesfasen, tetthet av gjenværende bestand og type lukket hogst. Dermed vil behovet for supplering også variere sterkt.

Vegetasjonstypen kan gi en pekepinn om foryngelsesforholdene. Lexerød & Eid (2004) grupperte vegetasjonstyper og regioner etter foryngelsesforholdene, basert på hvor mye forhåndsforyngelse det var i sjiktede bartrebestand på Landsskogtakseringens permanente prøveflater. Ut fra denne studien,

samt Larsson mfl. (1994) og vurderingene i Granhus mfl. (2024) kan konklusjonen være at på grandominert mark er sjansen for god foryngelse størst på rikere, fuktigere vegetasjonstyper, mens risikoen er større i blokkebærskog og i fattigere, tørre utforminger av for eksempel bærlyng- eller blåbærskog, og/eller der disse vegetasjonstypene har tjukke mose- og råhumusmatter.

Praktisk sett vil supplering etter lukkede hogster være mer tidkrevende, og dermed mer kostbar, enn planting eller supplering etter åpen hogst. Det er vanskeligere å ha oversikt over hvor behovet er, og man må gå over et større område per plante. Det finnes ikke mange studier av tidsbruk ved suppleringsplanting etter lukket hogst, men Granhus & Fjeld (2008) undersøkte tidsbruken ved planting under ulike skjermtettheter og på småflater i seks granbestand på Østlandet. De fant at plantetallet gikk ned jo høyere gjenstående grunnflate det var, og at gangtiden mellom plantene økte tilsvarende. Om det var markberedt eller ikke spilte imidlertid en større rolle for tidsbruken enn hogstformen.

For at det skal være en nytteverdi av å supplere, må trærne man planter ha mulighet til å overleve og vokse seg inn i bestandet, slik at de bidrar til skogproduksjon og karbonbinding.

I alle de lukkede hogstformene vil gjenstående, større trær i skjerm, kant eller bestand begrense veksten til småplantene, noe som drar «foryngelsesfasen» ut i tid. Avgangen kan øke, på grunn av mer kamp om ressurser, og ikke minst gjentatte faser med hogst av skjerm- eller kantrær (Sikström & Glöde, 2001). På den andre siden vil for eksempel faren for oppfrost (de Chantal mfl., 2007) og snutebilleangrep (Nordlander mfl., 2003; Örlander & Karlsson, 2000) være mindre der det er en form for skjerm av større trær.

Gruppegogster er den lukkede hogstformen som ligger nærmest flatehogst. Effekten av supplering bør være nokså lik effekten på en flate, selv om åpningene er mindre og effektene av kantrærne større. Som nevnt i kapittel 2 fant Nilsson & Gemmel (2007) at konkurransen fra allerede etablerte planter raskt ble stor for suppleringsplantene, slik at de ikke bidro særlig til volumproduksjonen. Dette gjaldt selv ved supplering allerede to år etter planting, og med god overlevelse av supplerte granplanter. De anbefalte derfor ikke supplering i åpninger mindre enn 150 m². Imidlertid så de ikke bort fra en positiv effekt på virkeskvaliteten etter suppleringsplanting, og at effekten kan være annerledes på lavere boniteter enn det som ble brukt i forsøket.

Skjermstillingshogst: Bergan (1971) fant at kulturplanter av gran, plantet etter hogst av skjermtrærne i et granbestand i Nordland, ikke klarte å ta igjen veksten til den naturlige foryngelsen som var på plass etter skjermstillingen. Konklusjonen var at det her var mest fornuftig å bygge på den naturlige foryngelsen.

Granhus mfl. (2003) undersøkte vekst og overlevelse av granplanter plantet under skjerm og på småflater, i åtte bestand i noe høyereliggende blåbærgranskog. Bestandene var nokså sjiktede, så resultatene kan også representere planting ved selektive hogster. Overlevelsen var god i alle behandlinger, i snitt 89 % seks år etter hogst og etterfølgende planting. Høydeveksten var klart bedre på småflatene (høyder 60-70 cm etter seks år) enn under skjerm (høyder 40-50 cm).

Selektiv hogst: Som nevnt i avsnitt 3.1.3 er behovet for innvoksing inn i laveste diameterklasse ved selektiv hogst nokså lavt, ca. 1 tre per dekar og år. De fleste studiene fra Skandinavia viser at innvoksingen er god nok, selv om studien til Granhus mfl. (2021b) i snitt har lavere innvoksing enn dette tallet, og det er ganske mye variasjon mellom felt.

Et viktig poeng er at en eventuell mangel på foryngelse, i et ellers sjiktet bestand, ikke påvirker mulighetene til å utføre en selektiv hogst i dag. Dette skyldes at de trærne som allerede er i bestandet er de som skal hogges ved de neste inngrepene, altså i mange årtier framover. Foryngelsen har dermed god tid til å etablere seg i denne perioden (Brunner mfl., 2023).

I en flersjiktet skog foregår foryngelse, innvekst og produksjon kontinuerlig over hele bestandet. Produksjonen i stor grad avhengig av stående volum/grunnflate, og det er en utfordring å holde

tettheten på et optimalt nivå, som gir bra produksjon og samtidig god nok foryngelse og innvekst (Brunner mfl., 2023).

I forhold til planting eller supplering, er utfordringen med selektive hogster i sjiktede bestand den lange utviklingstiden til småplantene, høy dødelighet, og at åpninger i bestandet som kan gi småtrærne utviklingsmuligheter varierer sterkt i tid og rom, og er svært vanskelig å forutsi (Brunner mfl., 2023). Å plante til tilfeldige åpninger i bestandet er derfor risikabelt.

Aulie (2013) undersøkte vekst og overlevelse til småplanter av gran og furu, åtte år etter planting i et selektivt hogd bestand. Blant furuplantene var avgangen 61 %, delvis på grunn av hardt beitetrykk. For gran var den 12 %. De fleste plantene var undertrykte, og lystilgangen der plantene sto hadde klar innvirkning på høyde- og diametervekst.

Plantingen må eventuelt begrenses til det antall planter som trengs for å skape rekrutteringen inn i de minste diameterklassene om noen årtier. Det er også et alternativ å plante hvis man ønsker å få inn andre treslag (gitt at forholdene passer for det), eller hvis man ønsker å benytte foredlet materiale. Foryngelsen vil da bestå av en blanding av naturlig og foredlet materiale, og endelig fordeling av genmaterialet i fremtidens overbestand vil være ukjent (Brunner mfl., 2023).

Oppsummert kan foryngelsesresultatet variere nokså mye etter lukkede hogster i granskog. Noen vegetasjonstyper skiller seg negativt ut, for eksempel fattige utforminger av bærlyng- eller blåbærskog med tjukke råhumusmatter. For hogstformer som skjermstillingshogst og gruppehogst vurderer vi at oppfølging av resultatet nokså raskt etter hogst, etterfulgt av suppleringsplanting der det er behov, vil kunne bidra til at plantetettheten er på et visst nivå. Men det er også store usikkerheter knyttet til effekten, fordi veksten er langsom og dødeligheten i foryngelsen nokså stor, ikke minst ved de gjentatte hogstingrepene som kjennetegner lukkede hogster. Ved selektive hogster er det viktig å ha i bakhodet at innvoksingene ikke trenger å være veldig stor for å erstatte de trærne som hogges. Her er det også svært vanskelig å forutsi hvilke planteplasser i bestandet som vil sikre plantene god utvikling, over alle de tiårene som trengs før de vokser inn i dominerende tresjikt.

4 Suppleringsplanting for å komplettere naturforyngelse etter fjellskoghogst

4.1 Fjellskog og fjellskoghogst

Det finnes ingen entydig definisjon av fjellskog, men en generell definisjon kan være «høytliggende skog under så barske klimaforhold at trærnes vekstfunksjoner blir sterkt hemmet, og at skogens foryngelse ved frø byr på problemer» (Børset, 1986). Fjellskogen karakteriseres dermed gjerne ved lav produksjonsevne, nokså lavt stående volum per arealenheter, og ofte ugunstige foryngelsesforhold (Granhus mfl., 2020).

Fjellskoghogst er blitt et begrep for en innarbeidet hogstform i høyereliggende skog. Med fjellskoghogst forstås en form for lukket hogst hvor man forsøker å opprettholde et preg av eldre skog, samtidig som man tilrettelegger for naturlig foryngelse. At foryngelsen skal skje naturlig, oppfattes gjerne som gitt ved en slik hogst. Utførelsen av hogsten kan variere, men ofte hogges kanskje halvparten av trærne, med overvekt av de største, slik at uttaket regnet i andel av volum blir enda høyere (Granhus mfl., 2020). Fjellskoghogst utføres gjerne som en kombinasjon av selektiv hogst og gruppehogst (kapittel 3.1). Den gjennomføres med lengre hogstintervaller og oftest med sterkere uttak (les: andel av stående volum/grunnflate) enn i vanlig bledning (Brunner mfl., 2023).

4.2 Foryngelsesforhold i fjellskogen

Vanskelige foryngelsesforhold i fjellskogen skyldes i hovedsak klimaet, spesielt lave temperaturer som gjør at bartrærne blomstrer sjeldnere, frømodningen blir dårligere, og spiretiden lang (Skoklefald, 1993). Mork (1968) registrerte for eksempel rikelig konglesetting på gran kun tre ganger i løpet av 35 år i fjellskog 800 m over havet. Tjukke råhumuslag kan også virke negativt på etablering av spireplanter, uten at det er funnet en klar sammenheng mellom høyde over havet og råhumustykkelse (Larsson mfl., 1997). En annen faktor som kan bidra negativt i fjellskogen er allelopati, dvs. utskillelse av stoffer hos noen planter som reduserer vekst av andre plantearter. Dette er vist for eksempel for fjellkrekling, som har en uheldig virkning på spiring og utvikling hos flere treslag (Zachrisson & Nilsson, 1992).

Det finnes noen norske studier av foryngelse i fjellskog, alle i grandominerte bestand. Nilsen (1988) undersøkte foryngelse etter fjellskoghogst på 32 felt i granskog i Gausdal og Trysil, i gjennomsnitt 10 år etter inngrepet. Tettheten av både forhåndsgjenvekst og foryngelse som hadde kommet opp etter hogsten var størst på høgstaude- og småbregnemark, og lavere i blåbær- og bærlyngskog. I gjennomsnitt for alle felt var det 82 planter per dekar under 3 m høyde, og nullruteprosenten var rundt 80 %. Mye av nyrekrutteringen stammet fra ett bestemt frøår. Nilsen trekker fram viktigheten av å spare all forhåndsgjenvekst ved hogsten.

Øyen og Nilsen (2002) og Øyen mfl. (2002) undersøkte noen av feltene i Gausdal på nytt. Antall småtrær hadde ikke økt vesentlig siden forrige undersøkelse. De fant ingen sammenheng mellom hogstuttak og antall smågran, derimot var det flere bjørkeplanter ved sterkere hogst.

Granhus mfl. (2020) studerte produksjon og foryngelse etter fjellskoghogst i 15 bestand på Østlandet, 13-30 år etter hogst, samt forsøksfeltene i Gausdal. Tettheten av utviklingsdyktige små bartrær (10 cm høyde - 5 cm diameter i brysthøyde) var høyere i småbregneskog enn i blåbær- og bærlyngtypen. Innveksten (antall trær som har vokst seg større enn diameter 5 cm i brysthøyde) var i gjennomsnitt på 4,6 trær ha⁻¹ år⁻¹ og var negativt korrelert med grunnflatesum etter hogst. Resultatene viste at en kraftig tynning resulterte i økt innvoksing av nye trær, men på bekostning av volumtilveksten på bestandsnivå. De oppsummerer at det dermed blir et avveiningsspørsmål hvor mye av volumet en skal

ta ut, dersom en ønsker å opprettholde både god produksjon og samtidig legge godt til rette for rekruttering av nye trær.

Ut fra disse studiene i grandominert fjellskog kan man oppsummere at:

- forhåndsforlyngelsen er viktig for foryngelsesresultatet
- forlyngelsen er ofte klumpvis fordelt, og nullruteprosenten høy
- fuktige vegetasjonstyper (høgstaude, småbregne) ser ut til å ha mer foryngelse enn tørrere og fattigere (blåbær, bærlyng)
- nyrekruttering er avhengig av frøår
- det er liten sammenheng mellom stående volum eller grunnflate og *nyrekruttering* av småplanter, men det kan være en sammenheng mellom volum/grunnflate og videre vekst/innvekst inn i laveste diameterklasse.

4.3 Effekten av supplering/økt plantetetthet etter fjellskoghogst i grandominert fjellskog

Det tar svært lang tid, kanskje 150-200 år, før en liten bartreplante i fjellskogen nærmer seg hogstmodenhet. Ikke minst gjelder dette i sjiktet skog med bledningshogst. Som for andre, selektive hogster betyr det gjenstående volumet etter hogst (volum/grunnflate av større trær) i fjellskogen mye mer for produksjonen de neste tiårene enn hvor mye foryngelse det er. Dødeligheten for småplanter er stor, og åpninger i bestandet som kan gi småtrærne utviklingsmuligheter varierer sterkt i tid og rom, og er vanskelig å forutsi (Brunner mfl., 2023). Dermed kan man argumentere med at supplering etter fjellskoghogst, i alle fall der hogstmetoden er bledning, ikke vil bety stort for tilvekst og karbonbinding på mange tiår.

På den andre siden er en bærekraftig skogsdrift i virkelig langt perspektiv (evighetsperspektiv) avhengig av at det hele tiden kommer opp ny foryngelse. Større tetthet av småplanter øker sannsynligheten for at et større antall også vokser inn i bestandet. I veldig glissen fjellskog med vanskelige foryngelsesforhold kan planting/supplering være et tiltak for å øke tempoet til foryngelsen, som ofte er begrensende for å øke bestandstettheten (Brunner mfl., 2023).

Forsøk med både flatehogst og planting, samt bledning, i fjellskog på Hirkjølen (ca. 800 moh. i Ringeby) viser stort sett større tilvekst over tid i kulturskogen enn etter bledning.

Tabell 3 viser at anslaget for akkumulert netto CO₂-opptak ved å suppleringsplante i granskog på lav bonitet (6-11), er 3,9 Mt CO₂ i år 2100. Estimater forutsetter suppleringsplanting på 1 536 ha i gjennomsnitt per år og supplering etter flatehogst. Det gjennomsnittlige årlige omfanget av fjellskoghogst i granskog i Innlandet var i perioden 2010-2022 til sammenligning på 4 560 dekar (Resultatkartleggingen, upubliserte data), og kontrollørene vurderte at det var behov for supplering på 48 prosent av dette arealet (2 180 dekar). Dersom en legger til grunn samme effekt som ved supplering etter åpen hogst på tilsvarende lave boniteter, kan en grovt anslå et potensiale i størrelsesorden 0,55 Mt CO₂ i økt akkumulert opptak per 2100. Gitt den tidligere nevnte usikkerheten knyttet til plantenes etablering, overlevelse og vekst etter lukkede hogster som også dels gjelder for fjellskoghogst må dette estimatet anses som veldig usikkert, og trolig noe høyt.

4.4 Effekt av etablering av furudominert fjellskog i Nord-Østerdalen

Nygaard (2023) trekker fram at en del høyereliggende arealer i Nord-Østerdalen ble overutnyttet gjennom gruvedrift frem til ca. år 1900. I mange av disse områdene har foryngelsen vært dårlig, grunnet endret lokalklima etter rovhogstene, mangel på frø, vedvarende hardt beitetrykk og lokal forurensning fra smeltehyttene. Her er det fortsatt stort innslag av fjellbjørk og glisne furuskoger, og

det stående volumet er lavt, rundt 3-6 m³ per dekar. I andre deler, som ble klassifisert som skogreisingsarealer, ble det utført ulike kulturtiltak som viser at disse arealene har et langt større produksjonspotensial. For eksempel har tre forsøksfelt i furuskog som ligger på 700-885 moh. i dag stående volum på rundt 22-55 m³ per dekar, og har oppnådd en årlig middelproduksjon fra 0,23-0,69 m³ daa⁻¹ (Nygaard, 2023). Resultatene viser følgelig at det er et potensial for å øke produksjonen vesentlig i furudominert fjellskog i Nord-Østerdalen.

Tabell 3 i avsnitt 2.4. viser at anslaget for effekten på akkumulert netto CO₂- opptak av å supplere i furuskog på lav bonitet (6-8), er 2,2 Mt CO₂ i år 2100. Det er basert på effekten av supplering på samlet ca. 315 000 dekar i furuforyngelser etablert etter åpen hogst på landsbasis, og ikke spesifikt for fjellskog. Granhus mfl. (2021a) beregnet arealet med bjørkedominert vernskog på typisk furumark i Innlandet fylke til nærmere 210 000 dekar basert på Landsskogtakseringens prøveflater. Et estimat over det tilsvarende arealet i Nord-Østerdalen basert på Landsskogtakseringens registreringer i perioden 2018-2022 blir på ca. 116 000 dekar, dvs. litt over halvparten av det samlede arealet for Innlandet.

Granhus mfl. (2021a) estimerte at en ved treslagsskifte fra bjørk til furu på alt areal på furumark i vernskog i Innlandet kunne øke årlig middeltilvekst med 23 000 m³, dvs. med om lag 0,1 m³ daa⁻¹ år⁻¹. I effektberegningene satte man som forutsetning en produksjon for begge treslag i henhold til produksjonstabellene. Estimater underestimerer dermed den potensielle økningen i årlig middeltilvekst ved treslagsskifte noe, siden store deler av de bjørkedominerte arealene ikke har en produksjonsoptimal bestokning. Sett i lys av dette og de ovenfor nevnte produksjonsdata fra NIBIOs langsiktige feltforsøk som er omtalt i Nygaard (2023), synes det realistisk å anta at potensialet for økt tilvekst ved treslagsskifte i bjørkedominert fjellskog på furumark er høyere enn estimatet til Granhus mfl. (2021a).

Tiltaket må ses i lys av at furu er et lyskrevende treslag. Det er høyest sannsynlighet for en vellykket foryngelse ved en form for åpen hogst, etterfulgt av naturlig foryngelse, såing eller planting. Markberedning kan brukes som hjelpetiltak der det er behov, for eksempel ved tjukk råhumus eller kraftig smyledekke. Frøtrestilling og naturlig foryngelse er bare mulig der det faktisk er frøtrær tilgjengelig. Ellers vil det være snakk om en form for kulturfor­yngelse. Per i dag er det mangel på frømateriale for høyereliggende furuskog, noe som setter begrensinger for både såing og planting (Steffenrem mfl., 2020). De ugunstige vekstvilkårene samt angrep av snøskytte (*Phacidium infestans*), furuas knopp- og greintørke (*Gremeniella abietina*) og elgbeiting kan også vanskeliggjøre etablering av furuforyngelse i den høyereliggende skogen i Innlandet (Nygaard og Skoklefall, 2007). Dette aktualiserer også bruk av andre treslag slik som vrifuru eller lerk, men en nærmere vurdering av etablering av andre treslag enn furu på disse arealene ligger utenfor dette oppdragets rammer.

Litteratur

- Ahlström, M. A. & Lundqvist, L. (2015). Stand development during 16–57 years in partially harvested sub-alpine uneven-aged Norway spruce stands reconstructed from increment cores. *Forest Ecology and Management* 350: 81–86.
- Antón-Fernández, C. & Astrup, R. (2012). Empirical harvest models and their use in regional business-as-usual scenarios of timber supply and carbon stock development. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27: 379–392.
- Antón-Fernández, C. & Astrup, R. (2022). SiTree: A framework to implement single-tree simulators. *SoftwareX* 18(1): 1000925. DOI: 10.1016/j.softx.2021.100925.
- Antón-Fernández, C., Mola-Yudego, B., Dalsgaard, L. & Astrup, R. (2016). Climate-sensitive site index models for Norway. *Canadian Journal of Forest Research* 46: 794–803.
- Aulie, A. (2013). *Vekst og utvikling hos foryngelse etter selektive hogster*. Masteroppgave, Institutt for naturforvaltning, UMB, 45 s.
- Bergan, J. (1971). Skjermforyngelse av gran sammenlignet med planting i Grane i Nordland. *Meddelelser fra det norske Skogforsøksvesen* 28: 191–211.
- Bjørken, A. M. (2023). Kartlegging av foryngelse og miljøhensyn ved hogst. Rapport 2022. Rapport nr. 36, 26 s. <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/nyhetsrom/rapporter/kartlegging-av-foryngelse-og-miljohensyn-ved-hogst-2022>.
- Bollandsås, O. M., Buongiorno, J. & Gobakken, T. (2008). Predicting the growth of stands of trees of mixed species and size: A matrix model for Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23: 167–78.
- Braathe, P. (1992). Investigations concerning the development of regeneration of Norway spruce which is irregularly spaced and of varying density. 3. Supplementary planting. *Meddelelser fra Skogforsk*. 45 (4):1-64
- Breidenbach, J., Granhus, A., Hysten, G., Eriksen, R. & Astrup, R. (2020). A century of National Forest Inventory in Norway – informing past, present, and future decisions. *Forest Ecosystems* 7(1): 46. DOI: 10.1186/s40663-020-00261-0.
- Brunner, A., Hanssen, K. H. & Granhus, A. (2023). Selektive hogster - en kunnskapssammenstilling. *MINA fagrapport* 88, 51 s.
- Børset, O. (1986). *Skogskjøtsel II - skogskjøtselens teknikk*. Landbruksforlaget, 455 s.
- de Chantal, M., Hanssen, K. H., Granhus, A., Bergsten, U., Löfvenius, M. O. & Grip, H. (2007). Frost-heaving damage to one-year-old *Picea abies* seedlings increases with soil horizon depth and canopy gap size. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 1236–1243.
- Goude, M., Erefur, C., Johansson, U. & Nilsson, U. (2022). Hyggesfria skogliga fältförsök i Sverige. En sammanställning av tillgängliga långtidsförsök. *SLU Rapport* 22, 43 s.
- Granhus, A. & Fjeld, D. (2001). Spatial distribution of injuries to Norway spruce advance growth after selection harvesting. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1903–1913.
- Granhus, A. & Fjeld, D. (2008). Time consumption of planting after partial harvests. *Silva Fennica* 42: 49–61.
- Granhus, A., Brække, F. H., Hanssen, K. H. & Haveraaen, O. (2003). Effects of partial cutting and scarification on planted *Picea abies* at mid-elevation sites in south-east Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 237–246.
- Granhus, A., Allen, M. & Bergsaker, E. (2020). Fjellskoghogst – produksjon, foryngelse og økonomi. *NIBIO Rapport* 72, 36 s.
- Granhus, A., Fernández, C. A., Eriksen, R. & Hysten, G. (2021a). Skogressurser i Innlandet. Landsskogtakseringen 2015–2019. *NIBIO Rapport* 98, 60 s.
- Granhus, A., Ødegård, E., Bergseng, E. & Bergsaker, E. (2021b). Lukkede hogster - produksjon, foryngelse og økonomi. *NIBIO Rapport* 7, 42 s.

- Granhus, A., Antón-Fernández, C., de Wit, H., Hanssen, K.H., Høistad Schei, F., Jacobsen, R.M., Jansson, U., Korpunen, H., Mohr, C.W., Nordén, J., Rolstad, J., Sevillano, I., Solberg, S., Storaunet, K-O. & Vergarechea, M. (2024). Effekter på karbondynamikk, miljø, og næring ved økt bruk av lukkede hogstformer. *NIBIO Rapport* 48, 98 s.
- Hallikainen, V., Hökka, H., Hyppönen, M., Rautio, P. & Valkonen, S. (2019). Natural regeneration after gap cutting in Scots pine stands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34: 115-125.
- Hanssen, K. H., Granhus, A., Brække, F. H. & Haveraaen, O. (2003). Performance of sown and naturally regenerated *Picea abies* seedlings under different scarification and harvesting regimens. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 351-361.
- Hanssen, K. H., Granhus, A. & Brean, R. (2007). Vitalitet, avgang og skader på foryngelsen ved selektiv hogst. I P. H. Nygaard & I. S. Fløistad (Red.), *Foryngelse for et bærekraftig skogbruk. Forskning fra Skog og landskap* 3: 11-16.
- Hylen, G., Antón-Fernández, C. & Granhus, A. (2022). *Skogressurser i Norge*. Status og framtidsscenarioer. *NIBIO Rapport* 85, 143 s.
- Larsson, J. Y., Greve, M. H. & Esser, J. M. (1997). Sammenheng humusform-vegetasjonstype og egenskaper mhp foryngelse av skog. Rapport 2/97. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, Ås.
- Larsson, J. Y., Kielland-Lund, J. & Søgne, S. M. (1994). *Barskogens vegetasjonstyper*. Landbruksforlaget, 136 s.
- Lexerød, N. & Eid, T. (2004). Potensielt areal for selektive hogster i barskog - en kvantifisering basert på Landsskogtakseringens prøveflater. *Rapport fra skogforskningen* 7/04, 35 s.
- Lexerød, N. & Eid, T. (2005). Sammenligning av metoder for registrering av egnethet for selektive hogster ved praktisk skogbruksplanlegging. *Rapport fra skogforskningen* 5/05, 26 s.
- Lundqvist, L., Chrimes, D., Elfving, B., Mörling, T. & Valinger, E. (2007). Stand development after different thinnings in two uneven-aged *Picea abies* forests in Sweden. *Forest Ecology and Management* 238: 141-146.
- Moan, M. Å. (2021). *Effects of stand structure and stand density on volume growth and ingrowth in selectively cut stands in Norway*. Masteroppgave MINA, NMBU, 61 s.
- Mohr, C. W., Sogaard, G., Alfredsen, G., Fernández, C. A., Hobrak, K., & Sevillano, I. (2022). Framskrivninger for arealbrukssektoren (LULUCF) under FNs klimakonvensjon og EUs klimarammeverk. *NIBIO Rapport* 124, 150 s.
- Mork, E. (1968). Økologiske undersøkelser i fjellskogen i Hirkjølen forsøksområde. *Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen* 93: 463-614.
- Nilsen, P. (1988). Fjellskoghogst i granskog - gjenvekst og produksjon etter tidligere hogster. *Rapport Norsk institutt for skogforskning* 2/88, 26 s.
- Nilsson, U. & Gemmel, P. (2007). Growth in supplementarily planted *Picea abies* regenerations. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22:160-167.
- Nordlander, G., Bylund, H., Örlander, G. & Wallertz, K. (2003). Pine weevil population density and damage to coniferous seedlings in a regeneration area with and without shelterwood. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18:438-448.
- Miljødirektoratet (2023). Greenhouse Gas Emissions 1990- 2021, National Inventory Report. Miljødirektoratet M-2507, 71 s. www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2023/mars2023/greenhouse-gas-emissions-1990-2021/.
- NVE (2016). Gridded 1 x 1 km climate and hydrological projections for Norway. NVE Report no. 59 – 2016. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_59.pdf.
- Nygaard, P.H. (2023). Skogshistorisk utvikling etter hogst og kølbrenning i Nord-Østerdalen og potensialet for framtidig skogproduksjon. *NIBIO Rapport* 18, 18 s.
- Nygaard, P.H. & Skoklefeld, S. (2007). I P. H. Nygaard & I. S. Fløistad (Red.). Naturlig foryngelse av furu. *Forskning fra Skog og landskap* 3: 53-56.

- PEFC (2022). Ordliste og definisjoner. PEFC N 05:2022, 9 s.
<https://cdn.pefc.org/pefc.no/media/2023-04/5e3e05fo-686c-4d32-a2co-949fb9a54b82/f71ba212-f9be-5f90-96e2-d14be71735a2.pdf>.
- Pfister, O., Nilsson, U., & Gemmel, P. (2008). Influence of gaps on some selected tree characteristics of edge trees in Norway spruce plantations. *Forest Ecology and Management* 255: 2643-2649.
- Routa, J. & Huuskonen, S. (Red.) (2024). Continuous cover forestry in boreal Nordic countries. Springer. (Manuskript).
- Sikström, U. (1997). Avgång i skärmen och plantetablering vid förnygring av gran under högskärm – en surveystudie. *Skogforsk Arbetsrapport* 369, 147 s.
- Sikström, U. & Glöde, D. (2001). Damage to *Picea abies* regeneration after final cutting of shelterwood with single- and double-grip harvester systems. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 274-283.
- Skoklefald, S. (1989). Planting og naturlig foryngelse av gran under skjerm og på snauflate. *Rapport fra Norsk institutt for skogforskning* 6/89, 39 s.
- Skoklefald, S. (1993). Naturlig foryngelse av gran og furu. *Aktuelt fra Skogforsk* 4(93), s. 2-5.
- SSB (2024). Skogkultur. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/skogbruk/statistikk/skogkultur>.
- Steffenrem, A., Hageberg, H., Edvardsen, Ø. E. & Hjorth, F. (2020). Foredlingsprogram for furu i Norge 2020-2050. Skogfrøverket, utkast 2020. 13 s.
- Søgaard, G., Alfredsen, G., Antón-Fernández, C., Astrup, R.A., Blom, H.H., Clarke, N., Eriksen, R., Granhus, A., Hanssen, K. H., Hietala, A. M., Mohr, C. W., Nygaard, P.H., Solberg, S. & Steffenrem, A. (2020). Klimakur 2030 – beskrivelse av utvalgte klimatiltak knyttet til skog. *NIBIO Rapport* 6(9), 96 s.
- Søgaard, G., Astrup, R. A., Allen, M., Andreassen, K., Bergseng, E., Fløistad, I. S., Hanssen, K. H., Hietala, A., Kvaalen, H., Solberg, S., Solheim, H., Steffenrem, A., Stokland, J. & Økland, B. (2017). Skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring. *NIBIO Rapport* 3(99), 85 s.
- Søgaard, G., Bright, R. M., Clarke, N., Fløistad, I., Granhus, A., Hagenbo, A., ... & Storaunet, K. O. (2023). Oppdatering av kunnskapsgrunnlag for klimatiltak i skog: Gjennomgang av 11 utvalgte tiltak i bestandsskogbruket. *NIBIO Rapport* 9(22), 60 s.
- Valkonen, S., Koskinen, K., Makinen, J. & Vanha-Majamaa, I. (2011). Natural regeneration in patch clear-cutting in *Picea abies* stands in Southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26: 530-542.
- Zackrisson, O. & Nilsson, M. C. (1992). Allelopathic effects by *Empetrum hermaphroditum* on seed germination of two boreal tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 9: 1310-1319.
- Örlander, G. & Karlsson, C. (2000). Influence of shelterwood density on survival and height increment of *Picea abies* advance growth. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 20-29.
- Øyen, B.-H. & Nilsen, P. (2002). Growth effects after mountain forest selective cutting in southeast Norway. *Forestry* 75: 401-410.
- Øyen, B.-H., Øen, S., Brean, R. & Nilsen, P. (2002). Rekruttering av gran etter en fjellskoghogst - et eksempel fra Mannstadlia, Vestre Gausdal. *Aktuelt fra Skogforskningen* 6/02: 27-29.

Vedlegg 1. Årlig CO₂-opptak (Mt CO₂) per periode for scenariet «Uten_supplering».

Scenario	Periode	Skogtype	Bonitet			Totalt
			Lav	Middels	Høy	
Uten_supplering	2021-2025	Grandominert	-0,34	-3,16	-0,88	-4,4
		Furudominert	-1,27	-0,82	0,37	-1,7
		Øvrig skog				-9,5
		Totalt				-15,6
	2026-2030	Grandominert	0,01	-2,07	-0,47	-2,5
		Furudominert	-1,26	-0,91	0,19	-2,0
		Øvrig skog				-9,6
		Totalt				-14,1
	2031-2035	Grandominert	-0,36	-3,31	0,41	-3,3
		Furudominert	-1,27	0,12	0,71	-0,4
		Øvrig skog				-10,0
		Totalt				-13,7
	2036-2040	Grandominert	-0,73	-2,43	-0,53	-3,7
		Furudominert	-1,12	-0,04	0,41	-0,7
		Øvrig skog				-10,7
		Totalt				-15,2
	2041-2045	Grandominert	-0,23	-2,88	0,56	-2,6
		Furudominert	-1,23	-0,82	0,65	-1,4
		Øvrig skog				-10,8
		Totalt				-14,8
	2046-2050	Grandominert	-0,12	-1,97	0,46	-1,6
		Furudominert	-1,35	-1,41	0,57	-2,2
		Øvrig skog				-10,4
		Totalt				-14,2
	2051-2055	Grandominert	-0,25	-1,92	0,11	-2,1
		Furudominert	-1,60	-0,86	0,56	-1,9
		Øvrig skog				-10,9
Totalt					-14,9	
2056-2060	Grandominert	-0,11	-2,96	0,67	-2,4	
	Furudominert	-1,54	-0,87	0,59	-1,8	
	Øvrig skog				-11,0	
	Totalt				-15,2	
2061-2065	Grandominert	-0,13	-1,35	-1,15	-2,6	
	Furudominert	-1,74	-1,49	0,06	-3,2	
	Øvrig skog				-11,7	
	Totalt				-17,5	
2066-2070	Grandominert	-0,17	-1,60	-1,59	-3,4	
	Furudominert	-1,14	-1,55	-0,06	-2,7	
	Øvrig skog				-12,0	
	Totalt				-18,1	
2071-2075	Grandominert	-0,64	-1,07	-1,84	-3,6	
	Furudominert	-1,69	-1,38	-0,25	-3,3	
	Øvrig skog				-11,8	
	Totalt				-18,7	
2076-2080	Grandominert	-0,29	-1,52	-2,15	-4,0	
	Furudominert	-1,44	-1,62	-0,44	-3,5	
	Øvrig skog				-12,4	
	Totalt				-19,8	
2081-2085	Grandominert	-0,79	-1,48	-1,40	-3,7	
	Furudominert	-1,61	-1,32	-0,02	-2,9	
	Øvrig skog				-12,2	
	Totalt				-18,8	
2086-2090	Grandominert	-0,41	-1,38	-1,39	-3,2	
	Furudominert	-1,63	-1,23	-0,24	-3,1	
	Øvrig skog				-12,8	
	Totalt				-19,1	
2091-2095	Grandominert	-0,44	-2,51	-0,60	-3,5	
	Furudominert	-1,42	-1,53	-0,40	-3,3	
	Øvrig skog				-12,2	
	Totalt				-19,1	
2096-2100	Grandominert	-0,69	-1,62	-0,44	-2,8	
	Furudominert	-0,89	-1,88	-0,08	-2,9	
	Øvrig skog				-13,0	
	Totalt				-18,6	

Vedlegg 2. Årlig CO₂-opptak (Mt CO₂) per periode for scenariet «Supplering_gran».

Scenario	Periode	Skogtype	Bonitet			Totalt
			Lav	Middels	Høy	
Supplering_gran	2021-2025	Grandominert	-0,35	-3,23	-0,84	-4,4
		Furudominert	-1,28	-0,82	0,37	-1,7
		Øvrig skog				-9,5
		Totalt				-15,6
	2026-2030	Grandominert	0,04	-2,22	-0,38	-2,6
		Furudominert	-1,25	-0,94	0,23	-2,0
		Øvrig skog				-9,6
		Totalt				-14,1
	2031-2035	Grandominert	-0,37	-3,17	0,22	-3,3
		Furudominert	-1,27	0,17	0,70	-0,4
		Øvrig skog				-10,0
		Totalt				-13,8
	2036-2040	Grandominert	-0,75	-2,47	-0,47	-3,7
		Furudominert	-1,11	-0,05	0,44	-0,7
		Øvrig skog				-10,8
		Totalt				-15,2
	2041-2045	Grandominert	-0,28	-3,07	0,62	-2,7
		Furudominert	-1,23	-0,87	0,65	-1,4
		Øvrig skog				-10,8
		Totalt				-14,9
	2046-2050	Grandominert	-0,18	-1,87	0,38	-1,7
		Furudominert	-1,35	-1,44	0,55	-2,2
		Øvrig skog				-10,3
		Totalt				-14,2
	2051-2055	Grandominert	-0,37	-1,83	-0,08	-2,3
		Furudominert	-1,60	-0,85	0,57	-1,9
		Øvrig skog				-10,8
		Totalt				-15,0
	2056-2060	Grandominert	-0,16	-2,73	0,14	-2,7
		Furudominert	-1,54	-0,86	0,57	-1,8
Øvrig skog					-10,9	
Totalt					-15,5	
2061-2065	Grandominert	-0,16	-1,43	-1,14	-2,7	
	Furudominert	-1,77	-1,54	0,01	-3,3	
	Øvrig skog				-11,8	
	Totalt				-17,8	
2066-2070	Grandominert	-0,21	-1,76	-1,98	-3,9	
	Furudominert	-1,14	-1,53	-0,03	-2,7	
	Øvrig skog				-11,9	
	Totalt				-18,5	
2071-2075	Grandominert	-0,77	-1,07	-2,47	-4,3	
	Furudominert	-1,68	-1,40	-0,26	-3,3	
	Øvrig skog				-11,9	
	Totalt				-19,5	
2076-2080	Grandominert	-0,36	-1,42	-2,77	-4,6	
	Furudominert	-1,44	-1,61	-0,46	-3,5	
	Øvrig skog				-12,3	
	Totalt				-20,4	
2081-2085	Grandominert	-0,70	-1,62	-1,83	-4,2	
	Furudominert	-1,54	-1,35	-0,13	-3,0	
	Øvrig skog				-12,2	
	Totalt				-19,4	
2086-2090	Grandominert	-0,42	-1,76	-1,42	-3,6	
	Furudominert	-1,61	-1,35	-0,26	-3,2	
	Øvrig skog				-12,8	
	Totalt				-19,6	
2091-2095	Grandominert	-0,56	-2,38	-1,16	-4,1	
	Furudominert	-1,53	-1,30	-0,35	-3,2	
	Øvrig skog				-12,7	
	Totalt				-19,9	
2096-2100	Grandominert	-0,86	-1,93	-0,46	-3,2	
	Furudominert	-1,13	-1,71	-0,08	-2,9	
	Øvrig skog				-13,2	
	Totalt				-19,4	

Vedlegg 3. Årlig CO₂-opptak (Mt CO₂) per periode for scenariet «Supplering_furu».

Scenario	Periode	Skogtype	Bonitet			Totalt
			Lav	Middels	Høy	
Supplering_furu	2021-2025	Grandominert	-0,32	-3,17	-0,93	-4,4
		Furudominert	-1,28	-0,82	0,37	-1,7
		Øvrig skog				-9,4
		Totalt				-15,6
	2026-2030	Grandominert	0,00	-2,09	-0,52	-2,6
		Furudominert	-1,25	-0,93	0,22	-2,0
		Øvrig skog				-9,7
		Totalt				-14,3
	2031-2035	Grandominert	-0,41	-3,27	0,36	-3,3
		Furudominert	-1,28	0,16	0,70	-0,4
		Øvrig skog				-10,0
		Totalt				-13,7
	2036-2040	Grandominert	-0,75	-2,51	-0,43	-3,7
		Furudominert	-1,10	-0,13	0,48	-0,8
		Øvrig skog				-10,7
		Totalt				-15,2
	2041-2045	Grandominert	-0,15	-3,10	0,67	-2,6
		Furudominert	-1,25	-0,79	0,62	-1,4
		Øvrig skog				-10,8
		Totalt				-14,8
	2046-2050	Grandominert	-0,18	-1,99	0,65	-1,5
		Furudominert	-1,31	-1,46	0,54	-2,2
		Øvrig skog				-10,3
		Totalt				-14,1
	2051-2055	Grandominert	-0,33	-1,69	-0,06	-2,1
		Furudominert	-1,59	-0,89	0,54	-1,9
		Øvrig skog				-10,9
Totalt					-14,9	
2056-2060	Grandominert	-0,18	-2,72	0,49	-2,4	
	Furudominert	-1,56	-1,04	0,60	-2,0	
	Øvrig skog				-11,0	
	Totalt				-15,4	
2061-2065	Grandominert	-0,16	-1,31	-1,03	-2,5	
	Furudominert	-1,76	-1,61	0,04	-3,3	
	Øvrig skog				-11,9	
	Totalt				-17,7	
2066-2070	Grandominert	-0,17	-1,60	-1,62	-3,4	
	Furudominert	-1,14	-1,60	-0,14	-2,9	
	Øvrig skog				-11,9	
	Totalt				-18,2	
2071-2075	Grandominert	-0,69	-1,01	-2,05	-3,8	
	Furudominert	-1,68	-1,47	-0,31	-3,5	
	Øvrig skog				-11,9	
	Totalt				-19,1	
2076-2080	Grandominert	-0,30	-1,45	-2,14	-3,9	
	Furudominert	-1,45	-1,73	-0,45	-3,6	
	Øvrig skog				-12,2	
	Totalt				-19,7	
2081-2085	Grandominert	-0,91	-1,43	-1,40	-3,7	
	Furudominert	-1,51	-1,32	-0,12	-2,9	
	Øvrig skog				-12,1	
	Totalt				-18,8	
2086-2090	Grandominert	-0,44	-1,31	-1,15	-2,9	
	Furudominert	-1,71	-1,50	-0,36	-3,6	
	Øvrig skog				-12,7	
	Totalt				-19,2	
2091-2095	Grandominert	-0,63	-2,05	-0,73	-3,4	
	Furudominert	-1,55	-1,37	-0,26	-3,2	
	Øvrig skog				-12,7	
	Totalt				-19,3	
2096-2100	Grandominert	-0,59	-1,67	-0,36	-2,6	
	Furudominert	-1,23	-1,71	-0,06	-3,0	
	Øvrig skog				-13,1	
	Totalt				-18,7	

Vedlegg 4. Årlig CO₂-opptak (Mt CO₂) per periode for scenariet «Supplering_gran_furu».

Scenario	Periode	Skogtype	Bonitet			Totalt
			Lav	Middels	Høy	
Supplering_gran_furu	2021-2025	Grandominert	-0,33	-3,22	-0,93	-4,5
		Furudominert	-1,27	-0,82	0,37	-1,7
		Øvrig skog				-9,4
		Totalt				-15,6
	2026-2030	Grandominert	0,03	-2,19	-0,45	-2,6
		Furudominert	-1,26	-0,88	0,19	-2,0
		Øvrig skog				-9,7
		Totalt				-14,2
	2031-2035	Grandominert	-0,37	-3,19	0,22	-3,3
		Furudominert	-1,27	0,13	0,71	-0,4
		Øvrig skog				-10,0
		Totalt				-13,8
	2036-2040	Grandominert	-0,74	-2,42	-0,50	-3,7
		Furudominert	-1,11	-0,10	0,49	-0,7
		Øvrig skog				-10,8
		Totalt				-15,2
	2041-2045	Grandominert	-0,26	-3,04	0,69	-2,6
		Furudominert	-1,25	-0,85	0,67	-1,4
		Øvrig skog				-10,8
		Totalt				-14,9
	2046-2050	Grandominert	-0,21	-1,90	0,49	-1,6
		Furudominert	-1,35	-1,39	0,48	-2,3
		Øvrig skog				-10,3
		Totalt				-14,2
	2051-2055	Grandominert	-0,39	-1,91	-0,02	-2,3
		Furudominert	-1,62	-0,88	0,54	-2,0
		Øvrig skog				-10,9
		Totalt				-15,2
	2056-2060	Grandominert	-0,15	-2,67	0,04	-2,8
		Furudominert	-1,56	-0,97	0,63	-1,9
Øvrig skog					-10,9	
Totalt					-15,5	
2061-2065	Grandominert	-0,17	-1,38	-1,06	-2,6	
	Furudominert	-1,74	-1,49	-0,13	-3,4	
	Øvrig skog				-11,9	
	Totalt				-17,8	
2066-2070	Grandominert	-0,24	-1,63	-1,88	-3,7	
	Furudominert	-1,11	-1,54	-0,10	-2,8	
	Øvrig skog				-12,1	
	Totalt				-18,6	
2071-2075	Grandominert	-0,78	-0,99	-2,57	-4,3	
	Furudominert	-1,69	-1,53	-0,26	-3,5	
	Øvrig skog				-11,9	
	Totalt				-19,7	
2076-2080	Grandominert	-0,36	-1,60	-2,74	-4,7	
	Furudominert	-1,47	-1,65	-0,47	-3,6	
	Øvrig skog				-12,1	
	Totalt				-20,4	
2081-2085	Grandominert	-0,82	-1,50	-1,88	-4,2	
	Furudominert	-1,62	-1,39	-0,11	-3,1	
	Øvrig skog				-12,3	
	Totalt				-19,6	
2086-2090	Grandominert	-0,49	-1,67	-1,50	-3,7	
	Furudominert	-1,63	-1,48	-0,28	-3,4	
	Øvrig skog				-12,9	
	Totalt				-19,9	
2091-2095	Grandominert	-0,52	-2,63	-0,95	-4,1	
	Furudominert	-1,49	-1,62	-0,33	-3,4	
	Øvrig skog				-12,6	
	Totalt				-20,1	
2096-2100	Grandominert	-0,84	-1,92	-0,55	-3,3	
	Furudominert	-1,10	-1,89	-0,11	-3,1	
	Øvrig skog				-13,0	
	Totalt				-19,5	

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.