

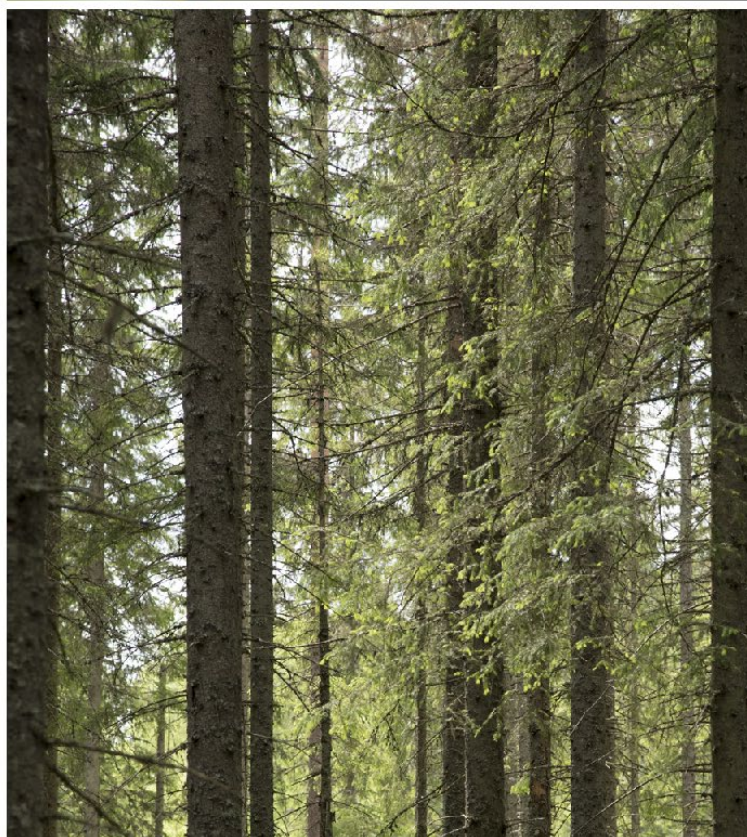


NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Oppdatert kunnskapsgrunnlag om tiltak for klima og økologisk tilstand i skogen

NIBIO RAPPORT | VOL. 12 | NR. 51 | 2026



Rapport

TITTEL:	Oppdatert kunnskapsgrunnlag om tiltak for klima og økologisk tilstand i skogen		
DATO:	20.03.2026	REVIDERT DATO:	-
ANTALL SIDER:	116	ANTALL VEDLEGG:	1

FORFATTER(E):	
NAVN:	DIVISJON/ STASJON/ANNET:
Aksel Granhus	Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO)
Ulrika Jansson Asplund	Norsk institutt for naturforskning (NINA)
Tone Birkemoe	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU)
Jostein Gohli	Norsk institutt for naturforskning (NINA)
Kjersti Holt Hanssen	Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO)
Rannveig M Jacobsen	Norsk institutt for naturforskning (NINA)
Christian Wilhelm Mohr	Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO)
Jenni Nordén	Norsk institutt for naturforskning (NINA)
Line Nybakken	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU)
Jørund Rolstad	Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO)
Per Kristian Rørstad	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU)
Ignacio Sevillano	Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO)
Ken Olaf Storaunet	Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO)
Gunnhild Søggaard	Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO)
KONTAKTPERSON NIBIO: Aksel Granhus	

RAPPORTNUMMER: 12/51/2026 Miljødirektoratets rapportnummer: M-3142 2026	PROSJEKTNUMMER: 54111	ARKIVNUMMER: 26/00961
TILGJENGELIGHET: Åpen	ISBN: 978-82-17-03977-8	ISSN: 2464-1162

OPPDRAGSGIVER: Miljødirektoratet	OPPDRAGSGIVERS KONTAKTPERSON: Jakob Sandven
---	--

PROSJEKTLEDER: Aksel Granhus	KVALITETSSIKRET/GODKJENT: Lone Ross
--	---

STIKKORD: Klimatiltak, skogbruk, økologisk tilstand	FAGOMRÅDE: Miljøforvaltning, skogforvaltning
--	---

SAMMENDRAG: Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag for Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet. Formålet med arbeidet har vært å gi et oppdatert og helhetlig kunnskapsgrunnlag om hvordan tiltak i skogforvaltningen kan innrettes for å bidra til både økt opptak og redusert utslipp av klimagasser, samt opprettholde eller forbedre økologisk tilstand i skog. Rapporten sammenstiller eksisterende kunnskap, framskrivninger og ekspertvurderinger om hvordan tiltak kan innrettes for å oppnå best mulig effekt og redusere målkonflikter. Oppdraget har vært et samarbeid mellom Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), Norsk institutt for naturforskning (NINA) og Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Et utvidet sammendrag med de viktigste funn og konklusjoner er gjengitt som eget kapittel.
--

Granhus, A., Asplund, U. J., Birkemoe, T., Gohli, J., Hanssen, K. H., Jacobsen, R. M., Mohr, C. W., Nordén, J., Nybakken, L., Rolstad, J., Rørstad, P. K., Sevillano, I., Storaunet, K. O., Søgaaard, G. (2026). *Oppdatert kunnskapsgrunnlag om tiltak for klima og økologisk tilstand i skogen*. (NIBIO RAPPORT, 12/51). Norsk institutt for bioøkonomi.

Sammendrag

Bakgrunn og formål: Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag for Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet, med formål å gi et oppdatert og helhetlig kunnskapsgrunnlag om hvordan tiltak i skogforvaltningen kan innrettes for å bidra til både økt opptak og redusert utslipp av klimagasser, samt opprettholde eller forbedre økologisk tilstand i skog. Et sentralt premiss er at klima- og naturhensyn må vurderes samlet, og at tiltak kan ha både synergier og målkonflikter.

Metodisk tilnærming: Rapporten sammenstiller eksisterende kunnskap, framskrivinger og ekspertvurderinger om hvordan tiltak kan innrettes for å oppnå best mulig effekt og redusere målkonflikter. Effekter av klimatiltak og utvikling i utvalgte indikatorer for økologisk tilstand er framskrevet ved hjelp av simuleringsverktøyet SiTree, basert på data fra Landsskogtakseringen. Karbondynamikk i død ved, strø og jord er beregnet med Yasso-modellen. Det er lagt til grunn et referansescenario (business-as-usual) som sammenligningsgrunnlag, og usikkerhet i datagrunnlag, forutsetninger og resultater er diskutert. Usikkerheten i framskrivingene er stor på arealer der det ikke drives skogbruk, og generelt økende med økende tidshorisont. Resultater av framskrivingene er derfor inndelt i areal med bestandsalder over og under 120 år, og avgrenset fram til og med 2075.

Hovedfunn – klimaeffekter: Flere skogbrukstiltak kan bidra til økt karbonopptak eller redusert utslipp, men effektene varierer i tid og rom:

- **Produksjonsrettede tiltak** som skogplanteforedling, tilfredsstillende foryngelse, riktig treslagsvalg, tilfredsstillende plantetetthet og ungskogpleie kan gi betydelig økt biomasseproduksjon og dermed høyere karbonopptak på sikt. Slike tiltak i tidlig fase viser de mest robuste klimaeffektene, og har relativt lav risiko for negative effekter på økologisk tilstand når de gjennomføres i allerede avvirket skog. Effekten av disse tiltakene forsterkes når de kombineres, noe som understreker betydningen av tiltakspakker fremfor enkelttiltak.

Tiltak som nitrogen gjødsling og grøfterensk kan gi høy klimaeffekt per arealenhet, men har begrenset samlet potensial nasjonalt og er forbundet med større usikkerhet og flere miljømessige avveininger.

Hogstform og omløpstid har betydning for karbonbalansen. Flatehogst gir et midlertidig karbonutslipp etter hogst. Økt andel lukket hogst kan imidlertid øke hogstarealet dersom hogstkvantum skal opprettholdes, og dermed potensielt også gi økt press på naturnær skog. Gammel skog kan opprettholde et netto karbonopptak over tid, selv om årlig opptak er høyere i eldre produksjonsskog. Forlenget omløpstid utover økonomisk hogstmodenhet kan være et effektivt klimatiltak, dersom hogsten skjer nærmere biologisk hogstmodenhetsalder. På kort sikt vil det kunne gi redusert avvirkning, men kan også øke presset på naturskog gjennom at hogst flyttes. Effekter av hogsttidspunkt og forlenget omløpstid avhenger sterkt av hvilke alternative hogststrategier som sammenlignes, risiko for skogskader og tidshorisont for vurdering av klimaeffekt.

Hovedfunn – økologisk tilstand: Skogens økologiske tilstand påvirkes i stor grad av struktur, kontinuitet og variasjon, særlig knyttet til gammel skog, død ved, grove trær og treslags sammensetning. Noen tiltak vurderes som særlig viktige:

- **Økt vern og avsetting av skog** framstår som det mest effektive tiltaket for å bevare og forbedre økologisk tilstand, særlig for naturnær skog og biologisk gammel skog. Slike arealer kan ikke reetableres innenfor relevant tidshorisont. Forlenget omløpstid i utvalgte bestand vil også være av betydning.
- **Bevaring av strukturelle kvaliteter** som gamle trær, død ved, store lauvtrær og intakte kantsoner ved hogst er avgjørende for mange artsgrupper.
- **Restaurering** av grøftet myrskog og sumpskog, samt restaureringstiltak som øker strukturell variasjon i skog som er preget av intensiv drift (typisk flatehogst og planting) og i skog i verneområder i redusert økologisk tilstand. Bruk av kontrollert brenning av skog kan bidra til å opprettholde innslag av furu og lauv i skoglandskapet, samt skape viktige levesteder for brannspesialister.
- **Treslagsvalg tilpasset voksestedet og økt innslag av lauv og blandingsskog** kan redusere risiko for klimarelaterte skogskader og samtidig styrke naturmangfoldet, men krever tilpasning til lokale forhold og beitetrykk.

Økt andel lukket hogst vurderes å ha begrenset effekt på økologisk tilstand samlet sett, men kan være positivt for enkelte artsgrupper dersom det erstatter mer inngripende hogstformer.

Synergier og målkonflikter: Synergier mellom karbonopptak og forbedret økologisk tilstand er mulig, særlig når tiltak innrettes med vekt på variasjon i treslagsvalg, robusthet mot klimaendringer og ivaretagelse av jord og hydrologi. Samtidig er det klare målkonflikter på det aktuelle arealet, spesielt der økt produksjon og intensiv skogbehandling kommer i konflikt med bevaring av naturskogs nær skog med strukturell kompleksitet. Dersom mer intensivt skogbruk i produksjonsskog kan redusere press på naturskog, kan det være en synergi.

- **Synergier:** Tiltak for klimatilpasning som mer variert treslagsvalg kan gagne både CO₂-opptak og naturmangfold ved å gjøre skogen mer robust mot tørke, storm og skadeinsekter.
- **Konflikter:** Intensive produksjonstiltak som nitrogengjødsling og svært tett planting kan ha negative effekter på artsmangfold, blåbærdekning og bunnvegetasjon.
- **Avveininger:** Lukkede hogstformer er positivt for enkelte arter, men krever ofte et større avvirkningsareal for å opprettholde samme hogstvolum, noe som kan øke presset på arealer med naturnær skog.

Målkonfliktene kan være vanskelig å løse gjennom ett sett med generelle tiltak, men tydeligere arealdifferensierte strategier kan bidra, der:

- skog i god økologisk tilstand prioriteres for bevaring eller svært skånsom bruk, og
- produksjonsrettede klimatiltak konsentreres til arealer med lavere naturverdi.

Anbefalinger: Basert på kunnskapsgrunnlaget og ekspertvurderingene anbefaler vi:

1. Styrket arealdifferensiering i skogforvaltningen, der skog i god økologisk tilstand skjermes mot inngrep, mens produksjonsrettede klimatiltak konsentreres til allerede påvirket produksjonsskog.
2. Styrket skogvern, kombinert med bedre kartlegging av skog i god økologisk tilstand og skogrestaurering ved behov.
3. Prioritering av tiltak som gir både klima- og natureffekter, som forlenget omløpstid og økt innslag av lauv og blandingsskog.
4. Forsiktig og kunnskapsbasert bruk av klimatiltak med stor usikkerhet eller sterk negativ effekt på økologisk tilstand.
5. Videre kunnskapsutvikling, særlig knyttet til langsiktige effekter på jordkarbon, samspill mellom avvirkningsstrategier og naturmangfold, samt effekter av klimaendringer på ulike treslag og typer skogareal.

Samlet sett viser rapporten at det er mulig å styrke skogens bidrag til klimamålene uten å forverre økologisk tilstand, dersom det gjøres tydelige arealprioriteringer og en målrettet innretning av tiltak.

Forord

Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet samarbeider om utviklingen av kunnskapsgrunnlaget knyttet til tiltak for økt opptak og redusert utslipp av klimagasser fra skog- og arealbrukssektoren og tiltak som kan opprettholde eller forbedre den økologiske tilstanden i skog. Dette var bakgrunnen for at direktoratene la ut en utlysning på Doffin 7.10.2024, der oppdraget var å framskaffe et «*Oppdatert kunnskapsgrunnlag om tiltak for klima og økologisk tilstand i skogbruket*». I utlysningsteksten sto det videre at «*Direktoratene ønsker faglig bistand til å oppdatere kunnskapsgrunnlaget for å på sikt ha en samlet vurdering av hvordan tiltak i skogbruket kan innrettes med klima eller økologisk tilstand som hovedformål. Før det er mulig å vurdere effekten av tiltak for økologisk tilstand i skog er det behov for å etablere en framskriving. I tillegg ønskes en vurdering av klima-, miljø- og næringseffekter av alle aktuelle innretninger*». Oppdraget ble etter anbudsrunden tildelt NIBIO i samarbeid med NINA og NMBU. Denne rapporten sammenstiller resultatene fra oppdraget. En mere detaljert gjengivelse av de ulike delene i oppdraget er gitt i kap. 1.

Et første utkast til sammendrag av rapporten ble utarbeidet med bruk av KI-verktøyene ChatGPT, Copilot og NotebookLM. Utkastet ble modifisert og kvalitetssikret av forfatterne, som tar det hele og fulle ansvar for innholdet.

Personell

Firma	Navn	Utført arbeid
NIBIO	Aksel Granhus	Prosjektledelse, skrijving, redigering
	Kjersti Holt Hanssen	Skriving, redigering, fokus klimatiltak og effekter på skogbruk
	Christian Wilhelm Mohr	Scenarier karbonopptak (Yasso)
	Jørund Rolstad	Skriving, redigering – fokus tiltak for økologisk tilstand
	Ignacio Sevillano	Scenarier opptak og økologisk tilstand indikatorer (SiTree)
	Ken Olaf Storaunet	Skriving, redigering – fokus tiltak for økologisk tilstand
	Gunnhild Søgaard	Skriving, redigering
NINA	Ulrika Jansson Asplund	Prosjektledelse i NINA, skrijving, redigering
	Jostein Gohli	Visualisering av data på indikatorer for økologisk tilstand.
	Rannveig M Jacobsen	Skriving, redigering – fokus tiltak for økologisk tilstand
	Jenni Nordén	Skriving, redigering – fokus klimatiltak
NMBU	Tone Birkemoe	Skriving, redigering
	Line Nybakken	Skriving, redigering
	Per Kristian Rørstad	Deltakelse i innledende diskusjoner rundt tiltak

Ås, 16. mars 2026

Aksel Granhus

Innhold

Sammendrag	4
Forord	7
1 Innledning	10
1.1 Rapportens struktur	10
1.2 Oppdragsbeskrivelse	10
1.3 Systemer for kvantifisering av klimaeffekter og økologisk tilstand i skog	12
1.3.1 Kvantifisering av opptak og utslipp av klimagasser	12
1.3.2 Systemer for å vurdere økologisk tilstand	14
1.3.3 Indikatorer for økologisk tilstand	16
1.3.4 Arbeidsgruppas vurdering av effekter på økologisk tilstand	19
2 Bakgrunn og beskrivelse av klimatiltakene	20
2.1 Modenhet av klimatiltakene og beregningsmetodikk	22
2.2 Beskrivelse av tiltakene som er definert i oppdraget	23
2.2.1 Skogplanteforedling	23
2.2.2 Treslagsvalg etter hogst	24
2.2.3 Markberedning	26
2.2.4 Tilfredsstillende foryngelse	28
2.2.5 Økt plantetetthet	30
2.2.6 Ungskogpleie	30
2.2.7 Tynning	31
2.2.8 Nitrogengjødsling av skog	33
2.2.9 Hogsttidspunkt	34
2.2.10 Råtebekjempelse	37
2.2.11 Grøfterensk etter hogst	38
2.2.12 Planting av skog på nye arealer	39
2.3 Andre tiltak som potensielt kan bidra til redusert utslipp eller økt opptak	41
2.3.1 Hogstform	41
2.3.2 Ivaretagelse / økning av jordkarbon	42
2.3.3 Økt avsetning og vern av skog	43
2.3.4 Restaurering av grøftet myrskog og sumpskog	45
3 Bakgrunn og beskrivelse av tiltak for forbedret økologisk tilstand	47
3.1 Skogbruksforvaltningens tiltak	47
3.1.1 Øke andelen lukkede hogster	47
3.1.2 Øke gjensetting av døde trær ved hogst	47
3.1.3 Øke gjensetting av store grove lauvtrær ved hogst	48
3.1.4 Riktig treslagsvalg etter hogst	48
3.1.5 Ungskogpleie med sikte på å bedre økologisk tilstand	49
3.1.6 Forlenge omløpstiden	49
3.1.7 Redusere avgangen i plantefelt med bekjempelse av fremmede arter	50
3.1.8 Restrukturering av skog gjennom småflatehogst i tynningsfelt	50
3.1.9 Økt ivaretagelse av økologisk funksjon i kantsoner ved hogst	52
3.1.10 Ivaretagelse av brent areal etter skogbrann	52
3.2 Miljøforvaltningens tiltak	53

3.2.1	Raskere gjennomføring av skogvernet etter NML	53
3.2.2	Forbedre økologisk tilstand i skogvernområder	53
3.2.3	Økt restaurering av skog.....	53
3.2.4	Bedre ivaretagelse av truet natur.....	53
3.2.5	Økt bekjempelse av fremmede arter	54
3.3	Andre aktuelle tiltak for å forbedre økologisk tilstand.....	54
3.3.1	Identifisering og bevaring av skog i god økologisk tilstand.....	54
3.3.2	Øke gjensetting av gamle og/eller grove bartrær ved hogst	55
3.3.3	Restaurering - tette grøfter i myrskog og sumpskog	55
3.3.4	Restaurering - veteranisering av eldre trær	55
3.3.5	Restaurering - øke mengde og variasjon av død ved	56
3.3.6	Restaurering - kontrollert brenning	56
3.3.7	Restaurering - fremme rogn, osp, selje i eldre skog.....	57
3.4	Innretning av tiltak for best mulig økologisk tilstand	57
4	Metode for framskriving og scenariebygging.....	59
4.1	Simuleringsverktøyet SiTree	59
4.2	Generelle forutsetninger	59
4.3	Framskrivning av effekt av klimatiltak	61
4.4	Framskrivning av utvikling for indikatorer for økologisk tilstand	63
4.5	Usikkerhet og hovedtrender i simuleringene	64
4.5.1	Hovedtrender og usikkerhet i BAU-scenariet.....	64
4.5.2	Andre vurderinger rundt usikkerhet i estimatene	69
4.5.3	Effekt av usikkerhetsvurderingene på presentasjon av simuleringene	70
5	Effekt av klimatiltak på karbonopptak	71
5.1	Karbonopptak for enkelttiltak.....	71
5.2	Karbonopptak for kombinerte tiltak.....	73
5.3	Karbonopptak i ulike aldersklasser - utvalgte scenarier	73
6	Utvikling av et utvalg av indikatorer for økologisk tilstand.....	76
6.1	Dødved-tilførsel	76
6.2	Areal med forekomst av grove trær	77
6.3	Areal med biologisk gammel skog	78
6.4	Areal med naturskog.....	79
6.5	Blåbærdekning	79
7	Krysseffekter av tiltak	82
7.1	Effekter av klimatiltak på økologisk tilstand og motsatt	82
7.2	Effekter av klimatiltak på skogbruk	90
7.3	Synergier og motsetninger mellom klimatiltak og tiltak for økologisk tilstand	95
7.3.1	Klimatiltak med synergieffekter for økologisk tilstand	95
7.3.2	Klimatiltak som kan komme i konflikt med økologisk tilstand.....	97
	Litteraturliste.....	99
	Vedlegg.....	113

1 Innledning

Skogen i Norge har mange økosystemfunksjoner, som å huse store deler av det biologiske mangfoldet, produsere trevirke til alt fra husbygging til brensel og å være en viktig arena for idrett og friluftsliv. En annen viktig økosystemfunksjon er trærnes (og andre planters) evne til å ta opp karbondioksid (CO₂) gjennom fotosyntesen og lagre dette i form av karbonholdige komponenter i biomassen og i jordsmonnet. Gjennom ulike målrettede tiltak kan skogens evne til å ta opp og lagre karbon påvirkes. Samtidig vil som regel et intakt skogøkosystem være mer komplekst og artsrikt enn et som i større eller mindre grad er påvirket av menneskelige faktorer, som hogst, drenering eller andre skogskjøtselstiltak, men også påvirkede skogøkosystemer kan være artsrike og det er mulig å gjennomføre tiltak for å forbedre økologisk tilstand i skog. Tiltak for å øke opptaket av CO₂ eller bedre den økologiske tilstanden kan både ha motvirkende effekter og synergier, og det er derfor naturlig å vurdere dem i sammenheng. Å legge et faglig grunnlag for gode avveininger som balanserer hensyn til karbonopptak og økologisk tilstand i skog har vært sentralt i dette oppdraget.

1.1 Rapportens struktur

I de etterfølgende deler av kapittel 1 referer vi til oppdragsbeskrivelsen (kap. 1.2) og gir en beskrivelse av systemer for kvantifisering av klimaeffekter (opptak og utslipp) og økologisk tilstand i skog (kap. 1.3)

I kap. 2 og kap. 3 beskriver vi nærmere de ulike klimatiltakene og tiltak for bedret økologisk tilstand som skal vurderes i oppdraget, inklusivt hvordan klimatiltakene kan innrettes for best mulig effekt. Her beskrives og drøftes også noen nye tiltak som forfatterne bak rapporten har ansett som relevante å vurdere nærmere.

Framskrivning av karbonopptak for et business-as-usual (BAU) scenario og scenarier for utvalgte klimatiltak, samt for utvalgte indikatorer for økologisk tilstand har vært en del av oppdraget. Forutsetningene som er lagt til grunn i ulike scenarier, presenteres i kap. 4. I dette kapittelet tar vi også et dypdykk inn i tallmaterialet bak prognosene for hjelpe leseren med å tolke resultatene av framskrivingene, inkludert usikkerheter.

I kap. 5 og 6 presenteres resultatene av framskrivingene for henholdsvis klimatiltakene (netto akkumulert opptak) og utvalgte indikatorer for økologisk tilstand.

I kap. 7 diskuteres effekter av klimatiltak på økologisk tilstand og motsatt inkludert koblinger (kryseffekter) mellom tiltakene, samt effekter av klimatiltakene på skogbruket med hensyn til effekter på stående volum, tilvekst, avvirkning og virkskvalitet.

1.2 Oppdragsbeskrivelse

Oppdraget ble nærmere konkretisert gjennom sju deloppgaver (1a-e og 2a-c) som vi her siterer direkte fra oppdragsbeskrivelsen:

1a: *Definere og sette forutsetninger for hvordan tiltak kan innrettes for å øke opptak eller redusere utslipp av klimagasser, alle tiltak under klima i Tabell 1 skal inkluderes i vurderingen. Vurderingen skal ta hensyn til synergi- og samspillseffekter mellom tiltakene så langt det lar seg gjøre, og påpeke tilfeller der potensiell effekt av et tiltak avhenger av at et annet er gjennomført tidligere. Dersom hensiktsmessig, kan tidligere vurderte tiltak i Tabell 1 omstruktureres, omgrupperes eller organiseres som en tiltakspakke. Alle foreslåtte*

innretninger skal ta hensyn til klimaendringer, for å sikre bestandets robusthet i møte med et endret klima, og dette skal beskrives.

1b: *Beskrive forskjeller og likheter i innretning av tiltakene som kommer frem av 1.a sammenlignet med eventuelt samsvarende forvaltningstiltak i skogbruket slik det dag utføres, for eksempel jf. Norsk PEFC Skogstandard. Det må også fremgå om foreslått innretning av tiltak kan være i strid med dagens lover, forskrifter og sertifiseringskrav for skogbruket.*

1c: *Angi størrelse av praktisk mulig arealomfang for tiltakene som kommer frem av 1.a, og de viktigste barrierene som påvirker størrelse på arealomfang.*

1d: *Beskrive og tallfeste karbondynamikk per arealenhet og totalt for potensielt arealomfang for tiltakene som kommer frem av 1.a. Dette skal omfatte endringer i de fire karbonbeholdningene; levende biomasse, dødt organisk materiale, mineraljord og organisk jord. Karbondynamikken skal vurderes på kort og lang sikt. Endringer i jordkarbon skal vurderes både ut ifra modellering (Yasso-modellen) og eksisterende faglitteratur. Metodikk for estimering av utslipp fra ulike hogstformer skal være i samsvar med metodikken i Norges klimagassregnskap som er basert på IPCCs veiledning og retningslinjer. Klimaeffekt ved dagens forvaltning (framskrivingen av opptak og utslipp av klimagasser i skog- og arealbrukssektoren) skal legges til grunn som et «business as usual»-scenario for vurdering av klimaeffekten av de ulike klimatiltakene. Klimaeffekt skal differeres mellom ulike arealtyper, når det er relevant. Et eksempel på dette er differensiering av klimaeffekt av tiltaket grøfterensk etter hogst på mineraljord og organisk jord. Tiltak som eventuelt trenger mer kunnskap for å avklare retning og størrelse på klimaeffekt skal synliggjøres. Barrierene som hindrer beregning av klimaeffekt for hvert av de tiltakene der dette gjelder skal beskrives, grad av usikkerhet og hva usikkerheten er knyttet til skal fremgå.*

1e: *Beskrive vesentlige positive og negative effekter av tiltakene som kommer frem av 1.a for i) skogbruket (effekter per arealenhet på tilvekst, stående volum, avvirkningsnivå og virkeskvalitet(er) på kortere og lengre sikt) og ii) økologisk tilstand (effekter per arealenhet på kort og lang sikt av viktige tilstandsvariabler/-indikatorer, jf. bl.a. fagsystem for økologisk tilstand og de indikatorene som vurderes som mest relevante av supplerende indikatorer som inngår i rapporten Kunnskapsgrunnlag om økologisk tilstand i norsk skog og utredning av tiltak (M-2597, Del II, kap. 2.2, Tabell 1). Det forventes ikke kvantifisering av konsekvensene, men en indikasjon på om konsekvensene er positive, nøytrale eller negative, og om virkningen er stor eller liten.*

2a: *Beskrive et null-alternativ for forventet utvikling av økologisk tilstand i økonomisk drivbar skog gitt dagens skogtilstand og skogbruksaktivitet, som kan splittes i produksjonsskog (forvaltet etter prinsippene i bestandsskogbruket) og skog uten preg av nyere inngrep (i hovedsak eldre plukkhogd skog) (se Figur 1 og 2 i notatet Meny av tiltak i skog – oppfølgende oppdrag om vurdering av tiltak og virkemidler, nota vedlagt).*

- *Det skal utarbeides prognoser/framskrivinger for de mest sentrale indikatorene som inngår i rapporten Kunnskapsgrunnlag om økologisk tilstand i norsk skog og utredning av tiltak (M-2597, Del II, kap. 2.2, Tabell 1), samt de indikatorene fra fagsystemet for økologisk tilstand i skog som anses som mest relevante.*
- *Det skal tas utgangspunkt i de samme forutsetningene for avvirkningsnivå som er lagt til grunn i framskrivingen av opptak og utslipp av klimagasser i skog- og*

arealbrukssektoren, samt dagens lover, forskrifter og sertifiseringskrav for skogbruket.

- Sentrale faktorer som kan påvirke prognoser/framskrivninger, uavhengig av hvilken retning påvirkningen gir på indikatorene, bør beskrives.

2b: I et notat sendt til Klima- og miljødepartementet og Landbruks- og matdepartementet 05.04.2024 har Landbruksdirektoratet og Miljødirektoratet gjort et første forsøk på rangere 10 skogbrukstiltak, alle tiltak under økologisk tilstand i Tabell 1, med hensyn til virkninger for økologisk tilstand (per arealenhet) og hvor store arealer tiltakene kan være aktuelle å iverksettes på (se kap. 6.6 og vedlegg 3 i notatet Meny av tiltak i skog – oppfølgende oppdrag om vurdering av tiltak og virkemidler, notat vedlagt). Direktoratene ønsker en vurdering av om metoden for rangering virker fornuftig, og om det er andre tiltak i økonomisk drivbar skog som burde vært vurdert.

2c: Basert på null-alternativet, definere og sette forutsetninger for hvordan tiltakene kan innrettes for å gi best mulig økologisk tilstand frem mot år 2100. Innretningenes effekt på økologisk tilstand skal ta utgangspunkt i de mest sentrale indikatorene i rapporten Kunnskapsgrunnlag om økologisk tilstand i norsk skog og utredning av tiltak (M-2597, Del II, kap. 2.2, Tabell 1), samt de indikatorene fra fagsystemet for økologisk tilstand i skog som anses som mest relevante. Det skal avklares hvilke tiltak som eventuelt trenger mer kunnskap for å kunne beregne/forutsi effekten tiltaket/innretningen har på den enkelte indikatoren og hvordan nødvendig kunnskap kan framskaffes. En eventuell usikkerhet om effekt skal framgå. Dette gjelder både graden av usikkerhet, og hva usikkerheten er knyttet til.

- Dersom det er hensiktsmessig kan tiltak omstruktureres, omgrupperes eller organiseres som en tiltaks-/virkemiddelpakke.
- Det er viktig at alle innretninger integrerer hensynet til påvirkning av klimaendringer for å øke bestandets robusthet i møte med et endret klima, det skal beskrives hvordan innretningene tar hensyn til dette.
- Forskjeller og likheter i innretning sammenlignet med forvaltningstiltak i skogbruket må klart fremgå, der det er relevant.

Det kan være hensiktsmessig at ulike arealer som egner seg å innrette etter hensyn til klima eller økologisk tilstand blir presentert i en matrise, Det skal ikke gjøres en fullstendig tiltaksanalyse av tiltakene, men det er ønskelig at utredningen så langt som mulig svarer ut utredningsinstruksen. Tiltak utover de som inngår i Tabell 1 kan foreslås av oppdragstaker, men må avklares med oppdragsgiver om skal inngå i selve oppdraget. Vi ber om at mangelfull eller begrenset kunnskap blir spesifikt påpekt i besvarelsen. I tillegg til at grad av usikkerhet knyttet til hvert enkelt tiltak blir vurdert.

1.3 Systemer for kvantifisering av klimaeffekter og økologisk tilstand i skog

1.3.1 Kvantifisering av opptak og utslipp av klimagasser

Metoder for kvantifisering av utslipp og opptak er basert på datagrunnlag og metodikker benyttet i det nasjonale klimagassregnskapet under FNs klimakonvensjon, som Norge hvert år sender inn. For skog benyttes datamaterialet fra Landsskogtakseringens faste prøveflater som

grunnlag for å beregne netto CO₂-opptak i både levende biomasse, dødt organisk materiale og jord som endring i karbonbeholdning. For å estimere karbonbeholdning i levende biomasse benyttes registreringer av trærnes volum omregnet til biomasse (tørrestoff), som videre konverteres til CO₂ ved bruk av etablerte biomassefunksjoner og omregningsfaktorer. Endringsestimater for karbonbeholdninger i dødt organisk materiale og mineraljord beregnes ved bruk av Yasso-modellen (Liski mfl. 2005), som benytter beregnet biomasse på Landsskogflatene og klimadata for å estimere tilførsel og nedbrytning av ulike karbonbeholdninger. Utslipp av CO₂, N₂O og CH₄ fra drenert organisk jord beregnes basert på standard faktorer fra IPCC sine retningslinjer (IPCC 2014). Datamaterialet fra Landsskogtakseringens prøveflater benyttes også som utgangstilstand i framskrivninger av effekter på netto CO₂-opptak for ulike klimatiltak i skog. En nærmere beskrivelse av prognoseverktøyet som benyttes i slike framskrivninger, inkludert forutsetninger for framskrivingene i denne rapporten, finnes i kap. 4.

Metodene for kvantifisering av utslipp og opptak gjennomgås jevnlig av et Expert Review Team (ERT) fra FN, og dokumenteres i en egen rapport (National Inventory Document). Metodene fra det nasjonale klimagassregnskapet er også det som ligger til grunn for nasjonale framskrivninger for arealbrukssektoren. Det er de nasjonale framskrivningene publisert i 2024 (Mohr mfl. 2024) som er benyttet som grunnlag for framskrivningene i denne studien, og de var basert på metodikken i klimagassregnskapet publisert i 2024 (Miljødirektoratet mfl. 2024).

For en mer detaljert beskrivelse av Landsskogtakseringen vises til Breidenbach mfl. (2020).

I dette oppdraget har fokus vært på karbon (utslipp og opptak av CO₂), og i mindre grad på effekter på lystgass (N₂O) og metan (CH₄). Særlig for metan er det begrenset med kunnskap om hvordan skogtiltak påvirker utslipp og opptak.

Biogeofysiske effekter som albedo er ikke en del av det nasjonale klimagassregnskapet, men det er utviklet modeller som kan knyttes på framskrivningsverktøyet SiTree (beskrevet i kap. 4). Dette er benyttet blant annet i studier av effekter av etablering av skog på nye arealer og treslagsskifte til gran, hvor effekten på albedo var inkludert (Bright mfl. 2020). Biogeofysiske effekter har ikke vært inkludert i bestillingen i dette oppdraget.

Rammen for dette oppdraget har vært det som skjer i skogen. Vi har derfor verken inkludert effektene på 1) treprodukter (Harvested Wood Products, HWP) som beregnet i klimagassregnskapet eller 2) substitusjonseffekter. Begge deler er imidlertid relevant når en vurderer klimaeffekten av skog.

I klimagassregnskapet regnes alt karbon lagret i tømmeret som utslipp ved hogst, men dette utslippet «forsinkes» med halvparten av forventet levetid på treproduktene i tre produktkategorier, trelast, trebaserte plater og papir- og kartongprodukter. Det regnes med at disse tre kategoriene har halveringstid på henholdsvis 35, 25 og 2 år. Karbon i tømmer som brukes til f.eks. bioenergi regnes som umiddelbart tap ved hogst.

Substitusjon er den klimagevinsten en har ved å bruke fornybart materiale for eksempel fra tømmer til å erstatte fossilt karbon. Flere av klimatiltakene beskrevet i denne rapporten har potensial for å øke substitusjonen ved å øke volumet som kan avvirkes og/eller øke kvaliteten og dermed sagtømmerandelen. Det er størst klimanytte når tømmeret går inn i langlevde treprodukter, og aller helst benyttes på nytt til nye produkter etter endt levetid (kaskadebruk/sirkulering). I Sjøgaard mfl. (2020a) ble det gjort noen enkle beregninger for

mulig substitusjonseffekt ved økt ungskogpleie, grøfterensk etter hogst, råtebekjempelse ved hogst av gran og gjødsling med treaske.

1.3.2 Systemer for å vurdere økologisk tilstand

Det er utviklet flere systemer og lister over indikatorer for å vurdere biologisk mangfold og økologisk tilstand i norsk skog. Naturindeksen ble utviklet på 2000-tallet (Nybø mfl. 2008), med bakgrunn i regjeringen Stoltenbergs Soria Moria-erklæring der det ble stadfestet at *“Regjeringen vil innføre en naturindeks for Norge, for å danne et bilde av utviklingstrender i naturen inkludert kulturlandskapet”*. Fokus for Naturindeksen var først og fremst biologisk mangfold, og for skog inngår det mange indikatorer for enkeltarter, men også nøkkelindikatorer som handler mer om strukturer.

I 2016, under regjeringen Solberg, ble det utnevnt et ekspertråd som skulle foreslå “naturvitenskapelige indikatorer og kriterier for økologisk tilstand i norske økosystemer som minimum klargjør hva som er «god økologisk tilstand»”, som en oppfølging til handlingsplanen for naturmangfold «Natur for livet» (St.m. 14, 2015-2016). Ekspertrådet tok utgangspunkt i Naturmangfoldlovens definisjon av økologisk tilstand (NML §3) som «status og utvikling for funksjoner, struktur og produktivitet i en naturtypes lokaliteter sett i lys av aktuelle påvirkningsfaktorer». I arbeidet med å lage et fagsystem for å vurdere økologisk tilstand i skog ble det lagt frem sju viktige egenskaper for å vurdere økosystemets tilstand (Nybø & Evju 2017), som beskrives kortfattet nedenfor:

- Økosystemets primærproduksjon
- Fordelingen av biomasse mellom ulike trofiske nivåer
- Funksjonell sammensetning innen trofiske nivåer
- Funksjonen til funksjonelt viktige arter, habitatbyggende arter og biofysiske strukturer
- Landskapsøkologiske mønstre forenlige med artenes overlevelse over tid
- Økosystemets genetiske mangfold, artssammensetning og artsutskiftning
- Abiotiske forhold (fysiske og kjemiske forhold)

Primærproduksjon i skog er produksjonen av organisk materiale gjennom fotosyntese, som danner grunnlaget for energiflyten i skogøkosystemet. Netto primærproduksjon (NPP) er den delen som blir igjen etter at plantene har brukt noe av energien til egen respirasjon. NPP utgjør dermed veksten, altså tilveksten av biomasse i trær og bakkevegetasjon. Siden trærne er så dominerende, står de typisk for godt over 90% av NPP i en skog. Å måle faktisk NPP er svært komplekst, siden det er så mange strømmer av karbon inn og ut av økosystemet. I praksis kvantifiserer en gjerne NPP som tilveksten av biomasse per arealenhet og tid, eller ved hjelp av fjernmåling av fotosyntese (NDVI) fra satellitt og modeller for fratrekk av respirasjon.

Primærproduksjon er skilt ut som en egen økosystemegenskap i fagsystemet for økologisk tilstand (Nybø & Evju 2017), mens andre økosystemfunksjoner sorterer under «funksjonell sammensetning innen trofiske nivåer» og «funksjonene til funksjonelt viktige arter», som for eksempel nedbrytning, karbonlagring, pollinering, kretsløp av næringsstoffer, jorddannelse og hydrologi.

Fordeling av biomasse mellom trofiske nivåer (primærprodusenter, nedbrytere og ulike nivåer av konsumenter) handler både om fordeling av biomasse mellom nivåer og den absolutte mengden for hvert trofiske nivå (for eksempel at man har en gitt mengde primærprodusenter, og at denne mengden er større enn mengden toppredatorer). Funksjonell sammensetning innen trofiske nivåer handler om at artene innen hvert trofiske nivå fyller visse funksjoner (for

eksempel at man har både nedbrytersopp som går på død ved av bartrær og nedbrytersopp som går på død ved av løvtrær).

Funksjonelt viktige arter og habitatbyggende arter er arter som har en stor innvirkning på økosystemet. Funksjonelt viktige arter kan for eksempel være elg, mykorrhizasopp eller blåbær, mens habitatbyggende arter kan være bever eller hakkespetter. Funksjonelt viktige arter omfatter også arter som er ansett å ha negativ påvirkning på økosystemets tilstand, som fremmede arter. Mens det generelle mangfoldet av arter, mangfoldet innen kategorier som for eksempel herbivorer, og det genetiske mangfoldet innen arter inngår i egenskapen «økosystemets genetiske mangfold, artssammensetning og artsutskiftning».

Innen skogøkologi er skogstruktur et viktig tema, både på bestandsnivå og landskapsnivå. Skogstruktur på bestandsnivå, som sjiktning og tetthet, sorterer under økosystemegenskapen «biofysiske strukturer». Økosystemegenskapen «abiotiske forhold» omfatter både fysiske og kjemiske egenskaper ved et økosystem, og setter ofte premisset for hva slags arter og naturtyper som finnes i et område. Kjemiske egenskaper kan for eksempel være kalkrikhet eller nitrogentilgjengelighet, mens fysiske egenskaper kan være vannstand eller helning.

Egenskapen «landskapsøkologiske mønstre» handler om skogstruktur på landskapsnivå, som fragmentering og aldersklassefordeling, og gir også en kobling til skogdynamikk. Naturlig skogdynamikk deles ofte inn i småskala “glennedynamikk” preget av kontinuitet på bestandsnivå og utskifting av enkeltrær eller mindre grupper av trær ved naturlig avgang, vindfall o.l., og storskala “kohortdynamikk” der større områder forynges etter storskala forstyrrelser som skogbrann, eller større stormfelling.

Ideelt sett burde systemene for kvantifisering av økologisk tilstand i økosystemene inkludere indikatorer som ga en tilfredsstillende dekning av alle disse sentrale økosystemegenskapene, men dette begrenses av datagrunnlaget.

De sju egenskapene dannet bakgrunnen for arbeidet med å finne indikatorer for de ulike økosystemene. Ekspertgruppen ble også bedt om å foreslå referanse- og grenseverdier for god tilstand (Nybø & Evju 2017). Referanseverdier er forventet verdi for indikatorene i et intakt, naturnært økosystem, og grenseverdier er verdier som indikerer hvor grensen for god økologisk tilstand ligger, på skalaen mellom 0 (ødelagt natur) og 1 (intakt natur, dvs. referansetilstanden). Samtidig måtte man forholde seg til pragmatiske begrensninger i datagrunnlaget, da det måtte finnes landsdekkende data med relevant geografisk oppløsning (Framstad mfl. 2021).

Grenseverdier kan settes basert på empiriske observasjoner av tålegrenser eller terskelverdier, men på grunn av manglende kunnskap om dose-respons sammenhenger ble grenseverdien for god økologisk tilstand i skog for de aller fleste indikatorene satt til 60% av referanseverdien, dvs. 0.6 (Framstad mfl. 2021). Slike grenseverdier benyttes for indeksmetoden for økologisk tilstand, som har blitt anvendt for skog og fjell, mens fagpanelmetoden som har blitt benyttet for arktisk tundra og marine økosystemer definerer vesentlig avvik ved ekspertvurderinger (Pedersen mfl. 2021). I diskusjoner omkring økologisk tilstand er det stilt kritiske spørsmål om en grenseverdi for "god tilstand" på 60% er faglig verdinøytralt når man ikke har kunnskap om eventuelle tålegrenser eller terskelverdier. Grenseverdien er imidlertid fremdeles vektlagt i indeksmetoden for økologisk tilstand (Bjørkvoll mfl. 2025).

Både Naturindeksen (Nater & Eriksen 2025) og fagsystemet for økologisk tilstand (Nybø & Evju 2017) legger til grunn at et intakt skogøkosystem er dominert av naturlig dynamikk og med klima som i perioden 1961 – 1990. Menneskelig påvirkning kan bare forekomme i begrenset grad og det skal i all hovedsak være stedegne arter i skogøkosystemet.

1.3.3 Indikatorer for økologisk tilstand

Naturindeksen er regnet ut for sju hovedøkosystem med verdier for følgende år; 1990, 2000, 2010, 2014, 2019 og 2024 (Jakobsson & Pedersen 2020, Nater & Eriksen 2025). I det videre er 2019-versjonen brukt da det ikke har vært tid til å implementere 2024-versjonen av Naturindeks i denne rapporten. Totalt 89 indikatorer inngår i Naturindeksen for skog 2019, hvorav 8 er såkalte nøkkelindikatorer som til sammen vektet 50% (Jakobsson & Pedersen 2020). Nøkkelindikatorene er i hovedsak variabler knyttet til skogens karakteristikk og levesteder (Tab. 1), i denne sammenhengen ansett som viktige indikatorer for de mange artene man ikke har overvåkingsdata for, som de fleste insekt- og sopparter.

Fagsystemet for økologisk tilstand ble operasjonalisert og første vurdering av økologisk tilstand for skog i Norge ble gjort i 2020 (Framstad mfl. 2021). Tretten indikatorer ble benyttet (Tab. 1), hvorav en av indikatorene var Naturindeksen for skog, som en samlet indikator for biologisk mangfold.

I 2023 presenterte Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet en ny liste over indikatorer for økologisk tilstand i skog. Selv om en del indikatorer tilsynelatende var like indikatorene for skog i fagsystemet for økologisk tilstand (Framstad mfl. 2021), var datagrunnlaget og utregningen noe forskjellig. Noen indikatorer fra fagsystemet var tatt ut og noen nye indikatorer var lagt til (Tab. 1). Målsettingen med utviklingen av Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratets liste var at indikatorene skulle kunne knyttes til foreslåtte tiltak for å opprettholde eller forbedre økologisk tilstand i skog, og at de skulle kunne følges opp helt ned på bestandsnivå. Det ble ikke utviklet noen referanseverdier eller grenseverdier for disse indikatorene, men utviklingen i perioden 1997 – 2021 ble oppsummert, samt retningen på utviklingen som positiv eller negativ for økologisk tilstand i skog.

Tabell 1. Sammenligning av indikatorer brukt i naturindeks (kun nøkkelindikatorer vist), økologisk tilstand og Miljødirektoratets og Landbruksdirektoratets kunnskapsgrunnlag. Sammenlignbare indikatorer i de ulike systemene er satt på samme rad.

Naturindeks - nøkkelindikatorer (2019)	Fagsystemet for økologisk tilstand (2020)	Mdir & Ldirs indikatorliste (1997 – 2021)
Blåbær – 0,71	Blåbærdekning - 0,47	Blåbærdekning og kronetetthet - stabil
Gammel skog – 0,28	Biologisk gammel skog - 0,24	Biologisk gammel skog - positiv utvikling
Gamle trær – 0,09		Store trær - positiv utvikling
Eldre lauvsuksesjon – 0,10		Lauvtreinnblanding i barskog - positiv utvikling
		Innslag av edellauvtrær - positiv utvikling
Rogn, osp, selje – 0,47	Rogn, osp og selje - 0,15	Rogn, osp og selje - positiv utvikling
Liggende død ved – 0,17	Mengde død ved (total) - 0,13	Død ved - positiv utvikling

Naturindeks - nøkkelindikatorer (2019)	Fagsystemet for økologisk tilstand (2020)	Mdir & Ldirs indikatorliste (1997 – 2021)
Stående død ved – 0,21	Mengde grov død ved - 0,04	
Smågnagere – 0,75		
og 81 andre indikatorer for ulike arter		
	Naturindeks for skog - 0,41	Truede arter - stabil
	Bestandsnivå hjortedyr (øvre) - 0,71	
	Bestandsnivå rovdyr - 0,05	
		Truede naturtyper - negativ utvikling
	Fremmede arter - 1	Rødhyll - ingen vurdering
		Introduserte bartrær - negativ utvikling
	Arealandel skog uten tekniske inngrep - 0,18	
		Skogbrann – brent areal - ingen vurdering
		Sjiktning - positiv utvikling
		Kantsoner - stabil
	Ellenberg F (nedre) - 0,76	
	Ellenberg F (øvre) - 0,68	
	Ellenberg N (nedre) - 0,55	
	Ellenberg N (øvre) - 0,69	
	NDVI (nedre) - 0,88	
	NDVI (øvre) - 0,77	

Felles for de tre systemene med indikatorer (Naturindeks, fagsystemet for økologisk tilstand, Miljødirektoratets og Landbruksdirektoratets indikatorliste) er at de begrenses av tilgjengelig data og tilgjengelig kunnskap. Ingen av indikatorlistene gir et komplett bilde av økologisk tilstand i skogøkosystemet. Dette er viktig å ta hensyn til når man bruker slike systemer til å vurdere tilstand og utvikling i norsk skog.

For eksempel er de fleste økosystemfunksjoner, bortsett fra primærproduksjon, i liten grad dekket av indikatorene grunnet databegrensninger. Dette gjelder viktige prosesser som nedbrytning og nærings sirkulasjon, pollinering, jorddannelse, karbonlagring og hydrologi. Nedenfor går vi gjennom hvordan indikatorene i de tre systemene kobles til de sju økosystemegenskapene fremhevet som viktige for økosystemtilstand av Nybø og Evju (2017).

I fagsystemet for økologisk tilstand i skog brukes den satellittbaserte “grønnhetsindeksen” NDVI og bakkevegetasjonens artssammensetning i forhold til artenes respons på nitrogen (Ellenberg N, hentet fra registrering av bakkevegetasjon i arealrepresentativ naturovervåking (ANO), Tingstad mfl. (2019)) som indikatorer for primærproduksjon. De andre systemene mangler indikatorer for denne egenskapen, men tilvekst i skog kunne vurderes brukt som indikator for primærproduksjon. I fagsystemet for økologisk tilstand kobles indikatorene for bestandsnivå av hjortedyr og rovdyr til egenskapen «fordeling av biomasse mellom trofiske nivåer». Naturindeksen deler inn artsindikatorene etter trofisk nivå, og vektingen av

indikatorer er til dels utformet for å ta hensyn til representasjon av alle trofiske nivåer, men indeksverdiene fremstilles ikke på en måte som tillater vurdering av fordeling av biomasse. I Landbruksdirektoratets og Miljødirektoratets liste på indikatorer (Tab. 1) mangler dette. Hverken Naturindeksen, fagsystemet for økologisk tilstand eller Miljødirektoratets og Landbruksdirektoratets indikatorliste har indikatorer som reflekterer artenes funksjonelle sammensetning, annet enn trofiske nivåer som nevnt over. Sammensetning og variasjon innen funksjonelle grupper inngår altså ikke i systemenes vurdering av økologisk tilstand, som for eksempel representasjon av ulike nedbrytere (for eksempel hvitråte- og brunråtesopp) eller pollinatorer (for eksempel spesialister og generalister).

For funksjonen til funksjonelt viktige arter, habitatbyggende arter og biofysiske strukturer er flere av Naturindeksens nøkkelindikatorer gode eksempler, for eksempel rogn, osp og selje (ROS), blåbær og smånagere. I både fagsystemet for økologisk tilstand og Miljødirektoratets og Landbruksdirektoratets indikatorliste inngår indikatorer for rogn, osp og selje (ROS) og blåbærdekning, men indikatorene er ikke identiske i datagrunnlag og utregning. Fagsystemet for økologisk tilstand har i tillegg en indikator for tilstedeværelse av fremmede arter (basert på kartlegging utført i arealrepresentativ naturovervåking) mens Miljødirektoratets og Landbruksdirektoratets indikatorliste har en indikator for fremmedarten rødhyll og for introduserte bartrær.

Biofysiske strukturer er representert ved indikatorer for død ved og gammel skog, som finnes i alle tre systemene, om enn med noe variasjon i inndeling og utregning. I Naturindeksen og Miljødirektoratets og Landbruksdirektoratets indikatorliste inngår også indikatorer for henholdsvis gamle trær og store trær, samt eldre lauvsuksesjon i Naturindeksen.

Selv om artene og de biofysiske strukturene nevnt her er representert ved indikatorer, så er det egentlig deres *funksjoner* som er ansett som essensielle for økosystemets tilstand (Nybø & Evju 2017). Koblingen mellom måleenheter (volum, areal osv.) for selve artene og strukturene og deres funksjoner er ofte ukjent.

Indikatoren «arealandel skog uten tekniske inngrep» i fagsystemet for økologisk tilstand gir et viktig mål på økosystemegenskapen «landskapsøkologiske mønstre». Indikatoren «eldre lauvsuksesjon» i Naturindeksen, og de relaterte indikatorene «lauvtreinnblanding i barskog» samt «innslag av edellauvtrær» i Miljødirektoratets og Landbruksdirektoratets indikatorliste er relevante både for økosystemegenskapen «landskapsøkologiske mønstre» og «biofysiske strukturer». Også indikatorene for gammel skog som inngår i alle tre systemer kan sortere under både «landskapsøkologiske mønstre» og «biofysiske strukturer».

Naturindeksen ble lagd for å reflektere biologisk mangfold, og brukes i fagsystemet for økologisk tilstand som en indikator nettopp for økosystemegenskapen «økosystemets genetiske mangfold, artssammensetning og artsutskiftning». Naturindeksen er sammensatt av 89 enkeltindikatorer, hvorav mange er enkeltarter, men noen, særlig blant nøkkelindikatorene, er strukturer eller substrat som ofte korrelerer med høyt artsmangfold. Miljødirektoratets og Landbruksdirektoratets indikatorliste omfatter ikke Naturindeksen, men inkluderer truede arter på rødlista (Artsdatabanken 2021).

Hverken Naturindeksen eller Miljødirektoratets og Landbruksdirektoratets indikatorliste omfatter indikatorer for abiotiske faktorer, men fagsystemet for økologisk tilstand bruker indikatorene Ellenberg N og Ellenberg F for henholdsvis nitrogen tilgjengelighet og fuktighet i

jorda. Begge disse indikatorene er basert på data fra arealrepresentativ naturovervåking, der bakkevegetasjon kartlegges i ruter i overvåkingsflater fordelt over hele Norge. Planteartene som registreres får en skår ut fra deres respons på nitrogentilgjengelighet (Ellenberg N) og på fuktighet (Ellenberg F), som kan tolkes som at bakkevegetasjonens artssammensetning oppsummert som Ellenberg N-verdier og Ellenberg F-verdier reflekterer jordas nitrogentilgjengelighet og fuktighet.

Til tross for tre systemer og lister med indikatorer som er relevante som mål på økosystemers økologiske tilstand, er det som nevnt ikke alle egenskapene ved skogøkosystemene som måles like godt. Mens et økosystems økologiske tilstand måles med hjelp av indikatorverdier som er valgt ut for å gjenspeile flere økosystemegenskaper, er måling av klimaeffekt enklere, med færre målenheter.

1.3.4 Arbeidsgruppas vurdering av effekter på økologisk tilstand

Vurderingene som er gjort i denne rapporten er dels basert på resultater fra framskriving (modellering) av utvalgte økologisk tilstand indikatorer (kap. 6), tilgjengelig publisert litteratur og gruppas egne vurderinger. På et overordna plan vil vurderingen av om et tiltak er positivt, nøytralt eller negativt avhenge av nåtilstanden for et gitt areal og mulige forvaltningsvalg for arealet. Hvis utgangspunktet er en naturskogs nær skog, vil både åpen hogst og lukket hogst gi skogen en dårligere økologisk tilstand, også om det er tatt ekstra hensyn ved hogst. Hvis utgangspunktet er en tett, plantet granskog vil en hogst der hensikten er å skape et mer robust og økologisk variert fremtidsbestand være et positivt tiltak for økologisk tilstand i bestandet.

Hvis vi legger til grunn at et bestand enten skal avvirkes med åpen hogst med generelle hensyn eller med hogst med ekstra hensyn vil det siste alternativet være det beste. Legger vi derimot flere forvaltningsvalg til grunn, der for eksempel fri utvikling (vern eller annen form for bevaring) settes opp mot hogst med ekstra hensyn så vil ikke hogst med ekstra hensyn lenger være det beste alternativet. Dette gjør vurderingene av tiltak og implementeringen av dem komplisert og krever en hierarkisk tilnærming der man først klassifiserer arealene basert på dagens tilstand (Fig. 1) og så vurderer hvilken type tiltak som kan forbedre den økologiske tilstanden mest i de forskjellige arealkategoriene.

Siden tiltakene som er vurdert i all hovedsak er aktuelle for produktiv skog der det per i dag kan drives skogbruk (tilsvarende «skogbruksmark» i Fig. 1), er det effekter for tilstanden på disse arealene vi har vektlagt mest. Skogbruksmark utgjør nær 95 % av den produktive skogen og to tredjedeler av det totale skogarealet (produktiv + uproduktiv skog (Svensson mfl. 2021)).



Figur 1. Oppdeling av skogen i produktiv og uproduktiv skog, hvilken type av arealanvendelse som dominerer og hvilket suksessjonstrinn skogen befinner seg i. Klassifiseringen ligger til grunn for plassering av klimatiltak og tiltak for forbedring av økologisk tilstand for å analysere mulige synergier og motsetninger.

2 Bakgrunn og beskrivelse av klimatiltakene

Trær og vegetasjon tar opp CO₂ gjennom fotosyntesen og binder karbon i biomasse (stammer, greiner, blader og røtter). Noe av karbonet frigjøres relativt raskt som respirasjon når plantene forbruker karbohydrater til livsprosesser, mens det som inngår i biomassen (veksten både over og under jorda) blir til karbonlagre, for kortere eller lengre tid. Karbon lagres også i dødt organisk materiale på bakken og i jorda. Klimatiltak i denne rapporten fokuserer først og fremst på tiltak som kan øke netto CO₂-opptak, eventuelt redusere utslipp, og dermed netto økt karbonlagring i skog, sett sammen med påvirkningen på CH₄ (metan) og N₂O (lystgass) der hvor det er relevant.

I oppdraget ble det vist til et sett med tidligere vurderte klimatiltak for økt opptak eller redusert utslipp av klimagasser, som skal vurderes på nytt. Tidligere vurderte og implementerte klimatiltak har først og fremst vært tiltak som gir god effekt på skogproduksjonen, og gjennom det økt opptak av CO₂, framfor tiltak med hovedmål å skape skoger som er langsiktige *lagre* for karbon eller mer motstandsdyktige mot framtidige klimaendringer. Dette var også tilfellet for tiltakene vi ble bedt om å vurdere i denne rapporten (Tab. 2). I tillegg ble det gjort klart i oppdraget at nye tiltak som potensielt kan bidra til redusert utslipp eller økt opptak av klimagasser i skogbruket kunne inkluderes i vurderingen. Vi har valgt å inkludere noen tiltak som har vært diskutert i ulike sammenhenger de siste åra: hogstform, ivaretagelse/økning av jordkarbon, skogvern og restaurering av myr og sumpskog.

I Tabell 2 er tiltakene som er listet i oppdraget sortert etter hvor i "skogbehandlingsskjeden" de kommer, med supplerende kommentarer knyttet til hver enkelt av dem. En del av tiltakene er alt iverksatt som klimatiltak, andre er klare for implementering, mens det for noen er behov for mer kunnskap. De tiltakene som gruppen i tillegg har vurdert, kommer nederst i tabellen.

De ulike tiltakenes «modenhetsgrad» med hensyn til utførelse samt beregning av klimaeffekt vurderes i kap. 2.1, mens kap. 2.2 beskriver de enkelte tiltakene, inkludert en vurdering av innretning av tiltakene sammenliknet med dagens skogbrukspraksis og regelverk, tidligere vurderinger av potensial for økt netto CO₂-opptak der dette har blitt utført, og samspillseffekter mellom tiltakene. Som nevnt over beskrives forutsetninger for beregning av klimaeffekter for utvalgte tiltak i kapittel 4, mens effekter på netto CO₂-opptak og arealomfang presenteres i kapittel 5.

Barrierer for gjennomføring er vurdert tidligere for de klimatiltakene som er tatt i bruk eller klare for implementering (Miljødirektoratet 2024, 2025). For andre tiltak i Tabell 2 gjør vi en kort vurdering av de viktigste barrierene.

Tematisk sett kan noen av tiltakene grupperes i en tiltakspakke, ikke minst de som har med foryngelse å gjøre. I kap. 5 gjøres for eksempel både en enkeltvis og en samlet framskriving av effekten på CO₂-opptak av tiltakene skogplanteforedling, markberedning, tilfredsstillende foryngelse og økt plantetetthet.

Tabell 2. Klimatiltak som vurderes. Tiltakene som ble definert i oppdraget er presentert øverst, mens tiltak som gruppen i tillegg har sett som interessante å vurdere ligger nederst i tabellen.

Klimatiltak definert i oppdraget		Grad av implementering*	Kommentar
L02	Skogplanteledning	1	Tiltaket pågår gjennom foredlingsprogram administrert av Skogfrøverket.
L03-1	Treslagsvalg etter hogst	2	Foryngelsesfasen. Treslagsvalg gjøres også ved valg av hogstform, og i ungskogpleien. Det sistnevnte inngår i L05.
	Markberedning	3	Foryngelsesfasen. Kan grupperes med tiltak L03/L04.
L03-2	Tilfredsstillende foryngelse	2	Foryngelsesfasen. Øke andel av hogstareal hvor foryngelsesplikten er oppfylt.
L04	Økt plantetetthet	1	Foryngelsesfasen. Inkluderer alle tiltak for å øke antall etablerte fremtidstrær, som bedre plantekvalitet, plantebeskyttelse, og kan kombineres med markberedning . Bidrar til tiltak L03.
L05	Ungskogpleie	1	Tiltaket kan innrettes til å omfatte både «tradisjonell» ungskogpleie med gran eller furu som hovedtreslag, og mer variert ungskogpleie med tilrettelegging for blandingsskog og variasjon i valg av hovedtreslag.
	Tynning	3	Utføres i yngre eller eldre produksjonsskog. Hensikten er å flytte tilvekst til de trærne med best kvalitet, noe som kan gi høyere sagtømmerandel, men normalt noe redusert tilvekst på bestandsnivå. Klimaeffekten er følgelig avhengig av substitusjon.
L06	Nitrogengjødsling av skog	1	Innebærer engangstilførsel av 15 kg nitrogen per daa ca. 10 år før slutthogst.
L07	Hogsttidspunkt	2	Kan omfatte både å unngå hogst før biologisk hogstmodenhetsalder, og forlenge omløpstid utover biologisk hogstmodenhetsalder.
L08	Råtebekjempelse	2	Behandling av stubber med urea eller Rotstop i forbindelse med tynning og slutthogst. Kan også innebære treslagsskifte.
	Grøfterensk etter hogst	3	Utføres etter sluttavvirkning på tidligere grøftede arealer. Tiltaket vurderes ut fra forutsatt fortsatt skogbruk på arealet.
L09	Planting av skog på nye arealer	2	Tiltaket omfatter (1) etablering av mer produktive treslag på gjengroingsarealer som allerede fyller skogdefinisjonen (treslagsskifte), samt (2) etablering av skog på tidligere beite el. dyrka mark som ikke holdes i hevd, men som enda ikke fyller kravet til skog (skogreising). Den førstnevnte kategorien utgjør mest tilgjengelig areal, mens det er kun den sistnevnte som vil krediteres som påskoging.
Andre tiltak som potensielt kan bidra til redusert utslipp eller økt opptak			
	Hogstform		Tiltaket omfatter økt bruk av lukkede hogster. Klimaeffekten er tidligere vurdert i Granhus mfl. (2024, 2025).
	Ivaretagelse/økning av jordkarbon		Omfatter reduksjon av kjøreskader, redusert uttak av hogstavfall (GROT), og tilførsel av biokull. Klimaeffekter ikke tidligere vurdert.
	Økt avsetning og vern av skog		Tidligere vurdert i rapport fra Miljødirektoratet (2016) og i Framstad mfl. 2011.
	Restaurering av grøftet myrskog og sumpskog		Avgrenset her til arealer som når skogdefinisjonen. Ikke tidligere vurdert som klimatiltak i skog.

**Forklaring til kolonnen «grad av implementering»: 1 = testet ut eller delvis tatt i bruk som et klimatiltak, 2 = klart for implementering, 3 = trenger mer kunnskap, jfr. Miljødirektoratet (2024) og oppdragsgivers beskrivelse av oppdraget Nummerering av tiltakene (L02-L09) følger Miljødirektoratet (2024).*

2.1 Modenhet av klimatiltakene og beregningsmetodikk

Tiltakene har svært ulik grad av modenhet (Tab. 3). Mens samtlige tiltak er modne når det gjelder teknisk utførelse, så er det ulik grad av kunnskap om hvor tiltakene bør utføres. Dette har vi kalt «Modenhet tiltak». Et eksempel kan være nitrogen gjødsling, som er etablert som et klimatiltak med konkrete retningslinjer for bonitet, vegetasjonstype, mv., samt omfang, for å utløse tilskudd, i motsetning til grøfterensk hvor det ikke foreligger retningslinjer for hvilke skogtyper som bør prioriteres eller andre kriterier. Tilsvarende er det ulik modenhet i beregningene. Noen tiltak er tidligere simulert i prognoseverktøyet SiTree med definerte forutsetninger. Andre er estimert med ulike andre tilnærminger, til dels relativt enkle Excel-beregninger. Dette har vi kalt «Modenhet beregning». Vi ønsker å presisere at selv om et tiltak har fått klassifisering «grønn» i betydningen modent, så kan det allikevel være betydelig forskningsbehov for å forbedre beregningene og redusere usikkerhet, eller for å oppnå bedre forståelse av effekten av tiltaket på skogens karbonopptak og -lagring.

Tabell 3. Vurdering av tiltakenes modenhet med hensyn til hvor de bør utføres (Modenhet tiltak) og beregning av klimaeffekt. Graden av modenhet er markert med hhv. grønt og gult i tabellen, der grønt betyr høy grad av modenhet og gult angir mindre grad av modenhet.

Tiltak	Modenhet tiltak	Modenhet beregning
Skogplanteforedling		
Treslagsvalg etter hogst		
Treslagsvalg etter hogst – fokus på blandingsskog		
Markberedning		
Tilfredsstillende foryngelse		
Økt plantetetthet		
Ungskogpleie, tradisjonell		
Ungskogpleie, variert		
Tynning		
Nitrogengjødsling av skog		
Hogsttidspunkt – unngå tidlig hogst		
Hogsttidspunkt – forlenget omløpstid		
Råtebekjempelse		
Grøfterensk etter hogst		
Planting av skog på nye arealer		
Hogstform (økt bruk av lukkede hogster)		
Ivaretagelse/økning av jordkarbon		
Økt avsetning/vern av skog		
Restaurering av grøftet myr/sumpskog		

2.2 Beskrivelse av tiltakene som er definert i oppdraget

Beskrivelsen under av hvert tiltak er i stor grad hentet fra Sjøgaard mfl. (2020a), Sjøgaard mfl. (2020b) og Sjøgaard mfl. (2023).

2.2.1 Skogplanteforedling

Skogplanteforedling innebærer å forsyne skogbruket med frø eller plantematerialer som er genetisk forbedret gjennom tradisjonell planteforedling. Hovedmålene med foredlingsarbeidet er økt vekst, kvalitet og tilpasning til klima for mer hardføre foryngelser (Sjøgaard mfl. 2020a, Skogfrøverket 2024). Klimaeffekten ligger i at økt vekst og tilpasning til klima betyr økt opptak av CO₂ i trærnes biomasse, og dermed økt karbonlagring, og god kvalitet betyr at mer av tømmeret kan gå til langlevde produkter.

I dag produseres alt foredlet frø i frøplantasjer, og i Norge har vi inntil nylig kun hatt et langsiktig og omfattende foredlingsprogram for gran. Skogfrøverket startet imidlertid i 2020 et foredlingsprogram for furu, hvor målet er å forsyne norsk skogbruk med 10 mill. furuplanter årlig innen ca. 2050. Etterspørselen etter foredlet plantemateriale av furu har økt de seneste årene, og i mangel av norskproduserte planter importeres det et betydelig kvantum fra svenske planteskoler til utplanting innen deler av Østlandet. For hengebjørk og svartor utvikles foredlingsprogram med sikte på god frøforsyning for lavereliggende strøk på Østlandet og i Trøndelag. Også for en del andre lauvtreslag etableres frøkildebestand eller frøplantasjer (Skogfrøverket 2024).

Jfr. Sjøgaard mfl. (2020a, 2020b) regner en med mellom 10 – 15 % økning av volumproduksjon i bestand som er etablert med plantemateriale fra de førstegenerasjons frøplantasjer som brukes i dag, mens 1,5 generasjons frøplantasjer om kort tid vil gi materialer der en forventer 5 % forbedring av dette (til 15-20 % økning i volumproduksjon). Om 15 – 40 år vil frø høstet fra 2. generasjons frøplantasjer sannsynligvis gi opp mot 25 % økning av produksjonen i bestand etablert med slikt frø.

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

Skogplanteforedling slik det beskrives i avsnittet ovenfor er alt tatt i bruk som et klimatiltak, og avviker ikke fra dagens skogbrukspraksis. Tiltaket er i tråd med dagens lover, forskrifter og sertifiseringskrav for skogbruket.

Status og potensial for økt karbonopptak

Tiltaket har et betydelig potensial i et langt tidsperspektiv, og effekten av tiltaket øker med tid. Siden 2007 har plantesammensetningen i Norge bestått av 75 % foredlet plantemateriale (med 10 - 15 % forventet foredlingsgevinst i volumproduksjon) og 25 % bestandsfrø (uten foredlingsgevinst) (Sjøgaard mfl. 2020a). Andelen er imidlertid økende og i 2017 og 2018 var andelen foredlet plantemateriale 90 %, mens den i 2020-21 var 94 % (Solvin mfl. 2023).

Inntil ca. 2020 var så godt som alt foredlet materiale kun gran, men dette er som nevnt over i ferd med å endre seg. Skogfrøverkets frøprognose anslår en produksjon av ca. 8 mill. foredlete furuplanter i 2040 og 10 mill. i 2050 (Skogfrøverket 2024). 10 mill. planter vil være nok til 40-50 000 dekar planteareal, men et slikt areal vil altså ikke kunne dekkes før om ca. 25 år. Vi har

som nevnt tidligere allerede import av foredlet furufrø og -planter fra Sverige, og i 2022 ble det plantet mer enn 3,5 mill. furuplanter, stort sett alle fra det svenske foredlingsprogrammet (Søgaard mfl. 2023).

Samspillseffekter med andre klimatiltak

Tiltaket vil ha samspillseffekter med andre klimatiltak relatert til foryngelse, som økt oppfyllelse av foryngelsesplikten dersom det gir et høyere areal som plantes og økt plantetetthet (Søgaard mfl. 2020a). Det vil også kunne ha samspillseffekter med planting av skog på nye arealer som klimatiltak.

2.2.2 Treslagsvalg etter hogst

Etter en hovedhogst skal arealet forynges med en ny generasjon trær. Det skjer enten ved naturlig foryngelse, såing eller planting, eller en kombinasjon av disse metodene. Generell praksis i dag er at en etter hogst i granskog forynger arealet ved planting, mens naturlig foryngelse gjennom frøtrestillingshogst er den vanligste metoden i furuskog. Lauvtrær blir i hovedsak forynget naturlig, selv om det også skjer noe planting, for eksempel av bjørk. Såing benyttes i et veldig begrenset omfang (<1 % av årlig foryngelsesareal).

Treslagsvalget skjer ved tre ulike tidspunkt i bestandets liv, jfr. Søgaard mfl. (2023):

- Ved valg av hogstform. Dette avgjør forhold for foryngelse og kan for eksempel framelske skyggetålende treslag eller lyskrevende treslag. Det vil også være bestemmende for om foryngelsen skjer gjennom frøfall fra gjenstående trær eller gjennom planting.
- Valg av treslag i foryngelsen. Dels gjennom valg av hvilke trær som står igjen (frøtrær, skjerm og/eller livsløpstrær), og dels ved at man velger treslag når man sår eller planter.
- Valg av treslag som skal stå igjen i ungskogpleien (omtalt under ungskogpleie).

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

Treslagsvalg etter hogst som klimatiltak innebærer en foryngelse etter hogst med det treslaget som gir størst produksjon på arealet over et omløp (Miljødirektoratet 2025). På høy bonitet gir gran normalt størst produksjon (Braastad 1983, Øyen & Tveite 1998, Øyen & Böhler 2011), på middels bonitet kan en blanding av gran og furu ofte være et godt alternativ, mens furu som regel har størst produksjon på skogsmark med lav bonitet (Braastad 1983, Kuehne mfl. 2025c). Riktig treslagsvalg i forhold til potensial for karbonopptak vil imidlertid være en kombinasjon av to hensyn som må avveies: 1) hvilket treslag som i utgangspunktet vil gi størst produksjon, og 2) konsekvenser av et endret risikobilde framover med endret klima.

Den naturlige mortaliteten i skogen har økt kraftig siste tiår (Breidenbach mfl. 2024). Vi har særlig sett mer tørke- og barkbilleskader i granskog i lavlandet på Østlandet. Gran er lite tørketolerant og er derfor særlig sårbar for klimapåvirkninger (Kausrud mfl. 2022). Et endret klima med hyppigere og lengre tørkeperioder, i kombinasjon med at gran noen steder er plantet på tørkeutsatte arealer som ikke passer for treslaget, er eksempler på begrunnelser for å endre treslag etter hogst. Voksestedstilpasning (rett treslag på rett sted) er et stikkord her, for å sikre god produksjon og minimering av risiko. I tillegg kan økt etablering av treslagsblandinger være et viktig tiltak for mer robust skog. Med utgangspunkt i Søgaard mfl. (2023) kan følgende begrunnelser og avveininger nevnes:

- Generelt bør man øke mengden av blandingsskog, fordi det reduserer sannsynligheten for store skader og klimatisk stress, særlig tørkestress. Med dette oppnår man et vedvarende opptak og lagring av karbon framover i tid. Det kan imidlertid redusere produksjonsevnen og karbonopptaket, og vi har her en avveining mellom å maksimere opptaket og minimere sannsynligheten for skadehendelser.
- Treslagsblanding kan i visse tilfeller gi økt produksjonsevne («overyielding»), og dermed økt karbonopptak (Ruiz-Peinado mfl. 2021, Kuehne mfl. 2025c). I andre tilfeller vil produksjonen gå ned. Lokale voksestedsforhold og hvilke treslag man blander påvirker endringen i produksjon. Generelt kan barblandingsskog anbefales på midlere boniteter, hvor produksjonsevnen til gran og furu er nokså lik (Braastad 1983, Kuehne mfl. 2025c). I granskog kan bjørk i større grad blandes inn, særlig i bestand med innslag av fuktige partier.
- En målrettet økning av andelen lauvtrær i skogen reduserer risikoen for storskala, klimarelaterte skogskader som brann, storm og tørke samt insekt- og soppskader fordi skogskadene særlig rammer bartrær, og spesielt gran. Særlig aktuelle lauvtreslag er bjørk, svartor, kirsebær, lønn, eik og bøk. En slik målrettet økning kan være spesielt viktig i områder eller regioner der granskogen generelt er på retrett, og dette kan allerede være tilfelle på de sørligste delene av lavlandet på Østlandet.
- Økt satsing på enkelte utenlandske treslag kan ha et potensial for å øke produksjonsevne og karbonlagring. Dette gjelder særlig douglasgran og sitkagran. Disse treslagene er begge vurdert som fremmede arter i Norge, med hhv. potensielt høy og svært høy risiko (Schei mfl. 2023, Vandvik mfl. 2023).

At man ved valg av treslag skal ha fokus på voksesteds- og klimatilpasning og lauvtreinnslag er presisert i Norsk PEFC Skogstandard (Anon. 2022), hvor det står at «treslagssammensetningen skal tilpasses voksestedet, samt forventede klimarelaterte endringer som vil påvirke treslagssammensetningen. Det skal legges til rette for at alle treslag som naturlig forekommer, skal finnes på eiendommen. Det skal tilstrebes et betydelig lauvtreinnslag med egne lauvtrebestand, lauvtrær i grupper og som enkelttrær (...). Det skal legges til rette for en vesentlig lauvtreandel ved foryngelse og ungskogpleie, tynning og hogst».

Det finnes også flere usikkerheter og potensielle hindringer knyttet til mer bruk av blandingsskog, som økt fare for beiteskader, mer komplisert skjøtsel og økte avvirkningskostnader (Felton mfl. 2016). Fokuset på stedstilpasning og etablering av blandingsskog har økt de seinere åra, og vi forventer at praksisen i skogbruket vil fortsette i den retningen.

I rapporten drøfter vi ulike steder noen varianter av treslagsvalg som vi har kalt «tradisjonell» og «variert». «Tradisjonell» betyr her at man i stor grad legger opp til foryngelse med samme treslag som var i bestandet fra før (ofte gran eller furu, men med tilpasninger i tråd med PEFC). «Variert» betyr å satse mer på treslagsblandinger, både gran-furu og bar-lauv-blandinger. I tillegg vurderes effektene av å velge utenlandske treslag for økologisk tilstand.

Status og potensial for økt karbonopptak

Det er ikke tidligere gjort relevante studier av tiltakets potensial med hensyn til klimaeffekt (tonn CO₂) på nasjonalt nivå (Søgaard mfl. 2023). Kunnskapsgrunnlaget for riktig treslagsvalg etter hogst ble imidlertid delvis beskrevet i Søgaard mfl. (2020a), og det ble i samme rapport presentert resultater fra simulering av potensiell effekt av om alt granareal som ikke forynges

aktivt ble tilplantet med gran. Hensikten var å illustrere effekten av bedre oppfyllelse av foryngelsesplikten. Men som nevnt over vil det ikke være optimalt å forynge med gran på alle arealer der det vokser gran i dag, for eksempel på tørkeutsatte arealer eller i bestand med høy forekomst av råte.

Det er et betydelig kunnskapsbehov knyttet til vekst, skogbehandling og effekter på jordkarbon ved bruk av alternative treslag og treslagsblandinger under norske forhold. I tillegg er det usikkerhet knyttet til hvor sterke klimaendringene blir, og i hvilken grad de vil påvirke ulike treslag. Generelt er det begrenset kunnskap om vekst for andre treslag enn gran, furu og bjørk, men også for disse treslagene er mye av kunnskapen basert på eldre studier som ikke nødvendigvis reflekterer dagens forhold og heller ikke vekst i framtidens klima. Mye av forskningen knyttet til skogbehandling har vært fokusert på bestand med ett hovedtreslag, og det er lite norsk forskning knyttet til blandingsskog, til tross for at slik skog er vanlig i Norge.

Noen studier finnes imidlertid. Disse er i hovedsak i tråd med annen nordisk litteratur, og viser at de første tiårene er veksten i gran-bjørk-blandinger noe større enn i monokulturer av gran, på grunn av bjørkas raskere vekst tidlig i omløpet (Frivold & Frank 2002, Hanssen & Kuehne 2022). Hanssen & Kuehne (2022) fant at fra 25-30 års alder var volumet høyere i bestand med større andel gran, fordi gran har mer utholdende vekst. Også for total biomasse over stubbesavskjær var produksjonen større med en høyere andel gran, men forskjellene ble redusert fordi bjørk har høyere densitet enn gran og mer biomasse i bark og greiner. Karbonopptaket blir dermed høyere i et renbestand av gran over et omløp, men forskjellen er liten med en viss innblanding av bjørk i bestandet. Høyest opptak kan man oppnå ved å utnytte forskjellen i vekstrytme. Det kan for eksempel gjøres ved å beholde en nokså høy andel bjørk i bestandet i ungskogpleien, og prioritere å ta ut bjørk i tynning etter ca. 30 år.

For gran-furu-blandinger tydet undersøkelsen til Braastad (1983) på at det er nokså liten forskjell i vekst mellom blandingsbestand av gran og furu vs. renbestand på middels boniteter (der granas produksjonsevne ligger mellom 3 og 7 m³/ha/år). Ved lavere boniteter produserer furua bedre, og ved høyere boniteter har gran større produksjon. Studien til Kuehne mfl. (2025c), basert på data fra Landsskogtakseringen, bekrefter i stor grad disse funnene. De fant imidlertid også en noe høyere produksjon for blandingsbestand vs. renbestand på middels bonitet. De fant også at tørke hadde en tydeligere, negativ effekt på volumproduksjonen i grandominerte bestand, spesielt på lavere boniteter.

Samspillseffekter med andre klimatiltak

Treslagsvalg vil ha samspillseffekter med alle andre tiltak beskrevet i rapporten, da det legger grunnlaget for alle valg gjennom bestandets liv. Tiltaket bør særlig ses i sammenheng med tiltakene L02 Skogplanteforedling, L03-2 Tilfredsstillende foryngelse og L05 Ungskogspleie.

2.2.3 Markberedning

Ved markberedning bearbeides det øverste laget av jorda for å bedre etableringsforholdene til skogplanter. Vanligvis veltes torva (vegetasjon og humuslag) til side i striper eller flekker, slik at deler av mineraljorda blottlegges. Slik «dobbel torv» med mineraljord på toppen regnes som en god planteplass. Samtidig er blottlagt mineraljord et godt spireleie for frø, og gir dermed et godt utgangspunkt for etablering av naturlig foryngelse.

Markberedning gir mange fordeler for plantene vi setter ut, for eksempel ved at det minsker konkurransen fra annen vegetasjon, gir jevnere fuktighet, øker jordtemperaturen, gir et opphøyd plantepunkt på fuktig mark og begrenser snutebilleskader (Sikström mfl. 2020). I sum skaper markberedning et bedre spiresubstrat ved naturlig foryngelse og såing, gir raskere etablering ved planting, bedrer overlevelsen og øker tilveksten (Søgaard mfl. 2023). En gjennomgang av finske, norske og svenske studier på markberedning fant at tiltaket økte overlevelsen med 15-20 prosentpoeng, og høyden på foryngelsen med 10-25 % ti-femten år etter planting (Sikström mfl. 2020). Markberedning vil imidlertid også gi bedre betingelser for etablering av lauvtrær, slik at behovet for ungsogpleie vil kunne øke. Oppslaget av lauvtrær vil imidlertid også variere mellom ulike markberedningsmetoder og graden av eksponert mineraljord (Uotila mfl. 2010, Saurasunet mfl. 2018).

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

Innretningen av markberedning som et klimatiltak vil ikke skille seg fra dagens praksis eller regelverk, men en eventuell støtteordning vil kunne øke utbredelsen av tiltaket.

I dag markberedes i underkant av 20 % av foryngelsesarealet årlig (Landbruksdirektoratet 2024a). I Norge benyttes tiltaket i størst omfang i kombinasjon med naturlig foryngelse, men i løpet av de siste 10-15 år har man i økende grad også tatt i bruk markberedning på arealer som skal plantes. Markberedning er mest aktuelt der det er vanskelig å etablere naturlig foryngelse med tilfredsstillende tetthet innen rimelig tid, og på arealer der den positive effekten på etablering og vekst av skogplanter er stor, for eksempel i områder med høy risiko for skader fra gransnutebiller. Samtidig setter sertifiseringsregelverk samt terreng og andre fysiske faktorer forutsetninger for hvor markberedning kan foretas. I et notat gjorde Hanssen (2021) en vurdering av hvor store arealer som kan være aktuelle for markberedning, ved gitte biologiske, fysiske og praktiske forutsetninger (blant annet helling, avstand til vei, jorddybde og hogstform) og innenfor gjeldende regelverk (Norsk PEFC Skogstandard). For hogstklasse 5 i produktiv barskog på mineraljord ble anslaget at ca. 45 % av arealet potensielt kunne markberedes, med størst arealandel i Innlandet og minst på Vestlandet og i Nord-Norge. Dette anslaget stemmer godt overens med vurderinger gjort i den årlige kartleggingen av foryngelse og miljøhensyn ved hogst og skogkulturtiltak (se f.eks. Landbruksdirektoratet 2024a).

Høyere temperaturer og økt CO₂-innhold i lufta vil mange steder føre til at veksten øker, både for foryngelsen og de konkurrerende artene på hogstflatene. Det blir ikke mindre viktig å legge til rette for rask og god planteetablering i framtiden, slik at skogplantene motstår konkurransen fra annen vegetasjon og angrep fra snutebiller. En annen sannsynlig klimaendring er lengre perioder med tørke i vekstsesongen. Da er det viktig at den omvendte torva som skapes ved markberedning blir komprimert før planting, og at planting skjer dypt, slik at rotpluggen får kontakt med jordvannet. Alternativt bør man i større grad sette plantene nede i grop eller fure i tørkeutsatte områder. I dagens praksis skjer markberedningen først og fremst på høsten året før planting, nettopp for at de omvendte torvene skal komprimeres.

Samtidig forventes det flere perioder med kraftig nedbør. Dette kan føre til økt avrenning fra blottlagt jord. Det er derfor enda viktigere å gjøre markberedningen på riktig måte og benytte metoder som påvirker en mindre del av overflaten (Søgaard mfl. 2017).

Kravpunkt 16 i Norsk PEFC Skogstandard setter rammer for bruk og utførelse av markberedning (Anon. 2022). Markberedning skal blant annet unngås i myrskog, kantsoner, kulturmiljøer, i bestemte vegetasjonstyper og i utvalgte naturtyper og funksjonsområder for

prioriterte arter, jfr. naturmangfoldloven. For å minimere tap av karbon fra jord anbefales det at en så liten del av arealet som mulig påvirkes ved markberedningen (Mayer mfl. 2020). Avflekksareal er også regulert i Skogstandarden.

Barrierer for gjennomføring av tiltaket

I tillegg til begrensninger på grunn av terrengforhold eller regelverk, som nevnt over, innebærer markberedning en utgift for skogeier. Dermed vil kostnader være en barriere. Skogeier må avveie dagens investeringskostnad opp mot avkastning av tiltaket, som kommer langt fram i tid. Mangel på markberedningsutstyr og maskinførere med kompetanse på markberedning vil mange steder begrense aktiviteten. I tillegg kan usikkerhet blant skogeierne rundt markberedningens effekter på miljø, rekreasjon og friluftsliv være barrierer.

Status og potensial for økt karbonopptak

Det er ikke tidligere gjort spesifikke beregninger av klimaeffekten av markberedning i Norge. En enkel vurdering ble gjort i Sjøgaard mfl. (2023). Generelt kan man imidlertid forutsette at markberedning gir økt CO₂-opptak i levende biomasse gjennom økt overlevelse og vekst hos plantene. Samtidig vil temperaturøkningen i jorda og miksing av humus og mineraljord kunne øke omsetningen av organisk materiale og dermed også øke utslippene fra jord, men det er usikkert hvor stor og langvarig denne effekten er.

Det er få studier som påviser hvordan markberedning påvirker karbonomsetning og karbonlagre i jord, eller i hele økosystemet, særlig på lenger sikt (Ring & Sikström 2024). Nedbrytningen av nålestrø ser ut til å øke når det er begravd under eller blandet med mineraljord, mens redusert eller tilsvarende mineralisering har blitt rapportert for begravd organisk materiale (humus), noe som antyder at «unge» og «gamle» karbonkilder reagerer forskjellig når de er begravd (Mäkipää mfl. 2023). Det er behov for mer kunnskap om hva som skjer med omdanningen av jordkarbonet når det flyttes nedover i jordprofilen ved markberedning (Mayer mfl. 2020).

Eldre studier har indikert at markberedning kan føre til langvarige reduksjoner i jordkarbonlagre (de Wit & Kvindesland 1999, Jandl mfl. 2007, Mayer mfl. 2020). På den andre siden øker markberedning karbonopptaket i trebiomasse, og dette kan redusere eller balansere tapet fra jorda, og eventuelt føre til økt karbonlager på økosystemnivå (Jandl mfl. 2007, Mayer mfl. 2020, Ring & Sikström 2024).

I Sverige fant Mjöfors mfl. (2017) ingen effekt på lagre av karbon i jord 25 år etter markberedning med ulike metoder, og økt karbonlager for økosystemet som helhet. Effekten på karbon i skogsjorda vil være avhengig av valg av metode og medfølgende grad av forstyrrelse (Jandl mfl. 2007, Mayer mfl. 2020).

Samspillseffekter med andre klimatiltak

Siden markberedning handler om å skape bedre forhold for foryngelsen, vil tiltaket ha samspillseffekter med andre tiltak rettet mot foryngelse, som L04 Plantetetthet, L03 Treslagsvalg, L03-2 Tilfredsstillende foryngelse, L04 Ungskogpleie, og grøfterensk.

2.2.4 Tilfredsstillende foryngelse

Tilfredsstillende foryngelse som klimatiltak innebærer at en økt andel av foryngelsesarealene får et tilfredsstillende antall skogplanter per dekar, sammenliknet med forventet utvikling i framskrivingen. Tiltaket skal bidra til at foryngelsesarealene har en plantetetthet som

minimum tilsvarer minste lovlige plantetall, for å sikre økt produksjon på arealet. Økt tilfredsstillende foryngelse vil føre til økt opptak av CO₂ (Miljødirektoratet 2024).

Minste lovlige plantetall er gitt i Forskrift om bærekraftig skogbruk, §7, og varierer avhengig av bonitet og treslag (Tab. 4).

Tabell 4. Minste lovlige plantetall ihht. Forskrift om bærekraftig skogbruk.

	Gran- og/eller lauvdominert skog			Furudominert skog		
Bonitet	G26-G20	G17-G14	G11-G6	F20-F17	F14-F11	F8-F6
Minste lovlege plantetal per dekar	150	100	50	150	100	50

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

Tiltaket dreier seg om å styrke dagens praksis, slik at en større del av foryngelsesarealet oppnår et tilfredsstillende antall skogplanter per dekar. Om lag 20 prosent av foryngelsesarealet i Norge har ikke tilfredsstillende foryngelse, og denne andelen har vært stabil i mange år (Landbruksdirektoratet 2024a). Sjøgaard mfl. (2023) peker på to hovedgrunner: enten er det verken plantet eller tilrettelagt for naturlig foryngelse (gjelder ca. 10 prosent av foryngelsesarealet), eller så har foryngelsestiltakene vært mislykket.

I lys av klimaendringene forventer vi at utfordringene knyttet til etablering av foryngelse heller vil øke enn avta, for eksempel relatert til større risiko for tørke (Dyrødal mfl. 2025) eller skader fra gransnutebiller (Hanssen mfl. 2019).

Innretningen kan være å øke informasjon og rådgivning, videreføring og styrking av økonomiske rammer, og tiltak for å øke plantenes overlevelse (Miljødirektoratet 2024). Blant tiltak som øker overlevelsen finner vi god plantekvalitet, bruk av riktig treslag, proveniens og plantetype, bekjempelse av fremmede arter (f.eks. rødhyll og kanadagullris), og markberedning. Tiltaket har også en klar kobling til myndighetenes håndhevelse av foryngelsesplikten. Eksempler på dette er implementering av økt kontroll siden 2011, og revisjon av forskrift om bærekraftig skogbruk, som i større grad en tidligere tydeliggjør for utførende myndighet (kommunene) hvilke treslag som skal regnes som tellende ved kontroll.

Status og potensial for økt karbonopptak

Klimaeffekten er tidligere simulert som den totale effekten av dette tiltaket og tiltaket L04 Tettere planting (Sjøgaard mfl. 2020a, b), se avsnittet nedenfor.

Samspillseffekter med andre klimatiltak

Plantetettheten i foryngelsen avgjør framtidig produksjon og valgmulighetene i framtidig skogbehandling. Tiltaket må ses i sammenheng med tiltak L02 Skogplanteforedling, L03-1 Treslagsvalg etter hogst, L04 Økt plantetetthet og L05 Ungskogpleie. Også tiltakene grøfterensk og markberedning vil påvirke om tilfredsstillende foryngelse oppnås.

2.2.5 Økt plantetetthet

Plantetettheten i etablert foryngelse påvirker produksjonen. Planteavstandsforsøk med gran viser at tettere planting gir høyere volumproduksjon og dermed høyere CO₂-opptak (Søgaard mfl. 2017). Tiltak for å sikre tettere foryngelse kan derfor ha stor betydning for netto opptak av CO₂ i norsk skog på lang sikt (Søgaard mfl. 2020a). Høy tetthet i foryngelsen gir også større mulighet til å velge de mest veksterlige og kvalitativt beste trærne som framtidstrær ved ungskogpleie (utvalgseffekt), større mulighet for uttak av tømmer ved tynning, og bedre tømmerkvalitet ved foryngelseshogst (Søgaard mfl. 2023).

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

Innretning av tiltaket vil ikke avvike fra vanlig skogbrukspraksis. Det gis i dag støtte til tettere planting som et klimatiltak (www.landbruksdirektoratet.no). For vanlig planting gis det tilskudd for inntil 50 ekstra planter/daa utover et fastsatt bonitetsavhengig minimumstall, som varierer fra 100 planter per dekar på bonitet 8 til 220 per dekar på bonitet 26.

Det er ikke bare antall planter som settes ut som påvirker plantetettheten etter etablering. Det gjør også alle tiltak som sikrer overlevelsen de første årene, slik som de som nevnes i kap. 2.2.4. Som diskutert i kap. 2.2.2. vil det med hensyn til treslagsvalg være to hensyn som må avveies, hvilket treslag som i utgangspunktet vil gi størst produksjon og konsekvensene av et fremtidig endret risikobilde med et endret klima. I lys av klimaendringene er det å redusere risiko stadig viktigere, og økt bruk av blandingsbestand og mer stedstilpasset treslagsvalg kan bidra til dette.

Status og potensial for økt karbonopptak

Klimaeffekten er tidligere simulert som den totale effekten av dette tiltaket og tiltaket L03-2 Tilfredsstillende foryngelse (Søgaard mfl. 2020a). I framskrivningen ble det lagt til grunn økning i antall planter som settes ut på areal som plantes med gran. Andre treslag ble ikke vurdert, og det ble heller ikke vurdert andre tiltak for å oppnå økt overlevelse og god tetthet i framtidsbestandet.

Samspillseffekter med andre klimatiltak

Plantetettheten i foryngelsen avgjør framtidig produksjon og valgmulighetene i framtidig skogbehandling. Tiltaket må ses i sammenheng med andre tiltak som har med foryngelsen å gjøre, slik som L02 Skogplanteforedling, L03 Tilfredsstillende foryngelse, L03-1 Treslagsvalg etter hogst, og L05 Ungskogpleie. Også tiltakene grøfterensk og markberedning vil påvirke plantetetthet i etablert foryngelse.

2.2.6 Ungskogpleie

Ungskogpleie er et samlebegrep for tiltak som gjøres i etablert skog, men før trærne har vokst seg store nok til å gi nyttbart virke. Hensikten med ungskogpleie er å påvirke den videre utviklingen til skogbestandet ved å regulere treslagssammensetningen og tretettheten, slik at de trærne som kan gi best kvalitet og høyest produksjon får gode utviklingsmuligheter. Etter utført ungskogpleie skal skogen kunne vokse uten ytterligere inngrep frem til eventuelle tynninger med uttak av nyttbart virke, eller frem til sluttavvirkning der en velger tynningsfritt skogbruk. Ungskogpleie kan også bedre trærnes motstandsevne mot vindfall og snøbrekk.

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

Tradisjonell ungskogpleie omfatter både lauvrydding, der hovedtreslaget er gran eller furu, og avstandsregulering av hovedtreslaget. Ungskogpleien finner vanligvis sted når trærne er mellom 1 og 5 m høye. Det er vanlig å regulere treantallet ned til 160-250 trær/daa, avhengig av treslag og bonitet, men et lavere treantall (150-180/daa) er også vanlig der man tenker å drive et tynningsfritt skogbruk (se f.eks. Anon. 2018).

Behovet for å redusere risiko i lys av klimaendringene, gjør at retningslinjer for både valg av treslag og valg av tetthet etter ungskogpleie bør vurderes nøye. I Norsk PEFC Skogstandard er det allerede fokus på voksestedstilpasning, og at det skal tilstrebes et betydelig lauvtreinnslag. Som nevnt i kap. 2.2.2 kan blandingsbestand ha fordeler knyttet til minimering av risiko, mens en lav utgangstetthet kan gi mer stabile og tørkeresistente trær (Bottero mfl. 2017, Sohn mfl. 2016).

Status og potensial for økt karbonopptak

Potensielt areal for ungskogpleie og effekt på karbonopptak ble estimert i Søgaard mfl. (2020a, b). Utgangspunktet var tradisjonell ungskogpleie, hvor bartrær ble prioritert. Tiltaket har et stort potensial på lang sikt, og kan også ha positive effekter på kortere sikt.

Ungskogpleie med mer fokus på å skape variasjon i treslag og øke andelen med blandingskog vil også være positivt for karbonopptaket vs. å ikke gjennomføre ungskogpleie. På kort sikt kan f.eks. et blandingsbestand av gran og bjørk produsere mer enn et tilnærmet renbestand av gran, på grunn av bjørkas raskere vekst tidlig i omløpet. På lang sikt vil produksjon og karbonbinding være størst i bartrebestand.

Samspillseffekter med andre klimatiltak

Utgangspunktet for bestandet som skal pleies påvirkes gjennom L03-1 Treslagsvalg etter hogst, L03-2 Tilfredsstillende foryngelse, L04 Økt plantetetthet samt markberedning. Hvorvidt ungskogpleie er gjennomført påvirker samtidig behovet for og kostnadene forbundet med tynning. Ungskogpleie har også mulige samspillseffekter med tiltak L08 Råtebekjempelse, siden også små stubber kan utsettes for råteinfeksjon.

2.2.7 Tynning

Ved tynning reduserer man tettheten i bestandet. Formålet er å flytte produksjonen over på de kvalitetsmessig beste trærne jevnt fordelt på arealet, og på det eller de treslagene som er best egnet. Tynning utføres i skog hvor trærne er blitt store nok til at de kan gi salgbart tømmer. I dag velger mange skogeiere å bare tynne en gang i løpet av et omløp, men tynning kan også utføres to eller flere ganger i samme bestand, og da med lavere uttaksstyrke (andel av treantallet eller grunnflaten som tas ut) enn når det kun tynnes en gang. Førstegangs tynning anbefales ved 12-14 m overhøyde, mens andre gangs tynning gjerne gjøres ved 16-18 m. Omfanget av tynning i Norge er en del lavere enn i våre nordiske naboland, og mange skogeiere velger i dag også tynningsfritt skogbruk.

Riktig utført tynning i unge bestand kan forbedre bestandets stabilitet mot storm- og snøskader (Mason & Valinger 2013), og bidra til mindre tørkestress blant de gjenstående trærne (Sohn mfl. 2016). Tynning kan derfor øke skogens motstandskraft mot klimaendringer (Collalti mfl. 2018). Men det kan også øke risikoen for vindfelling i tiden rett etter inngrepet, og gi økt risiko for råteinfeksjon i gran via stubber og barkskader på de gjenstående trærne (Solheim 2003, Pukkala mfl. 2016). Tynning kan bidra til å forkorte omløpstiden, og gjennom det øke netto opptak av CO₂ over tid (Kindermann mfl. 2013). Forkortet omløpstid kan også

bidra til å redusere risiko for skogskader, som øker med økende bestandsalder (Hanewinkel mfl. 2013). Siden riktig utført tynning også øker trærnes enkelttrestabilitet på sikt vil tynning også påvirke om skogen senere vil være godt egnet for lukket hogst.

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

Tynning påvirker bestandets samlede vekst, og dermed CO₂-opptak. Skal tynning være et netto positivt klimatiltak, forutsetter dette at en gjennomfører tynningen på en slik måte at bestandet samlede volumproduksjon (og dermed karbonlagring i levende trebiomasse) ikke reduseres nevneverdig og det samlede karbonlageret i hele økosystemet øker (de Quesada mfl. 2025), eller at en større andel av volumproduksjonen kan nyttiggjøres i produkter med lang levetid eller til substitusjon (Søgaard mfl. 2023).

Samlet volumproduksjon blir som regel redusert ved tynning på grunn av åpninger i kronetaket (Borys mfl. 2016, Mäkinen & Isomäki 2004a, b), men reduksjonen er lavere i gran enn i furu. Effekten avhenger også av flere faktorer: Generelt, jo høyere boniteten er og jo tidligere bestander blir tynnet, jo mer sannsynlig er det at tynning ikke gir lavere nettovolum (Allen mfl. 2020, Kuehne mfl. 2022). Flere tynninger og lav utgangstetthet øker sannsynligheten for redusert produksjon.

Både Mayer mfl. (2020) og Mäkipää mfl. (2023) finner at de fleste enkeltstudier ikke viser signifikant effekt av tynning på jordkarbon, men at det også er noen studier som viser karbontap.

Barrierer for gjennomføring av tiltaket

Tynning fører ikke alltid til forbedret lønnsomhet (Kuehne mfl. 2025), slik at kostnad kan være en barriere. Det samme gjelder usikkerhet rundt effekter av tynning på framtidig volumproduksjon.

Status og potensial for økt karbonopptak

Oppsummert vil tynning primært ikke være et tiltak for å øke CO₂-opptaket over et omløp, men for å skape mer vitale og resistente skoger, og dermed redusere risiko for tap og gjennom det mer forutsigbart og potensielt høyere CO₂-opptak, som diskutert i Søgaard mfl. (2023).

Tynning som klimatiltak ble beskrevet i Søgaard mfl. (2015) uten at det ble gjort kvantitative analyser. Søgaard & Granhus (2012) gjorde noen simuleringer for Akershus fylke, men det finnes ingen nasjonale studier av potensiell klimaeffekt av tynning på CO₂ opptak (Søgaard mfl. 2023). Nettoeffekten (summen av redusert opptak og potensiell substitusjon) er følgelig usikker.

Samspill effekter med andre klimatiltak

Tynning har samspill effekter med andre tiltak rettet mot foryngelse og ungsogpleie, som L03 Treslagsvalg etter hogst, L04 Økt plantetetthet og L05 Ungskogpleie. Siden ungsogpleie øker trærnes enkeltstabilitet, vil slike bestand være bedre egnet for seinere tynning. Det har også samspill effekter med L08 Råtebekjempelse, siden tynning kan øke risikoen for spredning av råte. Tynning vil også ha samspill effekter med hogsttidspunkt, ved at økt mobilisering av tynningsvirke vil kunne kompensere for noe av den midlertidige reduksjonen av hogstkvantum vi kan forvente dersom hogstalderen ved sluttavirkning øker.

2.2.8 Nitrogengjødsling av skog

I norsk skog på fastmark er det som oftest nitrogen som er begrensende for veksten. Nitrogengjødsling gir ofte økt diameter- og høydevekst, og kan dermed øke det årlige CO₂-opptaket i trærne. Den vanligste gjødslingsmetoden i norsk skogbruk er å tilføre 15 kg nitrogen per daa i barskog, omtrent 10 år før hogst. Dette kan øke skogens tilvekst med rundt 0,1-0,2 m³ per daa og år i en periode på 8-10 år, tilsvarende ca. 1,5 m³ ekstra tilvekst (Nilsen 2001, Ingerslev mfl. 2001). I tillegg kan nitrogengjødsling påvirke mengde og kvalitet av strø, og sammensetningen av mikroorganismer i jorda. Flere studier viser at også mengden organisk materiale i jorda øker ved nitrogengjødsling (Søgaard mfl. 2023). Det er imidlertid fortsatt usikkerhet knyttet til hvordan gjødsling påvirker karbondynamikken i jord (Johannesson 2025).

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

Gjødslingseffekten er best, og faren for avrenning minst, på midlere barskogsboniteter/ middels rike vegetasjonstyper med podsolprofil (Miljødirektoratet mfl. 2014). I dag åpner Norsk PEFC skogstandard for gjødsling på vegetasjonstypene bærlyng-, blåbær-, småbregne- og storbregneskog. Lauvtrær får bare en beskjeden og kortvarig tilvekstøkning etter gjødsling, derfor skal hovedtreslaget være furu eller gran.

Jfr. Miljødirektoratet mfl. (2014) bør bestandene ha full tetthet slik at de utnytter den tilførte næringen best mulig, og de bør være veksterlige og friske med trær som kan gi virke av god kvalitet. For gran bør en vurdere råtefaren i bestandet, da dette kan redusere både volum- og verditilveksten vesentlig. Videre bør bestandene ikke være overtette, med tanke på at næringen skal komme de trærne til gode som kan få god verditilvekst og som skal avvirkes ved sluttavvirkning. Gjødsling av bestand som i tillegg til økt kubikkmasse får stor verditilvekst, vil som nevnt gi best økonomisk utbytte. Ofte vil dette gjelde skjøttede, tynnede bestand. Man bør vente noen år etter tynning før man gjødsler, fordi bestandet kan være mer utsatt for vindfall og snøbrekk de første årene etter tynning, samtidig som det blir en viss gjødslingseffekt fra hogstavfallet.

Basert på rapporten fra Miljødirektoratet mfl. (2014) ble det fra 2016 gitt tilskudd til gjødsling av skog, med en del kriterier lagt til grunn for støtteordningen. Ordningen ble evaluert i 2021 (Landbruksdirektoratet mfl. 2021) og videreført. Tiltaket er i tråd med dagens skogbrukspraksis.

Status og potensial for økt karbonopptak

Nitrogengjødsling er et av få tiltak i skog som gir effekt på kort sikt. Den potensielle klimagasseffekten ble utredet i rapporten «Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak» i 2014 (Miljødirektoratet mfl. 2014), og beregnet i Søgaard mfl. (2020a). Selv om effekten kan være relativt betydelig per arealenhet, er arealet som det praktiseres gjødsling på i dag og også et angitt maksareal beskrevet i Miljødirektoratet mfl. (2014), nokså beskjedent, så effekten vil være begrenset i nasjonal målestokk.

Arealet for gjødsling økte betydelig etter at det ble innført tilskudd i 2016, men har gått ned de siste årene. Årlig gjødslet areal er likevel på et betydelig høyere nivå enn før tilskuddet ble innført.

Der hvor veksten begrenses av andre faktorer enn nitrogen, for eksempel tilgang på vann, vil gjødslingen ha redusert effekt (Lim mfl. 2015). Samtidig kan økt nitrogentilgang påvirke tørkeresistensen, og dermed karbonopptaket, hos trærne. Det antas at klimaendringene vil bidra til økt forekomst av tørke i vekstsesongen. Det er også usikkert hvor mye av den økte veksten etter gjødsling som er et resultat av økt karbonopptak, og hvor mye som skyldes reallokering av karbon i treet. Økt vekst kan delvis være forårsaket av lavere investeringer i rotsystem og overføring av karbon til jordorganismer (Lim mfl. 2015; Tarvainen mfl. 2016). I sum er det fortsatt store forskningsbehov for å fullt ut forstå hvor og når nitrogen gjødsling vil ha en god effekt, noe som bidrar til usikkerhet ved tiltaket.

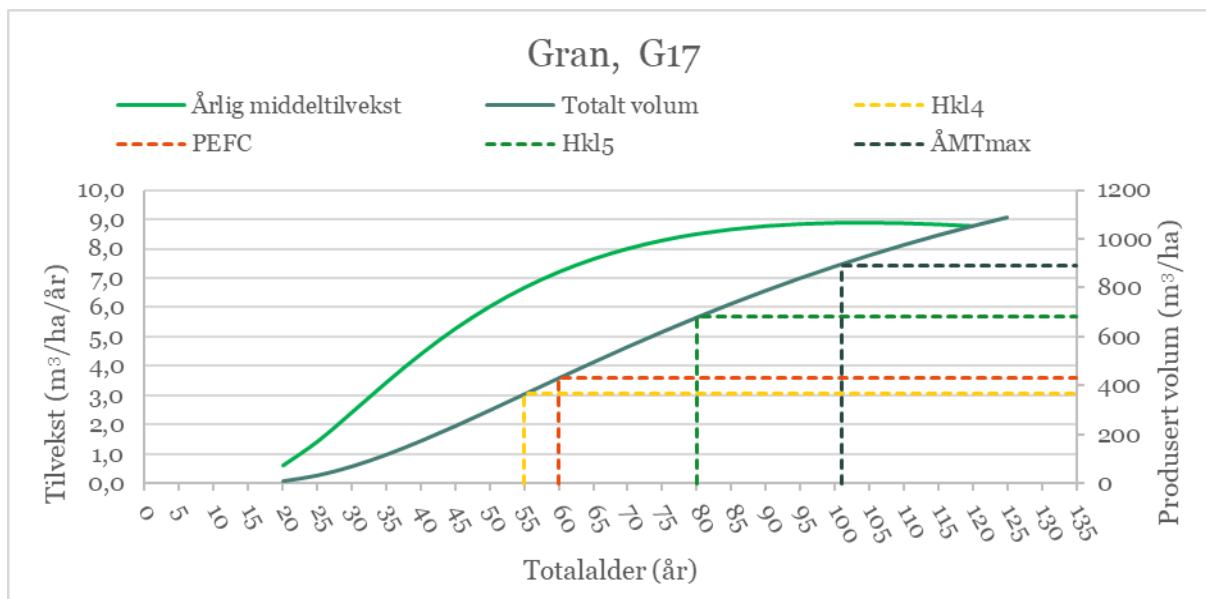
Samspillseffekter med andre klimatiltak

Det kan være positive synergieffekter både med L05 Ungskogpleie, L08 Råtebekjempelse, og tynning, siden effekten av gjødsling blir størst i skjøttede, friske bestand med passe tetthet.

2.2.9 Hogsttidspunkt

Hogstklassen til et skogbestand benyttes til å karakterisere skogens utviklingsstadium, ut fra bestandets alder, markas produksjonsevne (bonitet) og dominerende treslag. I dette ligger f.eks. at nedre aldersgrense for en gitt hogstklasse er lavere på høy bonitet enn på mindre produktive arealer. Hogstklasse 1 er skog under foryngelse, i hogstklasse 2 har de etablerte plantene enda ikke nådd nyttbare dimensjoner, hogstklassene 3 og 4 er yngre og eldre produksjonsskog, mens i hogstklasse 5 har skogen nådd et utviklingsstadium hvor den normalt betraktes som hogstmoden. I ensaldret skog med normal tetthet er tilveksten på sitt høyeste i hogstklasse 3 og 4, mens i hogstklasse 5 har tilveksten avtatt, og skogskader begynner ofte å tilta. I frisk skog vil imidlertid den gjennomsnittlige tilveksten regnet over ett helt omløp fortsette å øke utover nedre aldersgrense for hogstklasse 5 (ÅMTmaks i Fig. 2). Alderen hvor årlig middeltilvekst kulminerer benevnes også som *biologisk hogstmodenhetsalder*. Dette vil da være den optimale hogstalderen gitt at forvaltningsmålet er maksimal volumproduksjon.

Statistikk fra Landsskogtakseringen viser at over en tredjedel av skogen (årlig hogstareal) sluttavvirkes før hogstklasse 5 (Belbo & Granhus 2025). De fant også at andelen har økt noe siden starten på 2000-tallet.



Figur 2. Årlig middeltilvekst og totalt produsert volum i et granbestand med optimal tetthet på bonitet G17. Figuren viser akkumulert tilvekst (totalt produsert volum) ved inngangen til hogstklasse 4, ved PEFCs minstealder for hogst, ved inngangen til hogstklasse 5, og ved middeltilvekstens kulminasjon (ÅMTmax). Figur fra Belbo og Granhus (2025).

Siden korrelasjonen mellom trærnes volumtilvekst og karbonopptaket i stående trebiomasse er tilnærmet lineær, vil en hogstalder som maksimerer årlig middeltilvekst samsvare tett med alderen som maksimerer bestandets netto CO₂-opptak sett over et omløp. Tidspunktet for hogst påvirker følgelig evnen skogen har til å ta opp og lagre karbon over tid i betydelig grad. Tidlig hogst, mens den løpende tilveksten fremdeles ligger over kulminasjonspunktet for årlig middeltilvekst, reduserer karbonopptaket i skogen. Av dette følger det logisk at å utsette hogsten til utover kulminasjonspunktet for årlig middeltilvekst også vil redusere opptaket i levende biomasse, mens det stående karbonlageret vil fortsette å øke forutsatt at sunnheten i bestandet fortsatt er god. Klimanytten av å øke hogstalderen vil dermed avhenge av hvilke «alternative» hogstaldre man sammenligner med, risiko for tiltakende skogskader, og om man vektlegger et høyest mulig opptak eller størst mulig stående karbonlager som viktigst for klima. Eksempelvis fant Lundmark mfl. (2018) positiv effekt på tilveksten og karbonlager i svensk skog av å øke omløpstida moderat (10 år) utover vanlig hogstmodenhetsalder, men negativ effekt ved en økning på 20 (gran) og 30 år (furu). Denne modellbaserte studien inkluderte også simulering av effekter på jordkarbon. Forfatterne konkluderte med at en moderat økning av hogstalder utover det som er vanlig vil ha en positiv klimaeffekt. En annen studie fra Sverige viste at å øke omløpstiden med 20% ga en positiv klimaeffekt i minst 25 år, før effekten ble utlignet av økte utslipp (Schulte mfl. 2022).

Tiltak for å regulere hogstalder vil naturlig nok også påvirke potensialet for hogst på kort og lang sikt. Minstealder for hogst er i dag ikke regulert i offentlig lovverk, men er inkludert i Norsk PEFC Skogstandard (Anon. 2022). Aldersgrensene i PEFC-standarden tilsvarer tilnærmet 75 % av biologisk hogstmodenhetsalder etter produksjonstabellene for ensaldret skog, mens den biologiske hogstmodenhetsalderen er i størrelsesorden 25-58 år høyere enn nedre alder for hogstklasse 5, avhengig av bonitet og treslag (Tab. 5).

Tabell 5. Laveste totalalder for hogst i gran- og furuskog på ulike boniteter etter forskjellige kriterier; minste tillatte alder i henhold til PEFC, nedre alder for hogstklasse 5, og biologisk hogstmodenhetsalder (ÅMTmaks).

Bonitet (H40)	PEFC	Hogstklasse 5	ÅMTmaks	
	Gran- og furuskog	Gran- og furuskog	Granskog	Furuskog
6	95	120	169	188
8	85	110	147	159
11	80	100	127	131
14	70	90	112	113
17	60	80	101	103
20	50	70	93	93
23	45	60	87	85
26	40	-	83	81

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

For flertallet av skogeierne vil den økonomiske hogstmodenheten til et skogbestand være avgjørende for om man velger å hogge nå eller senere. Sentralt i slike økonomiske vurderinger er skogeiers rentekrav, som henger sammen med både likviditetsbehov og muligheten for alternativ (bedre) avkastning på kapital bundet i stående skog. Noe grovt kan en si at et avkastningskrav på rundt 2,5 % samsvarer med en hogstalder tilsvarende nedre hogstklasse 5, mens et økende avkastningskrav gir lavere hogstalder (Bergseng mfl. 2018). Hvilke tømmerdimensjoner som er best betalt, drifter i nabobestand, forventning om utvikling i tømmerpriser, arealbruksendringer eller skogens sunnhet er andre faktorer som i praksis ofte styrer hogsttidspunktet (Belbo & Granhus 2023, 2025). Nytteverdien i klimasammenheng av å forlenge omløpstiden utover vanlig hogstmodenhetsalder må også sees i sammenheng med økt risiko for skader, noe som er en utfordring spesielt ved overholdelse av granskog på råteutsatte marktyper (Thor mfl. 2005, Hylan & Granhus 2018).

Et varmere, våtere klima fører til at skogen noen steder vokser seg tidligere hogstmoden, mens vi andre steder forventer mer skader i eldre skog etter vindfall, tørke og råte (Hanssen mfl. 2019). En spørreundersøkelse som hadde som formål å kartlegge skogeieres motivasjon for å iverksette hogst viste at skogskader (faktiske skogskader eller bekymring om at skogskader vil kunne inntreffe) var en viktig årsak bak hogstbeslutningen hos 50 % av dem som hadde avvirket yngre skog (Belbo & Granhus 2023). Skadebildet kan i noen tilfeller gjøre det nødvendig å avvirke eldre granskog før man ellers ville hogd, for eksempel for å unngå angrep av granbarkbiller som kan spre seg til omkringliggende skog (Hanssen mfl. 2019, Hlásny mfl. 2019). Det kan da også være det beste for CO₂-opptaket i skogen. Det er imidlertid forskjeller mellom eldre homogen skog og eldre strukturrik naturskogsnær skog, der strukturrik skog er mindre utsatt for barkbilleangrep enn mer homogen skog (Müller mfl. 2022).

Forskrift om berekraftig skogbruk, kap. 4, vil også legge føringer for hogsttidspunktet. Den pålegger skogeier å sørge for at nødvendige hogster og oppryddingstiltak mv. blir gjennomført så raskt som mulig når skog er skada som følge av storm, tørke, skogbrann, snøbrekk o.l. og det er gitt varsel om at det er risiko for insektsverming eller soppangrep.

Status og potensial for økt karbonopptak

I Sjøgaard (2024) er kortsiktige effekter av hogsttidspunkt på CO₂-opptak beskrevet slik:

«For hogsttidspunkt vil en hogstalder optimalt for klima i utgangspunktet innebære forlenget omløpstid sammenliknet med økonomisk hogstmodenhetsalder. Dersom en hogger ved middeltilvekstens kulminasjon, vil en i prinsippet maksimere netto CO₂-opptak i levende biomasse over tid. En slik forlenget omløpstid gir også sjeldnere hogstinnngrep i et langt tidsperspektiv (flere omløp), og mindre tap av jordkarbon fra hogst (Mayer mfl. 2020). Effekten på netto opptak i norsk skog på kort sikt vil imidlertid avhenge av en rekke forhold. Dersom hogstvolum opprettholdes, vil hogsten kunne flyttes til andre arealer og en kan se for seg at arealer med eldre skog med lavere bestokning avvirkes, og dermed et større areal. Tiltaket kan da potensielt ha en negativ effekt på opptak i norsk skog på nasjonalt nivå på kort sikt. Dersom tiltaket medfører redusert hogstvolum, kan effekten bli motsatt da en både styrker opptaket i stående skog på kort sikt og reduserer utslipp knyttet til hogst. Overholdelse av ensaldret skog kan imidlertid medføre en forhøyet risiko for skogskader».

Det er gjort beregninger av effekter på CO₂-opptak av hogst ved forskjellige bestandsaldre (Sjøgaard mfl. 2015, Bergseng mfl. 2018), men det mangler imidlertid en analyse av hvordan økt hogstaldre vil påvirke tømmerutgangen på kort sikt.

Det ligger ikke innenfor denne rapportens rammer å gjøre nye beregninger av klimaeffekten av å unngå tidlig hogst eller forlenge omløpstiden. Men fremtidige, nye vurderinger av klimaeffekten av hogsttidspunkt kan for eksempel innbefatte 1) unngå for tidlig hogst (hogst før hogstmodenhetsalder), 2) forlenget omløpstid utover vanlig hogstmodenhetsalder, og 3) hogsttidspunkt basert på skogens helsetilstand, med tidlig hogst i bestand med større skader.

Samspillseffekter med andre klimatiltak

Bruk av foredlet materiale som beskrevet i L02 Skogplanteforedling vil framskynde den økonomisk optimale hogstmodenhetsalder, og tidspunktet for middeltilvekstens kulminasjon. Vekst og helsetilstand påvirkes også av mange av de andre tiltakene, som plantetetthet, ungskogpleie, nitrogengjødsling og råtebekjempelse. Tynning vil i noen grad også bidra til å øke alderen for både middeltilvekstens kulminasjon og økonomisk optimal hogstaldre i ensaldret skog (Kuehne mfl. 2025c). Et økt uttak av tømmer fra tynninger vil også bidra til å kompensere for et midlertidig redusert tømmerkvantum fra sluttavvirkninger dersom f.eks. alder ved sluttavvirkning økes i forhold til i dag.

2.2.10 Råtebekjempelse

Råte skader først og fremst gran, og rotkjuke er den største skadegjøreren (Solheim mfl. 2013). Smittede skoger gjennom luftbårne soppsporer på åpne sårflater, eller gjennom rotkontakter mellom nærstående trær. Rotkjuke råten bryter ned biomasse, som medfører et utslipp av CO₂, at kvaliteten og styrken på trevirket reduseres slik at det ikke kan brukes til langlevde produkter, og at energiinnholdet i trevirket reduseres (Sjøgaard mfl. 2023).

Basert på biologien til rotkjuke har man gode grunner til å forvente at omfanget av rotkjuke i Norge kommer til å øke, på grunn av videre økning av hogst om sommeren og at klimaendringene gir mildere vintre (Solheim mfl. 2013). Varmere somre med lengre vekstsesong gjør at perioden med høy sporeproduksjon og gode infeksjonsbetingelser blir lenger. Mildere vintre med lengre snøfrie perioder gir økt smittefare også ved vinterhogst.

Også fururotkjuke, som i dag er mest utbredt på Vestlandet nord til Nordmøre, kan få økt utbredelse som følge av klimaendringer (Hanssen mfl. 2019).

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

Innretningen av tiltak mot råte er det samme som i ordinært skogbruk. Mulige bekjempelsestiltak er hogst i frostperioder så langt det er mulig, bruk av stubbebehandling i form av urea eller Rotstop ved hogst i milde perioder, og eventuelt skifte av treslag eller etablering av blandingsskog der råten har infisert granbestand (Hanssen mfl. 2019, Søgaard mfl. 2020a). Tiltaket gir en klar effekt med hensyn til reduksjon av råteinfeksjon når det stubbebehandles i forbindelse med tynning, mens det er færre studier som har undersøkt effekten av å stubbebehandle ved sluttavvirkning. Omfanget av stubbebehandling i forbindelse med hogst er imidlertid betydelig lavere i Norge enn i f.eks. Finland og Sverige (Hietala mfl. 2016).

Status og potensial for økt karbonopptak

I Søgaard mfl. (2020a) ble effekten av stubbebehandling simulert med Rotstand-modellen (Pukkala mfl. 2005), som er utviklet for å predikere tilvekst og utvikling av råte i bestand angrepet av rotkjuke. Ni ulike scenarier med og uten tynning og stubbebehandling mv. ble simulert. Effektene på CO₂-opptak per dekar ble beregnet.

Råte hos gran påvirker først og fremst trær som har dannet kjerneved, og råteutvikling foregår som regel i stammekjerneved over mange tiår uten at treet dør. Søgaard mfl. (2020a) konkluderte med at stubbebehandling påvirker karbonlagring i skog ubetydelig de første 40 år, men at effekten etter det øker jevnt og blir høyest ved sluttavvirkning. En potensiell klimaeffekt av tiltaket gitt stubbebehandling på alle aktuelle arealer ble funnet å være ca. 1 mill. tonn økt CO₂-opptak årlig i 2100.

Samspillseffekter med andre klimatiltak

Siden treslagsskifte og blandingsbestand kan redusere risikoen for råteinfeksjon og videre spredning til nabotrær, er det samspill med L03 Treslagsvalg. Råtebekjempelse vil også påvirke L07 Hogsttidspunkt.

2.2.11 Grøfterensk etter hogst

Etter hogst på tidligere grøftede arealer vil grunnvannsspeilet ofte heves. Grøfterensk betyr å rense allerede eksisterende grøfter i samband med hogst for å senke grunnvannsstanden igjen, slik at foryngelsen etableres og ungsbogen vokser optimalt (Skogkurs 2019). Historisk sett har det blitt grøftet mye for økt skogproduksjon, og både eksisterende skogsmark og myr har blitt drenert. Basert på registreringer i Landsskogtakseringen har vi i dag omtrent 2,7 millioner dekar grøftet skog (Søgaard mfl. 2020a, Stokland mfl. 2022). Nygrøfting av myr er ikke lenger tillatt, men det foregår fortsatt noe nygrøfting på fastmark.

Det meste av grøftingen for å øke skogproduksjonen skjedde i mellomkrigstida og på 1950-1970 tallet, og dreneringseffekten er ofte betydelig redusert grunnet gjengroing av grøftene over tid (Stokland mfl. 2022). Det er ikke nødvendigvis problematisk så lenge en har et skogbestand på arealet som bidrar til å senke grunnvannsnivået gjennom trærnes transpirasjon. Etter hogst opphører imidlertid trærnes selvdrenerende effekt, og det vil da bli et høyere grunnvannsnivå som reduserer mulighetene til god foryngelse og skogproduksjon (Kvaalen 2019).

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

Innretningen av tiltaket er det samme som i ordinært skogbruk. I Skogkurs' «Norm for grøfting etter hogst på skogsmark» (Skogkurs 2019) anbefales det at grunnvannsspeilet senkes med 30-40 cm gjennom grøftingen. For å redusere vannhastigheten og hindre erosjon er det viktig å legge grøftene med lite fall. Andre tiltak for å hindre erosjon og avrenning av næringsstoffer er å skape filtreringssoner, og eventuelt slamgroper. En grøft skal heller aldri føre direkte ut i et vassdrag, men slippes inn i en minst 20 m bred kantsone langs vassdraget.

Norsk PEFC Skogstandard tillater grøfterensk etter hogst, gitt visse retningslinjer (Anon. 2022). Tiltaket kan for eksempel ikke utføres i utvalgte eller trua naturtyper eller endre hydrologien i biologisk viktige områder og verneområder, og grøfter kan ikke ledes rett ut i bekker, elver eller andre vannmiljøer.

Barrierer for gjennomføring av tiltaket

Kostnader for skogeier er en barriere, særlig der gravemaskin ikke alt er på stedet for å reparere kjøreskader. Skogeier må avveie dagens investeringskostnad opp mot avkastning av tiltaket, som kommer langt fram i tid. Usikkerhet blant skogeierne rundt effekter på miljø, rekreasjon og friluftsliv kan også være barrierer.

Status og potensial for økt karbonopptak

Kunnskapsgrunnlaget for grøfterensk etter hogst ble beskrevet i underlagsrapporten til Klimakur 2030 (Søgaard mfl. 2020b) og i supplementsrapporten (Søgaard mfl. 2020a). I tillegg er temaet behandlet i oppdatert kunnskapsgrunnlag fra 2023 (Søgaard mfl. 2023). Stokland mfl. (2022) gir en oppdatert oversikt over grøftede skogarealer og grøftenes tilstand.

Klimaeffekten i levende biomasse ble i Søgaard mfl. (2020a, b) beregnet gjennom 1) en enkel, teoretisk tilnærming basert på Kvaalen (2019), hvor man forutsatte en reduksjon av bonitet dersom det ikke utføres grøfterensk på tidligere grøftet areal. Det ble lagt til grunn en antagelse om at vedlikehold av dreneringen i et bestand gjennom grøfterensk og/eller suppleringsgrøfting vil gi en heving med en bonitetsklasse sammenliknet med om en ikke gjennomfører dreneringstiltak etter hogst, og 2) basert på observert tilvekstrespons fra svenske bestand. Klimaeffekten for jordkarbon ble konservativt anslått til 0, og det ble ikke funnet grunnlag for å estimere netto effekter på metan og lystgass. Samlet effekt på årlig økt opptak ble anslått til mellom 1,2-3,6 mill. tonn CO₂-ekvivalenter i 2100, og med lav effekt på kortere sikt (Søgaard mfl. 2020b). Det er imidlertid usikkerhet i disse estimatene og behov for mer kunnskap.

Samspillseffekter med andre klimatiltak

Grøfterensk utføres i kombinasjon med sluttavvirkning og etterfølgende foryngelse. Det vil derfor ha samspillseffekter med foryngelsestiltakene L04 Økt plantetetthet og L03-2 Tilfredsstillende foryngelse. I en del tilfeller kan det også være aktuelt å gjennomføre grøfterensk sammen med markberedning. En slik kombinasjon vil være spesielt hensiktsmessig og kostnadseffektivt i mindre bestand der det er rasjonelt å benytte gravemaskin eller traktorgraver til markberedning.

2.2.12 Planting av skog på nye arealer

Planting av skog på nye arealer ble utredet i 2013 (Miljødirektoratet mfl. 2013) og beregninger av samlede effekter er vist i Søgaard mfl. (2019). Tiltaket kan inkludere å plante til både åpne

arealer som er i starten av en gjengroingsfase, og uskjøttede lauv- og blandingsskogsområder der skogproduksjonen kan økes ved å bytte treslag.

Omtrent 92 % av det aktuelle arealet i Norge for slik skogplanting er allerede i ferd med å gro igjen, og fyller teknisk sett allerede skogdefinisjonen (10 % kronedekning). Planting på disse arealene kan betraktes som «framskyndet etablering av skogbestand». For de resterende 8 % som er helt åpne arealer, kalles tiltaket påskoging (Søgaard mfl. 2023).

Innretning av tiltaket og sammenlikning med dagens skogbrukspraksis

I ulike utredninger (Miljødirektoratet mfl. 2013, Søgaard mfl. 2019) er det primært fokusert på planting på gjengroingsarealer og treslagsskifte til gran. Men tiltaket er ikke begrenset til gran som treslag, også furu, europalerk og ulike lauvtreslag kan være aktuelle. Utenlandske treslag, som sitkagran og lutzgran, kan ifølge Norsk PEFC Skogstandard (Anon. 2022) kun benyttes på arealer der det har vært plantet utenlandske treslag for skogbruksformål tidligere, noe som i hovedsak gjør dem uaktuelle for dette tiltaket.

Som diskutert tidligere vil økt bruk av treslagsblandinger og/eller en økt andel av lauvtrebestand kunne redusere risikoen for klimarelaterte skogskader. De ulike lauvtreslagene vil imidlertid gjerne ha en god del lavere volumproduksjon enn bartrær, både på Øst- og Vestlandet (Øyen & Tveite 1998, Øyen & Böhler 2011), selv om forskjellene i total biomasse og karboninnhold kan være mindre enn for volum (Søgaard mfl. 2023). Det kan være større utfordringer med foryngelsen av lauvtreslag, særlig på grunn av beiting.

Status og potensial for økt karbonopptak

Planting av skog på nye arealer har i tidligere analyser inkludert også planting av gran på gjengroingsmark som allerede når skogdefinisjonen. Rydding av disse arealene før planting medfører et utslipp i begynnelsen, og det tar tid før dette er «tilbakebetalt». På slike arealer kan tiltaket derfor ha negativ effekt på kort sikt (Bright mfl. 2020). På lengre sikt er imidlertid klimaeffekten positiv, også når en tar hensyn til redusert albedo ved planting av gran sammenlignet med naturlig gjengroing med lauvtrær.

I Søgaard mfl. (2019) ble klimaeffekten av planting med gran på klima, miljø og næring vurdert ut fra tre ulike kriterier med definerte nivåer:

- Bonitet (middels, høy og svært høy)
- Gjengroingsgrad (åpent, tidlig og sen gjengroing)
- Hogsttidspunkt (økonomisk optimalt og alder ved middeltilvekstens kulminasjon)

Klimanytten ble definert som netto endring i karbonbeholdningene i levende biomasse, død ved og jord, samt betydningen av endringer i albedo omregnet til karbonekvivalenter, men uten substitusjonseffekter. Planting med gran på gjengroingsarealer ga klimanytte sammenlignet med ingen behandling ved alle nivå av de tre kriteriene. Den generelle trenden var høyere klimanytte på bedre boniteter, ved tidligere gjengroingstidspunkt og ved avvirkning ved kulminasjon av årlig middeltilvekst sammenliknet med ved økonomisk hogstmodenhet.

Nye vurderinger av klimanytten kan f.eks. innbefatte andre treslag enn gran ved planting av skog på nye arealer.

Samspillseffekter med andre klimatiltak

Det er samspillseffekter for eksempel med L02 Skogplanteforedling og L03 Treslagsvalg.

2.3 Andre tiltak som potensielt kan bidra til redusert utslipp eller økt opptak

I tillegg til tiltakene som er beskrevet over, kan andre tiltak være aktuelle for å øke opptak eller redusere utslipp av klimagasser i skogøkosystemet. Det vil imidlertid ikke være mulig å gi en grundig gjennomgang av andre tiltak innenfor rammene av dette oppdraget.

Under gis en kort vurdering av tiltakene hogstform, ivaretagelse/økning av jordkarbon, økt avsetning/vern av skog og restaurering av grøftet myr og sumpskog.

2.3.1 Hogstform

Etter ca. 1940 har bestandsskogbruket vært dominerende i norsk skogbruk (Nygaard & Øyen 2020). Hogstformene har i stor grad vært flatehogst og planting i granskog, og frøtrestillingshogst og naturlig foryngelse i furuskog.

De seinere åra har imidlertid interessen for *lukkede hogster* økt. Hovedformene av lukkede hogster er selektiv hogst (bledning), skjermstillingshogst og gruppehogst (Rautio mfl. 2025). En beskrivelse av de enkelte hogstformene, mulig innretning på tiltaket og sammenlikning med dagens praksis er gitt i Granhus mfl. (2024).

Ca. 10 % av arealet har vært avvirket med andre hogstformer enn flatehogst og frøtrestillingshogst, som småflater, kanthogst eller lukket hogst (Landbruksdirektoratet 2024a).

Barrierer for gjennomføring av tiltaket

Mangel på skogarealer som egner seg for lukket hogst, særlig selektiv hogst, kan være en hindring (Granhus mfl. 2024). Økte driftskostnader (Rautio mfl. 2025) gjør at kostnad for skogeier er en barriere. Det samme er usikkerhet rundt tiltakets effekt på skogproduksjon eller skader, for eksempel rotråte.

Status og potensial for økt opptak

Rapporten til Granhus mfl. (2024) gir en gjennomgang av potensielle effekter på karbondynamikk (og også konsekvenser for miljø og næring) av å øke bruken av lukkede hogstformer. En viktig forutsetning for beregningene var at avvirkningskvantumet skulle holdes konstant. Kapasiteten til å ta opp og lagre karbon i norsk skog fram mot år 2100 ble sammenlignet for tre scenarier: Business-as-usual (BAU) med ca. 4 % lukket hogst, et Medium-scenario med inntil 15 % og et Maks-scenario med inntil 25 % lukket hogst.

Beregningene viste at økt andel lukket hogst førte til kumulativt mer opptak av CO₂ fram mot 2100. Maks- scenariet hadde høyest akkumulert opptak, tilsvarende et tilleggsopptak på 31,8 og 8,0 Mt CO₂ sammenlignet med hhv. BAU og Medium-scenariet. Forskjellene må tolkes i lys av at *arealet* som påvirkes av hogst for å opprettholde samme hogstkvantum ble høyere for Medium- og Maks-scenariet enn for BAU. Det gjør at andelen areal som skjøttes aktivt totalt sett ble høyere, og dermed også andelen skog i optimal produksjonsalder. Når det akkumulerte opptaket ble fordelt på totalt areal påvirket av hogst, fikk man en rangering der BAU-scenariet gav høyest akkumulert opptak per ha, med en differanse på 55,8 tonn CO₂

relativt til Maks- og 27,8 tonn høyere enn Medium-scenariet. Vurdert per arealenhet er det dermed ikke et godt klimatiltak å øke andelen lukkede hogster.

Samspillseffekter med andre klimatiltak

Mulighetene for valg av hogstmetode er i stor grad avhengig av egenskaper ved bestandet, inkludert treslag, stabilitet og sjukting. I tillegg er potensiell spredning av råte en ulempe særlig ved selektiv hogst i granskog. Det er derfor samspillseffekter knyttet til L03-1 Treslagsvalg, L05 Ungskogpleie, L08 Råtebekjempelse og tynning. Fordi naturlig foryngelse benyttes i stor grad ved lukkede hogster, vil tiltak som går på foryngelse ved planting, som L04 Økt plantetetthet, være mindre aktuelt der man bruker lukket hogst. Det samme gjelder markberedning, på grunn av risikoen for å skade gjenstående trær, og L06 Nitrogengjødsling siden man i større grad har sjuktede bestand hvor hogsten gjennomføres i flere trinn.

2.3.2 Ivaretagelse / økning av jordkarbon

I boreal skog på fastmark kan jordkarbonet utgjøre 45-70% av det totale karbonet i skogøkosystemet (Dalsgaard mfl. 2016). Tiltak som ivaretar og eventuelt øker jordkarbonet vil derfor kunne være gode klimatiltak. Under gjøres en kort gjennomgang av tre ulike tiltak som potensielt kan bidra til dette, og også påvirke karbonmengden i hele økosystemet i positiv retning.

Reduksjon av kjøreskader og andre fysiske forstyrrelser av jordsmonnet: Ved hogst brukes tunge maskiner i skogen, noe som kan lede til kjøreskader og jordpakking. Typiske eksempler er kjøring under fuktige forhold på tint jord, i tilfeller der det ikke er nok kvist til armering av stikk- og kjøreveier, og ved kryssing av bekker og småelver. Med et varmere klima forekommer kjøring på tint jord oftere enn før. Jordpakking resulterer i redusert porøsitet, noe som medfører mindre tilførsel av oksygen og vann til mikroorganismer og planter, med negative konsekvenser for jordøkologi og skogproduktivitet. Komprimering, spesielt når det dannes hjulspor, kan føre til avrenning og erosjon av de øverste og mest fruktbare jordlagene (Cambi mfl. 2015). Konsekvensene for karbonlageret i skogsjord er likevel fortsatt delvis ukjente. Review-artikkelen til Cambi mfl. (2015) konkluderte med at det ikke er funnet noen umiddelbare eller kortsiktige betydelige effekter i eksisterende studier, bortsett fra i tilfeller med alvorlig forstyrrelse eller vått jordsmonn. Alle tiltak som kan redusere kjøreskader må likevel sees på som positive, gjennom at det kan gi redusert avrenning og erosjon i karbonrike jordlag og bedre vekstforhold for trærne. I tillegg kommer positive effekter for rekreasjon og biologisk mangfold. En barriere for tiltaket er at mildere klima nettopp gjør det vanskeligere å finne tidspunkter på året hvor bakken er frossen, og at skogindustrien trenger virke gjennom hele året.

Unngå uttak av GROT (greiner og topper) ved tynning og slutthogst: Hogstrester som greiner og topper blir vanligvis liggende på skogbunnen etter hogst. Men GROT kan også samles og høstes for å utnytte biomassen til produksjon av f.eks. varme, biodrivstoff eller biokull. Slikt uttak kan redusere karbonlageret i skogen, siden det innebærer fjerning av organisk materiale som ellers kunne ha bidratt til karbonlageret i jorda (Johnson & Curtis 2001). Imidlertid blir greiner og topper som blir liggende igjen etter hogst utsatt for gradvis nedbrytning, og bare en liten del blir omdannet til mer stabile former for karbon (Prescott 2010). Følgelig kan forskjellen i karbonlagre knyttet til uttak av GROT være stor i begynnelsen, men avta over tid (Ranius mfl. 2018). GROT som høstes vil også substituere bruk av fossile ressurser, eller eventuelt bidra til langvarig lagring av karbon i jord gjennom biokull.

Andre effekter som må tas med i beregningen er at GROT-uttak også innebærer uttak av næringsstoffer, som kan påvirke skogens vekst. Resultatene av GROT-uttak varierer mellom studier, fra ingen til negativ effekt, og er avhengig av blant annet treslag og tidspunkt for uttaket (Egnell 2017, Ranius mfl. 2018, Hjelm mfl. 2019). Greiner og topper brukes til armering av kjøreveier for å redusere kjøreskader, og å unngå uttak kan være bra med tanke på dette (se foregående avsnitt).

I dag er uttaket av GROT beskjedent, men kan være en inntektskilde der det gjøres. Reduserte inntekter hvis uttak av GROT ikke kan utføres, kan dermed være en barriere.

Biokull: Å tilføre biokull til skogsjord er et potensielt tiltak for karbonlagring fordi biokull er svært rikt på karbon, meget motstandsdyktig mot nedbrytning, kan øke netto primærproduksjon, og mengdene som tilføres kan være høye, opptil 10-60 tonn/ha (Woolf mfl. 2010, Gurwick mfl. 2013, Fuss mfl. 2018, Lehmann mfl. (2021) anslø potensialet til biokull for reduksjon av klimagassutslipp på verdensbasis til å være 3,4-6,3 Pg (milliarder tonn) CO₂-ekvivalenter. For norsk skog har Hagenbo mfl. (2022) anslått at dersom 70 % av tilgjengelig mengde hogstavfall (GROT) brukes til å produsere biokull, vil dette tilsvare 17% av utslippene i jordbrukssektoren i Norge, eller 1,5 % av det totale utslippet. I denne beregningen tok de hensyn til endringer i jordkarbon som følge av uttak av GROT. Å tilføre biokull kan dermed være et klimatiltak, men det er flere barrierer for utstrakt bruk til jordforbedring og karbonlagring i skog, blant annet begrenset tilgang og høy pris (Hanssen mfl. 2023, Weldon mfl. 2025).

2.3.3 Økt avsetting og vern av skog

Vern av skog som klimatiltak er tidligere vurdert av Landbruksdirektoratet, Miljødirektoratet og NIBIO i et oppdrag fra Klima- og miljødepartementet og Landbruks- og matdepartementet (Miljødirektoratet 2016). Tiltaket ble der vurdert som vern mot skogsdrift, det vil si unngått hogst av skog som ellers ville blitt avvirket, og ikke som et tiltak mot avskoging eller nedbygging. Rapporten konkluderte med at «det er vanskelig å finne grunnlag for å si at vern av skog i Norge er bedre enn bærekraftig skogbruk som et tiltak for å motvirke klimaendringer». Samtidig var konklusjonen ikke entydig i den forstand at bruk av skog ble vurdert som klart bedre enn vern. Det ble imidlertid skissert at skogbruk kan være gunstigere enn vern dersom man legger til grunn substitusjonseffekter

Vurderingen i Miljødirektoratet (2016) er overordnet og generell, og går i liten grad inn i betydningen av konkrete skogtyper, aldersstruktur eller jordkarbon. Slike forutsetninger kan imidlertid være avgjørende for den faktiske klimaeffekten av vern. Det er ikke rom for å gjennomføre en ny, fullstendig vurdering her, men vi belyser enkelte forutsetninger som kan gi et bedre grunnlag for å vurdere vern av skog som klimatiltak, særlig knyttet til karbonbalanse i gammel skog sammenlignet med skog drevet etter ordinære skogbruksregimer.

Det er ikke gjort kvantitative beregninger av klimaeffekten av økt avsetting eller vern av skog i Norge. Dette er imidlertid gjort i Sverige og Finland, og en lang rekke studier viser at redusert hogst, enten gjennom økt vern eller lavere uttak av årlig volumtilvekst, gir en positiv klimaeffekt i et tidsperspektiv som varierer mellom 50-200 år (Gustavsson mfl. 2017, Lundmark mfl. 2018, Gustavsson mfl. 2021, Skytt mfl. 2021, Petersson mfl. 2022, Schulte mfl. 2025). På lang sikt (altså over 50-200 år, varierende mellom forskjellige studier og ulike forutsetninger) kan effekten imidlertid være negativ (Gustavsson mfl. 2017, Skytt mfl. 2022).

I flere av disse studiene kommer også aktiv bruk av skogen bedre ut enn vern (Gustavsson mfl. 2017, 2021, Petersson mfl. 2022), fordi produkter fra skogen ikke kan brukes til substitusjon ved vern. Men effekten er avhengig av hvordan man beregner substitusjonen, som diskutert i Skytt mfl. (2021) og Englund mfl. (2025).

Det er ikke faglig konsensus om hvilket tidsperspektiv som skal legges til grunn for å vurdere om et gitt tiltak er et godt klimatiltak eller ikke. For de tiltakene hvor vi gjør kvantitative vurderinger (økt tilfredsstillende foryngelse, ungsogspleie, nitrogengjødsling og bruk av foredlet plantemateriale) beregner vi klimaeffekten innen en tidsramme på ca. 50 år (frem til 2075), og det er derfor rimelig å bruke den samme tidsperioden ved den kvalitative vurderingen av vern/avsetting som klimatiltak i denne settingen.

Mesteparten av skog som vurderes for vern eller avsetting er gammel skog (hogstklasse 5 og eldre) og vi utdyper derfor noe om karbondynamikk i slik skog i teksten nedenfor, hovedsakelig basert på Hasegawa mfl. (2025).

I gammel skog (50-100 år over hogstmoden alder) antas karbonbalansen (opptak minus utslipp av CO₂) å være stabil eller svakt økende over tid (Gleixner mfl. 2009, Gundale mfl. 2024), selv om noen studier viser avtagende nettoopptak (Gleixner mfl. 2009). I en fleraldret, gammel skog tilføres dødt materiale relativt jevnt i form av strø og død ved. Samtidig skjer det en langsom, men kontinuerlig akkumulering av karbon i jord, inkludert transport til dypere jordlag der karbonet kan stabiliseres over lang tid (Gleixner mfl. 2009). I skog som ikke hogges eller utsettes for storskala naturlige forstyrrelser, unngås også perioder med store karbonutslipp knyttet til hogst eller etterfølgende nedbrytning (jf. Johannesson mfl. 2025). Selv i gammel skog fortsetter karbonopptaket så lenge trær lever, samtidig som nyrekruttering av trær skjer når gamle dør. Dermed kan fleraldrede naturskoger opprettholde et netto karbonopptak over lang tid (Gundale mfl. 2024). Dette kan imidlertid ikke nødvendigvis overføres til den skogen som vil bli gammel fremover. Den er gjerne ensaldret, og relativt tett, og har dermed en annen struktur enn den eldre, tidligere plukkhogde skogen. Det er heller ikke tilfeldig hvilken skog som har blitt gammel. Den kan gjerne ha andre voksestedsbetingelser enn skogarealer der skogen ikke har blitt gammel.

I skog som flatehogges og forynges, oppstår det derimot gjerne en periode med netto CO₂-utslipp etter hogst (Mayer mfl. 2020, Johannesson mfl. 2025). I ensaldret, yngre og eldre produksjonsskog (Hogstklasse 3 og 4), vil imidlertid netto CO₂-opptak normalt overstige det som observeres i gammel, vernet skog. På lang sikt forventes både en skjøttet skog og en naturnær skog å gå mot det som kalles *metning* på landskapsnivå. Det vil si at det ikke lenger er en netto økning i karbonlageret. En kan ikke forvente et vedvarende høyt netto CO₂-opptak i noen av skogtypene. Forskjellen i de to ligger i at i en skjøttet skog kan en høste tømmer som kan brukes til å erstatte fossilintensive produkter (substitusjon), mens en i en naturskog vil bygge opp et høyere karbonlager. Mens substitusjon er et varig bidrag til å redusere klimabelastningen (et spart utslipp kan ikke gjøres uspart), så er oppbygning av et karbonlager i skog *reversibelt*. Dette lageret kan gå tapt dersom skogen hogges, utsettes for storskala forstyrrelser eller arealet avskoges til andre formål, og CO₂ tilføres atmosfæren.

Det finnes per i dag få direkte sammenligninger av netto CO₂-opptak mellom vernet eller udrevet skog og skog som drives etter vanlig skogbrukspraksis. Madsen mfl. (2025) har imidlertid studert eldre granskoger på Østlandet gjennom parvise sammenligninger av tidligere flatehogde granskoger og granskoger som aldri har vært flatehogd. De tidligere flatehogde skogene hadde høyere CO₂-utslipp fra bakken, men også større strøtilførsel enn

skoger som ikke har vært flatehogd. I dette stadiet av suksesjonen (50–80 år etter hogst) var det derfor ingen netto forskjell i karbonutveksling fra skogbunnen mellom skogtypene. Det mangler imidlertid data for utslipp og opptak i perioden fra hogsttidspunktet og fram til i dag. Sammenligninger av totale karbonlagre over og under bakken i de samme skogene er undersøkt i EcoForest-prosjektet, men disse resultatene er foreløpig ikke publisert.

I Norge er det vanlig at 40-60 % av karbonlageret under bakken er i humuslaget (Strand mfl. 2016). Johannesson mfl. (2025) viser at flatehogst har betydelige og langvarige effekter på karbonlagrene i humuslaget i boreal barskog i Norden og Canada, mens det ikke ble funnet statistiske forskjeller for den samlede karbonmengden i humuslaget og de øverste 20 cm av mineraljorda. I granskog forble karbonlagrene i humuslaget på et lavt nivå gjennom hele den undersøkte perioden, opptil 53 år etter flatehogst. I furuskog nådde karbonlagrene i humuslaget nivået før hogst etter 48 år. De mest karbonrike skogene var også de som tapte mest karbon etter flatehogst. Tilsvarende konkluderte Fremstad mfl. (2021), basert på data fra Landsskogtakseringen, at de mest produktive skogene også har de største karbonlagrene.

Vurdering av substitusjonseffekter ligger utenfor rammene for denne gjennomgangen, men var sentrale i vurderingen til Miljødirektoratet (2016) og vil være en relevant del av vurderingen av klimanytten av ulike skogbehandling.

2.3.4 Restaurering av grøftet myrskog og sumpskog

Dette tiltaket gjelder restaurering av myr- og sumpskogsområder som var skogdekt også før grøftingen fant sted, og hvor målet er å beholde tresjiktet. Restaurering av grøftet myrskog og sumpskog betyr vanligvis å heve vannstanden ved å tette gamle grøfter. I noen tilfeller hogges også noen av trærne som har blitt etablert i perioden etter grøftingen, hovedsakelig for å få fram maskiner. Tiltaket har komplekse effekter på utslipp av klimagasser i boreal skog.

Mye av forskningen som finnes på feltet gjelder for restaurering tilbake til åpne myrer, dvs. at skogen som har kommet opp fjernes helt eller delvis ved restaureringen. Restaurering av myr reduserer vanligvis CO₂-utslipp fra jordrespirasjonen i torva, og også N₂O-utslipp (Ojanen & Minkinen 2020). Imidlertid kan reduksjonen i CO₂-utslipp oppveies av økte metanutslipp (CH₄) (Escobar mfl. 2022, Launiainen mfl. 2025, Ojanen & Minkinen 2020, Tong mfl. 2025). Restaurerte torvmarker kan derfor gi netto negativ klimaeffekt, spesielt på kort sikt (Ojanen & Minkinen 2020, Tong mfl. 2025). Hvor lang tid det tar før restaurert myr bidrar til økt netto opptak av klimagasser, varierer med forhold som næringsnivå, klima, og om myra er tredekt eller ikke (Laine mfl. 2024, Launiainen mfl. 2025, Tyystjärvi mfl. 2024). Eksempelvis fant Ojanen & Minkinen (2020) at restaurering av grøftet torvmark i boreal skog hadde en negativ klimaeffekt de første tiårene, og en ubetydelig effekt etter 100 år. I tråd med Laine mfl. (2024) fant Launiainen mfl. (2025) at restaurering av næringsrik, drenert boreal torvmark bidro til klimaoppvarming på kort og mellomlang sikt (<200 år), bortsett fra i spesifikke tilfeller der myra var næringsrik og trebestandet ble bevart. På fattig torvmark var effekten negativ også på lang sikt (>200 år), også når trærne ble bevart. Imidlertid fant Tahvanainen (2026) at restaurering av myr på fattig torvmark kunne gå over til å ha en netto kjølede effekt allerede etter 10-15 år, hvis veksthastigheten til torva var høy.

På kort til mellomlang sikt viser de fleste studier altså at restaurering fører til en netto oppvarmingseffekt på grunn av økte CH₄-utslipp. Det er likevel usikkerhet rundt beregninger

og forutsetninger, ikke minst der målet er å beholde tresjiktet, og en grundig utredning av tiltaket vil være nødvendig for å konkludere om klimaeffekt på kort sikt. På lang sikt kan imidlertid potensialet for karbonlagring og reduserte CO₂-utslipp bidra til klimakjøling (Escobar mfl. 2022, Tong mfl. 2025, Mander mfl. 2024, Tahvanainen 2026). De langsiktige fordelene ved restaurering inkluderer restaurering av torvmarksvegetasjon og gjenopprettelse av karbonlagringsprosesser (Escobar mfl. 2022, Maanavilja mfl. 2015).

3 Bakgrunn og beskrivelse av tiltak for forbedret økologisk tilstand

Landbruksdirektoratet og Miljødirektoratet har utredet en rekke tiltak som er relevante for å opprettholde eller forbedre økologisk tilstand i norsk skog (Miljødirektoratet & Landbruksdirektoratet 2023). Disse tiltakene, som er gruppert etter tiltak gjennom skogbruket og tiltak gjennom miljøforvaltningen utgjør utgangspunktet for våre vurderinger. I tillegg har vi til slutt beskrevet noen andre tiltak som ikke er med i direktoratenes liste.

Rapporten *Kunnskapsgrunnlag om økologisk tilstand i norsk skog og utredning av tiltak* fra Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet (2023) beskriver forvaltningens foreslåtte tiltak for å bedre økologisk tilstand. Nedenfor gjengir vi en kort omtale av disse, og en vurdering av forutsetninger for at tiltaket kan få tilsiktet effekt. De tiltakene som prosjektgruppen anbefaler i tillegg, blir beskrevet mer grundig.

3.1 Skogbruksforvaltningens tiltak

3.1.1 Øke andelen lukkede hogster

Tiltaket innebærer en økning av andelen lukkede hogstformer, der minst 160 trær per ha settes igjen ved hogst (skjermstilling, gruppehogst eller selektiv hogst), i stedet for åpne hogstformer. Andelen av det årlige avvirkningsarealet der det benyttes lukkede hogstformer utgjorde i 2017 knapt 7% (Stokland mfl. 2020).

Granhus mfl. (2025) gir en grundig vurdering av hvordan økt andel lukket hogst kan komme til å påvirke naturmangfold og økologisk tilstand. Generelt er det forventet kun små effekter på indikatorer for økologisk tilstand, men en positiv effekt kan forventes for enkelte artsgrupper som f.eks. mykorrhiza-sopp og epifyttisk lav. En forutsetning for at tiltaket skal være positivt for økologisk tilstand i skog er at det kommer i stedet for mere inngripende hogstformer som flatehogst og at økt andel lukket hogst ikke innebærer at totalarealet av biologisk viktig skog (f.eks. naturskogs nær skog) som avvirkes øker (jfr. Granhus mfl. 2025).

3.1.2 Øke gjensetting av døde trær ved hogst

I dag skal død ved av lauv og furu, der trærne har vært døde i mer enn ett år, og gran som har vært død i mer enn fem år spares ved hogst (Anon. 2022). I situasjoner med store mengder død ved som følge av for eksempel store stormhendelser, gjør PEFC-standarden unntak for at nylig døde lauvtrær og furu kan tas ut innen to år.

For naturmangfoldet knyttet til død ved vil det beste tiltaket for å øke gjensetting av død ved være å sikre at all død ved som finnes i bestandet før hogst settes igjen ved hogst. Dette gjelder både stående og liggende død ved av alle treslag, inkl. nylig døde trær og død ved som er resultat av f.eks. store stormhendelser/insektangrep/flom. Indikatorene for død ved er blant dem med lavest skår i fagsystemet for økologisk tilstand. Samtidig er de nøkkelindikatorer i naturindeksen på grunn av stor betydning for mange arter i skog (Framstad mfl. 2021). Økt mengde og variasjon av død ved vil være gunstig for svært mange arter. Når det gjelder død ved på hogstflater har dette en spesiell verdi for mange insektarter som bruker soleksponert død ved (Abrahamsson mfl. 2009). Siden store stormfelling og skogbrann er relativt uvanlig i norsk skog så kan hogstflater med mye og soleksponert død ved være det nærmeste man

kommer denne typen forstyrrelse i skoglandskap dominert av produksjonsskog (Shorohova mfl. 2011), mens hogstflater med lite død ved ikke fyller den samme funksjonen (Sverdrup-Thygeson mfl. 2014).

I tillegg er det en forutsetning at økt gjensetting av død ved også resulterer i at den døde veden blir værende i skogen over tid. Det finnes i dag eksempler på at død ved (også død ved som har vært død lenge) tas ut for eksempel til ved eller flisfyring (biobrensel). Ifølge Landbruksdirektoratet utgjorde tørt virke (avvirket død ved og avvirkede trær som har tørket mellom avvirkning og innmåling) i 2024 i overkant av 184 000 kubikkmeter, noe som tilsvarer om lag 1,5 % av årlig avvirkningsvolum (basert på offisiell statistikk over hogst for salg). Statistikk knyttet til biobrensel viser også at produksjonen av fjernvarme fra flisfyringsanlegg er doblet siden 2015 (SSB, Statistikkbanken kildetabell 09469), men det er ikke kjent hvor stor andel av flisen som eventuelt har sitt opphav i død ved.

Ved avvirkning forekommer det også at stående død ved kappes for å bedre fremkomst for hogstmaskiner i våte partier, men omfanget av dette er uvisst.

Det kan også være utfordrende for maskinfører å anslå hvor lenge et tre har vært dødt, noe som gjør at regelverket og PEFC kan være vanskelig å etterleve.

3.1.3 Øke gjensetting av store grove lauvtrær ved hogst

I dag settes det igjen et varierende antall lauvtrær per ha ved hogst, som en del av PEFC-standardens kravpunkt om gjensetting av «livsløpstrær», «nøkkelbiotoper» og «biologisk viktige områder». Bærekraftforskriften krever at minst fem stormsterke livsløpstrær per hektar skal settes igjen og PEFC har et krav om minst ti livsløpstrær. Av de ti livsløpstrærne i PEFC-standarden kan opptil åtte være lauvtrær (i bartredominerte bestand) og det skal være mest fokus på rødlistede treslag, edellauvtrær, og store eksemplarer av osp, selje, rogn, lønn, lind, hegg, hassel og kirsebær (Anon. 2022).

For å øke gjensetting av store lauvtrær ved hogst av bartredominerte bestand vil det være best å unngå hogst av alle stedegne grove edellauvtrær og boreale lauvtrær med en diameter over treslagstilpassede og bonitetstilpassede grenseverdier, med lavere verdier for boreale lauvtrær enn edellauvtrær og lavere terskelverdier i skog på lav bonitet enn for skog på høy bonitet, jfr. tilpassede grenseverdier mht. bestandsalder for skog som kategoriseres som biologisk gammel skog.

3.1.4 Riktig treslagsvalg etter hogst

Riktig treslagsvalg etter hogst er beskrevet som «å forynge med et treslag som i fremtiden vil opprettholde det aktuelle skogarealet med skog» og feil treslag er beskrevet som «å forynge et areal med et treslag som er utenfor sitt naturlige utbredelsesområde eller økologiske nisje» (Miljødirektoratet & Landbruksdirektoratet 2023). Det har vært vanlig å forynge med samme treslag som dominerte før hogst, men i områder med høyt beitetrykk fra hjortevilt har skifte fra furu til gran stedvis blitt gjennomført for å sikre foryngelse.

En forutsetning for at tiltaket skal bidra til bedre økologisk tilstand er at skogen forynges med det treslag som fra naturens side ville ha dominert på stedet, hvilket ikke i alle tilfeller er det samme som det treslag som ble avvirket. Riktig treslagsvalg etter hogst er også viktig i et klimatilpasningsperspektiv. Et endret klima kan føre til at gran i større grad blir utsatt for tørkestress, sykdom og insektangrep og foryngelse med gran kan derfor mange steder være forent med større risiko nå enn tidligere. I boreonemoral sone kan riktig treslagsvalg i framtida

være å forynge med edellauvtrær istedenfor gran, og å sikre foryngelse av furu på mer tørkeutsatt mark. En målsetning om å etablere ny skog med treslag som fra naturens side ville dominert på stedet og å unngå foryngelse med treslag som er utenfor sitt naturlige utbredelsesområde (for eksempel gran i ytre kyststrøk på Vestlandet og utenlandske treslag) kan komme i konflikt med målsetninger om høy produksjon. Hjorteviltforvaltningens utforming kan også ha betydning for hvor vellykket tiltaket kan bli for å bedre økologisk tilstand i skog.

3.1.5 Ungskogpleie med sikte på å bedre økologisk tilstand

Formålet med ungskogpleie er å øke produksjonen av nyttbart tømmer, som i de fleste tilfeller betyr å fremme gran eller furu. Ungskogpleie for å bedre økologisk tilstand i skog innebærer å la flere av de naturlig foryngede lauvtrærne stå igjen og derved legge til rette for mer innblanding av lauv i skogen. Dette kan også gjøre skogen mer robust.

Ved valg av hvilke lauvtrær som skal stå igjen er det spesielt viktig å prioritere rogn-osp-selje (ROS-arter) og edellauvtrær. Dette gjenspeiles også i PEFC skogstandarden som vektlegger at «*Det skal tilstrebes barblending og holt med innslag av lauv der forholdene tillater det. Videre skal det tas hensyn til viltbeite, spesielt ROS-arter*» (Anon. 2022). Siden yngre trær av ROS-artene (og enkelte av edellauvtreslagene) er foretrukket vinterbeite for elg og annet hjortevilt kan beiting begrense rekrutteringen av disse treslagene. Som for tiltaket «riktig treslagsvalg etter hogst» vil hjorteviltforvaltningens utforming kunne ha betydning for hvor vellykket dette tiltaket kan bli for å forbedre økologisk tilstand.

3.1.6 Forlenge omløpstiden

Ved en målsetning om å maksimere CO₂-opptaket i levende biomasse (trærne) bør skog ikke avvirkes før årlig middeltilvekst kulminerer (biologisk hogstmodenhetsalder), men det er nedfelt i PEFC Skogstandard at skogen kan avvirkes når den har nådd ca. 75 % av normal hogstmodenhetsalder uten at det utgjør et brudd med standarden (Anon. 2022). Det finnes imidlertid ikke noe forbud mot hogst av yngre skog. Omfanget av hogst før PEFC minstealder er beskjedent, men den totale andelen hogst i skog yngre enn hogstklasse 5 (dvs. primært i eldre hogstklasse 4) har økt siden starten på 2000-tallet, og omfatter de siste årene om lag en tredjedel av sluttavvirkningsarealet i grandominert skog (Belbo & Granhus 2025). Tiltaket «Forlenge omløpstiden» beskrives av Miljødirektoratet & Landbruksdirektoratet (2023) som todelt, der det enten kan handle om å a) innføre en minstealder for sluttavvirkning eller b) en generell økning av normal omløpstid.

Å gjennomføre a) *innføre en minstealder for sluttavvirkning*, for å unngå hogst av eldre produksjonsskog (hogstklasse 4), kan i utgangspunktet være positivt for økologisk tilstand da dette innebærer at skogsarter og prosesser som påvirkes negativt av hogst gis lengre tid til å reetablere før skogen igjen avvirkes. Det vil imidlertid være en risiko for at en slik minstealder vil kunne flytte arealer som sluttavvirknes fra areal med eldre produksjonsskog til gammel naturnær skog. Siden naturskogsner skog ofte er mer strukturrik og har flere levesteder for arter enn eldre produksjonsskog, vil en minstealder for hogst kunne innebære økt hogst av naturskogsner skog og dermed gi motsatt effekt for økologisk tilstand enn tilsiktet.

Å gjennomføre b) *generelt øke normal omløpstid* vil kunne innebære at skog blir stående lenger enn økonomisk optimal hogstmoden alder og økt risiko for skogskader og økonomisk verdiforringelse. At skog blir stående så lenge at den blir strukturrik og får økt volum og kvalitet av død ved er på den annen side positivt for artsmangfold og økologisk tilstand i skog.

Hvor lang tid skogen må stå for å danne slike strukturer avhenger av både treslag og bonitet, der lenger tid kreves i for eksempel lavproduktiv furuskog enn i høyproduktiv granskog eller lauvskog.

3.1.7 Redusere avgangen i plantefelt med bekjempelse av fremmede arter

Tiltaket er rettet mot å oppnå raskere foryngelse av stedeigne treslag etter hogst, gjennom aktiv bekjempelse av særlig rødhyll. I beskrivelsen av tiltaket (Miljødirektoratet & Landbruksdirektoratet 2023) beskrives kjemisk behandling (glyfosat) som det som er mest aktuelt, men også en kombinasjon av mekanisk og kjemisk bekjempelse diskuteres.

Glyfosat brukes i liten skala i skogbruket i dag, og først og fremst for å bedre foryngelse av gran og furu. Slik bekjempelse av lauvtrær har tidligere vært mer utbredt, og bruken er redusert som følge av bekymring for negative miljøeffekter. De viktigste bekymringene er negative effekter på andre arter, både i feltsjiktet og for lauvtrær av rogn, osp, selje og edellauvtreslagene. Det er også bekymringer knyttet til påvirkning på vannmiljø og jordbiota.

I rapporten fra Miljødirektoratet & Landbruksdirektoratet (2023) konkluderes det med at bekjempelse av rødhyll vil være positivt for økologisk tilstand i skog, uten at dette er begrunnet med annet enn at det går raskere å få opp igjen skog etter sluttavvirkning og at det blir noe mindre rødhyll på foryngelsesflatene. Det diskuteres ikke hvorvidt kjemisk bekjempelse av rødhyll også kan påvirke annet lauvoppslag negativt og dermed motvirke tiltak med sikte på å øke lauvandelen i oppvoksende skog, men punktsprøyting på individnivå vil redusere slike uønskede effekter. Det diskuteres heller ikke i hvilken grad bruk av glyfosat påvirker vannmiljøet.

Rødhyll trives best i den åpne fasen etter hogst, og vil gradvis bli skygget ut når skogen blir eldre. Foreløpig påvirker ikke indikatoren som er knyttet til forekomst av fremmede arter den økologiske tilstanden i skog i negativ retning på nasjonal skala (Framstad mfl. 2021), og det er ifølge tall fra Landsskogtakseringen 2% av den produktive skogen som har forekomst av rødhyll (Landbruksdirektoratet 2024b).

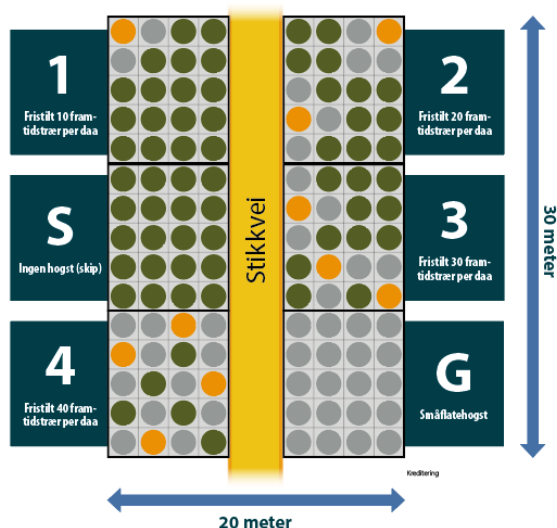
Å gjennomføre tiltaket vil ha liten samlet effekt på økologisk tilstand i skog, da denne indikatoren allerede har en høy tilstandsverdi, samtidig som det er stor usikkerhet knyttet til mulige negative effekter av tiltaket på etablering av ROS-arter og edellauvtrær og knyttet til vannmiljø og jordbiota. Tiltaket vil imidlertid også kunne redusere avgangen i foryngelser, og dermed bidra til økt virkeproduksjon og karbonopptak.

3.1.8 Restrukturering av skog gjennom småflatehogst i tynningsfelt

Tiltaket går ut på å forberede unge grandominerte bestand (hogstklasse 3) for muligheten til fremtidig avvirkning gjennom selektiv hogst (bledning). Det aller meste av den eldre granskogen (hogstklasse 4 og 5) har i dag en struktur som er lite egnet for selektiv hogst (Granhus mfl. 2024). Å gjennomføre selektiv hogst i eldre tette bestand innebærer en vesentlig risiko for skogskader (vindfelling, snøbrekk), noe som er negativt for skogproduksjonen (Granhus mfl. 2025). En forutsetning for å øke andelen skog som er egnet for selektiv hogst på noe lenger sikt vil derfor være å omforme yngre skog til en struktur med god sjiktning og med trær med god enkeltrestabilitet. Siden selektive hogster er mest egnet for skyggetålende treslag er det i Norge først og fremst granskog som er aktuell for omstilling.

Det er få nordiske feltforsøk på omstillingshogst og kunnskapsgrunnlaget er derfor fortsatt begrenset. En metode som testes ut i Norge i dag er tynning til varierende tetthet (eng:

Variable Density Thinning - VDT) som er et konsept utviklet og praktisert i Nord-Amerika (f.eks. Brodie & Harrington 2020). Målsettingen med metoden er å øke strukturvariasjonen i bestandet, i første omgang horisontalt, men samtidig legge grunnlaget for utvikling av vertikal strukturvariasjon på sikt slik at bestandet blir egnet for bledning når omstillingen er fullført (Brunner 2024). Ideen er at dette kan oppnås ved å dele opp bestandet i mindre behandlingsenheter (å 10 x 10 m) hvor et varierende antall (1-4) av de dominerende eller medherskende trærne (framtidstrær) fristilles ved kronetynning¹, mens andre behandlingsenheter enten ikke tynnes eller åpnes opp helt ved å fjerne alle trær unntatt etablert gjenvekst (Fig. 3). Metoden forutsetter gjentatte hogsttynngrep for å fullføre omstillingsprosessen. Utprøving av VDT-metoden i Norge gjennomføres i et samarbeidsprosjekt (DEMO) mellom NIBIO, NMBU og næringsaktører i skogbruket. NIBIO har også nylig etablert langsiktige feltforsøk med tynning til varierende tetthet (VDT). Tiltaket er først og fremst aktuelt i bestand med trehøyder opp mot ca. 15 meter, grunnet høy risiko for vindfelling i tette bestand med stor høyde. Egnert skog vil da grovt sett tilsvare skog i hogstklasse 3.



Figur 3. Prinsippskisse for omstillingshogst med metoden tynning til varierende tetthet (VDT). De seks behandlingsenhetene har størrelse 10 x 10 m. Ledd 1-4= fristilling av 1 til 4 vitale framtidstrær gjennom kronetynning, der man fjerner typisk to av de nærmeste større konkurrenter (grå) til framtidstrærne (orange) gjennom kronetynning. G = alle trær hogges fjernes for å initiere foryngelse, S = ingen trær hogges ved første inngrep i omstillingsprosessen. Figur utarbeidet av Paul McLean (NIBIO) og Jonas Kristofferson (Skogkurs).

Granhus mfl. (2025) estimerte med utgangspunkt i data fra Landsskogtakseringen at over halvparten av arealet med granskog i hogstklasse 3 i Norge kan være egnet for omstilling basert på et sett av kriterier knyttet til skogtilstand og driftstekniske begrensninger (terrengbratthet). Dette betyr at det er et stort potensial for å gjennomføre tiltaket i Norge. Å omstille skogareal fra bestandsskogbruk til kontinuitetsskogbruk er et bedre tiltak for økologisk tilstand enn å øke andelen lukket hogst uten omstilling. Dette fordi økt andel lukket hogst vil kunne bety at arealet av skog med høy grad av naturskogs nærhet vil kunne reduseres

¹ Innebærer at 1-2 av de større konkurrentene til utvalgte framtidstrær fjernes, i motsetning til den mere vanlige tynningsformen lavtynning, hvor primært de minste trærne tas ut.

betraktelig (Granhus mfl. 2025) da det først og fremst er slik skog som i dag egner seg for lukket hogst.

3.1.9 Økt ivaretagelse av økologisk funksjon i kantsoner ved hogst

Økt ivaretagelse av økologisk funksjon i kantsoner ved hogst er beskrevet å kun være aktuelt i forbindelse med åpne hogstformer (Miljødirektoratet & Landbruksdirektoratet 2023). Vannressursloven (Lov om vassdrag og grunnvann) og bærekraftforskriften (Forskrift om berekraftig skogbruk) sier at den økologiske funksjonen til kantsoner skal ivaretas for bekker og elver med helårssikker vannføring. Data fra Landsskogtakseringen viser at det over tid har vært en forbedring når det gjelder måloppnåelse for ivaretagelse av kantsoner, men også at kravet til gjensetting av trær i kantsonen i en del tilfeller ikke er tilfredsstillende oppfylt (Stokland mfl. 2020). Det kan by på utfordringer å sette igjen kantsoner da gjenstående trær gjerne blir ustabile.

Miljødirektoratet & Landbruksdirektoratet (2023) har estimert at 7,5 % av den produktive skogen ligger nærmere enn 10 m fra vann, vassdrag, myr eller dyrka mark og at økt gjensetting av trær i denne 10 m-sonen vil påvirke skogbruk og skogindustri negativt, men at det vil være positivt for det biologiske mangfoldet, landskapsøkologiske mønstre, økologisk tilstand i skog, rekreasjon og for beredskap og samfunnssikkerhet gjennom mulige effekter på flomdemping.

Å sette igjen kantsoner er et viktig tiltak for å opprettholde biologiske og økologiske kvaliteter både i skognaturen og i tilgrensende vann, vassdrag og myr. I rapporten fra Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet (2023), er det gjort en analyse av hvor stor andel av kantsonene som er satt igjen på en tilfredsstillende måte etter PEFC Skogstandard, og dette gjaldt kun 30 % av de kontrollerte bekestrekningene i 2019, mens tallet var 60 % ti år tidligere. I Tange og Sjølie (2025) ble 27 tilfeldig valgte bestand med kantsoner mot vann i skoglandskapet undersøkt i Sørøst-Norge, og de fant i sin studie at mindre enn halvparten (46 %) av de kontrollerte kantsonene i Sørøst-Norge fulgte PEFC skogstandard.

Å følge opp lovgivningen om å ivareta kantsoner i skogbruket er viktig for økologisk tilstand både i skog og i vann. Et aktuelt tiltak utover å følge gjeldende lov kan være å utvide kantsonene i skognatur med spesielle kvaliteter knyttet til høy og stabil luftfuktighet.

3.1.10 Ivaretagelse av brent areal etter skogbrann

Dette tiltaket beskrives av Miljødirektoratet & Landbruksdirektoratet (2023), som et tiltak som kan kompensere noe for de negative virkningene på branntilknyttede arter av at vi har færre og mindre brannflater nå enn historisk. Tiltaket beskrives på et overordnet nivå som *avsetting av brente arealer, som skal stå urørt i en viss tid etter skogbrann*. I PEFC-standard (kravpunkt 29) stilles det krav om 10 års avsetting (urørt) av 5 daa brent areal etter brann i eldre skog, dersom mer enn 5 daa eldre skog er brannpåvirket. Ved skogbranner større enn 50 dekar skal avsetning av arealer vurderes av skogbiologisk fagkompetanse og være faglig begrunnet, men det er ikke satt krav om hvor mye av brent areal som skal settes av urørt ved en større skogbrann. Videre skal nyere brannflater (<10 år etter brann) som er større enn 2 daa og har stående brent død ved registreres som MiS-areal.

Bedre ivaretagelse av brent areal etter skogbrann vil forbedre økologisk tilstand i skog i mye større grad hvis tiltaket innrettes slik at alt brent areal settes av urørt i en tiårsperiode etter brann, dvs. uten uttak av døde eller levende trær, og at deler av det brente arealet deretter får utvikle seg til lauvdominerte suksesjoner, uten tilplanting av bartrær. For å bedre

forholdene for branntilknyttede arter foreslår vi i tillegg kontrollert naturvern-brenning i verneområder (se tiltaksbeskrivelse i kap. 3.3.6).

3.2 Miljøforvaltningens tiltak

3.2.1 Raskere gjennomføring av skogvernet etter NML

I juni 2025 var 5,4 % av all skog og 4,2 % av produktiv skog i Norge vernet. Miljødirektoratet og Landsbruksdirektoratet (2023) beskriver økt takt og omfang av skogvernet som et effektivt og langsiktig tiltak som kan bidra til å opprettholde og forbedre økologisk tilstand i skog.

Ved målrettet utvalg av verneområder der både habitatkvalitet og representativitet vektlegges, vil tiltaket være et godt tiltak for å bedre økologisk tilstand i skog.

3.2.2 Forbedre økologisk tilstand i skogvernområder

Den økologiske tilstanden i skogen i verneområdene varierer, men det er for eksempel tre ganger mer biologisk gammel skog og mer død ved i vernet skog sammenlignet med skog i produksjonslandskapet (Svensson mfl. 2023). I rapporten fra direktoratene (2023) beskrives tiltaket overordnet og det gis en rekke eksempler på tiltak som kan gjennomføres innenfor verneområdene: bekjempelse av fremmede arter, kanalisering av ferdsel, fremskynde prosessen mot mer naturskogsstruktur, restaurering av grøftet sumpskog, fjerning av gran i ospesuksesjoner og i edelløvskog i tillegg til kontrollert brenning.

Disse tiltakene vil kunne forbedre økologisk tilstand i de gitte arealene, dersom de gjennomføres på en kunnskapsbasert måte. Samtidig vil forbedringen av økologisk tilstand i skogen i sin helhet være liten, fordi det vernede arealet utgjør en liten andel av totalt skogareal. Forskjellige restaureringstiltak som kan være aktuelle både innenfor og utenfor vernet skog er diskutert nærmere i kap. 3.3.

3.2.3 Økt restaurering av skog

I rapporten fra direktoratene er tiltaket ikke konkretisert som faktiske tiltak i skogen, men det beskrives et stort behov for definisjoner, kunnskapsinnhenting, utredninger og kartfesting av restaurerbar skog. Restaureringstiltak i verneområder er i henhold til Miljødirektoratet aktualisert gjennom et eget tilstandsmål (nær naturtilstand) for skogvernområder

Restaurering av skog kan være aktuelle både i produksjonsskog og i verneområder, men effekten vil avhenge av hvordan området skal brukes videre. Det vil være lite hensiktsmessig å gjøre tiltak for å variere skogstruktur og øke mengden død ved dersom samme område skal avvirkes få år senere. Men dersom restaureringstiltak i produksjonsskog kan kombineres med økt miljøhensyn, for eksempel ved økt gjensetting av livsløpstrær og død ved, så vil det kunne bedre den økologiske tilstanden også i områder som benyttes til tømmerproduksjon.

Vi foreslår noen konkrete restaureringstiltak i kap. 3.3.

3.2.4 Bedre ivaretagelse av truet natur

I rapporten fra direktoratene foreslås å utnevne flere utvalgte naturtyper og prioriterte arter, øke naturtypekartlegging i skog, og økte økonomiske ordninger for beskyttelse av truet natur.

Mer stedfestet informasjon om biologisk viktig natur er en forutsetning for å kunne gjennomføre konkrete tiltak for å forbedre økologisk tilstand i skog.

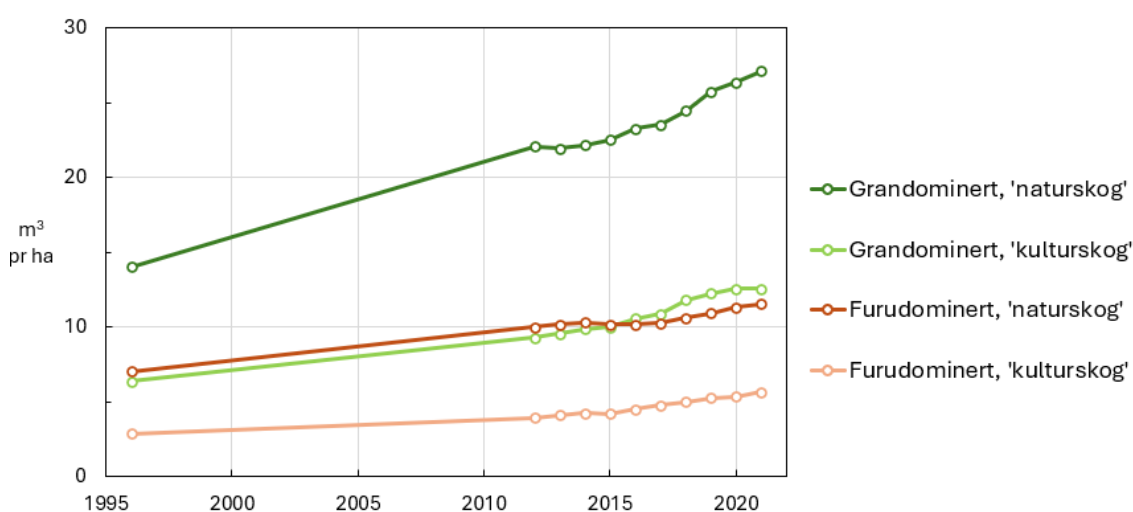
3.2.5 Økt bekjempelse av fremmede arter

Foreløpig påvirker fremmede arter en liten del av skogarealet og bekjempelse av fremmede arter vil bidra marginalt positivt på økologisk tilstand i skog. Mange fremmede arter, deriblant rødhyll (risikokategori SE, svært høy risiko, i Fremmedartsbasen) trives best i den åpne skogfasen, i perioden rett etter åpen hogst. Denne skogen er i dårlig tilstand først og fremst på grunn av mangel på tresjikt og gamle trær. Unntak er platanlønn (SE) som er konkurransedyktig i lauvdominert skog, og fremmede arter av plantesykdommer som svekker og dreper mange edellauvtrær. Rødhyll er trolig et mindre problem, da dette er en art som forsvinner i skogbildet når skogen blir eldre.

3.3 Andre aktuelle tiltak for å forbedre økologisk tilstand

3.3.1 Identifisering og bevaring av skog i god økologisk tilstand

Det mest effektive tiltaket for å opprettholde og på sikt øke økologisk tilstand i skog vil være å unngå at arealer i god tilstand får redusert tilstand. Dette kan skje gjennom effektive bevaringstiltak eller vern (se f.eks. Wang Larsen mfl. 2024). I fagsystem for økologisk tilstand og i naturindeks ligger indikatorene knyttet til død ved, gammel skog og ROS lengst fra referansetilstanden (se kap. 1.3.3), dvs. at det finnes et stort potensial for å bedre økologisk tilstand i skog ved å forbedre tilstanden for slike indikatorer. De arealene som i dag har mest død ved er i stor grad overlappende med de skogarealene med skog som ikke har vært flatehogd (eller påvirket av andre uttak) og biologisk gammel skog. Samtidig er det denne typen areal som også akkumulerer mest død ved over tid (Fig. 4) (med unntak for store stormfellingener eller skogbranner med stor dødelighet). Nye undersøkelser i grandominert blåbærskog viser også at blåbærdekningen er dobbelt så høy i skog som ikke har vært flatehogd sammenlignet med hogstmoden grandominert skog som er etablert på tidligere flatehogd areal (Asplund mfl., preprint). Et viktig tiltak for å bedre økologisk tilstand vil være å kartfeste skogareal med høy sannsynlighet for å ha god økologisk tilstand og å bevare områder som viser seg å ha god økologisk tilstand. I tillegg vil det være nyttig å kartfeste arealer med forekomst av grove lauvtrær (rogn, osp, selje) og gjennomføre tiltak for å forbedre arealene rundt disse slik at ROS-artene bevares og forynges i disse områdene.



Figur 4. Menge død ved og økning i død ved i «naturskog» vs. «kulturskog» i grandominert og furudominert skog. (Data fra Landsskogtakseringen)

3.3.2 Øke gjensetting av gamle og/eller grove bartrær ved hogst

I Landbruksdirektoratet og Miljødirektoratet (2023) foreslås økt gjensetting av grove lauvtrær ved hogst som et tiltak for å bedre økologisk tilstand. Dette tiltaket kan utvides til å gjelde en generell økning i antall livsløpstrær som spares ved hogst, som også omfatter gamle og/eller grove bartrær. Både gamle og grove bartrær er viktige for skogens økologiske tilstand som levesteder for mange arter i en rekke artsgrupper, samt ved deres økologiske funksjon for hydrologi og jordsmonn. Den relative andelen av lauvtrær og bartrær vil variere avhengig av forholdene i bestandet som avvirkes, men premisset i PEFC om at en viss andel livsløpstrær skal velges blant det dominerende treslaget i bestandet bør utvides for å øke andelen gamle og/eller grove bartrær. De fleste livsløpstrærne bør stå på hogstflaten, enten i grupper eller spredt, og ikke i kantene der de i mindre grad kan bidra til å dempe den store endringen i miljømessige forhold fra hogstmoden skog til hogstflate, blant annet ved å bidra med skygge og forbedret overlevelse for mykorrhizasopp i jorda. Dersom en del livsløpstrær blåser over ende på grunn av økt vindeksponering gir dette økt mengde soleksponert død ved av større dimensjoner, som er et levested for svært mange arter insekter og en del sopp.

3.3.3 Restaurering - tette grøfter i myrskog og sumpskog

Store arealer av myrskog (torvmarksskog) og sumpskog har historisk blitt drenert for landbruksformål, deriblant skogbruksformål. Mange steder har grøfting av det man tidligere kalte «vassjuk skogsmark» ført til at arealet har mistet sin funksjon som sumpskog eller torvmarksskog og derfor mangler det artsinventaret man forventer å finne i disse skogtypene. På andre steder har ikke grøftingen drenert arealene like effektivt og skogen kan være enklere å restaurere. For disse skogtypene vil heving av vannstanden gjennom tetting av grøfter være et egnet tiltak. Det som kjennetegner disse arealene er at vegetasjonen fortsatt har elementer av våtmarksnatur med forekomst arter som er typiske for torvmarksskog (f.eks. torvmoser) og sumpskog (høgstauder og graminoider knyttet til våt og fuktig skog). Med slike arter til stede vil en heving av vannstanden gi disse artene mulighet til å øke sine forekomster uten at det er nødvendig med revegetering gjennom flytting/såing av plantemateriale eller bruk av pluggplanter.

3.3.4 Restaurering - veteranisering av eldre trær

Veteranisering er en metode der man påfører eldre trær skader som kan fremskynde utviklingen av aldersbetingede egenskaper som gir levesteder (mikrohabitater) for arter som insekter, sopp, lav, mose, fugler og flaggermus (Jacobsen mfl. 2025, Bengtsson & Wheeler 2021). Disse egenskapene kan være hulrom i stammen, døde greiner eller døde partier på stammen eller grov sprekkebark. Metodene som benyttes kan være avbarking av deler av stammen ("hestegnag"), hel eller delvis ringbarking av greiner, kutt eller uthuling av stammen. Stripebarking kan også benyttes for å fremprovosere treets kjemiske forsvar slik at veden får spesielle egenskaper over tid. Stripebarking har tradisjonelt blitt benyttet for å utvikle kjerneved/malmfuru til bruk i gamle bygg som stavkirker (Lohne 2023), og utforskes nå som en restaureringsmetode for å fremme utviklingen av kelo-furutrær (stående, døde furutrær med svært bestandig ved). Det er ikke gunstig å benytte metodene beskrevet ovenfor på trær som allerede har denne typen egenskaper.

Veteranisering bør foreløpig anses som en eksperimentell metode, og bør ideelt sett følges opp med forskning og effektovervåking. Det er gjennomført en stor uttesting av ulike veteraniseringsmetoder, hovedsakelig i Sverige (Bengtsson & Wheeler 2021), men det

gjenstår å vurdere effekten av disse innen en relevant tidsramme, da utviklingen av aldersbetingede egenskaper og assosierte artssamfunn fortsatt tar lang tid til tross for veteraniseringen (oppsummert i Jacobsen mfl. 2025). Veteranisering er mest aktuelt for furu og eik, og vil sannsynligvis ha størst effekt i områder der avstanden ikke er så stor til eksisterende gamle veterantrær og deres artsmangfold.

3.3.5 Restaurering - øke mengde og variasjon av død ved

Rundt en fjerdedel av alle skoglevende arter i Norden er knyttet til død ved (Stokland mfl. 2012), deriblant svært mange truede arter (Artsdatabanken 2021). Mange av disse truede artene er trua nettopp fordi det finnes for lite av den typen død ved de trenger i skogen. Arter som lever inni eller på død ved, heretter kalt vedlevende arter, har sine nisjer når det gjelder type død ved (Ulyshen 2018). Det går et tydelig skille mellom artene man finner i død ved fra bartrær og fra løvtrær, og et tydelig skille mellom arter i stående død ved (gadd) og liggende død ved (læger). Andre viktige faktorer er soleksponering, diameter på den døde veden og nedbrytningsgrad. Jo større variasjon i typer død ved som finnes i et område, jo større artsmangfold får man som regel, gitt at mengde og kontinuitet av død ved er tilstrekkelig til å opprettholde levedyktige populasjoner av de ulike artene. Spesifikke krav til mengde og kontinuitet vil variere mellom arter, blant annet knyttet til deres spredningsevne.

Selv om det har vært en økning i mengde død ved i norsk skog, er det fortsatt meget lave volum i forhold til det som de fleste steder ville utviklet seg i en skog med naturlig dynamikk uten uttak av tømmer. Tiltak for å øke mengden død ved, ved å felle, ringbarke eller på annet vis drepe trær og la dem bli værende i skogen, vil være positivt for artsmangfold og skogens økologiske tilstand (Jacobsen mfl. 2025). Dette kan inngå som en del av skogrestaurering, skjøtsel av verneområder eller skjøtsel av produksjonsskog. Man bør da prøve å innføre variasjon i hva slags død ved som skapes, ved å skape både læger og gadd, av ulike treslag, i ulike soleksponering. Større dimensjoner bør prioriteres, der dette ikke går på bekostning av ivaretagelse av store trær som livsløpstrær.

3.3.6 Restaurering - kontrollert brenning

Skogbrann ville vært en naturlig del av skogdynamikken mange steder, men effektiv begrensning og slukking gjør at kun svært små arealer av skog brenner hvert år i Norge (Svensson og Dalen 2025). Skogbrann skaper unike forhold og levesteder, bl.a. avhengig av hvor intens brannen var. Bakkevegetasjonen forkulles ofte og gir næring til jorda, mens varmen kan stimulere enkelte arter til frøspiring, særlig branntilpassede arter som f.eks. bråtestorkenebb (*Geranium bohemicum*). Intense branner kan brenne bort det øverste organiske humuslaget og eksponere mineraljord, som gir bedre forhold for frøspiring for pionertreslag som osp. Flere sopparter er også knyttet til disse spesielle forholdene etter brann, som f.eks. gulbrunt bålbege (*Geopyxis carbonaria*). Brent ved er levested for mange branntilpassede insekter, som f.eks. sotpraktbille (*Melanophila acuminata*). Noen artsgrupper påvirkes negativt av brann, som for eksempel moser (Espinosa del Alba mfl. 2021). Trær som overlever brannen kan respondere fysiologisk på brannens påvirkning, gjennom dannelsen av bestandig ved og på sikt kelotrær (døde, stående furutrær med svært bestandig ved). Ulike treslag responderer ulikt på brann. Furu har god branntoleranse, osp har ofte god foryngelse på brannflater, mens gran i mindre grad tåler brann. Skogbrann kan dermed endre skogstrukturen ved å redusere granas dominans og fremme furu og osp.

Alle disse effektene av brann bidrar til store endringer i skogområder etter brann. Kontrollert brann er et effektivt restaurerings- og skjøtselsverktøy når det gjelder å gi en endring i sammensetning av arter (Hjältén mfl. 2023, Koivula & Vanha-Majamaa 2020). Kontrollert skogbrann bør først og fremst gjennomføres i furudominert skog, barblandingsskog eller der en ønsker å fremme foryngelsen av osp. Dette vil være et positivt tiltak for arts mangfold og økologisk tilstand.

3.3.7 Restaurering - fremme rogn, osp, selje i eldre skog

Store og gamle trær av pionertreslag som rogn, osp og selje er spesielt verdifulle for arts mangfoldet i skogen. Flere aspekter ved norsk naturforvaltning bidrar til å redusere antallet slike eldre lauvsuksesjoner. For det første er favoriseres gran foran lauvtrær ved skogskjøtsel (treslagsvalg, tett planting, tradisjonell ungskogspleie, tynning etc.) og gran er en sterk konkurrent for disse treslagene. Selv om det er naturlig at pionertreslag utkonkurreres på sikt, vil tett planting av gran fremskynde denne prosessen slik at lauvtrærne i mindre grad rekker å vokse seg store og grove. Høye bestander av hjortevilt gir dessuten et svært høyt beitetrykk i mange områder, og beitetrykket på disse lauvtrærne kan bli så høyt at de i liten grad vokser opp til å bli trær. Beitetrykket kan være høyt både i produksjonsskog og i verneområder. I verneområder vil dessuten disse treslagene kunne slite på grunn av mangel på forstyrrelser som gir dem mulighet til foryngelse. Skogbrann slukkes aktivt, og det er i tillegg et så lite areal som inngår i dagens verneområder (5,4 % av all skog per juni 2025) at sannsynligheten for større forstyrrelser som skogbrann, stormfelling eller insektutbrudd er liten.

Kontrollert skogbrann er et godt tiltak for å fremme foryngelse, særlig av osp, men det vil ikke være gjennomførbart eller passende for alle områder. Et mer varsomt tiltak kan være å fristille store, grove lauvtrær av disse treslagene der de forekommer, og eventuelt der det kan passe hogge en større flate rundt dem for å tilrettelegge for lokal foryngelse i soleksponerte omgivelser, gitt at det ikke gjør gjenværende trær for vindeksponerte. Se også Jacobsen mfl. (2025).

3.4 Innretning av tiltak for best mulig økologisk tilstand

Økologisk tilstand i skog er komplekst, derav de mange indikatorene i Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet (2023), fagsystemet for økologisk tilstand (Framstad mfl. 2021) og Naturindeks for skog (Nater & Eriksen 2025). Tilsvarende er det mange mulige tiltak for å bedre økologisk tilstand i skog. Tiltakene som er beskrevet er varierte i utforming, noen er generelle, andre svært spesifikke. Det inngikk ikke i oppdraget å simulere effekter på økologisk tilstand av gjennomføring av tiltak for økologisk tilstand eller tiltak for klima. Vi gir derfor her en ekspertvurdering av hvilke tiltak som gir best effekt for skogens økologiske tilstand, mens krysseffekter av tiltak diskuteres i kapittel 7.

I noen tilfeller er det svært viktig å vurdere innretningen av tiltakene, da gitte innretninger av enkelte tiltak kan medføre en bieffekt som er negativ for økologisk tilstand. Dette er for eksempel tilfellet for økt andel lukket hogst dersom dette medfører et større avvirket areal for å oppnå samme hogstkvantum, og særlig dersom man i større grad hogger i naturskog fordi dette er områder egnet for lukket hogst (Granhus mfl. 2025). Økt andel lukket hogst er for øvrig vurdert til å gi en relativt svak effekt på økologisk tilstand, men kan ha positiv effekt av betydning for enkelte artsgrupper. Også når det gjelder økt omløpstid, som vurderes å kunne være svært positivt for skogens økologiske tilstand, så må man innrette tiltaket slik at

det ikke medfører økt hogst i naturskog eller annen biologisk gammel skog i god økologisk tilstand. Derfor vil det generelt være et svært effektivt og viktig tiltak å øke takt og omfang av skogvernet, samt å kartlegge og bevare skog i god økologisk tilstand (naturskog, biologisk gammel skog som ikke tidligere har vært flatehogd og med forekomst av grov død ved).

For omtrent alle tiltakene vil samlet effekt avhenge av innsats, for eksempel hvor stort areal som påvirkes. For noen av indikatorene kan innsats også måles i volum. Dette gjelder økt gjensetting av døde trær ved hogst, økt gjensetting av store grove lauvtrær og bartrær ved hogst og øke mengde og variasjon av død ved (ved å skape død ved, ikke kun bevare, og ikke kun ved hogst). Alle disse tiltakene vurderer vi som positive for økologisk tilstand, men effekten innen skogområder der de gjennomføres vil avhenge av hvor mye død ved som skapes og/eller hvor mange trær som settes igjen.

Enkelte tiltak er det vanskelig å vurdere effekten av, i noen tilfeller fordi beskrivelsen av tiltaket er svært generell. Dette gjelder tiltaket om bedre ivaretagelse av truet natur og økt skogrestaurering, foreslått i Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratets rapport (2023). Bedre ivaretagelse av truet natur vil selvsagt være positivt, men kan innebære mange ulike tiltak og virkemidler. Når det gjelder skogrestaurering så beskriver vi i denne rapporten mer konkrete restaureringstiltak, som å øke mengde og variasjon av død ved, tette grøfter i drenert torvmarksskog og sumpskog, kontrollert brenning og veteranisering av trær. Av disse er effekten av veteranisering mest usikker, grunnet behov for mer effektovervåking og forskning på dette tiltaket.

Det er også vanskelig å vurdere effekten av tiltaket ivaretagelse av brent areal etter skogbrann, både fordi det vil avhenge av hvordan tiltaket faktisk implementeres, men også fordi hvor store arealer dette vil gjelde vil avhenge av antall antenner og påfølgende slukningsarbeid, all den tid man ikke innfører betydelig økt bruk av kontrollert brenning i norsk skog.

Til slutt er det flere tiltak som omhandler ivaretagelse og økning i andel lauvtrær i skogen, spesielt rogn, osp og selje (ROS). Dette gjelder ungskogpleie med sikte på å bedre økologisk tilstand og fremme rogn, osp og selje i eldre skog. Det gjelder også riktig treslagsvalg etter hogst, som i noen områder kan innebære edellauvtrær. Dette er tiltak som åpenbart vil ha en positiv effekt på økologisk tilstand i skog gjennom indikatorene for nettopp ROS-artene, lauvtreinnblanding og innslag av edellauvtrær. Sannsynligvis vil økt andel lauvtrær og dermed en mer variert skog også kunne bidra til å gjøre skogen mer robust for et varmere klima med mer ekstremvær. Det samme gjelder økt andel furu på grunn av riktig treslagsvalg etter hogst, der det i en del områder kan innebære å legge om fra gran til furu. Men effekten av tiltak for å fremme furu og spesielt mange av lauvtreslagene vil avhenge av beitetrykk fra hjortevilt, og dermed av hjorteviltforvaltningen.

Et aspekt ved økologisk tilstand i skog som ikke adresseres av noen av tiltakene, er rovdyrbestandene. Nivået på rovdyrbestandene er lavt i forhold til referanseverdiene i fagsystemet for økologisk tilstand (Framstad mfl. 2021) og Naturindeksen (Nater & Eriksen 2025), og dermed har denne indikatoren en lav skår og bidrar til den lave, samlede skåren for økologisk tilstand i skog. Skogforvaltning vil i liten grad påvirke rovviltbestandene, da de er politisk bestemt og omtrent utelukkende et resultat av rovviltforvaltningen.

4 Metode for framskriving og scenariebygging

4.1 Simuleringsverktøyet SiTree

Framskrivning av effekt av de ulike klimatiltakene er gjort gjennom simuleringer med enkelttre-skogvekstsimulatoren som er implementert i simuleringsverktøyet SiTree (Antón-Fernández & Astrup 2022). I simuleringene benyttet vi det omfattende datasettet fra Landsskogtakseringens prøveflater (Breidenbach mfl. 2020), og simuleringene skjer stegvis for perioder på fem år. Utgangssituasjonen er tilstanden på prøveflatene slik det ble målt/registrert i løpet av et fullt femårig omdrev (2018-2022). Vi brukte en tilskrivningsbasert metode (eng: imputation) for å estimere tilvekst (trenivå), mortalitet (trenivå) og etablering (innvoksing) av nye trær (flatenivå). Basert på utgangstilstanden simuleres veksten til enkelttrærne 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 prøveflatene fra 2008 og fram til og med 2022. Med hensyn til rekruttering (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 den spesifikke flata. For tilvekst og mortalitet som simuleres for det enkelte tre gjelder samme prinsipp. De variabler som er brukt for å søke opp «nærmeste nabo-treet» er de samme som er anvendt i tilvekstfunksjonene i Bollandsås mfl. (2008): bonitet, brysthøydiameter, breddegrad, total grunnflatesum i prøveflata, samt grunnflatesum (m² per ha) for trær som er større enn treet av interesse (sistnevnte variabel gir uttrykk for konkurransesituasjonen for 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. Resultater vises som gjennomsnittet av de hundre simuleringene.

4.2 Generelle forutsetninger

Opptaket som framskrives for de enkelte klimatiltakene sammenlignes mot et «Business-as-usual»-scenario (BAU), med tiltaksspesifikke forutsetninger som beskrevet i kap. 4.3. For all framskriving gjelder følgende felles forutsetninger:

- Volumet som avvirkes i hver femårsperiode i simuleringene er satt likt som i BAU for alle scenariene², og er forholdsvis stabilt fram mot 2075, jfr. Figur 8 i kap. 4.5.1.
- Hogstarealet er satt ulikt for ulike strata, dvs. grove klasser definert etter skogtype (gran-, furu- eller lauvtreddominert), bonitet og driftskostnad basert på observerte forholdstall mellom strataene i referanseperioden. Volumet som hogges i hvert stratum er imidlertid likt i alle simuleringene. Innen hvert stratum og hogstklasse blir sannsynligheten for hogst rangert ved hjelp av en empirisk sannsynlighetsmodell (Antón-Fernández & Astrup 2012). Dette innebærer at utvelgelsen av prøveflater der hogst og/eller tynning skjer, starter med flatene med høyest sannsynlighet inntil målet for hogstkvantum nås.

² Hogstvolumet er det samme som i BAU-framskrivningen i Mohr mfl. (2024).

- Følgende er inkludert i det totale volumet som avvirkes i hver periode: 1) uttak gjennom sluttavvirkning og tynning, samt 2) annen hogst (dvs. spredte uttak av trær som ikke kan kobles til en spesifikk hogstform, typisk vedhogst, vindfallhogst o.l.).
- Karbonendringsestimatene for levende biomasse, basert på SiTree-framskrivingene, blir brukt videre i Yasso07-modellen (Liski mfl. 2005) til å beregne estimater for karbonendring i jord. Yasso07 estimerer balansen mellom tilførsel og nedbrytning, som er det som gir karbonendringer. Nedbrytningen er avhengig av klimatiske variabler samt strøvariabler som kjemisk sammensetning og dimensjoner av tilført strø. Usikkerheten i estimatene er en kombinasjon av usikkerheter som kommer fra estimatene for strøtilførsel (karbonmengde, kjemisk sammensetning, dimensjonene på strøkomponentene) og klimautvikling.
- Et klimascenario tilsvarende RCP 4.5 benyttes i framskrivningene både med SiTree og Yasso07. Framtidige effekter av klimaendringer er inkludert som en bonitetsendring estimert på grunnlag av Antón-Fernández mfl. (2016). Det er forutsatt at skogarealet vil være uendret. Dermed blir CO₂-utslipp og opptak assosiert med endring av areal gjennom avskoging og påskoging ekskludert fra simuleringen.
- Det forutsettes videre at andelen skogvern øker opp til 10% (vernescenario A som beskrevet på side 18 i Hysten mfl. (2022)). Landet er delt inn i seks regioner, som alle er forutsatt at skal oppnå 10 % vern i både produktiv og uproduktiv skog.
- I framskrivningene er det lagt til grunn at avgang på grunn av barkbiller, vindfellinger, 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.
- Utslipp fra drenert organisk jord er ikke inkludert, da det foreløpig ikke finnes metodikk for å koble ulike typer skogskjøtselstiltak til drenert organisk jord annet enn om arealet er grøftet eller ikke. Effektene er derfor antatt å være veldig lik estimatene rapportert i Mohr mfl. (2024) for BAU.
- Andelen volum som fjernes ved slutthogst og tynning er basert på observerte uttak på Landsskogtakseringens prøveflater, henholdsvis 94 % og 34 %.
- Ventetid på naturlig foryngelse varierer avhengig av bonitet og treslag.

For BAU-alternativet gjelder videre at:

- 78 % av arealet med granskog som hogges forynges på nytt med gran (planting). Øvrig areal forutsettes forynget naturlig med lavere andel bartrær og høyere lauvtreandel enn arealet som tilplantes. Resultatkartleggingen, som utføres av kommunal skogbruksmyndighet, viser at en betydelig andel av hogstarealene ikke blir tilplantet eller tilrettelagt for naturlig foryngelse (Granhus mfl. 2018). Kartleggingen viser også at områdene utenfor de tradisjonelle skogstrøkene har en høyere andel avvirket areal hvor foryngelsesplikten ikke er overholdt. Vi har derfor delt landet inn i to regioner. I Region 1, som omfatter Østlandet med Telemark, Aust-Agder, Trøndelag og deler av Nordland, er det forutsatt at 10,0 % av arealene som avvirkes hverken blir tilplantet eller tilrettelagt for naturlig foryngelse. For Region 2, som omfatter resten av landet, er den tilsvarende andelen satt til 25,5 %. Utvalget av flater som forutsettes å ikke bli tilplantet eller tilrettelagt for naturlig foryngelse er tilfeldig valgt inntil angitt prosentandel er nådd. For disse arealene har vi forutsatt en utvikling til lauvtre-dominert skog.

- 52% av foryngelsesarealet som tilplanter med gran forynges med tilskudd til tettere planting (35 planter ekstra per daa). Tilskudd til tettere planting som klimatiltak ble innført i 2016. I perioden 2016–2023 ble i gjennomsnitt 52 % av foryngelsesarealet med gran forynget også med tilskudd til tettere planting. Andelen har vært relativt stabil, selv om foryngelsesarealet har økt i perioden. Vi har derfor lagt den gjennomsnittlige andelen på 52 % til grunn i framskrivningene. I gjennomsnitt ble det plantet 35 granplanter ekstra per daa. Med estimert 10 % avgang gir det 32 planter ekstra per daa ved modellens inngang (når bestandet når 5 cm diameter i brysthøyde).
- Statistikk fra SSB viser at det årlige omfanget av ungskogpleie i perioden 2004-2023 i gjennomsnitt vært på 273 tusen daa, og har ligget nokså stabilt. I perioden 2009-2018 lå det årlige hogstarealet (sluttavvirkning) i gjennomsnitt på rundt 400 tusen daa (Granhus mfl. 2018). Basert på dette har vi satt som forutsetning at et areal tilsvarende 2/3 av det årlige hogstarealet blir pleid, mens 1/3 forutsettes ubehandlet. Dette forutsettes proporsjonalt fordelt på ulike treslagsgrupper og boniteter. En forventet utvikling i ungskog som ikke pleies er redusert vekst på framtidstrærne. I SiTree simuleres dette ved å: 1) øke ventetiden ved initiering av ny foryngelse etter hogst der ungskogpleie ikke utføres, slik at det tar lengre tid før nye trær vokser inn i diameterklassene ≥ 5 cm, og 2) ved å variere treslagsandelen i henholdsvis «pleide» og «upleide» bestand (høyere andel lauvtrær i upleide bestand, jfr. Tabell V1 i vedlegg). Merk at vi her har justert ned antakelsene om økt ventetid sammenlignet med det som er benyttet i tidligere tilsvarende analyser (Søgaard mfl. 2020a, b) på bakgrunn av bl.a. ny kunnskap fra norske forøk med ulik intensitet i ungskogpleien (Hanssen & Kuehne 2025).
- Omfanget av nitrogengjødsling 10 år før slutthogst er avgrenset opp til 500 ha/år i restriksjonssonen for å utføre gjødsling med tilskudd, og opp til 3000 ha/år utenfor restriksjonssonen. Restriksjonssonen inkluderer Østfold, Akershus, Oslo, Vestfold og Agder, samt deler av Buskerud, Telemark og Rogaland. Gjødslede bestand har en «hogstkarantene» på 10 år i simuleringene. De vil altså ikke bli hogd før etter minimum 10 år, men vil da ha prioritet for hogst. Vi antok en årlig ekstra tilvekst på $1,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ i en 10-årsperiode etter gjødslingen (Miljødirektoratet mfl. 2014).
- Forutsetningen om genetisk gevinst håndteres ved at vekstforbedringen medfører en tilsvarende økning av boniteten. Tabell V2 i vedlegg til rapporten viser en forenklet sammenstilling av forventet bruk av foredlet frø nå og framover.

4.3 Framskriving av effekt av klimatiltak

Klimatiltakene som er framskrevet utgjør et utvalg av tiltakene som er beskrevet i oppdraget og omtalt i kap. 2. Utvalget inkluderer tiltakene L02 Skogplanteforedling, L03-2 Tilfredsstillende foryngelse (oppfylling av foryngelsesplikten), L04 Økt plantetetthet, L05 Ungskogpleie, L06 Nitrogengjødsling av skog, og markberedning. De øvrige tiltakene er utelatt dels på grunn av mangelfull empiri for å kvantifisere effekten på en tilfredsstillende måte (L08 Råtebekjempelse, Grøfterensk etter hogst), dels fordi framskriving vil kreve en tilnærming som ikke vil samsvare med metodikken som benyttes innen klimagassrapporteringen (L07 Hogsttidspunkt). For tiltaket L09 vil en ny framskriving kreve mere ressurser enn det som har vært rammen for oppdraget. Tiltaket er også rettet mot gjengroingsarealer, slik at effekter i forhold til økologisk tilstand primært har relevans for andre naturtyper enn skog. Tynning er

utelatt fordi vi har konkludert med at tiltaket har liten eller begrenset klimaeffekt i forhold til mulighet for økt CO₂ opptak. Dette gjelder også tiltaket hogstform (økt andel lukket hogst) som også nylig har blitt vurdert med tilhørende framskriving av klimaeffekt i Granhus mfl. (2024, 2025).

For framskriving av de utvalgte klimatiltakene ligger forutsetningene for BAU-scenariet som basis, med følgende modifiseringer for de enkelte tiltakene:

L02 Skogplanteforedling

Andelen areal som forynges med foredlet plantemateriale øker utover nivået under BAU-scenariet, med andeler per region som vist i Tabell V3 i vedlegg.

L03-2 Tilfredsstillende foryngelse

100 % av arealet med granskog som avvirkes forynges på nytt med gran (planting), mot 78 % under BAU-scenariet.

L04 Økt plantetetthet

100% av foryngelsesarealet som tilplanter med gran forynges med et økt antall planter sammenlignet med arealer som plantes i BAU-scenariet (35 planter ekstra per daa).

L05 Ungskogpleie

Ungskogpleie gjennomføres på hele foryngelsesarealet, mot at det gjennomføres ungsogpleie på to tredjedeler av foryngelsesarealet under BAU.

L06 Nitrogengjødsling av skog

Nitrogengjødsling avgrenset opp til 500 ha/år i restriksjonssonen og opp til 9500 ha/år utenfor restriksjonssonen.

Markberedning

I dette scenariet forutsettes bruk av markberedning ved foryngelse av både gran og furu på 45 % av foryngelsesarealet (Hanssen 2021), kombinert med planting i granbestand og naturlig foryngelse i furubestand. Markberedning forutsettes å gi økt vekst hos etablerte planter både ved naturlig foryngelse og planting. Dette er implementert i SiTree ved at ventetiden for foryngelse er redusert med 5 år. Videre er prosentvis avgang redusert med 10 %. Ved markberedning sammen med naturlig foryngelse forventes også høyere tetthet i etablert foryngelse. Antall trær av hovedtreslaget i markberedte furubestand ble derfor økt med 500 per ha. Merk at markberedning bare delvis ligger inne i BAU-scenariet. Dette betyr at den beregnede effekten i framskrivingene vil bli overestimert i forhold til nåværende praksis. Omfanget av markberedning har historisk sett vært forholdsvis beskjedent i Norge, men arealet som markberedes har økt betydelig i løpet av de siste 10-15 årene (kap. 2.2.3).

Effekt av kombinerte tiltak

I tillegg til enkeltvis framskriving av tiltakene som beskrevet ovenfor har vi utarbeidet prognoser for tre sett av kombinerte tiltak:

- 1) L02 Skogplanteforedling + L04 Økt plantetetthet + markberedning.

- 2) Som forrige (1) + L03-2 Tilfredsstillende foryngelse
- 3) Som forrige (1) + L05 Ungskogpleie + L06 Nitrogengjødsling av skog

Resultater av framskrivingene er vist i kap. 5.

4.4 Framskriving av utvikling for indikatorer for økologisk tilstand

Utviklingen for et utvalg tilpassede indikatorer for økologisk tilstand er simulert under BAU-scenariet. Utvalget representerer et kompromiss mellom hva det i dag er mulig å framskrive, gitt datagrunnlag, tid og ressurser, og arbeidsgruppas vurdering av aktuelle indikatorers betydning for økologisk tilstand i skog. Vi lister her opp de utvalgte indikatorene, og beskriver i etterfølgende avsnitt sentrale forutsetninger for simuleringene:

- Døddved-tilførsel
- Areal med forekomst av grove trær
- Areal med biologisk gammel skog
- Areal med naturskog
- Blåbærdekning

Døddved-tilførsel

Framskriving av total mengde død ved ble forkastet av arbeidsgruppa grunnet stor usikkerhet knyttet til nedbrytningsrater for død ved under ulike forhold. Vi har derfor valgt å benytte tilførsel av død ved (mortalitet) i hver periode fra simuleringene som indikator, dvs. volumet av trær som dør naturlig. Data fra simuleringene er videre benyttet til å fordele døddved-tilførselen på ulike relevante arealkategorier.

Areal med forekomst av grove trær

I simuleringen oppdateres trærnes diameter i brysthøyde for hver femårsperiode. Utviklingen over tid for trær i ulike diameterklasser kan dermed generes basert på simuleringene.

Vi har valgt å fremstille areal som har forekomst av trær som er større enn 40 cm i brysthøyde. Dette er en enkel indikator som er benyttet i pilot-arbeidet med nasjonalt tilstandsregnskap (Nybø mfl. 2025). Å benytte en slik grense er likevel problematisk fordi trær av forskjellig treslag som vokser på ulike boniteter eller klimatiske soner vil ha ulikt potensiale for å nå en slik fast størrelse. For evt. senere arbeid med en slik type indikator for økologisk tilstand, så bør en relativisere slike grenseverdier.

Areal med biologisk gammel skog

Fra simuleringene er det beregnet utvikling av areal med biologisk gammel skog slik dette defineres i kriteriene i Tabell 6, med prøveflatas bonitet og dominerende treslag som inngangsverdier. Utgangspunktet er bestandsalder ved starten av simuleringen, tillagt 5 år for hver femårsperiode inntil bestandet eventuelt avvirkes. For uproduktiv skog benyttes samme grenseverdi som for den laveste bonitetsklassen. Hogst av skog som er eldre enn nedre aldersgrense for biologisk gammel skog fører til at areal-andelen reduseres, dersom det ikke samtidig er like store eller større arealer med skog som vokser inn i de aktuelle aldersklassene.

Tabell 6. Grenselverdier for biologisk gammel skog.

Bonitet (H40)	Grandominert skog	Furudominert skog	Lauvdominert skog
6-8	>=135 år	>=155 år	>=120 år
11-17	>=120 år	>=140 år	>=100 år
20-26	>=105 år	>=105 år	>=80 år

Areal med naturskog

Vi bruker her begrepet naturskog om skog som er etablert før 1940, og hvor det ikke er gjennomført hogst eller andre større eller mindre skogbrukstiltak etter ca. 1965 (jfr. definisjon i Storaunet & Rolstad 2020). Hver landsskogflate er ved start av simuleringsperioden klassifisert som naturskog/ikke naturskog etter dette kriteriesettet, og flatenes status over tid i simuleringene avhenger av om det simuleres hogst eller andre skjøtselinngrep på flata.

Siden definisjonen er knyttet til en bestandsalder som tilsvarer et gitt år (1940), innebærer det at arealer som ikke allerede tilfredsstiller definisjonen ikke vil kunne gjøre det på senere tidspunkter heller, m.a.o., dette naturskogsarealet kan ikke øke framover i tid.

Blåbærdekning

Blåbærdekning ble estimert i henhold til Eldegard mfl. (2019). Dette er en generalisert lineær modell for å estimere lokal blåbærforekomst i Norge basert på bestandstetthet (grunnflate, m²/ha), solinnstråling som funksjon av breddegrad og terrenghelling, bestandsalder, treslags-sammensetning (prosentandel løvtrær, furu og gran), gjennomsnittlig sommertemperatur og nedbørsmengde, gjennomsnittstemperatur i januar, bonitet og jorddybde. I tillegg er det tatt hensyn til interaksjonseffekter mellom bestandstetthet og solinnstråling, bestandsalder, prosentandel løvtrær og prosentandel gran.

Resultater av simuleringene for de enkelte indikatorene er presentert i kap. 6.

4.5 Usikkerhet og hovedtrender i simuleringene

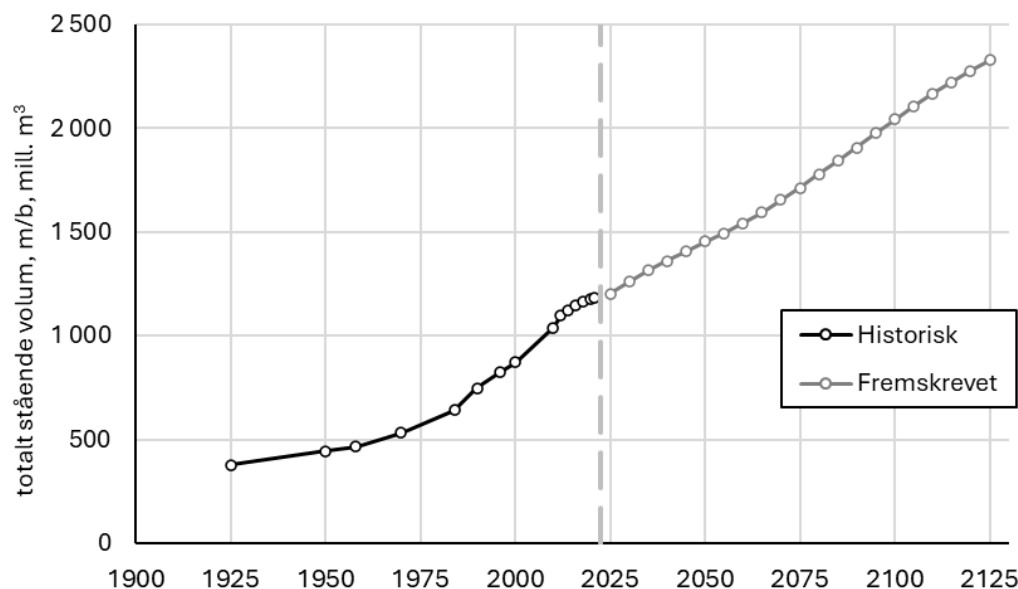
4.5.1 Hovedtrender og usikkerhet i BAU-scenariet

Et grunnleggende premiss for å kunne tolke hva som skjer i simuleringene, er å forstå helheten. Det er godt kjent at det har vært en sterk økning i total kubikkmasse i Norge siste 100 år (Svensson mfl. 2021), men økningen har avtatt markant de siste 5-10 årene som et resultat av økt avvirkning og økt naturlig avgang (mortalitet) (Breidenbach mfl. 2024). Figur 5 viser total stående kubikkmasse på hele skogarealet i simuleringsperioden under Business as usual-scenariet (BAU), sammen med historiske data fra Landsskogtakseringen siden 1925.

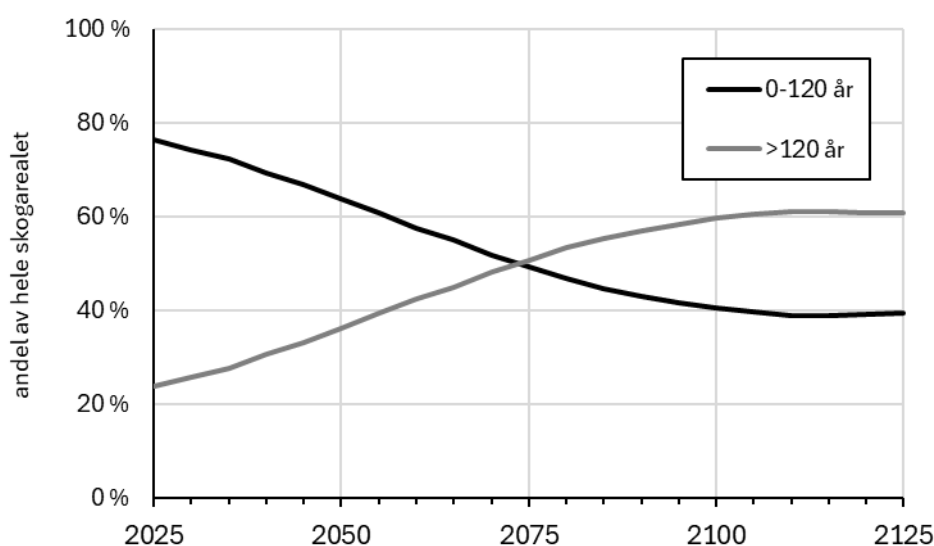
Til tross for at økningen i stående volum har flatet ut de seinere årene viser framskrivingen at totalt stående volum umiddelbart begynner å øke fra 2025, mer eller mindre lineært i hele perioden, til ca. 2 300 mill. m³ i år 2125. Dette utgjør mer enn en dobling av kubikkmassen i løpet av 100-årsperioden. Det er flere årsaker til at dette skjer i framskrivingen, noe som utdypes nedenfor.

For å forstå årsakene til denne sterke økningen i stående volum kan det være nyttig å dele skogarealet i to; 1) areal som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år, og 2) øvrig areal der bestandsalderen er >120 år. Ved starten av simuleringen utgjør skog i alderen 0-120 år om lag 75 % av skogarealet (Fig. 6). Over tid avtar arealet 0-120 år og ender på om lag 40% av

skogarealet mot slutten av 100-års-perioden, mens det øvrige øker tilsvarende. De første tiårene skjer dette mer eller mindre som en direkte følge av dagens bestandsaldersstruktur (Fig. 7), hvor en stor andel av skogarealet i dag ligger tett under grensa på 120 år. Når skogen på disse arealene blir eldre og 'flytter seg oppover i aldersklassene', vil gradvis en større andel av totalarealet bestå av skog over 120 år (Fig. 6).



Figur 5. Utvikling av stående volum registrert av Landsskogtakseringen (til venstre side for stiple linje), og utvikling under BAU-scenariet (til høyre for stiple linje). Skogarealet i simuleringsperioden f.o.m. 2025 er uendret i hele framskrivingsperioden. I historisk periode, og særlig i perioden før 1990 da de permanente flatene til Landsskogtakseringen ble etablert, er arealgrunnlaget ikke helt sammenlignbart fordi takstmetoder og klassifiseringsgrunnlaget har endret seg. I det store bildet vurderer vi dette siste som relativt uproblematisk.



Figur 6. Hele skogarealets (produktiv og uproduktiv skog) utvikling gjennom framskrivingsperioden, fordelt på areal som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år (svart) og resten av arealet (>120 år, grå).

En vesentlig del (75-80%) av det totale hogstvolumet hentes fra arealer med en bestandsalder ved hogst som er under 120 år i de første tiårene av framskrivingen (Fig. 8). Samlet sett hentes over 9/10 av totalt avvirket volum fra midlere og bedre boniteter, og om lag 2/3, 1/4 og 1/10 fra henholdsvis gran-, furu- og lauvboniteter. I praksis foregår med andre ord det meste av skogbruksaktiviteten i barskog på midlere og bedre boniteter som har en bestandsalder inntil 120 år ved hogst.

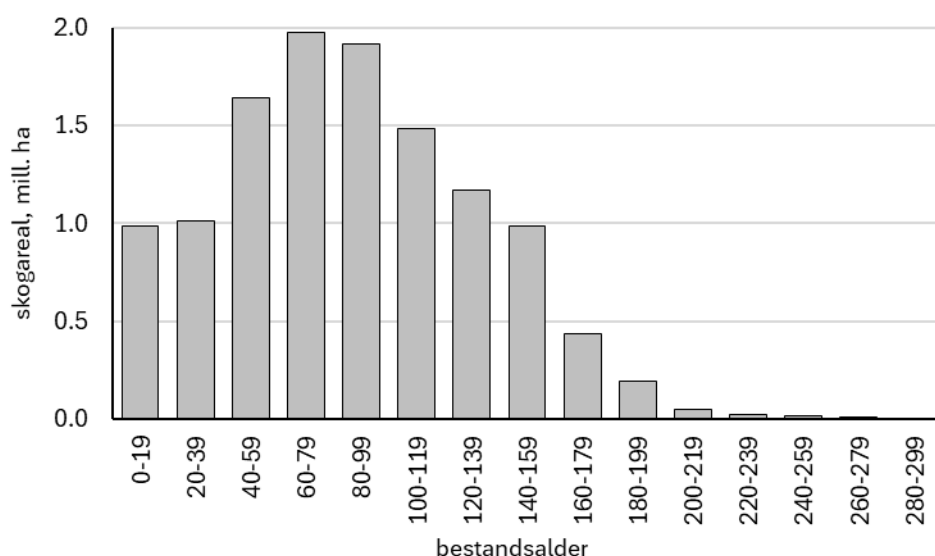


Fig. 7. Aldersfordeling for hele skogarealet i 2022, i 20-års bestandsaldersklasser.

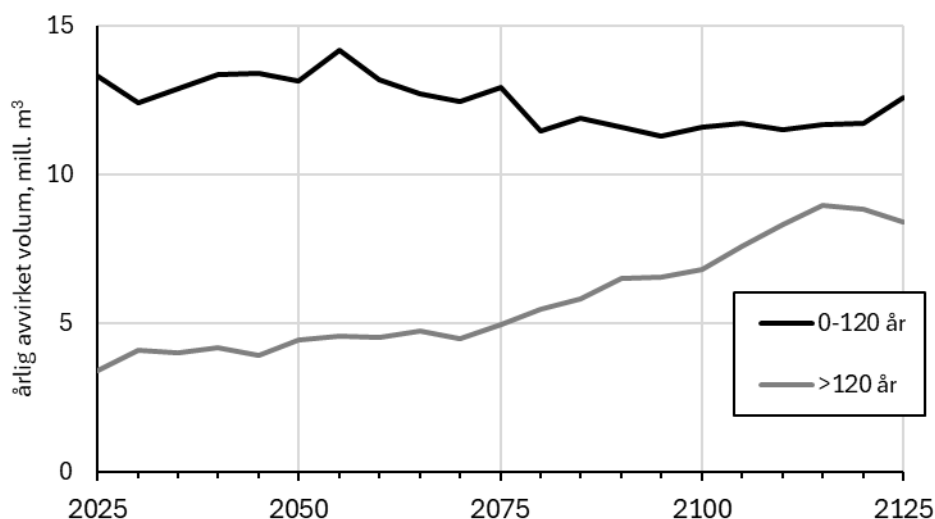


Fig. 8. Totalt årlig avvirket volum i framskrivingsperioden, fordelt på areal med bestandsalder ved avvirking på inntil 120 år (svart) og resten av arealet (>120 år, grå).

Ved en oppdeling av arealet etter bonitetstreslag ser vi at lauvskogen, som i liten grad avvirkes, flytter seg fra den yngre til den eldre aldersgruppen (Fig. 9), og øker i stående volum kontinuerlig gjennom hele framskrivingsperioden (Fig. 11). Barskogen avvirkes i et helt annet omfang, og derfor endrer ikke aldersklassefordelingen seg i like stor grad som lauvskogen (Fig.

9). Dette gjenspeiles også i utviklingen i stående volum, som ligger noenlunde konstant for furu-bonitetene eller øker svakt for gran-bonitetene i den yngre delen av skogen der det avvirkes (Fig. 11 til venstre), men øker kontinuerlig i den eldre delen av skogen som i mye mindre grad er utsatt for hogst (Fig. 11 til høyre).

Tilsvarende kommer fram når en deler inn skogen etter bonitetsklasser (Fig. 10, Fig. 12). Selv om mye areal flytter seg mellom de to aldersklassene (Fig. 10), endrer gjennomsnittlig stående volum seg lite over tid i den yngre delen av skogen (Fig. 12 til venstre), men øker kontinuerlig for alle bonitetsklasser i den eldre skogen (Fig. 12 til høyre). For den høyeste bonitetsklassen er arealet i begge aldersklassene økende (Fig. 10, svarte linjer). Dette kommer av den innebygde klimadrevne bonitetsøkningen i SiTree (se kap. 4.5.2).

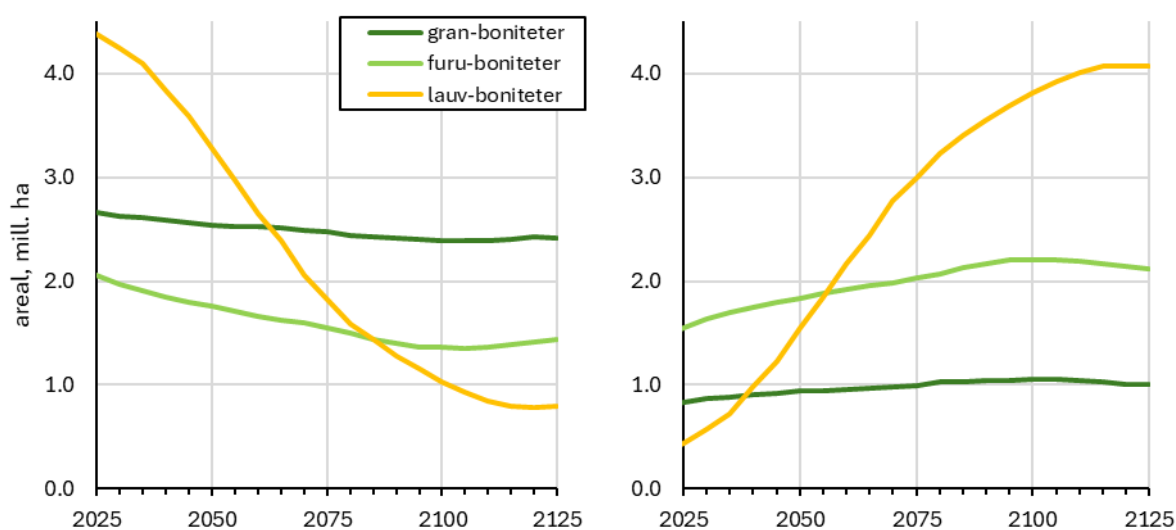


Fig. 9. Skogarealet inndelt etter bonitets-treslag, for skog som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år (til venstre), og resten av arealet (>120 år, til høyre).

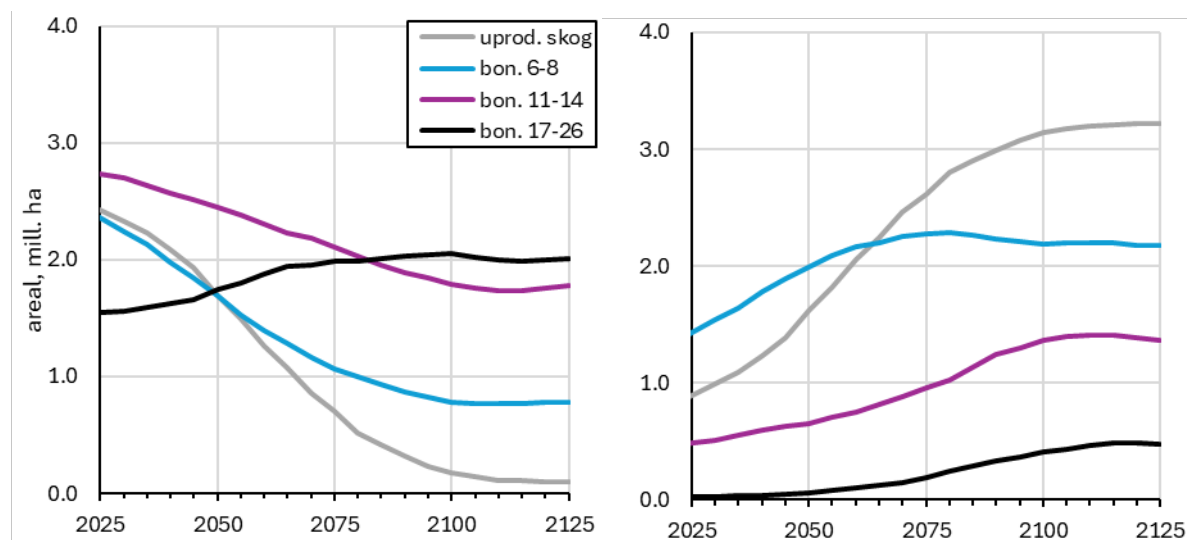


Fig. 10. Skogarealet inndelt etter bonitetsklasser, for skog som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år (til venstre), og resten av skogarealet (>120 år, til høyre).

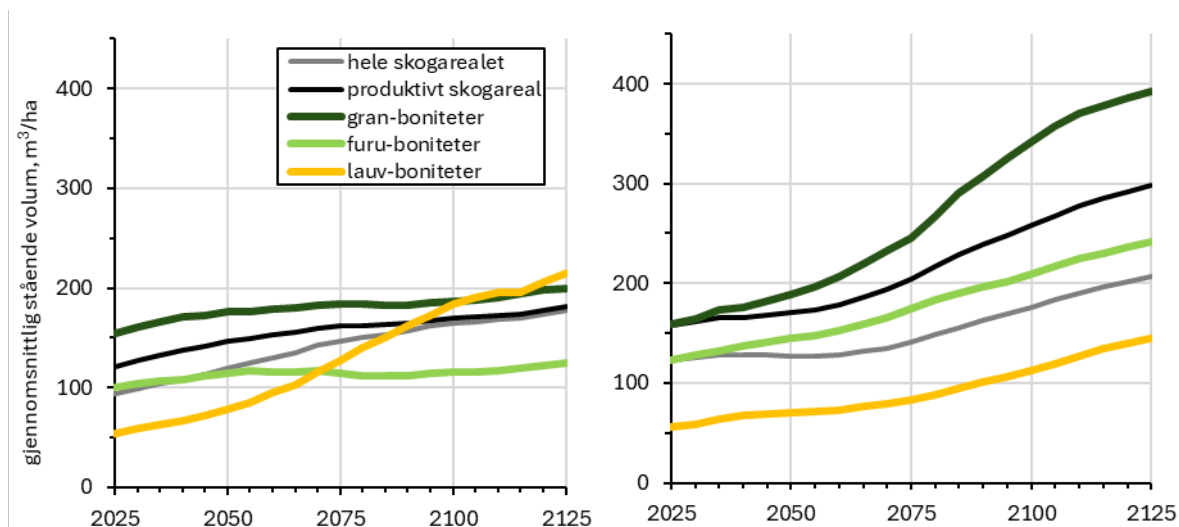


Fig. 11. Gjennomsnittlig stående volum i ulike arealkategorier, for skog som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år (til venstre), og resten av arealet (>120 år, til høyre).

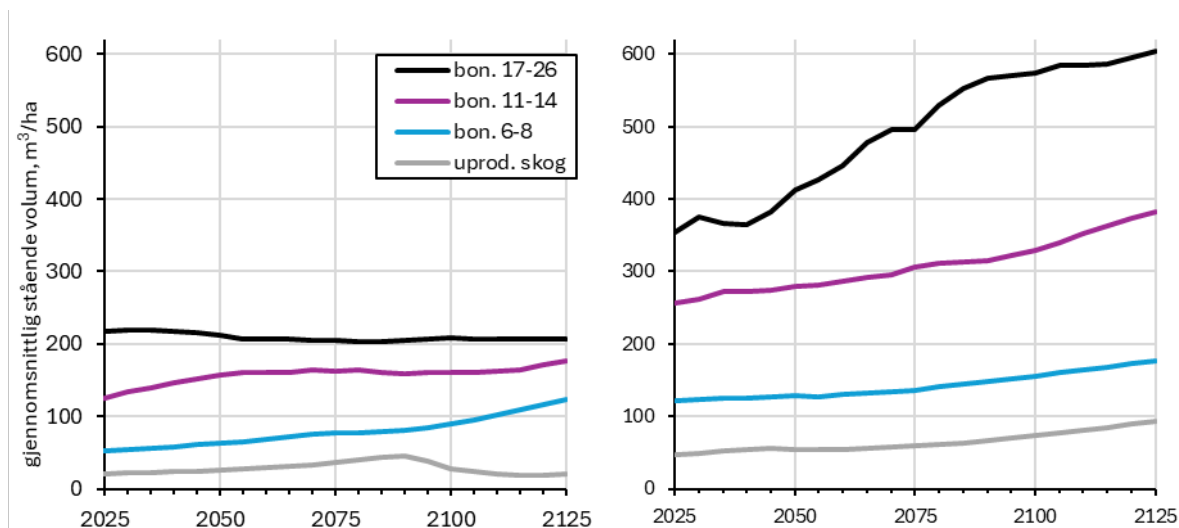


Fig. 12. Gjennomsnittlig stående volum i ulike bonitetsklasser, for skog som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år (til venstre), og resten av arealet (>120 år, til høyre).

På arealer i den yngre aldersklassen der det vesentlige av avvirkningen skjer (0-120 år), antar vi at framskrivingen av vekst og utvikling av skogen er noenlunde treffsikker, siden skog avvirkes, og nyetablering, vekst, skogbehandling og mortalitet skjer omtrent slik det har foregått i referanseperioden, og fordi datagrunnlaget for slik skog er godt. Over tid vil imidlertid usikkerheten øke, fordi endringer knyttet til den klimatiske drevne bonitetsøkningen i SiTree får gradvis økende effekt, samtidig som usikkerheten knyttet til de reelle effektene av endret klima på skogens vekst og utvikling er stor.

For arealene der det drives vesentlig mindre skogbruk (bestandsalder >120 år) er framskrivingene beheftet med stor usikkerhet, og for enkelte arealkategorier urealistiske. Først og fremst fordi det er usikkert om avvirkningen kommer til å holde seg på samme nivå som i referanseperioden, og dermed om arealet med eldre skog vil øke så mye som Fig. 6 viser. For den eldre arealklassen ser det ut til at de levende trærne i stor grad fortsetter å vokse gjennom hele framskrivingsperioden, selv om det ligger begrensninger i hvor store

enkeltrærne kan bli, basert på samlet grunnflate (m^2/ha) i prøveflatene. Årlig mortalitet, målt som volum av trærne som dør i forhold til totalt stående volum, er gjennomgående om lag 0,5%. Dette varierer mellom treslagene, der lauvboniteter ligger høyere og furuboniteter lavere, noe som virker rimelig. Men mortalitets-prosenten er gjennomgående lavere for den eldre delen av skogen (>120 år) sammenlignet med den yngre (0-120 år), noe som burde vært omvendt. Tallet virker urealistisk lavt, kanskje særlig for eldre lauv- og grandominert skog. Siden trærne 'fortsetter å vokse', og mortalitets-prosenten er lav og nesten konstant over tid, så øker gjennomsnittlig stående volum kraftig, men i størst grad i den eldre skogen. Det virker urealistisk at skog som i dag allerede har relativt høy alder og stående volum har potensiale til å doble denne kubikkmassen slik flere av figurene ovenfor viser.

Biologiske og økologiske begrensninger knyttet til bl.a. mortalitet og vekst i gammel skog virker dårlig representert i resultatene fra SiTree, sannsynligvis fordi denne typen skog er dårligere representert i datagrunnlaget som simuleringene er basert på sammenlignet med yngre skog.

4.5.2 Andre vurderinger rundt usikkerhet i estimatene

Simuleringene viser en markant økning i stående volum (og dermed også karbonopptak) for BAU-scenariet, som det er knyttet betydelig usikkerhet til. Det er BAU-scenariet som danner utgangspunktet for simuleringene av klimatiltakene, der kun tiltaksspesifikke justeringer av enkelte forutsetninger er gjort for den enkelte simuleringen (se kap. 4.3). Således må også netto akkumulert opptak for de ulike tiltakscenariene tolkes med samme varsomhet. Generelt gjelder at usikkerheten må forventes å øke med økende tidshorisont, dvs. at beregnet opptak i perioder langt fram i tid er mere usikre enn estimatene for de første periodene.

Det er også viktig å huske at ved en tilskrivingsbasert simulering vil framskrevet etablering, vekst, avvirkning og naturlig avgang reflektere forholdene slik de har vært i referanseperioden (2008-2022). Eksempelvis kjennetegnes første del av denne perioden av generelt høy vekst i norsk skog, mens tilveksten i den siste delen av referanseperioden har vært avtakende og mortaliteten økende. Det er også i simuleringene forutsatt en utvikling av klima i tråd med klimascenariet RCP4.5, som medfører en temperaturøkning som i sin tur utløser en bonitetsøkning. For den produktive delen av skogarealet utgjør denne bonitetsøkningen i gjennomsnitt om lag 1,5 H_{40} -meter fram til år 2100 (Fig. 13).

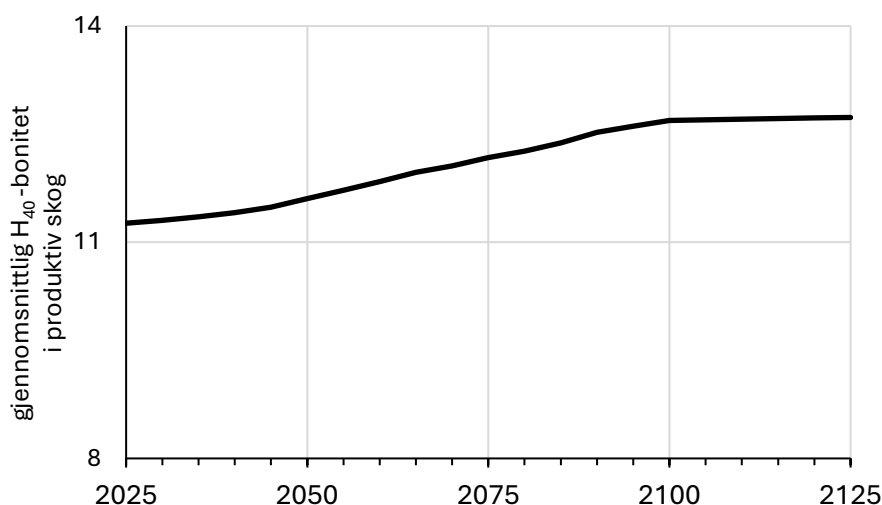


Fig. 13. Gjennomsnittlig H_{40} -bonitet for produktivt skogareal i hele landet, gjennom hele framskrivingsperioden. Siden klimaframskrivingene er implementert i SiTree kun fram til år 2100, opphører praktisk talt bonitetsøkningen etter dette.

Det eksisterer risiko forbundet med biotiske og abiotiske påvirkninger som kan redusere presisjonen i simuleringene. For eksempel kan klimadrevne risikoer for skogstabilitet, tørke, skogbrann, utbrudd av skadeinsekter eller -sopp, fundamentalt påvirke estimerer og prognoser for skogutviklingen (Amiro mfl. 2010, Anderegg mfl. 2020, Friedlingstein mfl. 2014). Dette vil ikke fanges opp av simuleringene utover nivået som er observert (målt på landsskogflatene) i referanseperioden. Det er også usikkerheter assosiert med Yasso07-modellen og estimatene for netto utslipp og opptak fra mineraljord, død ved og strø. Dette siden estimatene påvirkes av forholdet mellom tilførsel og nedbrytning i Yasso-modellen, som i sin tur avhenger av input fra SiTree-kjøringene (tilførsel av strø og død ved) og RCP4.5-klimadatasettene (klimaparametere som styrer nedbryting). Usikkerhet i Yasso-modellen knyttet til bl.a. nedbryting av dødt virke er bakgrunnen for at vi har valgt å benytte mortalitet i stedet for mengde død ved som indikator for økologisk tilstand nedenfor.

Vi anser at den estimerte relative effekten av de simulerte klimatiltakene (relativt til BAU) er mindre påvirket av disse forholdene, men trolig mer koblet til forutsetningene som er lagt til grunn i simulering av enkelttiltakene. Noen av disse forutsetningene er det mangelfull empiri bak slik at de dels er basert på skjønn, f.eks. med hensyn til vekstreduksjon uten ungskogpleie, avgang (tettere planting, markberedning), og hvor lang tid det tar før etablert foryngelse vokser inn i 5 cm diameterklassen under ulike forhold (f.eks. bonitet, skogtyper).

Når man studerer hastigheten på karbonopptak i skog, er det viktig å vurdere begrensningene knyttet til karbonets oppholdstid i atmosfæren (Metzler mfl., 2024). Et aspekt som ikke er fullt ut adressert i Metzler mfl. (2024), er karbonutslippene som følge av hogstaktiviteter. Slike utslipp bidrar til atmosfærisk oppvarming inntil karbonet reabsorberes av ny skogvekst eller alternative karbonlagre (Guest mfl. 2013). Disse utslippene vil imidlertid være like på tvers av de ulike scenariene som vurderes i denne studien, siden hogstvolumene var like på tvers av scenariene. Det er viktig å merke seg at vi antok de samme hogstnivåene for alle scenarier, noe som kan ha viktige implikasjoner ved simulering av scenarier (Heinonen mfl. 2017, 2018a, b). For eksempel vil noen forvaltningsalternativer resultere i en økning eller reduksjon i potensielt hogstvolum, noe som ikke vil gjenspeiles i simuleringene våre, og derfor kan det ha en innvirkning på tømmerforsyning (treprodukter) og karbonbalanse.

4.5.3 Effekt av usikkerhetsvurderingene på presentasjon av simuleringene

Med bakgrunn i forholdene beskrevet ovenfor har vi tatt to grep i presentasjon av resultater fra simuleringene: 1) vi begrenser tidsperioden fram til år 2075 fordi usikkerheten i resultatene øker betydelig på lang sikt, og 2) i flere figurer og tabeller i kap. 5 og 6 deler vi resultatene i arealet 'som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år' og 'resten av arealet (>120 år)' fordi usikkerheten er større og resultatene til dels urealistiske for den eldre skogen der det i mye mindre grad drives skogbruk. Disse vurderingene antar vi gjelder både for estimerer i endringer i karbonopptak, og for de presenterte variablene knyttet til økologisk tilstand.

5 Effekt av klimatiltak på karbonopptak

5.1 Karbonopptak for enkelttiltak

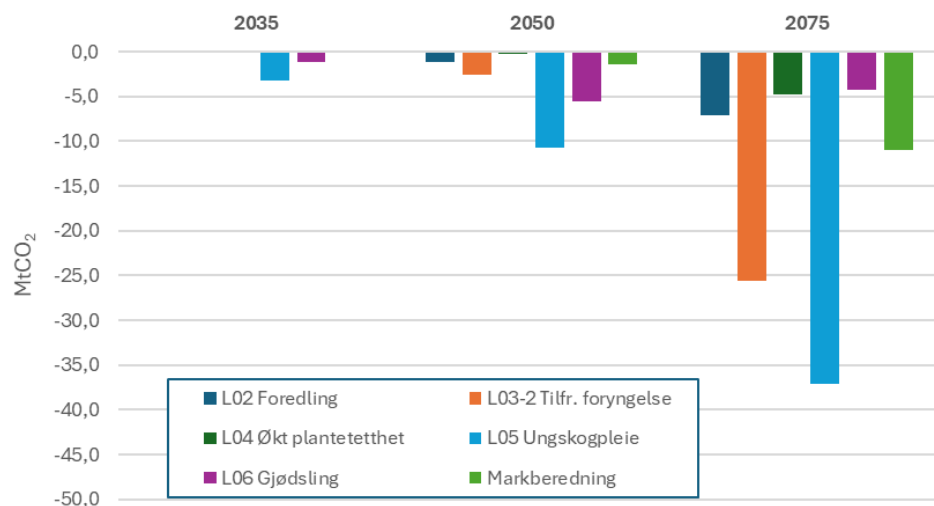
Tabell 7 oppsummerer estimert netto akkumulert opptak simulert med prognoseverktøyet SiTree, fordelt på overjordisk biomasse, mineraljord, død ved og strø per 2035, 2050 og 2075 for de klimatiltakene vi har kunnet framskrive innenfor rammene av dette oppdraget. Prognoseverktøyet og detaljer rundt forutsetningene for framskrivingene av de enkelte tiltakene er beskrevet i kap. 4.

Når en sammenligner mot BAU får vi størst økning i netto akkumulert opptak for L05 Ungskogpleie og L03-2 Tilfredsstillende foryngelse, med en differanse på henholdsvis ca. 37 og 26 millioner tonn CO₂ i 2075 (Fig. 14). Omregnet til gjennomsnittlig årlig økt opptak tilsvarer dette hhv. 0,71 og 0,49 millioner tonn fram mot 2075. Forskjellene mellom ulike tiltak slik det framgår av Tabell 7 og Figur 14. må ses i lys av at arealomfanget av de enkelte tiltakene gjennom simuleringsperioden er veldig ulikt (Fig. 15). For noen av tiltakene kan effekten per arealenhet være stor, men beskjedent arealomfang (og/eller liten endring i areal i forhold til BAU-scenariet) gjør at de ikke gir så stor effekt på akkumulert CO₂-opptak.

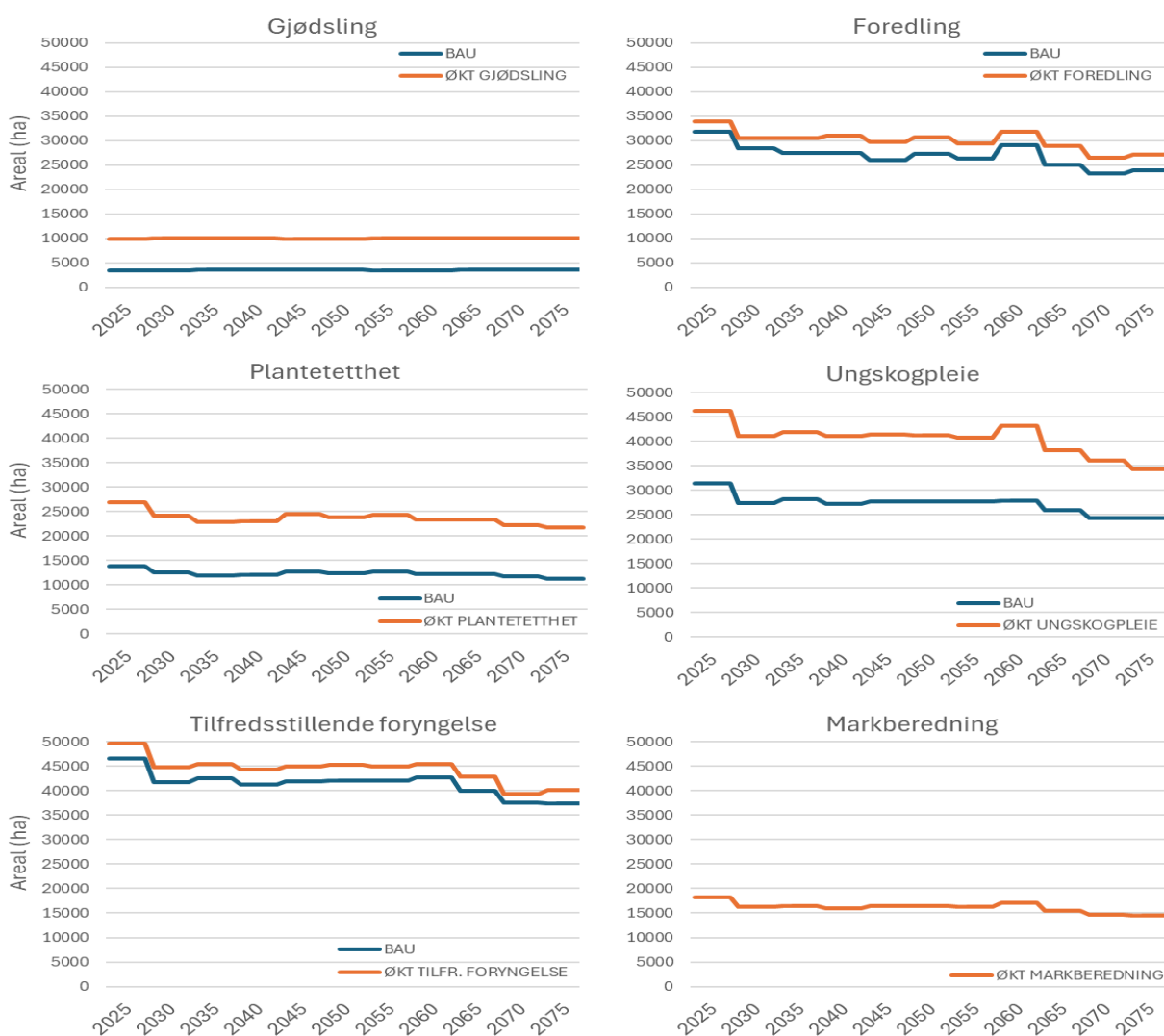
Som nevnt i kap. 4.3 er ikke markberedning inkludert i BAU scenariet, noe som betyr at den beregnede «mereffekten» av å markberede mere enn det som gjøres i dag overestimeres.

Tabell 7. Akkumulert netto CO₂- opptak (Mt CO₂) per 2035, 2050 og 2075 for BAU framskrivingen og framskrivinger med maksimering av ulike klimatiltak enkeltvis. Merk at negative verdier illustrerer opptak av CO₂. Det estimerte opptaket gjelder for hele skogarealet, både produktiv og uproduktiv skog.

		2023-2035	2023-2050	2023-2075
BAU	Levende biomasse	-183,5	-353,9	-677,1
	Mineraljord, død ved og strø	-57,7	-107,4	-182,2
	Totalt	-241,2	-461,4	-859,2
L02 Foredling	Levende biomasse	-183,6	-355,1	-683,2
	Mineraljord, død ved og strø	-57,8	-107,5	-183,1
	Totalt	-241,3	-462,5	-866,3
L03-2 Tilfredsstillende foryngelse	Levende biomasse	-183,4	-356,0	-697,6
	Mineraljord, død ved og strø	-57,7	-108,0	-187,2
	Totalt	-241,1	-463,9	-884,8
L04 Økt plantetetthet	Levende biomasse	-183,5	-354,2	-680,8
	Mineraljord, død ved og strø	-57,7	-107,5	-183,2
	Totalt	-241,2	-461,7	-864,0
L05 Ungskogpleie	Levende biomasse	-186,1	-362,5	-706,7
	Mineraljord, død ved og strø	-58,3	-109,6	-189,6
	Totalt	-244,4	-472,1	-896,3
L06 Gjødsling	Levende biomasse	-184,6	-358,6	-679,3
	Mineraljord, død ved og strø	-57,8	-108,4	-184,2
	Totalt	-242,3	-467,0	-863,5
Markberedning	Levende biomasse	-183,7	-355,1	-685,7
	Mineraljord, død ved og strø	-57,7	-107,7	-184,5
	Totalt	-241,3	-462,8	-870,2



Figur 14. Differanse i akkumulert opptak relativt til BAU per 2035, 2050 og 2075 for tiltakene simulert enkeltvis. Det estimerte opptaket gjelder for hele skogarealet, både produktiv og uproduktiv skog.



Figur 15. Arealomfang av de ulike klimatilstandene simulert enkeltvis, sammenlignet med tilsvarende areal under BAU-scenariet. Arealene er gjennomsnittlig årlig areal i hektar i hver femårsperiode i simuleringene.

Merk at vi er usikre på realismen i de absolutte opptakstallene grunnet forholdene som er belyst i kap. 4.5. Usikkerheten er etter alt å dømme lavere når en kvantifiserer effekten av tiltakene som differanse relativt til BAU-scenariet, selv om resultatene her også vil være følsomme for de forutsetninger som er lagt til grunn, for eksempel treantall og treslagsfordeling i etablert foryngelse, ventetid, og vekstreduksjon ved utelatt ungskogpleie.

5.2 Karbonopptak for kombinerte tiltak

Tabell 8 viser beregnet akkumulert netto opptak under forutsetning av at flere av klimatiltakene implementeres samlet. Vi har her sett på tre ulike kombinasjoner av tiltak som beskrevet i kap. 4.3, inkludert en simulering der alle tiltakene fra Tabell 7 implementeres. For eksempel kan en se at kombinasjonen «Alle tiltak fra Tabell 7» gir et akkumulert meropptak sammenlignet med BAU på nesten 100 Mt CO₂ per 2075, som tilsvarer 1,88 millioner tonn i årlig gjennomsnitt fram mot 2075. Dette er en større forskjell relativt til BAU enn det man får ved å summere opp effekten av alle tiltakene i Tabell 7 enkeltvis, dvs. vi får en samspillseffekt. Et eksempel på en slik samspillseffekt er for eksempel at det blir en større effekt av tiltaket ungskogpleie når dette kombineres med et økt areal som forynges på nytt med bartrær og dermed senere blir ungskogpleid.

For de to andre scenariene som kombinerer tiltak rettet mot bedre foryngelser får vi et meropptak relativt til BAU i størrelsesorden 15-43 Mt CO₂ (Tab. 8, Fig. 16).

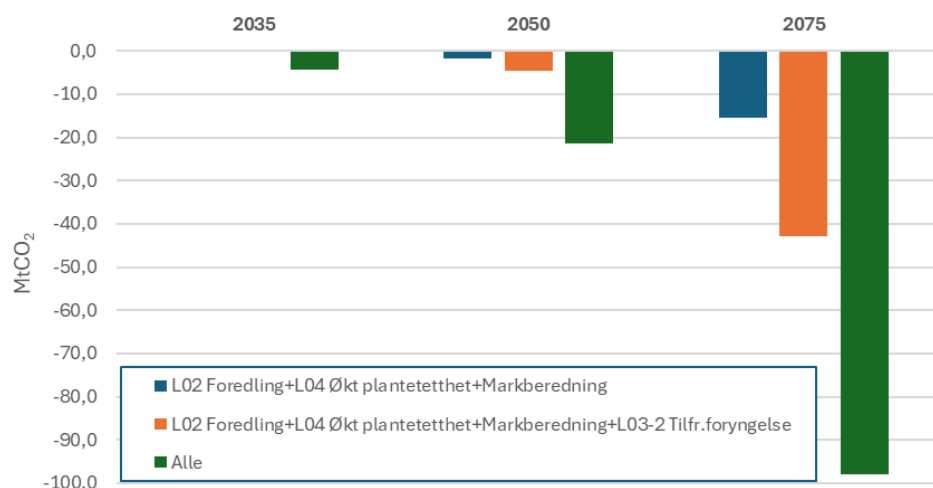
Tabell 8. Akkumulert netto CO₂-opptak (Mt CO₂) per 2035, 2050 og 2075 for framskrivinger med maksimering av utvalgte klimatiltak samlet. Til sammenligning viser vi også her beregnet netto opptak for BAU. Merk at negative verdier illustrerer opptak av CO₂. Det estimerte opptaket gjelder for hele skogarealet, både produktiv og uproduktiv skog.

		2023-2035	2023-2050	2023-2075
BAU	Levende biomasse	-183,5	-353,9	-677,1
	Mineraljord, død ved og strø	-57,7	-107,4	-182,2
	Totalt	-241,2	-461,4	-859,2
Foredling (L02) Økt plantetetthet (L04) Markberedning	Levende biomasse	-183,7	-355,3	-689,4
	Mineraljord, død ved og strø	-57,7	-107,7	-185,4
	Totalt	-241,3	-463,0	-874,8
Som ovenfor + Tilfredsstillende foryngelse (L03-2)	Levende biomasse	-183,3	-357,7	-711,4
	Mineraljord, død ved og strø	-57,7	-108,4	-190,6
	Totalt	-241,0	-466,1	-902,1
Alle tiltak fra Tabell 7	Levende biomasse	-187,2	-371,2	-755,9
	Mineraljord, død ved og strø	-58,4	-111,5	-201,3
	Totalt	-245,6	-482,7	-957,2

5.3 Karbonopptak i ulike aldersklasser - utvalgte scenarier

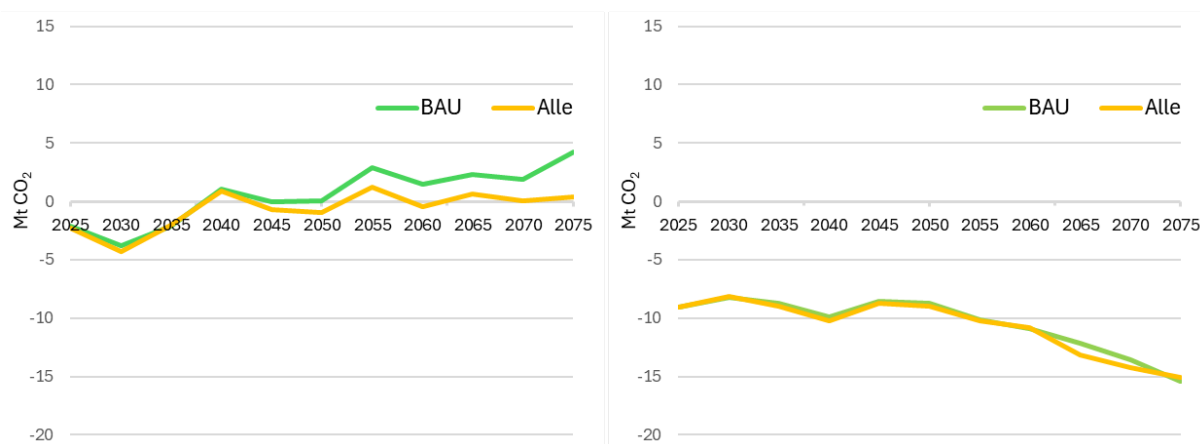
Samtlige av tiltakene i Tabell 7 utføres i produksjonsskog som i all hovedsak er yngre enn nedre aldersgrense for hogstklasse 5, primært i forbindelse med etablering av ny skog eller i ung skog. Et unntak i så måte er L06 Nitrogengjødsling som gjennomføres 10 år før sluttavvirkning. Det er derfor av interesse å se på hvordan netto opptak fordeler seg over tid innen den delen av skogarealet hvor det meste av aktivt skogbruk - inkludert klimatiltakene - skjer. I resultatene nedenfor har vi valgt å vise dette for arealer som til enhver tid har skog med

bestandsalder henholdsvis under eller over 120 år. Siden det generelle mønsteret er likt for de ulike scenariene har vi valgt å avgrense til å vise trendene for BAU-scenariet og scenariet hvor alle tiltak fra Tabell 7 inngår (Fig. 17). Figuren viser kun trender for netto opptak i trærnes biomasse fram til år 2075. Vi har ekskludert uproduktiv skog, siden alle klimatiltakene kun er simulert for produktiv skog.



Figur 16. Differanse i akkumulert opptak relativt til BAU per 2035, 2050 og 2075 for tiltak kombinert.

For både BAU og scenariet med alle tiltak kombinert framgår et tydelig felles mønster, med netto opptak i den første del av simuleringsperioden for arealene med skog der bestandsalderen er under 120 år (Fig. 17, venstre del). Etter ca. år 2050 viser derimot prognosene et netto utslipp (les: reduksjon av karbonlageret i levende biomasse) for BAU-scenariet og tilnærmet netto null endring for scenariet med alle klimatiltakene fra Tabell 7 implementert. Dette illustrerer tydelig og som forventet at det tar tid før effekten av de fleste klimatiltakene gir et utslag på karbonbalansen i skogen.



Figur 17. Netto CO₂- opptak (Mt CO₂) i levende biomasse for produktiv skog med bestandsalder hhv. 0-120 år (venstre del) og i skog med bestandsalder >120 år (høyre del). Merk at negative verdier illustrerer opptak av CO₂.

For den eldre delen av skogen (>120 år, høyre del i Fig. 17) viser prognosene netto opptak (dvs. større tilvekst i levende biomasse enn det som går ut ved hogst og naturlig avgang) gjennom hele perioden. Mot slutten av perioden øker opptaket ytterligere, dels som et resultat av at det gradvis kommer inn noe «behandlet» areal i den eldre aldersklassen som er i en mer produksjonsoptimal tilstand. Fordi klimatiltakene i liten grad utføres i den eldre skogen, er det nesten ikke forskjell mellom BAU-scenariet og scenariet med alle klimatiltakene implementert for den høyeste aldersklassen.

Hvis en vurderer hele skogarealet samlet er det grunn til å bemerke at det vesentlige av karbonopptaket i framskrivingene skjer på arealene der det drives lite skogbruk. Samtidig må disse resultatene ses i lys av at usikkerheten i framskrivingene for vekst og mortalitet er stor for den eldre delen av skogen, jfr. kap. 4.5 og kap. 6.1.

6 Utvikling av et utvalg av indikatorer for økologisk tilstand

Det er gjennomført framskrivning med SiTree for et utvalg indikatorer vurdert som relevante for den økologiske tilstanden i skog (kap. 4.4). Forutsetting i simuleringen er at skogbrukspraksis fortsetter som tidligere (Business-as-usual-simuleringen). I resultatene nedenfor har vi valgt å dele datagrunnlaget i to: areal som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år, og areal som har en alder høyere enn dette (>120 år). Årsaken til denne oppdelingen har to hovedgrunner. Det er i den yngre aldersklassen det vesentlige av skogbruksaktivitetene skjer, og vi vurderer at resultatene fra SiTree er mer realistiske her. I den eldre delen av skogarealet synes resultatene mer usikre, og for enkelte arealkategorier urealistiske (se kap. 4.5).

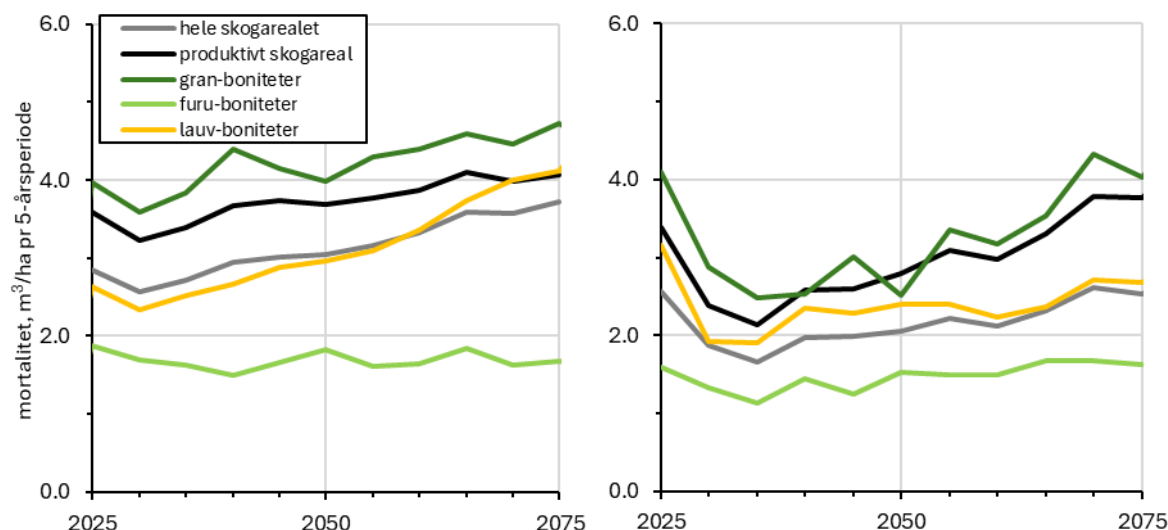
De to indikatorene 'biologisk gammel skog' og 'naturskog' er definert slik at det gir begrenset nytte å dele etter alder på denne måten, så for disse sammenlignes arealer som tilfredsstiller definisjonene med alt areal i aktuelle kategorier. Alle de utvalgte indikatorenes kobling til den økologiske tilstanden i skog har til felles at økende omfang sannsynligvis bidrar til en bedring i økologisk tilstand.

6.1 Dødved-tilførsel

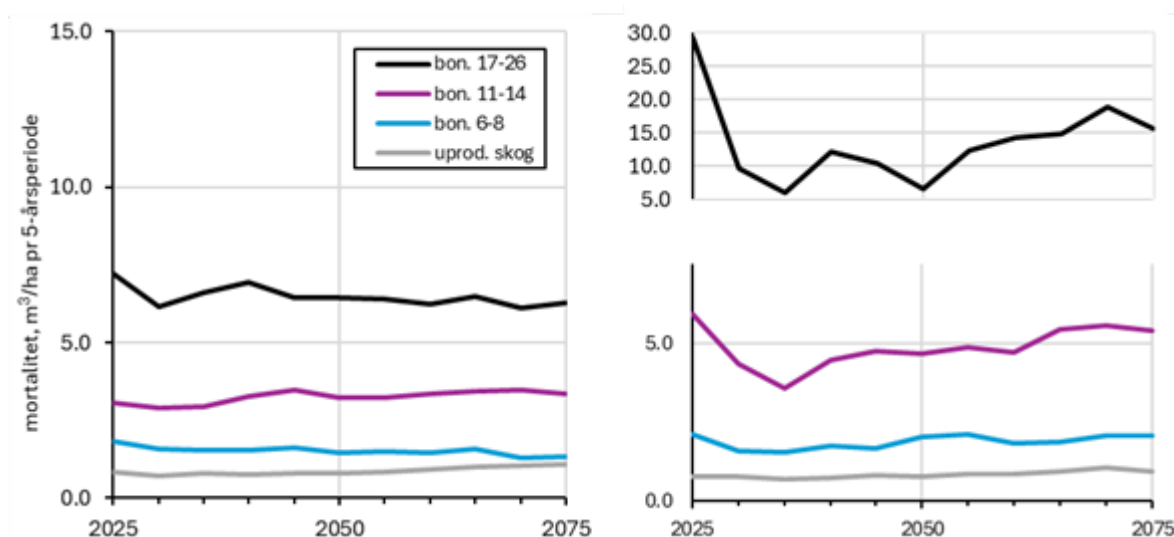
Gjennomgående øker dødved-tilførselen (mortaliteten) i framskrivingsperioden i begge aldersgruppene, men i mindre grad for furuboniteter sammenlignet med gran- og lauvskog (Fig. 18). Dødved-tilførselen fra lauvskogsarealene i den yngre delen av skogen øker mest, men dette kan være en effekt av at arealet med slik skog avtar sterkt i framskrivingsperioden (jfr. Fig. 6), fordi det avvirkes lite lauvskog og denne skogen vokser seg ut av aldersklassen 0-120 år. For alle treslagsgrupper er dødved-tilførselen gjennomgående lavere i den eldre aldersgruppen sammenlignet med den yngre (Fig. 18). Dette synes urealistisk, og kan være forårsaket av manglende datagrunnlag for mortalitet i eldre skog.

Når en deler opp arealet etter bonitetsklasser kommer logiske forskjeller mellom disse tydelig fram; høyere bonitetsklasser har større dødved-tilførsel enn lavere klasser (Fig. 19). Nedgangen i begynnelsen av framskrivingen kan trolig tolkes som en 'korreksjon' i simuleringen på grunn av høy dødelighet i den siste delen av referanseperioden (2008 - 2022) knyttet til de siste årenes tørkesomre.

Det gjennomgående mønsteret er imidlertid at dødved-tilførselen er direkte koblet til det stående volumet av levende trær. Det er høy grad av samvariasjon mellom dødved-tilførselen og gjennomsnittlig stående volum (dvs. korresponderende linjer i Fig. 11 og Fig. 14): med andre ord, når stående kubikkmasse øker som den gjør (jfr. kap. 4.5.1), øker også dødved-tilførselen.



Figur 18. Framskrevet tilførsel av død ved (mortalitet, m³/ha pr 5-årsperiode), for ulike arealkategorier (bonitets-treslag) i skog som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år (til venstre) og resten av arealet (>120 år, til høyre).

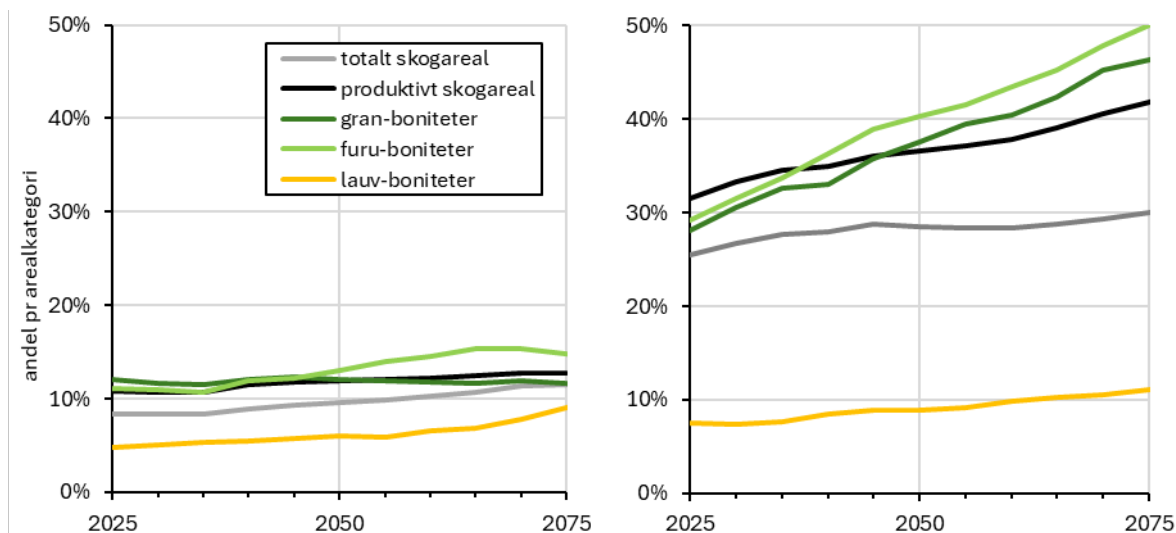


Figur 19. Framskrevet tilførsel av død ved (mortalitet, m³/ha pr 5-årsperiode), for ulike bonitets-klasser i skog som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år (til venstre) og resten av arealet (>120 år, til høyre). Merk at skalaen på y-aksen er annerledes for den høyeste bonitets-klassen i figuren til høyre.

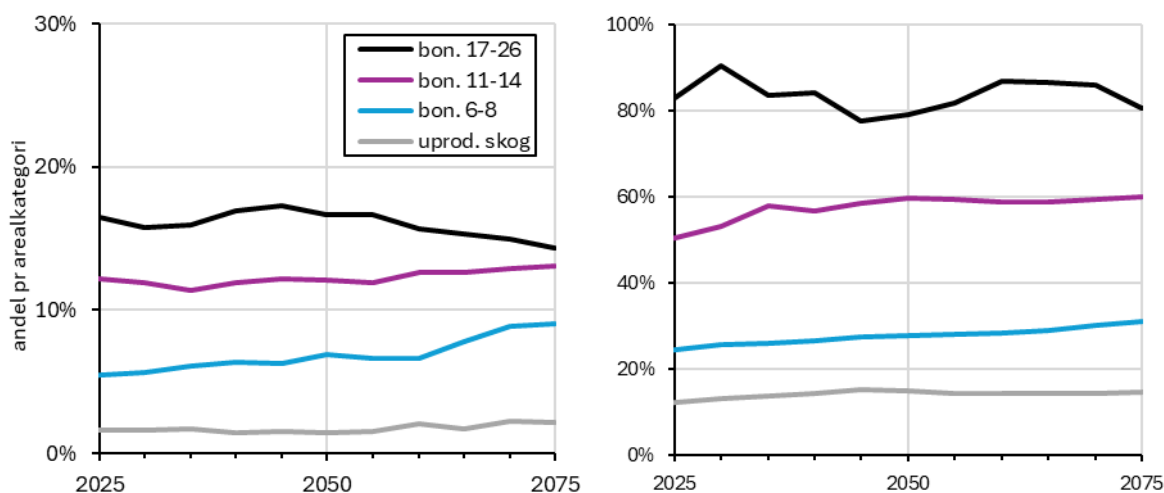
6.2 Areal med forekomst av grove trær

Areal med forekomst av grove trær (her definert som minst ett forekommende tre >40 cm DBH i prøveflata) ligger gjennomgående lavt og endrer seg lite i den yngre delen (0-120 år) av skogen (Fig. 20, til venstre). Her rekker trærne i begrenset grad å nå størrelsen på 40 cm i diameter innen skogen igjen avvirkes eller vokser seg ut av aldersgruppen. På bedre boniteter har naturlig nok en større andel av arealet forekomst av slike grove trær (Fig. 20). At arealet med grove trær øker i den eldre skogen synes rimelig, selv om det kan stilles spørsmålstegn ved omfanget eller hastigheten på denne økningen (Fig. 20, høyre del), jfr. tidligere nevnte forhold om at trærne på disse arealene i stor grad 'bare fortsetter å vokse' gjennom framskrivingsperioden (jfr. kap. 4.5.1).

Definisjonen av grove trær slik vi har benyttet den her er hentet fra pilot-arbeidet i nasjonalt tilstandsregnskap (Nybø mfl. 2025). En slik indikator eller variabel er sannsynligvis nyttig for å vurdere tilstanden i skog, men den bør trolig bearbeides eller relativiseres, siden forskjellige treslag som vokser på ulike boniteter har ulikt potensiale for å nå en gitt størrelse.



Figur 20. Framskrevet areal med forekomst av trær >40 cm diameter i brysthøyde for ulike arealkategorier, i skog som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år (til venstre) og resten av arealet (>120 år, til høyre), angitt som andel av arealet i den enkelte arealkategorien.



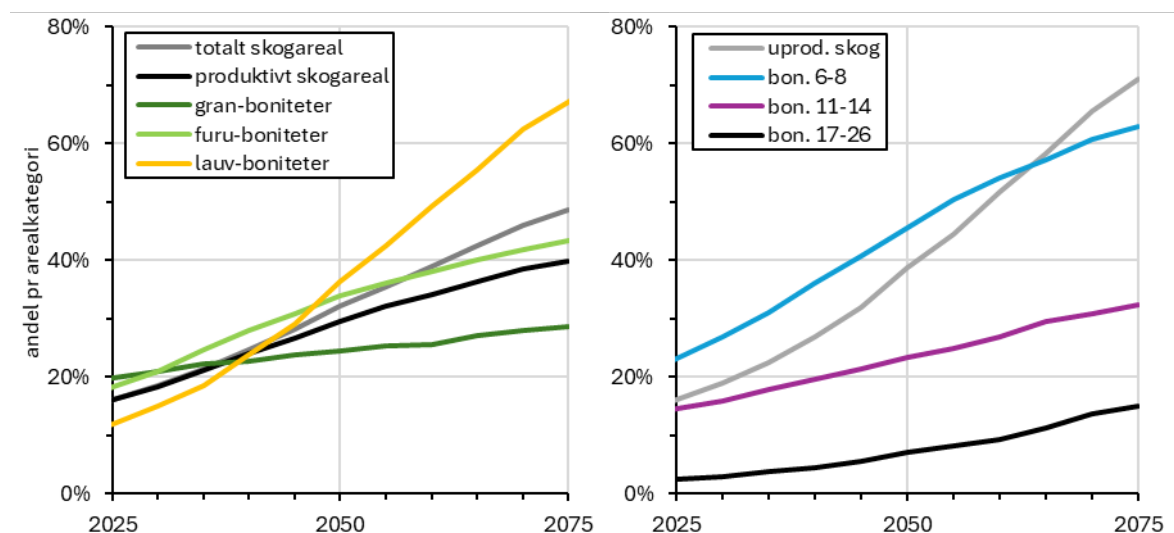
Figur 21. Framskrevet areal med forekomst av trær >40 cm diameter i brysthøyde for ulike bonitetsklasser, i skog som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år (til venstre) og resten av arealet (>120 år, til høyre), angitt som andel av arealet i den enkelte bonitetsklassen. Merk ulik skala på y-aksen.

6.3 Areal med biologisk gammel skog

Arealet med 'biologisk gammel skog' øker i årene som kommer (Fig. 22). Dette skjer som en direkte følge av bestandsaldersstrukturen i dag (Fig. 7) (Storaunet mfl. 2024). Økningen er større på lauv-boniteter og mindre på granboniteter, siden det skjer mer avvirkning i

grandominert skog. Tilsvarende kommer fram når en deler arealet inn i bonitetsklasser; det er større økning i biologisk gammel skog på lavere enn på høyere boniteter (Fig. 22, til høyre).

Utviklingen illustrerer et grunnleggende spørsmål om forutsetningene i BAU-scenariet i framskrivingen. Årlig areal som avvirket ligger fast i hele framskrivingsperioden, på om lag 0,3-0,4% av hele skogarealet. Dersom det øvrige arealet, som på sikt utgjør om lag 60% av hele skogarealet, vokser seg til høy kubikkmasse pr arealenhet: i hvor stor grad vil dette arealet i framtida da fortsatt unntas fra hogst og avvirkning?



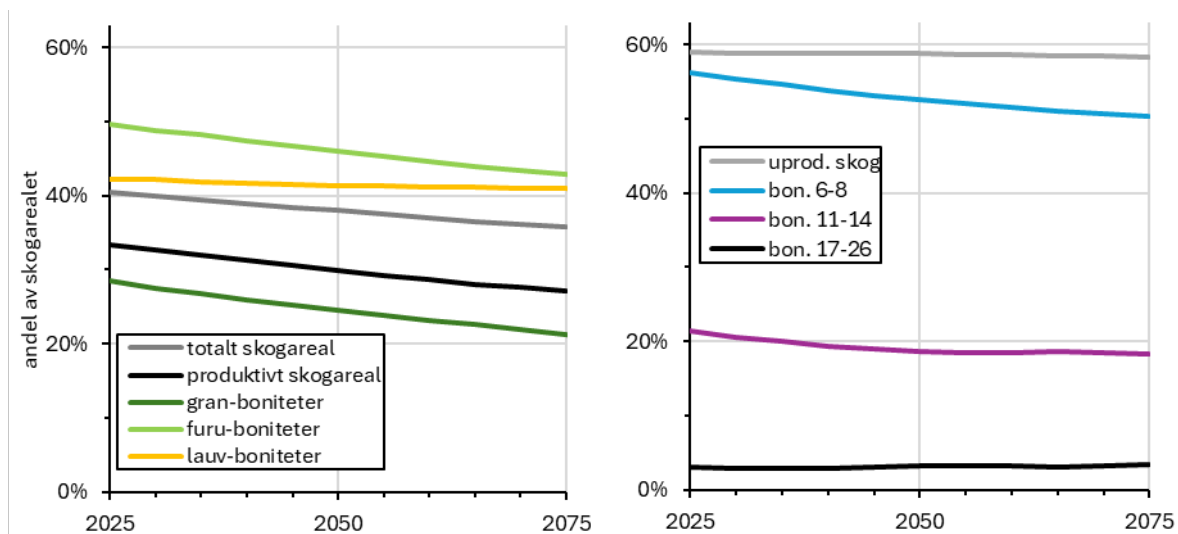
Figur 22. Framskrevet areal med biologisk gammel skog (se definisjon i Tabell 6) fordelt på ulike arealkategorier og bonitetsreslag (til venstre) og ulike bonitetsklasser (til høyre), estimert som andel av arealet i den enkelte arealkategori.

6.4 Areal med naturskog

Areal med 'naturskog' er definert slik at det ikke kan øke (Storaunet & Rolstad 2020), hvilket betyr at de aller fleste arealkategoriene med naturskog er gradvis avtakende (Fig. 23). Denne nedgangen gjelder særlig for gran- og furu-boniteter i produktiv skog, mens den uproduktive skogen og lauvdominert skog praktisk talt ikke viser noen nedgang, fordi det i meget liten grad simuleres hogst eller skogbrukstiltak på disse arealene. Det samme er tilfelle (ingen nedgang) for høyproduktiv skog (bonitetsklassene 17-26) fordi andelen naturskog på disse bonitetene er lav, og trolig i stor grad er utilgjengelig for hogst eller lokalisert i verneområder.

6.5 Blåbærdekning

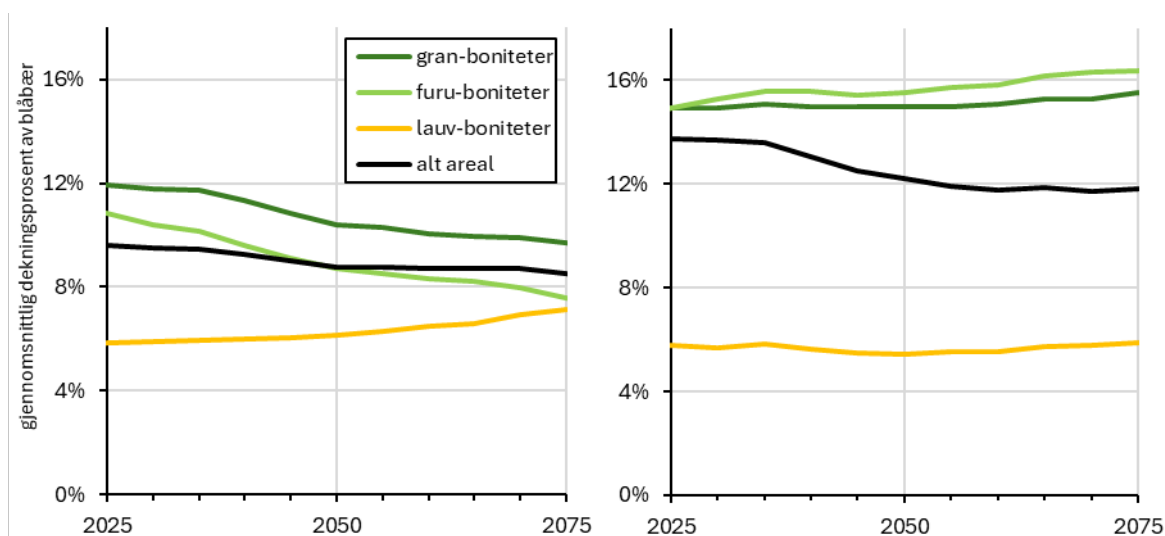
Blåbærdekning er beregnet for et mindre totalt arealgrunnlag enn de andre indikatorene, pga. begrensninger i hvilke skogtyper som ble inkludert ved utvikling av modellen (jfr. kap. 2.2 i Eldegard mfl. 2019). Arealgrunnlaget utgjør 76% av den produktive skogen, og uproduktiv skog inngår ikke. Arealet der beregning av blåbærdekning er gjennomført har en noe høyere andel furu-boniteter og en litt lavere andel lauv-boniteter sammenlignet med all produktiv skog, mens bonitetsklasse-fordelingen er noenlunde lik. Vi vurderer dette til å ha liten praktisk betydning for resultatene.



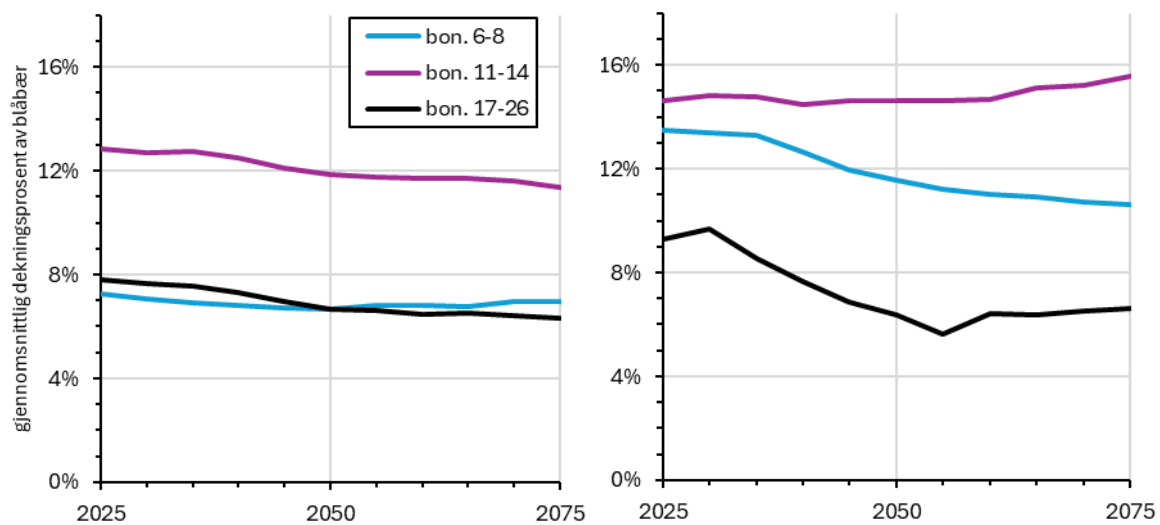
Figur 23. Framskrevet areal med naturskog (etter definisjonen i Storaunet og Rolstad 2020), fordelt på ulike arealkategorier og bonitetstreslag (til venstre) og ulike bonitetsklasser (til høyre), estimert som andel av arealet i den enkelte arealkategori.

Gjennomsnittlig blåbærdekning på arealer i den yngre aldersklassen (0-120 år) er gradvis avtakende for barskogsbonitetene, men endrer seg relativt lite i lauvskogen (Fig. 24, til venstre). I den eldre delen av skogen er endringene relativt små (Fig. 24, til høyre). Gjennomgående er blåbærdekningen større på midlere boniteter sammenlignet både med høyere og lavere bonitetsklasser (Fig. 25).

Forskjeller og endringer over tid i blåbærdekningen kan være forårsaket av at skogen gjennomgående blir tettere (jfr. økningen i stående volum), siden tretettheten (målt som grunnflate, m^2/ha) er den viktigste av variablene som inngår i modellen fra Eldegard mfl. (2019).



Figur 24. Framskrevet gjennomsnittlig dekningsprosent av blåbærplanten, fordelt på ulike arealkategorier, i skog som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år (til venstre) og resten av arealet (>120 år, til høyre).



Figur 25. Framskrevet gjennomsnittlig dekningsprosent av blåbærplanten, fordelt på ulike bonitetsklasser, i skog som til enhver tid har en bestandsalder på 0-120 år (til venstre) og resten av arealet (>120 år, til høyre).

7 Krysseffekter av tiltak

I dette kapittelet beskriver vi effekter av klimatiltak på økologisk tilstand (kap. 7.1) og skogbruk (kap. 7.2). I tillegg sammenstiller vi effekter av klimatiltak på karbonopptak og klimatilpasning (Tab. 9) og mulige effekter av tiltak for å bedre økologisk tilstand på karbonopptak og klimatilpasning (Tab. 10). I kap. 7.3 ser vi på mulige synergier og motsetninger mellom tiltak for klima og tiltak for økologisk tilstand, satt opp langs en tidsakse i skogens suksesjonsstadier, for å synliggjøre i hvilke faser flest tiltak gjennomføres og hvor det er størst sjanse for synergier eller risiko for motsetninger mellom tiltak.

7.1 Effekter av klimatiltak på økologisk tilstand og motsatt

Klimatiltak kan påvirke karbonopptak, klimatilpasning og økologisk tilstand i skog i forskjellige retninger (Tab. 9). En oversikt over sannsynlig retning på effektene er gitt i Tabell 9, etterfulgt av en kort gjennomgang sannsynlige effekter av de enkelte tiltakene på økologisk tilstand i skog. Det er ikke gjort en vurdering i tabellen av hvor sterk positiv eller negativ effekt tiltakene har, fordi dette avhenger sterkt av både arealomfang av tiltaket og hvor tiltaket gjennomføres.

Tabell 9. Vurdering av klimatiltakenes effekt på karbonopptak, skogens klimatilpasning og økologisk tilstand i skog frem til 2075 i bestand der tiltak gjennomføres. ‘+’, ‘-’ og ‘0’ angir at vi har vurdert effekten som henholdsvis positiv, negativ eller nøytral, mens ‘?’ og ‘+/-’ indikerer at effekten er usikker eller avhengig av hvordan tiltaket gjennomføres. Effekten kan være forskjellig på bestandsnivå sammenlignet med landskapsnivå, men er her vurdert på bestandsnivå og for tidsperioden fra nå til 2075, for å samsvare med tidsrammen som brukes for effektene av klimatiltakene (kap. 5).

Klimatiltak	Karbon-opptak	Klima-tilpasning	Økologisk tilstand
Skogplanteforedling	+	+	0
Treslagsvalg etter hogst – tradisjonell	+	-	0
Treslagsvalg etter hogst – utenlandske treslag	+	?	-
Treslagsvalg etter hogst – variert	?	+	+
Grøfterensk etter hogst	+	-	-
Markberedning	+	0	-
Tilfredsstillende foryngelse	+	0	0
Økt plantetetthet	+	-	-
Ungskogpleie - Tradisjonell	+	0	-
Ungskogpleie - Variert	0	+	+
Tynning	-	+	0
Nitrogengjødsling av skog	+	-	-
Hogsttidspunkt - unngå tidlig hogst*	+	0	0
Hogsttidspunkt - forlenget omløpstid **	+/-	0	+
Råtebekjempelse	+	+	0
Planting på nye arealer	+	0	-
Øke andelen lukkede hogster	?	?	+
Ivaretagelse/økning av jordkarbon	+	+	+
Økt avsetning og vern av skog	+	0	+
Restaurering av grøftet myrskog/sumpskog	?	+	+

*Vurderingen omfatter her økt hogstalter opp til biologisk hogstmodenhetsalder

**Vurderingen omfatter her økt hogstalter ut over biologisk hogstmodenhetsalder

Det er også gjort en vurdering av effekten av skogforvaltningens, miljøforvaltningens og prosjektgruppens foreslåtte tiltak for å forbedre økologisk tilstand i skog på karbonopptak og klimatilpasning (Tab. 10). Dette er en sammenligning med dagens praksis der vurderingen gjelder arealet der tiltaket gjennomføres, hvilket betyr at landskapseffekter ikke er vurdert. Det er ikke gjort en vurdering i tabellen av om noen tiltak gir en sterkere positiv eller negativ effekt enn andre.

Tabell 10. Vurdering av effekt av foreslåtte tiltak for bedring av økologisk tilstand på karbonopptak, klimatilpasning og økologisk tilstand. '+', '-' og '0' angir at vi har vurdert effekten som henholdsvis positiv, negativ eller nøytral, mens '?' indikerer at effekten er usikker eller avhengig av hvordan tiltaket gjennomføres. Effekten kan være forskjellig på bestandsnivå sammenlignet med landskapsnivå, men er her vurdert på bestandsnivå og for tidsperioden fra nå til 2075, for å samsvare med tidsrammen som brukes for effektene av klimatiltakene (kap. 5).

Tiltak for økologisk tilstand	Karbon-opptak	Klima-tilpasning	Økologisk tilstand
Skogbrukforvaltningens tiltak			
Øke andelen lukkede hogster*	?	?	+
Øke gjensetting av døde trær ved hogst	0	0	+
Øke gjensetting av store grove lauvtrær ved hogst	0	+	+
Riktig treslagsvalg etter hogst**	?	+	+
Ungskogspleie med sikte på å bedre økologisk tilstand***	0	+	+
Forlenge omløpstiden****	+/-	0	+
Redusere avgang i plantefelt med bekjempelse av fremmede arter	+	0	+
Restrukturering av skog gjennom småflatehogst i tynningsfelt	0	+	+
Økt ivaretagelse av økologisk funksjon i kantsoner ved hogst	0	+	+
Ivaretagelse av brent areal etter skogbrann	0	0	+
Miljøforvaltningens tiltak			
Raskere gjennomføring av skogvernet etter NML*****	+	0	+
Forbedre økologisk tilstand i skogvernområder	-	0	+
Økt restaurering av skog	?	?	+
Bedre ivaretagelse av truet natur	?	?	+
Økt bekjempelse av fremmede arter	0	?	+
Andre aktuelle tiltak for å forbedre økologisk tilstand i skog			
Identifisering og bevaring av skog i god økologisk tilstand	+	0	+
Øke gjensetting av gamle og/eller grove bartrær ved hogst	0	0	+
Tette grøfter i myrskog og sumpskog*****	-	?	+
Veteranisering av eldre trær	-	0	+
Øke mengde og variasjon av død ved	-	0	+
Kontrollert brenning	-	+	+
Fremme rogn, osp, selje i eldre skog	-	+	+

*Tilsvarende Øke andelen lukkede hogster i Tabell 9

**Tilsvarende Treslagsvalg etter hogst – variert i Tabell 9

***Tilsvarende Ungskogpleie – variert i Tabell 9

****Sammenlign Hogsttidspunkt i Tabell 9

*****Sammenlign Økt avsetning og vern av skog i Tabell 9

*****Sammenlign Restaurering av myrskog/sumpskog i Tabell 9

Skogplanteforedling

Skogplanteforedling gjøres først og fremst som et produksjonstiltak med mål om å fremme tilvekst, klimatilpasning og virkeskvalitet (for eksempel med hensyn på kvistsetting, stammeform, veddensitet og forekomst av skader og feil som gankvist og dobbelttopp). Et begrenset utvalg av mortrær vil kunne føre til at plantematerialet har mindre genetisk diversitet enn det vi finner i naturlig foryngede bestander, men Sønstebø mfl. (2018) har vist at det er relativt liten forskjell i genetisk variasjon mellom trær i naturlige bestand og trær i frøplantasjer.

Grantrær som vokser raskt (uansett om det er på grunn av genetikk, miljøforhold eller skogskjøtsel), får imidlertid en annen vedstruktur og lavere densitet enn saktevoksende trær. Dette påvirker hvilke arter som vil bryte ned veden når trærne dør. Det er store kunnskapshull på dette området, men det finnes enkelte studier som har sett på hvilke arter nedbrytersopp som etablerer seg på den døde veden, og om forskjellige arter har fortrinn avhengig av vedens densitet. For eksempel viser en studie (Edman mfl. 2006) at rødlistet rosenkjuke (*Fomitopsis rosea*, NT) har et fortrinn i nedbrytning av død ved som stammer fra saktevoksende trær med høy densitet, mens den vanlige arten rødbrandkjuke (*Fomitopsis pinicola*, LC) har et konkurransefortrinn i død ved som stammer fra rasktvoksende trær.

Det er sannsynlig at effekten av skogplanteforedling på økologisk tilstand er nøytral til muligens svakt negativ, men dette er et lite studert fagområde.

Treslagsvalg etter hogst

Effekten på økologisk tilstand i skog av riktig treslagsvalg etter hogst avhenger av hvilke avveininger som er gjort ved treslagsvalget. Dersom treslagsvalget er voksestedstilpasset og man har hatt som mål om å øke mengden av blandingskog (både barblanding og bar-lauvblanding) fremfor rene granbestand vil tiltaket være nøytralt eller positivt for økologisk tilstand. Nøytralt dersom utgangspunktet var et blandingsbestand og positivt dersom utgangspunktet var et homogent granbestand.

Dersom treslagsvalget bidrar til økt areal med monokultur av gran av gran og trevirke fra utenlandske treslag vil tiltaket ha en negativ effekt på økologisk tilstand i skog. Dette fordi tette, plantede, rene granbestand huser et mindre mangfold av arter og funksjoner, og siden flere utenlandske treslag er vurdert å utgjøre en risiko for våre økosystem (både i skog og i åpent lavland) (Artsdatabanken 2023).

Grøfterensk etter hogst

Grøfting for skogproduksjon er gjennomført i stor skala både på torvmark, i sumpskog og på frisk fastmark. I henhold til Landsskogtakseringen har vi i produktiv skog ca. 2,7 millioner daa som er grøftet for skogbruksformål (Stokland mfl. 2022). Grøftingen er gjennomført i forbindelse med nyetablering av skog og dreneringseffekten av grøftene avtar i løpet av skogens utvikling, både fordi trærne trekker opp mye vann fra marken gjennom transpirasjon og fordi grøftene gradvis gror igjen. Ved hogst opphører trærnes drenerende effekt og vannstanden heves igjen, men ikke opp til opprinnelig nivå.

Noen naturtyper av myr og sumpskog er rødlistet, deriblant både sørlig intermediaær og rik myr- og sumpskogsmark (Artsdatabanken 2025a). I tillegg er flere rike og friske skognaturtyper på lite endret fastmark rødlistet, f.eks. flomskog og sørlige friske lågurt- og kalkskoger, der

storbregne- og høgstaudebarskog inngår (Artsdatabanken 2025b). For disse naturtypene er grøfting og skogbrukstiltak vurdert som viktige påvirkningsfaktorer.

Grøfterensk vil motvirke vannstandshevingen og derved virke i motsatt retning av eventuelle restaureringstiltak. På areal der grøftingen allerede har ført til sterk endring og den opprinnelige naturtypens mangfold er borte, vil imidlertid ikke grøfterensk ha særlig betydning for økologisk tilstand. På areal der effekten av tidligere grøfting er mindre, og arealtypen fortsatt er restaurerbar, vil grøfterensk være negativ for økologisk tilstand. I tillegg er all nygrøfting negativt for økologisk tilstand i skog, ved at drenering endrer grunnleggende egenskaper og derved artssammensetningen på arealet. Nygrøfting er ikke tillatt på åpen myr, men er tillatt på annen mark.

Markberedning

Markberedning innebærer fjerning av vegetasjon og forstyrrelse av skogbunnen. Dette reduserer forekomsten av arter i undervegetasjonen, som moser, lav, sopper og mikroorganismer, og dermed påvirkes også habitatet til små pattedyr, fugler og insekter. Fjerning av mose påvirker også jordas evne til å holde på fuktighet.

Markberedning har blitt brukt i skogbruket siden 1960-tallet, men effektene uavhengig av flatehogst har i relativt liten grad blitt studert. I sin gjennomgang av eksperimentell dokumentasjon av virkningen av skogbruk og restaureringsaktiviteter på biologisk mangfold i boreale skoger i Fennoskandia, inkluderte Koivula og Vanha-Majamaa (2020) også markberedning. De fant at markberedning har en negativ påvirkning på karplanter, moser og lav på bakken. Spesielt arter assosiert med eldre suksesjonsstadier avtar, mens pionerarter drar nytte av markberedning. De fant også negativ effekt på spesialistarter av løpebiller som trives i lukket skog, mens løpebillearter assosiert med åpne habitater hadde fordel av markforberedning. Moser og lav på trær og død ved ble også negativt påvirket av markberedning. Ring og Sikström (2024) fant i en gjennomgang av svenske og finske studier at effekten av markberedning på dekning og forekomst av arter i bunnvegetasjonen var avhengig av sammensetningen i det opprinnelige plantesamfunnet, intensiteten av markberedningen og etableringsraten til ulike arter. Artenes dekning så generelt ut til å avta for sen-suksjesjonsarter, mens pionerarter kan dra nytte av mikromiljøene som skapes.

Generelt sett kommer mange av de negative virkningene på biologisk mangfold av markberedning fra ødeleggelse og forstyrrelse av død ved, spesielt middels og sterkt nedbrutt død ved. Mens selve hogsten kan ødelegge rundt 10 % av eksisterende død ved kan intensiv markberedning ødelegge eller medføre store endringer i ytterligere 70 % av den døde veden (Koivula & Vanha-Majamaa 2020). I Norge gjennomføres markberedning i striper eller flekker heller enn intensiv markberedning og PEFC Skogstandard 2022 (Anon. 2022) har kravpunkter som omtaler hvor markberedning skal unngås. Koivula & Vanha-Majamaa (2020) viser til at også slik markberedning kan ødelegge over 30 % av den døde veden, med sterkere negativ effekt på godt nedbrutt død ved. Dette er spesielt viktig ettersom en stor del av skogens biologiske mangfold, inkludert sopp og mikroorganismer, insekter og moser, er avhengig av død ved.

Mange av de nyere studiene om påvirkningen av markberedning på biologisk mangfold i boreal skog er fra Nord-Amerika. For eksempel rapporterte Smenderovac mfl. (2023) at samfunn av leddyr, bakterie, sopp, protister og planter ble påvirket av markberedning, inntil

fem år etter markberedningen. Endringer i samfunnene var karakterisert av økning i nedbryterorganismer og nedgang i planteassosierte organismer. Bognounou mfl. (2024) rapporterte om endringer i bakkevegetasjon etter markberedning i en nordlig løvskog i Canada. Plantesamfunnets stabilitet og motstandskraft ble redusert etter markberedning. Negative effekter av markberedning ble forsterket der det tidligere var utført nitrogengjødsling.

Endringer i biologisk mangfold og funksjonelt viktige arter kan også påvirke skogens karbondynamikk, for eksempel kan uforstyrret og heldekkende undervegetasjon ta opp mer karbon enn vegetasjon som har blitt forstyrret av markberedning. Det er også viktig at markberedningen utføres på en slik måte at erosjonsfaren ikke øker (se kap. 2.2.3.).

Tilfredsstillende foryngelse, økt plantetetthet og ungskogspleie

Etter naturlig, storskala forstyrrelse vil det variere hvor raskt nye trær etablerer seg, men de fleste steder vil det naturlig være stor lauvdominans i en lengre periode. Gran er et seinsuksjonstreslag og vil derfor i et naturlig skogøkosystem først etablere seg noen år til noen tiår etter lauvtrærne. Tiltaket «tilfredsstillende foryngelse» handler om å raskt få opp nye produksjonstrær (som regel gran eller furu) etter hogst for å sikre produksjon og raskere opptak av karbon fra nye trær. Sammen med tiltaket «økt plantetetthet» av produksjonstreslag og «ungskogspleie» med sikte på å fremme produksjonstreslaget vil tiltaket redusere arealet med langvarige lauvsuksesjoner etter forstyrrelse. Effektiv brannbekjempelse har også ført til at gamle lauvsuksesjoner er sjeldne i landskapet i dag.

Økt plantetetthet handler om å få opp flere produksjonstrær per arealenhet. Dette kan gi svært tette skoger der lite lys trenger ned til bakken og det derfor blir et dårlig utviklet bunn- og feltsjikt, samtidig som lyskrevende lauvtrær blir utkonkurrert. Fordi blåbær er en nøkkelart i norsk skog, er blåbærdekning en av indikatorene for økologisk tilstand. Blåbær trives best i halvåpen skog. Arealet med for tett skog for blåbær har økt (Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet 2023) og vil kunne fortsette å øke med tiltak som tettere planting. Samtidig har mer glisne skoger blitt tettere og kan på sikt bli mer egnet for blåbær. Det er imidlertid vist i flere studier at gjenetablering av blåbær tar flere årtier og at intensiv skogskjøtsel påvirker blåbærdekningen negativt (Hedwall mfl. 2013, Tonteri mfl. 2016, Kjønaas mfl. 2021, Asplund mfl. preprint). Blåbærdekning estimeres også i Landsskogtakseringen, og til forskjell fra de negative trendene i våre naboland ser det ut til at blåbærdekningen øker i norsk skog (Storaunet 2025, SLU 2024), uten at det er gjort grundigere undersøkelser av hvilke arealtyper dette skjer på. Motsatt viser framskrivingene i SiTree nedadgående trender for blåbærdekning i skogen vi bruker mest aktivt men mere stabile trender i skog som i mindre grad hogges (kap. 6.5). Ut fra det vi vet om økologien til blåbær, kan vi konkludere med at tettere planting vil være negativt for dekning av blåbær.

Ungskogspleie har tradisjonelt blitt gjort for å fremme utviklingen av produksjonstreslaget (som regel gran eller furu) fremfor lauvtrær, men det diskuteres også andre typer av ungskogspleie med sikte på å etablere mer varierte skoger. Lav andel eldre lauvtrær i barskogslandskapet er identifisert som en indikator som trekker økologisk tilstand i skog nedover. Tiltak som på kort og lang sikt reduserer tilgangen på grove lauvtrær i skogen er derfor negativt for økologisk tilstand. Ungskogspleie (og også tynning) kan føre til mer lys til bakken som kan være positivt for etablering av bakkevegetasjon (Lindgren mfl. 2006, Strengbom mfl. 2018). I ungskogspleiefase er det imidlertid først og fremst næringskrevende pionerarter som blir begünstiget av denne ekstra lystilgangen.

Tynning

Tynning utføres når trærne er 12-20 m høye, og fører først og fremst til mer lys, næring og vann til de gjenstående trærne. Mer lys og fuktighet er også bra for karplanter og moser på bakken, og for andre organismer som er avhengig av disse. Selv om dette er lite studert, ser det ut til at tynning har en positiv effekt på plantediversitet i skogbunnen (Widenfalk & Weslien 2009, Strengbom mfl. 2018). Tynning fjerner imidlertid også trær som kunne ha blitt til død ved gjennom selvtynning, dog relativt små dimensjoner.

Nitrogengjødsling av skog

Tilførsel av nitrogen til et nitrogenbegrenset økosystem vil i første rekke endre konkurranseforholdet artene imellom, og dermed artssammensetningen. Effekten vil variere mellom vegetasjonstyper, men typisk fører gjødsling til økt innslag av gress på bekostning av andre urter, lyngvekster, moser og lav (Strengbom & Nordin 2008, Granath & Strengbom 2017, Økland mfl. 2022). I jorda reduseres gjerne mengden mykorrhizasopper, mens nedbrytersamfunnet kan gå fra å være soppdominert til å bli bakteriedominert (Maaroufi mfl. 2018) og dermed også påvirke sammensetningen av nematoder som spiser mikrober (Tonjer mfl. 2023).

Schei mfl. (2021) oppsummerer kunnskapen om virkninger av nitrogengjødsling av skog på naturmangfold og økologisk tilstand i boreal skog. De konkluderer med at gjødsling forårsaker endringer i taksonomisk og funksjonell sammensetting av samfunn av karplanter, moser, lav, fauna, sopp og bakterier, som kan strekke seg fra lokal skala til landskapsskala, som vist for insekter og planter. Endringene kan være langvarige; f.eks. var nitrogenverdier i økosystemet fortsatt forhøyet 25 år etter siste gjødsling i svenske boreale skoger (From mfl. 2015). Dette betyr at selv om årlig gjødslet areal er relativt lite - ca. 0,07% av produktivt skogareal eller ca. 0,7 % av det totale arealet av vegetasjonstyper der gjødsling kan utføres (Landbruksdirektoratet mfl. 2021), øker påvirket areal kumulativt med tid. Hogst gjennomføres ofte ca. 10 år etter gjødsling og i den tiårsperioden har arealet med nitrogenforhøyet skog på de aktuelle vegetasjonstypene følgelig økt til 7 %. Det er behov for kunnskap om i hvilken grad endringer av biologisk og funksjonelt mangfold etter gjødsling er reversibelt, særlig i sammenheng med hogst og andre miljøpåvirkninger (samlet belastning). Effekter på naturmangfold er avhengig av dosering og antall gjødslinger. For eksempel fant Sullivan & Sullivan (2018) at en enkelt gjødsling i hovedsak førte til en økning eller ingen endring i dekningsgrad hos karplanter, og ingen endring i artsrikhet eller diversitet, mens to eller flere gjødslinger vanligvis ga en nedgang i disse indikatorene.

Fem av indikatorene for økologisk tilstand er vurdert å sannsynligvis bli påvirket av gjødsling (Schei mfl. 2021). (1) *NDVI* er forventet å øke som følge av gjødsling, hvilket i arealer med en per i dag høy primærproduksjon kan redusere økologisk tilstand, mens i arealer som i dag har lav primærproduksjon kan få en bedret økologisk tilstand. (2) *Ellenberg N* er forventet å øke, noe som kan gi en positiv effekt i områder der indikatoren har en lavere verdi enn forventet (altså områder der jorda er mindre nitrogenrik enn forventet og karplantesamfunnet reflekterer dette), mens i områder der indikatoren har forventet eller for høy verdi vil nitrogengjødsling gi en negativ effekt. (3) *Blåbærdekning* er forventet å bli redusert som følge av gjødsling, og dermed føre til redusert økologisk tilstand. (4) *Bestandsnivå hjortedyr* er forventet å øke etter gjødsling gjennom en økning i beitekvalitet, hvilket i områder med for høy hjorteviltbestand vil redusere økologisk tilstand. (5) Gjødsling er forventet å forårsake

endringer i biologisk mangfold og artssammensetning minst på lokal og landskapsskala, og dermed påvirke *Naturindeks for skog*.

Nitrogengjødsling påvirker også sammensetningen av det kjemiske forsvaret hos planter, inkludert i grannåler fra voksne trær (Hanssen mfl. 2020; Nybakken mfl. 2018). Dette er et resultat av at plantene prioriterer bruk av karbon til vekst framfor produksjon av de karbonbaserte forsvarsstoffene når nitrogenbegrensningen for vekst oppheves eller reduseres. Et nedsatt kjemisk forsvar kan føre til økte angrep fra sopp og insekter (Granath & Strengbom 2017), hvilket er av økende betydning i et klima i endring der trær blir utsatt for både økning i klimarelaterte stressfaktorer samt hyppigere og mer omfattende utbrudd av skadegjørende insekter og patogener (Kausrud mfl. 2022). Et nedsatt kjemisk forsvar kan også øke smakligheten av plantematerialet for beitedyr.

Hogsttidspunkt

Å utsette hogst, det vil si å forlenge omløpstid, vil være positivt for økologisk tilstand. Det vil kunne øke mengde død ved, særlig av større dimensjoner, og sikre kontinuitet for arter som er knyttet til eldre skog både over og under bakken (Lunde mfl 2025). I areal-kategorier (regioner, boniteter, e.l.) der andel gammel eller naturskogs nær skog er lav, som for eksempel høybonitets granskog på Østlandet, kan utsettelse av hogst være spesielt gunstig for økologisk tilstand.

Korte omløpstider vil gi en lavere produksjon av store dimensjoner og derfor mindre grov, død ved på sikt. Dette kan redusere den økologiske tilstanden. Tidlig avvirkning kan også ha betydning for hva som skjer med resten av skogsarealet. Dersom man med kortere omløpstider reduserer avvirkningen av naturskogs nær skog, vil den økologiske tilstanden i skogen samlet sett kunne forbedres. Omvendt vil tiltaket å unngå for tidlig hogst (før nedre aldersgrense for hogstklasse 5) kunne gi en negativ effekt på økologisk tilstand dersom et redusert hogstuttak i hogstklasse 4 kompenseres av økt hogst av naturskogs nær skog.

Råtebekjempelse

Ved bekjempelse av granrotkjuke brukes det i dag mest biologisk kontroll med stor barksopp. Granrotkjuke har nok i utgangspunktet unaturlig høye populasjoner som følge av bestandsskogbruket og en økning av stor barksopp, på bekostning av granrotkjuke, vil sannsynligvis ha liten betydning for den økologiske tilstanden i skog.

Planting av skog på nye arealer

Planting av skog på nye arealer har størst betydning for den naturtypen som blir tilplantet. For eksempel bør man unngå å tilplante semi-naturlig eng, kystlynghei eller andre rødlistede naturtyper (Artsdatabanken 2025b).

Hogstform – mer bruk av lukket hogst

Økt bruk av lukket hogst vil kunne ha enkelte positive effekter for økologisk tilstand, men det avhenger av innretning av tiltaket (Granhus mfl. 2024, 2025). For areal naturskog (definert som skog etablert før 1940, fravær av større eller mindre skogbrukstiltak etter ca. 1965) viste prognosene frem mot 2100 at økt andel lukket hogst ville føre til en økning av hogstarealet av naturskog. Alle scenariene forutsatte en høy og gradvis økende volumtilvekst og volumuttak i skogen. I scenarioene med økt andel lukket hogst var det behov for avvirkning på et større areal for å oppnå samme hogstvolum. Naturskogsarealet ble redusert i alle scenarioene (med mellom 29 % og 39%), og reduksjonen var større jo større andel av avvirkningen som ble

simulert med lukket hogst. For arter knyttet til eldre naturskog med stor variasjon i struktur og død ved vil all type hogst være negativt. Dersom en økning av andelen lukket hogst fører til at man må øke hogstarealet av naturskog for å opprettholde et høyt hogstkvantum kan effekten på økologisk tilstand i sum bli negativ.

Ivaretagelse/øking av jordkarbon

Tiltaket beskrives med tre eksempler på tiltak for å ivareta eller øke jordkarbon 1) reduksjon av kjøreskader og andre fysiske forstyrrelser av jordsmonnet, 2) unngå uttak av greiner og topper (GROT) etter hogst og 3) tilførsel av biokull. Ingen av indikatorene for økologisk tilstand eller naturindeks måler kjøreskader eller markforstyrrelse direkte, men det er sannsynlig at feltsjikt og bunnsjikt påvirkes negativt, og dette kan redusere tilstand for både på blåbærdekning og på de forskjellige Ellenberg-indikatorene for fuktighet og næringstilgang.

Uttak av GROT etter hogst innebærer at greiner og topper, dvs. død ved av mindre dimensjoner, blir fjernet i forbindelse med hogst. Det er en lang rekke organismer (både insekter, edderkopper og sopp) som bruker disse substratene, men ingen av indikatorene i økologisk tilstand eller naturindeks måler disse direkte. I en skog i naturlig dynamikk vil slike substrater oftest tilføres skogbunnen i små mengder kontinuerlig, mens hogst innebærer at det på kort tid blir store mengder av denne typen substrat, samtidig som det blir helt andre lokalklimatiske forhold i området, med mer solinnstråling og vindpåvirkning. Det er derfor sannsynlig at det er en annen sammensetting av arter som benytter greiner og topper i et lite forstyrret system enn som benytter slike substrater etter åpen hogst. Derfor er det vanskelig å forutse effekten på økologisk tilstand og naturmangfold av fjerning av GROT etter hogst. Koivula & Vanha-Majamaa (2020) har imidlertid vist at uttak av GROT kan ha negative påvirkninger på biologisk mangfold i skog, både direkte gjennom fjerning av ressursen, og indirekte gjennom ødeleggelse og forstyrrelse av død ved og eksponering av jord.

Det er nokså tynt kunnskapsgrunnlag knyttet til effekter på økologisk tilstand og naturmangfold av tilførsel av biokull i skog (Hanssen mfl. 2023). Både skogtype, skogtilstand, dosering og påføringsmetode kan påvirke effekten av å tilføre biokull. Gundale mfl. (2016) fant at tilførsel av en høy dose (10 t/ha) i beskjedne grad påvirket mikrobielle jordparametere og vegetasjonen, men bunnvegetasjonens artsrikdom ble likevel noe redusert. Grau-Andres mfl. (2021) undersøkte de samme feltene 8-9 år etter tilførsel og fant at biokull fortsatt påvirket sammensetningen av bunnvegetasjonen, i retning av mer lyngarter og mindre gras og urter, men bare når biokullet hadde blitt blandet inn i jorda, ikke når det var lagt på toppen. Det er sannsynlig at artssammensetningen påvirkes gjennom endrede konkurranseforhold og forstyrrelse av naturlige prosesser og dette kan påvirke Ellenberg-indikatorene. Det er imidlertid ikke grunnlag for å angi størrelsen eller retningen av en slik effekt.

Effektene på økologisk tilstand og naturmangfold av å gjennomføre disse tiltakene vil sannsynligvis være svakt positive eller nøytrale, men det er store kunnskapsmangler.

Økt avsetning og vern av skog

Økt avsetning og vern av skog vil være positivt for økologisk tilstand i skog. Framstad mfl. (2011) identifiserte skogtyper som er verdifulle for biologisk mangfold og brukte data fra Landsskogtakseringen til å beregne disse skogtypenes karbonlager og opptak av CO₂. De fant at de mest karbonrike skogene som regel er høyproduktive og at skogtypenes anslåtte verdi for biologisk mangfold sammenfaller nokså godt med skogtypenes verdi for årlig CO₂-opptak

per arealenhet og oftest også for karbonlager per arealenhet (Framstad mfl. 2011). Gammel granskog og til dels gammel furuskog har store karbonlagre og opptak og disse naturtypene har også høye biomangfoldverdier da mange trua skogarter (over 80 %) er avhengige av substrater som gamle trær og død ved (Artsdatabanken 2021). Rik barskog og eldre edellauvløvskog har også store biologiske verdier. Framstad mfl. (2011) konkluderer med at økt avsetting/vern for flere av de aktuelle skogtypene både sikrer skogens karbonlager og gir gode muligheter for å bevare biomangfoldet, men at på lang sikt vil det årlige opptak av CO₂ gå ned etter hvert som skogen blir eldre og vokser langsommere. Økt vern og avsetting av skog gir nytte for bevaring av biologisk mangfold og bedring av økologisk tilstand i skog, særlig dersom bevaringen er målrettet mot skogarealer som både er karbonrike, rike på strukturer og rike på biologisk mangfold.

Restaurering av grøftet myrskog og sumpskog

Restaurering av grøftet myrskog- og sumpskog innebærer å heve vannstanden ved å tette gamle grøfter, men kan også inkludere hogst av trær og tilførsel av død ved. En heving av vannstanden vil innebære bedre livsbetingelser for myr- og sumpskogsarter, som kan ha gått tilbake som følge av grøfting. Dette vil forbedre både økologisk tilstand og naturmangfold. Hogst av trær kan både ha negative og positive virkninger da hogst i seg selv kan redusere mengden eldre trær i myr- og sumpskogen, men også øke mengden død ved, gitt at trær som avvirkes legges igjen i det restaurerte arealet. Samlet sett anslår vi at restaurering av grøftet myrskog og sumpskog vil være positivt for økologisk tilstand i våtmarksskog.

7.2 Effekter av klimatiltak på skogbruk

Vi gjør her en vurdering av effekter av klimatiltakene på tilvekst, stående volum, avvirkningsnivå og virkeskvalitet. Fordi klimatiltakene som tidligere er vurdert stort sett har som mål å øke karbonopptaket i skogen, blir effektene på tilvekst, volum og avvirkningsnivå naturlig nok positive på sikt for de aller fleste tiltakene. På kort sikt vil mange tiltak ha liten eller ingen effekt. For virkeskvaliteten vil tiltakene i hovedsak være nøytrale eller positive. En oversikt over sannsynlig retning på effektene er gitt i Tabell 11. For noen av tiltakene vil vurderte effekter være svært avhengig av forutsetningene. Dette er markert med flere tegn i tabellen, og diskuteres kort i gjennomgangen av de enkelte tiltakene nedenfor.

Skogplanteledning

Foredlingen har som mål å fremme både vekst, klimatilpasning og virkeskvalitet (for eksempel økt stammerakhet, bedre kvistsetting og færre skader og feil). Men fordi økt vekst kan gi noe lavere densitet, er den samlede effekten på virkeskvaliteten vurdert til nøytral eller positiv. Tiltaket vil gi liten effekt på tilvekst, volum eller avvirkning på kort sikt, men har et betydelig potensial i et langt tidsperspektiv.

Treslagsvalg etter hogst

Treslagsvalg etter hogst som klimatiltak innebærer å forynge med det treslaget som gir størst produksjon på arealet over bestandets liv. For eksempel vil foryngelse med gran på alle områder *hvor treslaget passer*, øke tilvekst, volum og avvirkningsnivå på lang sikt. Mer variasjon i treslagssammensetningen, for eksempel gjennom økt satsing på blandingsbestand, kan som diskutert i kap. 2.2.2 redusere sannsynligheten for store skader og klimatisk stress, slik at man får et vedvarende opptak og lagring av karbon framover i tid. Å redusere andelen av det høyest produserende treslaget vil imidlertid redusere produksjonsevnen og

karbonopptaket der skaderisikoen er liten. Å gå over til blandingsbestand gran-furu eller gran-bjørk på gode granboniteter vil i slike tilfeller redusere tilvekst og stående volum på lang sikt. Effekten kan derfor slå begge veier, avhengig av forutsetningene.

Effekter på virkeskvalitet vil være avhengig av hva slags skog som alternativt etableres på arealet og om den skjøttes.

Tabell 11. Sannsynlig retning (-|0|+) av effekter på skogbruk av klimatiltakene på kort (2035) og lang (2075) sikt.

Tiltak*	Effekter per arealenhet på kort sikt (2035):				Effekter per arealenhet på lenger sikt (2075):			
	Tilvekst	Stående volum	Avirkning	Virkeskvalitet	Tilvekst	Stående volum	Avirkning	Virkeskvalitet
Skogplanteforedling	0	0	0	0	+	+	+	0/+
Treslagsvalg etter hogst - tradisjonell	0	0	0	0	+	+	+	0/+
Treslagsvalg etter hogst - variert	0	0	0	0	-/0/+	-/0/+	-/0/+	0/+
Markberedning	0	0	0	0	+	+	+	+
Tilfredsstillende foryngelse	0	0	0	0	+	+	+	+
Økt plantetetthet	0	0	0	0	+	+	+	+
Ungskogpleie - tradisjonell	0/+	0/+	0	0	+	+	+	+
Ungskogpleie - variert	0/+	0/+	0	0	0/+	0/+	0/+	+
Tynning	-	-	+	0	-	-	0	+
Nitrogengjødsling	+	+	+	0/+	+	+	+	0/+
Hogsttidspunkt – unngå tidlig hogst*	+	+	-	0/+	+	+	+	0/+
Hogsttidspunkt – forlenget omløpstid**	-	+	-	0/-	-	-/0/+	-	0/-
Råtebekjempelse	0	0	0	0	+	+	+	+
Grøfterensk etter hogst	0	0	0	0	+	+	+	0
Planting av skog på nye arealer	-	-	0	0	+	+	+	+
Hogstform (økt bruk av lukkede hogster)	-	-	-	0/+	-	-	-	0/+
Ivaretagelse/økning av jordkarbon	0/+	0/+	0/+	0	0/+	0/+	0/+	0
Økt avsetting/vern av skog	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Restaurering av grøftet myrskog /sumpskog	0	0	0	N/A	-	-	-	N/A

*Utsette hogst til biologisk hogstmodenhet

*Utsette hogst til utover biologisk hogstmodenhet

Tiltak som gir tettere foryngelse

Tiltakene *tilfredsstillende foryngelse*, *tettere planting* og *markberedning* vil alle gi bedre foryngelsesresultat. Tettere bestand vil i tillegg til økt skogproduksjon kunne gi økt virkeskvalitet, gjennom tynnere kvist, smalere årringer og bedre forutsetninger for trevalg i ungskogpleie og tynning. Disse effektene vil komme på lang sikt.

Ungskogpleie

Økt ungskogpleie-aktivitet forventes å øke opptaket i norsk skog betydelig på lang sikt, og kan gi en viss positiv effekt på tilvekst og volum også på kortere sikt, særlig ved tradisjonell ungskogpleie (kap. 5.1). Det er mer usikkert hva slags effekter variert ungskogpleie vil ha på tilvekst og stående volum, også på lang sikt. Effekten av begge variantene av ungskogpleie på virkeskvalitet vurderes også som positiv både ved at kvalitativt dårlige trær selekteres ut i ungskogpleien, og ved at trærne raskere når dimensjoner der de kan benyttes til sagtømmer.

Nitrogengjødsling

Effekten av gjødsling på tilvekst er positiv per arealenhet også på kort sikt, men av liten størrelsesorden i nasjonal skala på grunn av begrenset omfang av tiltaket. Fordi bestandet hogges etter ca. 10 år er effekten på stående volum kortvarig i det enkelte bestand. Men dersom et tilsvarende areal med nye bestand gjødsles hvert år, vil det årlige karbonopptaket og lageret i levende biomasse ligge konstant på et noe høyere nivå enn uten gjødsling.

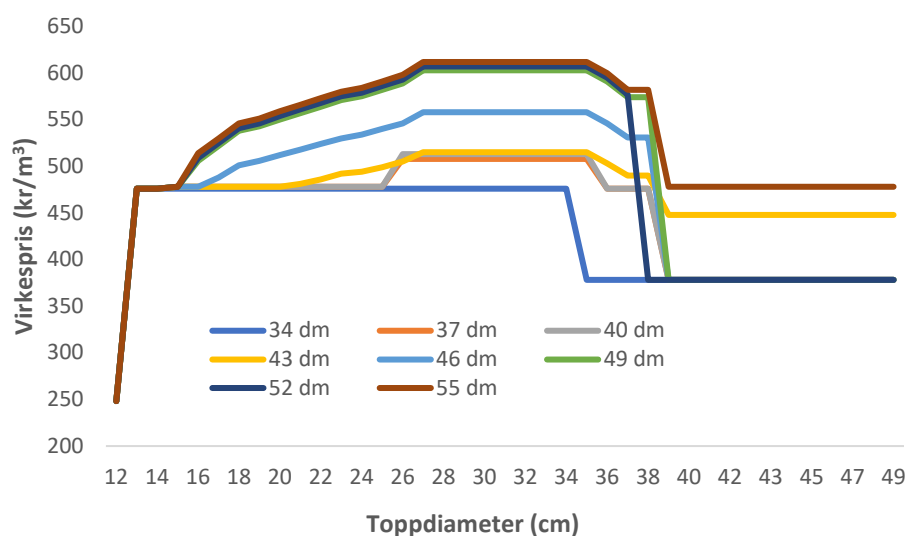
N-gjødsling vil gi økt årringbredde og lavere densitet i ytre deler av stokken. Dette skjæres imidlertid i hovedsak bort i sagbruket og blir til flis, samtidig som sagtømmerandelen kan øke noe med økt diameter. Effekten på virkeskvalitet vurderes derfor som nøytral til svakt positiv.

Hogsttidspunkt

Som diskutert i kap. 2.2.9. vil det å unngå tidlig hogst mens skogen er på sitt mest produktive gi økt tilvekst og volum. Å utsette hogsten til over kulminasjonspunktet for årlig middeltilvekst (dvs. forlenge omløpstiden) vil redusere tilveksten, mens det stående volumet vil fortsette å øke forutsatt at sunnheten i bestandet fortsatt er god. Er den ikke det, øker risikoen for råte, vindfellinger og barkbilleangrep med medfølgende redusert volum, særlig i granbestand. Effekten på stående volum er derfor helt avhengig av trærnes sunnhetstilstand.

Ved å implementere ordninger som medfører utsatt hogst i forhold til «normal» praksis vil hogstvolumet på kort sikt gå ned, så lenge hogsten ikke flyttes til andre arealer med eldre skog. Det er imidlertid viktig å påpeke utsettelse av hogst i yngre skog vil øke hogstvolumet på lengre sikt forutsatt at sunnheten i det enkelte bestand som overholdes er god.

Med økende alder vil naturlig nok gjennomsnittsdimensjonen på trærne i et skogbestand øke. Andelen tømmer som kan benyttes til produkter med lang levetid vil dermed også kunne øke (økt sagtømmerandel) forutsatt at andelen råte ikke blir betydelig med økende alder. Effekten på virkeskvalitet ved å øke hogstaldere kan derfor være positiv i friske bestand, men negativ for eksempel i råteutsatte granbestand. Avvirkning både før og etter økonomisk optimal hogstalder medfører et økonomisk tap for skogeier, men hva som vil være den økonomisk optimale hogstalder er avhengig av den enkelte skogeiers krav til avkastning på stående trekapital og de lokalt gjeldende prismatriser for sagtømmer, som i mange tilfeller ikke premierer grove dimensjoner (Fig. 26). Samtidig har sagbrukene typisk en øvre grense på 55 cm i rot diameter, som betyr at så grovt tømmer kun kan selges som dårligere betalt massevirke eller energivirke. Det vil derfor med dagens prissetting av sagtømmer mangle økonomiske incentiver til å produsere grovt tømmer.



Figur 26. Eksempel på prismatrise for sagtømmerstokker med ulik lengde og toppdiameter (Granhus mfl. 2021).

Råtebekjempelse

Stubbebehandling mot råte vil gi positive effekter på tilvekst, volum, avvirkningsnivå og virkeskvalitet på lang sikt.

Planting av skog på nye arealer

Planting av skog på nye arealer inkluderer også planting av gran på gjengroingsmark som allerede er definert som skog. Rydding av disse arealene før planting senker skogproduksjonen per arealenhet på kort sikt, mens den vil bli høyere på lengre sikt.

Grøfterensk etter hogst

Fordi tiltaket skjer i starten av omløpet vil effekten på skogproduksjonen være liten på kort sikt, men positiv på lang sikt. Effekten på virkeskvalitet vurderes som nøytral.

Hogstform (økt bruk av lukkede hogster)

Lukkede hogster innbefatter hovedformene skjermstilling, gruppehogster og selektive hogster (bledning), og passer best for skyggetålende treslag som gran. Effektene på tilvekst og stående volum kan variere noe mellom formene, men de fleste studier viser noe lavere tilvekst ved lukkede hogster (se Granhus mfl. 2024 og Rautio mfl. 2025). Ved selektiv hogst er skogproduksjonen positivt korrelert med gjenstående volum (Brunner mfl. 2023). En ny gjennomgang av resultater fra norske feltforsøk med selektiv hogst bekrefter dette, men også at produksjonen i hovedsak er lavere enn i ensaldret skog (Kuehne mfl. 2025a, innsendt manuskript). Beregningene i Granhus mfl. (2024) viste at akkumulert netto CO₂-opptak i levende biomasse per arealenhet var større i BAU-alternativet enn i alternativene med økt bruk av lukkede hogster, både på kort og lang sikt.

Ved lukkede hogster avvirknes bare en del av den stående kubikkmassen, i tillegg til at tilveksten altså kan gå noe ned. Avvirkning per arealenhet blir derfor lavere.

Med hensyn til virkeskvalitet fra lukkede hogster finnes det få sammenliknende studier. Rautio mfl. (2025) konkluderer med at virke fra flersjiktet skog har noe høyere gjennomsnittlig densitet og bedre fiberegenskaper til tremasse enn virke fra ensalderskog, men at egenskapene til skurlast av gran fra de to systemene ikke vil skille seg nevneverdig fra

hverandre. Ved selektive hogster hvor uttaket er rettet primært mot de største trærne kan man forvente at en større andel av det avvirkede volumet holder dimensjonskravet til sagtømmer, slik at sagtømmerandelen blir en del høyere enn ved flatehogst. Effekten på virkeskvalitet vurderes derfor som nøytral til positiv.

Ivaretagelse/økning av jordkarbon

Reduksjon av kjøreskader, redusert uttak av hogstavfall (GROT) og tilførsel av biokull er alle tiltak som potensielt kan øke tilveksten og stående volum i skogen, selv om effektene ikke er godt dokumenterte. Mindre kompaktering av jorda er for eksempel positivt for trærnes rotvekst, og dermed for opptak av vann og næringsstoffer. Mindre kompaktering er også positivt for mange jordorganismer, som blir negativt påvirket av kompaktering (Vazquez mfl. 2025). Fjerning av hogstavfall medfører også fjerning av næringsstoffer og dermed en risiko for redusert tilvekst, men effektene på skogproduksjon varierer mellom ulike studier, fra ingen til negativ effekt. For biokull finnes det også varierende resultater. For eksempel fant Palviainen mfl. (2020) en positiv tilveksteffekt av tilførsel i ung furuskog, mens Hanssen (2025) ikke fant noen effekt på veksten i to eldre furubestand i Norge.

Effektene på tilvekst, stående volum og avvirkningsnivå er samlet sett vurdert som nøytrale til positive. Tiltakene vurderes til å ikke påvirke virkeskvaliteten.

Økt avsetting/vern av skog

Avsetting eller vern fører til at arealet ikke lenger er tilgjengelig for hogst eller andre skogbrukstiltak. På det vernede arealet i seg selv er det dermed lite relevant å vurdere effekter på skogbruk.

Hvis vi ser på stående volum og tilvekst isolert fra skogbrukshensyn, vil økt vern av skog på kort sikt kunne føre til økt stående volum, og også økt tilvekst, hvis den eldre skogen som vernes fortsatt er i vekst og ikke utsettes for kalamiteter som stormfelling eller insektangrep. I en periode vil den da legge på seg mer volum enn et alternativ hvor skogen hogges og forynges, fordi det tar noen tiår før det nye bestandet begynner å legge på seg i særlig grad. På lengre sikt vil vern føre til at en mindre andel av skogen er i sin beste produksjonsfase (yngre og eldre produksjonsskog i hogstklasse 3 og 4), slik at tilveksten per arealenhet går ned. På både kort og lang sikt fører økt vern til at større arealer ikke lenger er tilgjengelig for avvirkning. Vernet skog vil også unntas fra positive klimaeffekter som noen av de andre tiltakene, for eksempel foredling, kan ha i skjøttet skog.

Siden trærne uansett ikke skal hogges, er effekter på virkeskvalitet heller ikke relevant å vurdere.

Restaurering av grøftet myrskog og sumpskog

Restaurering av drenert myr har som formål å øke grunnvannstanden igjen ved å tette igjen grøfter, slik at nedbrytningen av torva stopper opp. Når grunnvannet stiger blir det igjen dårligere forhold for trærnes vekst. Dette er en relativt langsom prosess, slik at det på kort sikt neppe vil ha særlig betydning for tilvekst og stående volum. På lang sikt vil det føre til redusert tilvekst, volum og avvirkning på de arealene det er snakk om.

Dersom restaureringen også innebærer å hogge noen av trærne som står der, vil avvirkningen øke på kort sikt, mens tilvekst og stående volum går mot null og følgelig reduseres på både kort og lang sikt vs. å ikke restaurere.

7.3 Synergier og motsetninger mellom klimatiltak og tiltak for økologisk tilstand

De fleste av tiltakene for å forbedre økologisk tilstand i skog, som er beskrevet i kapittel 3, kan gjennomføres både på produktiv og uproduktiv mark og både på skogbruksmark og på skogsmark med annen arealanvendning (inkludert i verneområder), mens klimatiltakene som er beskrevet i kap. 2 er tiltak som er vurdert som aktuelle på produktiv skogbruksmark. Dette betyr at det er først og fremst på produktiv skogbruksmark det er aktuelt å se på mulige synergier og konflikter mellom tiltak for klima og tiltak for å forbedre økologisk tilstand.

Effekter av klimatiltak på naturmangfold og økologisk tilstand er beskrevet i kapittel 7.1. Hensikten med kapittel 7.3 er derfor å synliggjøre hvilke tiltak for klima og for forbedret økologisk tilstand som kan ha synergier dersom de gjennomføres samtidig, og hvilke tiltak som kan ha motstridende effekt. Tiltakene kan plasseres langs en tidsakse etter skogens suksesjonsfaser (Fig. 27), noe som synliggjør at mange aktuelle klimatiltak skjer i åpen fase og ungskogsfase, mens det er færre aktuelle tiltak for økologisk tilstand i denne fasen. Dette henger sammen med at avvirkningen av eldre og gammel skog i seg selv reduserer den økologiske tilstanden til skogen betraktelig, og at de tiltakene som vil forbedre økologisk tilstand i ungskog derfor kun har marginal effekt. I yngre og eldre produksjonsskog er det både færre klimatiltak og færre tiltak for å forbedre økologisk tilstand som er aktuelle. I moden og gammel skog har vi klimatiltak som handler om økt produksjon (gjødsling) og endret avvirkningsform, avvirkningstidspunkt og endret arealbruk (avsetning og vern). Tiltak for økologisk tilstand i denne fasen handler både om redusert negativ effekt av avvirkning, om aktiv restaurering og om avsetning av skog til andre formål enn avvirkning.

7.3.1 Klimatiltak med synergieffekter for økologisk tilstand

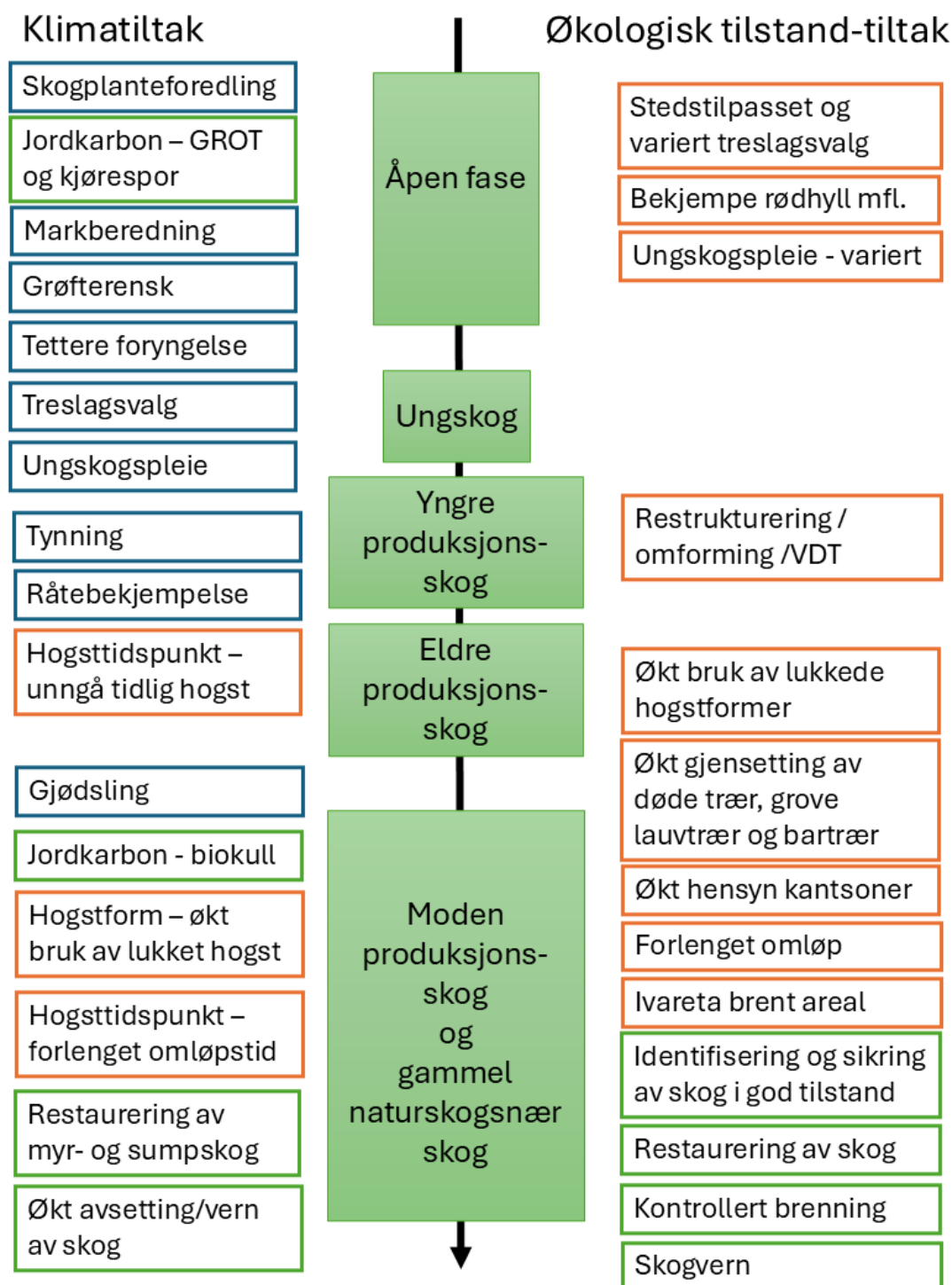
Synergier i åpen fase og ungskogsfase

I tidlig fase i skogens suksesjon vil det være synergier mellom de tiltakene for klima og økologisk tilstand som sikter mot et stedstilpasset og variert treslagsvalg både ved planting (kap. 2.2.2 og 3.1.4) og ved ungskogspleie (kap. 2.2.6 og 3.1.5). Bekjempelse av fremmede arter som rødhyll, som lokalt utgjør et problem for foryngelsen spesielt på bedre boniteter, vil også kunne bidra til økt plantetetthet og oppfyllelse av foryngelsesplikten (kap. 2.2.4, 3.1.7 og 3.2.5). Ved bekjempelse av fremmede arter er det viktig å tilse at det ikke skjer en utilsiktet forurensing av jord, vann og vassdrag eller utilsiktet fjerning av stedegne lauvtrær.

Synergier i midtfasen

I midtfasen (yngre og eldre produksjonsskog) vil det kunne være synergier mellom tynning som del av omstilling til lukket hogst (restrukturerings ved f.eks. «Variable Density Thinning», kap. 3.1.8). Ved at tidlig tynning på sikt øker trærnes stabilitet mot vind, vil tynning også gjøre skogen mere egnet for å overholdes utover normal omløpstid (kap. 2.2.9 og 3.1.6), og bedre egnet for lukket hogst (kap. 3.1.1) når den skal forynges. Tynning gir mer lys på bakken, som har en positiv effekt på plantediversitet i skogbunnen (kap. 7.1). Effekten av tynning som et klimatiltak er derimot usikker, jfr. kap. 2.2.7.

Produktiv skogbruksmark



Figur 27. Klimatiltak og tiltak for økologisk tilstand plassert langs en tidslinje i produktiv skogbruksmark. Tiltak i blå bokser er først og fremst skogbrukstiltak der opptak av karbondioksid og unngått tap til skade er i fokus. Tiltak i oransje bokser handler om utsatt hogst, endret hogstform og skogbrukstiltak der det er tatt ekstra hensyn til klimatilpasning eller økologisk tilstand. Tiltak i grønne bokser handler om ivaretagelse av karbonlagre og/eller sikring og restaurering av skog.

Synergier i sein suksjonsfase

I sein fase (moden produksjonsskog og gammel, naturskogsnaer skog) er det synergier mellom de klimatiltakene og tiltakene for å forbedre økologisk tilstand som handler om forlenget omløp (kap. 2.2.9 og 3.1.6), ivaretagelse av jordkarbon (2.3.2), restaurering av grøftet myr- og sumpskog (kap. 2.3.4 og kap. 3.3.3) og økt avsetning og vern av skog (kap. 2.3.3, kap. 3.2.1 og kap. 3.3.1). De fleste av klimatiltakene som kan ha synergier med økologisk tilstand er imidlertid ikke godt nok utredet med hensyn til karbonopptak og langtidseffekter på klima. For eksempel er restaurering av myr- og sumpskog et viktig tiltak for å bedre økologisk tilstand i skog, men et usikkert klimatiltak, da heving av vannstand kan øke metanutslipp og redusere trærnes vekst. Samtidig kan det være store karbonlagre i torvmarka som blir bevart dersom vannstanden heves. Forlenget omløpstid opp til biologisk hogstmodenhet (Fig. 1, kap. 2.2.9) vil være et godt klimatiltak (kap. 2.2.9) som samtidig kan bidra til at skogen rekker å utvikle flere gamle trær og død ved før den avvirkes. På landskapsnivå kan det medføre at det til enhver tid er et større areal med gammel skog.

Avsetning og vern av gammel skog er et viktig tiltak for biologisk mangfold og for økologisk tilstand. Framstad mfl. (2011) identifiserte skogtyper som er verdifulle for biologisk mangfold og brukte data fra Landsskogtakseringen til å beregne disse skogtypenes karbonlager og opptak av CO₂. De fant at de mest karbonrike skogene som regel er høyproduktive, at skogtypenes anslåtte verdi for biologisk mangfold sammenfaller nokså godt med skogtypenes verdi for årlig CO₂-opptak pr arealenhet og oftest også for karbonlager pr arealenhet (Framstad mfl. 2011). For karbonlagring er gammel granskog og til dels gammel furuskog viktige, og mange trua skogarter (over 80 %) er avhengige av substrater som gamle trær og død ved (Artsdatabanken 2021). Synergier med klimanytte og bevaring av biologisk mangfold kan oppnås spesielt i rik barskog og eldre edellauvløvskog, fordi disse har både stor verdi for biologisk mangfold og som karbonlager, samtidig som opptak av CO₂ pr arealenhet fortsatt er høyt (men kan være høyere i yngre og eldre produksjonsskog i god vekst). Framstad mfl. (2011) konkluderer med at skogvern kan gi gode muligheter til å bevare biomangfold og samtidig sikre skogens karbonlager, selv om det årlige opptaket av CO₂ på lang sikt er forventet å bli lavere i gammel skog.

Forsius mfl. (2023) fant at nye verneområder for biologisk mangfold ga et betydelig potensial for lagring og opptak av karbon innen 2050, noe som indikerer komplementaritet mellom utslippsreducerende tiltak og bevaringstiltak i skog på middels lang sikt. Mer skogvern som et klimatiltak og et bevaringstiltak kan imidlertid gjøre det vanskelig å opprettholde de årlige hogstvolumene, og påvirke bruk av trevirke til substitusjon. Forsius mfl. (2023), Mäkelä mfl. (2023) og Kujala mfl. (2023) viser imidlertid at lavere hogstnivåer kan gagne både karbonlagring og biologisk mangfold i skog (Alam mfl. 2023).

7.3.2 Klimatiltak som kan komme i konflikt med økologisk tilstand

Motstridende tiltak i åpen fase og ungsogsfase

Klimatiltakene økt plantetetthet (kap. 2.2.5) og ungsogspleie (kap. 2.2.6) kan komme i konflikt med økologisk tilstand tiltakene for riktig treslagsvalg etter hogst (kap. 3.1.4) og ungsogspleie med sikte på å bedre økologisk tilstand (kap. 3.1.5). For disse tiltakene er det imidlertid også mulig med synergier, slik det er beskrevet ovenfor.

Motstridende tiltak i midtfasen

I midtfasen er det lite motsetninger mellom klimatiltak og tiltak for økologisk tilstand, men tradisjonell tynning (kap. 2.2.7) og restrukturering av bestand for å egne seg til lukket hogst (3.1.8) har forskjellige mål og kan derved ha noe ulik effekt.

Motstridende tiltak i sein suksesjonsfase

I sein suksesjonsfase vil klimatiltak som nitrogengjødsling av skog (kap. 2.2.8) være negativt for arts mangfold og økologisk tilstand. Generelt vil avvirkning av gammel naturskogs nær skog påvirke økologisk tilstand negativt, men den negative effekten av hogst kan bli mindre dersom gjensetting av døde trær, grove lauvtrær og livsløpstrær av bartrær økes fra dagens nivå.

Litteraturliste

- Abrahamsson, M., Jonsell, M., Niklasson, M. & Lindblad, M. 2009. Saproxylic beetle assemblages in artificially created high-stumps of spruce (*Picea abies*) and birch (*Betula pendula/pubescens*) – does the surrounding landscape matter? *Insect Conservation and Diversity* 2: 284–294.
- Alam, S.A., Kivinen, S., Kujala, H., Tanhuanpää, T. & Forsius, M. 2023. Integrating carbon sequestration and biodiversity impacts in forested ecosystems: Concepts, cases, and policies. *Ambio* 52: 1687–1696.
- Allen, M.G., Anton-Fernandez, C. & Astrup, R., 2020. A stand-level growth and yield model for thinned and unthinned managed Norway spruce forests in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 35(5-6): 238-251.
- Amiro, B.D., Barr, A.G., Barr, J.G., Black, T.A., Bracho, R. mfl. 2010. Ecosystem carbon dioxide fluxes after disturbance in forests of North America. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences* 115, G00K02.
- Anderegg, W.R.L., Trugman, A.T., Badgley, G., Anderson, C.M., Bartuska, A. mfl. 2020. Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science* 368, eaaz7005.
- Anon. 2018. EDEls lille grønne. En håndbok i riktig skogforvaltning. Mjøsen Skog og Glommen Skog. 19 s.
- Anon. 2022. Norsk PEFC skogstandard (PEFC N 02:2022). <https://pefc.no/vare-standarder/norsk-pefc-skog-standard>.
- 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., Mola-Yudego, B., Dalsgaard, L. & Astrup, R. 2016. Climate-Sensitive Site Index Models for Norway. *Canadian Journal of Forest Research* 46: 794–803.
- Antón-Fernández, C. & Astrup, R. 2022. SiTree: A framework to implement single-tree simulators. *SoftwareX* 18(1), 1000925.
- Artsdatabanken 2021. Status for truede arter i skog. Norsk rødliste for arter 2021. <https://artsdatabanken.no/rodlisteforarter2021/fordypning/status-truede-arter-i-skog>.
- Artsdatabanken 2023. Fremmede arter i Norge - med økologisk risiko 2023. <https://lister.artsdatabanken.no/fremmedartslista/2023>. Nedlastet 07.12.2025.
- Artsdatabanken 2025a. Rødlista - våtmark. <https://artsdatabanken.no/Naturtyper/Rodlista-naturtyper/Om-Rodlista/Vurderte-naturtyper/Rodlista-vatmark>.
- Artsdatabanken 2025b. Norsk rødliste for naturtyper 2025. <https://lister.artsdatabanken.no/naturtyper/2025>.
- Asplund, K.U.J., Karlsen, D.P., Brysting, A.K., Halvorsen, R., Kauserud, H., Kjønaas, O.J. & Asplund, J. (submitted). Long-term effects of clear-cutting on understory plant communities in boreal forests.
- Belbo, H. & Granhus, A. 2023. Årsaker til tidlig hogst: Undersøkelser rettet mot skogeiere, virkeskjøpere og kommunal skogbruksmyndighet. NIBIO Rapport 9(149): 1-48.

- Belbo, H & Granhus, A. 2025. Årsaker til tidlig hogst: Hva forteller landsskogtakstene? NIBIO Rapport 11(131): 1-22.
- Bengtsson, V. & Wheeler, P. 2021. The effects of veteranisation of *Quercus robur* after eight years. Länsstyrelsen Östergötland report 2021, 13 s.
- Bergseng, E., Eriksen, R., Granhus, A., Hoen, H. F. & Bolkesjø, T. 2018. Utredning om hogst av ungskog. NIBIO Rapport 4(39) 1-35.
- Bjørkvoll, E., Kolstad, A., Töpper, J., Czúcz, B. & Framstad E. 2025. Indeksmetoden for vurdering av økologisk tilstand (IBECA). Teknisk protokoll, versjon 2.0. NINA Rapport 2633. Norsk institutt for naturforskning.
- Bognounou, F., Paré, D. & Laganière, J. 2024. Changes in understory plant communities following soil scarification and amendments in a Northern Hardwood Forest. *Forest Ecology and Management* 568, 122089.
- 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.
- Borys, A., Suckow, F., Reyer, C., Gutsch, M. & Lasch-Born, P. 2016. The impact of climate change under different thinning regimes on carbon sequestration in a German forest district. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 21: 861-881.
- Bottero, A., D'Amato, A.W., Palik, B.J., Bradford, J.B., Fraver, S. Battaglia, M. A., & Asherin, L. 2017. Density-dependent vulnerability of forest ecosystems to drought. *Journal of Applied Ecology* 54: 1605-1614.
- Braastad, H. 1983. Forholdet mellom høydebonitet og produksjonsevne for gran, furu, bjørk på samme voksested. *Aktuelt fra Statens Fagteneste for Landbruket* Nr.3 s. 50-59.
- 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, 46.
- Breidenbach, J., Astrup, R., Snoksrud, O. M., Sjøgaard, G., Granhus, A. mfl. 2024. Store endringer i utviklingstrenden for norsk granskog. Nedlastet 20.12.24 <https://nibio.no/tema/skog/skog-og-miljoinformasjon-fra-landsskogtakseringen/store-endringer-i-utviklingstrenden-for-norsk-granskog?locationfilter=true>.
- Bright, R. M., Allen, M., Anton-Fernandez, C., Belbo, H., Dalsgaard, L., Eisner, S., Granhus, A., Kjønås, O. J., Sjøgaard, G. & Astrup, R. 2020. Evaluating the terrestrial carbon dioxide removal potential of improved forest management and accelerated forest conversion in Norway. *Global Change Biology* 26: 5087-5105.
- Brodie, L. C. & Harrington, C. A. 2020. Guide to variable-density thinning using skips and gaps. USDA Gen. Tech. Rep, PNW-GTR-989, Portland, Oregon, USA.
- Brunner, A. 2024. Variable density thinning designs for harvester-based operations in Northern Europe. *Scandinavian Journal of Forest Research* 39: 248-256.
- Brunner, A., Hanssen, K.H. & Granhus, A. 2023. Selektive hogster - en kunnskapssammenstilling. MINA fagrapport 88, 51 s.
- Braastad, H. 1983. Forholdet mellom høydebonitet og produksjonsevne for gran, furu, bjørk på samme voksested. *Aktuelt fra Statens Fagteneste for Landbruket* 3: 50-59.
- Cambi, M., Certini, G., Neri, F. & Marchi, E. 2015. The impact of heavy traffic on forest soils: A review. *Forest Ecology and Management* 338: 124-138.

- Collalti, A., Trotta, C., Keenan, T. F., Ibrom, A., Bond-Lamberty, B. mfl. 2018. Thinning can reduce losses in carbon use efficiency and carbon stocks in managed forests under warmer climate. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* 10: 2427–2452.
- Dalsgaard, L., Astrup, R., Anton-Fernandez, C., Borgen, S.K., Breidenbach, J. mfl. 2016. Modeling Soil Carbon Dynamics in Northern Forests: Effects of Spatial and Temporal Aggregation of Climatic Input Data. *PLoS One* 11, e0149902.
- de Quesada, G., Rautakoski, H., Xu, J., Li, Q., Larmola, T. mfl. 2025. Carbon dynamics after thinning in two boreal forest sites: Upland and drained peatland. *Forest Ecology and Management* 595, 123024
- de Wit, H. & Kvindesland, S. 1999. Carbon stocks in Norwegian forest soils and effects of forest management on carbon storage. *Rapport fra skogforskningen, Supplement 14*: 52 s.
- Edman, M., Möller, R. & Ericson, L. 2006. Effects of enhanced tree growth rate on the decay capacities of three saprotrophic wood-fungi. *Forest Ecology and Management* 232: 12–18.
- Dyrørdal, A.V., Bakke, S.J., Hanssen-Bauer, I., Mayer, S., Nilsen, I.B. mfl. (red.) 2025. Klima i Norge – kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2025. NCCS-rapport 1/2025, 344 s.
- Egnell, G. 2017. A review of Nordic trials studying effects of biomass harvest intensity on subsequent forest production. *Forest Ecology and Management* 383: 27–36.
- Englund, G., Eggers, J., Jonsson, B-G., Schulte, M. & Skytt, T. 2025. Why We Disagree about the Climate Impact of Forestry – A Quantitative Analysis of Swedish Research. *Environmental Management* 75: 1923–1937.
- Escobar, D., Belyazid, S. & Manzoni, S., 2022. Back to the Future: Restoring Northern Drained Forested Peatlands for Climate Change Mitigation. *Frontiers in Environmental Science* 10, 834371.
- Eldegard, K., Scholten, J., Stokland, J.N., Granhus, A. & Lie, M. 2019. The influence of stand density on bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) cover depends on stand age, solar irradiation, and tree species composition. *Forest Ecology and Management* 432: 582–590.
- Espinosa del Alba, C., Hjältén, J., & Sjögren, J. 2021. Restoration strategies in boreal forests: Differing field and ground layer response to ecological restoration by burning and gap cutting. *Forest Ecology and Management* 494, 119357.
- Felton, A., Nilsson, U., Sonesson, J., Felton, A. M., Roberge, J. M. mfl. 2016. Replacing monocultures with mixed-species stands: Ecosystem service implications of two production forest alternatives in Sweden. *Ambio* 45: 124–139.
- Forsius, M., Holmberg, M., Junttila, V., Kujala, H., Schulz, T. mfl. 2023. Modelling the regional potential for reaching carbon neutrality in Finland: Sustainable forestry, energy use and biodiversity protection. *Ambio* 52: 1757–1776.
- Fossestøl, K. O. & Sverdrup-Thygeson, A. 2009. Saproxylic beetles in high stumps and residual downed wood on clear-cuts and in forest edges. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24: 403–416.
- Framstad, E., Stokland, J.N. & Hysen, G. 2011. Skogvern som klimatiltak. Verdifulle skogstyper for biologisk mangfold og karbonlagring. NINA Rapport 752. 38 s.

- Framstad, E., Berglund, H., Jacobsen, R.M., Jakobsson, S., Ohlson, M. mfl. 2021. Vurdering av økologisk tilstand for skog i Norge i 2020. NINA Rapport 2000. 148 s.
- Friedlingstein, P., Meinshausen, M., Arora, V.K., Jones, C.D., Anav, A. mfl. 2014. Uncertainties in CMIP5 climate projections due to carbon cycle feedbacks. *Journal of Climate* 27: 511–526.
- Frivold, L. H. & Frank, J. 2002. Growth of mixed birch-coniferous stands in relation to pure coniferous stands at similar sites in south-eastern Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17: 139-149.
- From, F., Strengbom, J., & Nordin, A. 2015. Residual Long-Term Effects of Forest Fertilization on Tree Growth and Nitrogen Turnover in Boreal Forest. *Forests* 6: 1145-1156.
- Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F. mfl. 2018. Negative emissions - Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters* 13, 063002.
- Gleixner, G., Tefs, C., Jordan, A., Hammer, M., Wirth, C. mfl. 2009. Soil Carbon Accumulation in Old-Growth Forests. I: Wirth, C. mfl. (Red.), *Old-Growth Forests. Ecological Studies* 207, 231, Springer-Verlag.
- Granath, G. & Strengbom, J. 2017. Nitrogen fertilization reduces wild berry production in boreal forests. *Forest Ecology and Management* 390: 119-126.
- Granhus, A., Breidenbach, J., Eriksen, R., Gjertsen, A. K. & Solberg, S. 2018. Tilstand i foryngelsesfelt. Analyse basert på data fra Resultatkartleggingen, Landsskogtakseringen og Økonomisystem for skogordningene (ØKS). NIBIO Rapport 4(159): 1-46.
- Granhus, A., Ødegård, E., Bergseng, E. & Bergsaker, E. 2021. Lukkede hogster – produksjon, foryngelse og økonomi. NIBIO Rapport 148(7): 1-41.
- Granhus, A., Antón-Fernández, C., de Wit, H., Hanssen, K. H., Høistad Schei, F. mfl. 2024. Effekter på karbondynamikk, miljø, og næring ved økt bruk av lukkede hogstformer. NIBIO Rapport 10(48): 1-100.
- Granhus, A., Jansson, U., Holt Hanssen, K., Rolstad, J., Sevillano, I. mfl. 2025. Arealeffekter av økt bruk av lukkede hogstformer. NIBIO Rapport 11(51): 1-46.
- Grau-Andres, R., Pingree, M.R.A., Oquist, M.G., Wardle, D.A., Nilsson, M.C. mfl. 2021. Biochar increases tree biomass in a managed boreal forest, but does not alter N₂O, CH₄, and CO₂ emissions. *Global Change Biology Bioenergy* 13: 1329-1342.
- Guest, G., Cherubini, F. & Strømman, A.H. 2013. The role of forest residues in the accounting for the global warming potential of bioenergy. *GCB Bioenergy* 5, 459–466.
- Gundale, M.J., Nilsson, M.-C., Pluchon, N. & Wardle, D.A. 2016. The effect of biochar management on soil and plant community properties in a boreal forest. *Global Change Biology Bioenergy* 8: 777-789.
- Gundale, M. J., Axelsson, E. P., Buness, V., Callebaut, T., DeLuca, T. H. mfl. 2024. The biological controls of soil carbon accumulation following wildfire and harvest in boreal forests: A review. *Global Change Biology* 30, e17276.
- Gurwick, N. P., Moore, L. A., Kelly, C. & Elias, P. 2013. A Systematic Review of Biochar Research, with a Focus on Its Stability in situ and Its Promise as a Climate Mitigation Strategy. *Plos One* 8(9), e75932.

- Gustavsson, L., Nguyen, T., Sathre, R. & Tettey, U. Y, A. 2021 Climate effects of forestry and substitution of concrete buildings and fossil energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 136, 110435.
- Gustavsson, L., Haus, S., Lundblad, M., Lundstrom, A., Ortiz, C.A. mfl. 2017. Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fossil fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67: 612–624.
- Hagenbo, A., Anton-Fernandez, C., Bright, R. M., Rasse, D. & Astrup, R. 2022. Climate change mitigation potential of biochar from forestry residues under boreal condition. *Science of the Total Environment* 807, part 3, 151044.
- Hanewinkel, M., Albrecht, A. & Schmidt, M. 2013. Influence of stand characteristics and landscape structure on wind damage. I: Gardiner, B., Schuck, A., Schelhaas, M.-J., Orazio, C., Blennow, K. & Nicoll, B. (red.). *Living with storm damage to forests*. European Forest Institute. 39-45.
- Hanssen, K.H., 2021. Potensielt areal for markberedning i Norge. Notat 30. mars 2021, NIBIO. 8 s.
- Hanssen, K.H. 2025. Biokull i skog - hvilke effekter har det? *Magasinet Skog* nr. 3, s.28-29.
- Hanssen, K.H., Asplund, J., Clarke, N., Selmer, R. & Nybakken, L. 2020. Fertilization of Norway spruce forest with wood ash and nitrogen affected both tree growth and composition of chemical defence. *Forestry* 93: 589-600.
- Hanssen, K. H. & Kuehne, C. 2022. Gran og bjørk i blanding - hvordan går det egentlig? *Skog* nr. 4 s. 44-46.
- Hanssen, K. H., Solberg, S., Hietala, A., Krokene, P., Rolstad, J. mfl. 2019. Skogskader – en kunnskapssammenstilling. NIBIO Rapport 5(153): 1-52.
- Hanssen, K.H., Bruckman, V.J., Gundale, M., Indriksons, A., Ingerslev, M. mfl., 2023. Biochar in forestry. Status in the Nordic-Baltic countries. NIBIO Rapport 9(31): 1- 90.
- Hasegawa, S., Schanke Aas, K., Jansson Asplund, U., Dalsgaard, L., de Wit, H. mfl. 2025. Soil Carbon Dynamics and Biodiversity in Boreal Forests from Harvest Maturity to Old-Growth: A Research Overview. NIBIO Rapport 11(152), 34 s.
- Hedwall, P.-O., Brunet, J., Nordin, A. & Bergh, J., 2013. Changes in the abundance of keystone forest floor species in response to changes of forest structure. *Journal of Vegetation Science* 24: 296–306.
- Heinonen, T., Pukkala, T., Asikainen, A. & Peltola, H. 2018a. Scenario analyses on the effects of fertilization, improved regeneration material, and ditch network maintenance on timber production of Finnish forests. *European Journal of Forest Research* 137: 93–107.
- Heinonen, T., Pukkala, T., Kellomäki, S., Strandman, H., Asikainen, A. Mfl. 2018b. Effects of forest management and harvesting intensity on the timber supply from Finnish forests in a changing climate. *Canadian Journal of Forest Research* 48: 1124–1134.
- Heinonen, T., Pukkala, T., Mehtätalo, L., Asikainen, A., Kangas, J. mfl. 2017. Scenario analyses for the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry. *Forest Policy and Economics* 80: 80–98.
- Hietala, A.M., Solheim, H. & Talbot, B. 2016. Råte i granskog: Det er store forskjeller i kjennskap til forekomst og kontrolltiltak innen norsk skogbruk. NIBIO POP 2(28).

- Hjelm, K., Nilsson, U., Johansson, U. & Nordin, P. 2019. Effects of mechanical site preparation and slash removal on long-term productivity of conifer plantations in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 49: 1311-1319.
- Hjältén, J., Kouki, J., Tolvanen, A., Sjögren, J., & Versluijs, M. 2023. Ecological Restoration of the Boreal Forest in Fennoscandia. I: M. M. Girona, H. Morin, S. Gauthier, & Y. Bergeron (Red.), *Boreal Forests in the Face of Climate Change: Sustainable Management* (s. 467–489). Springer International Publishing.
- Hlásny, T., Krokene, P., Liebhold, A., Montagné-Huck, C., Müller, J. mfl. 2019. Living with bark beetles: impacts, outlook and management options. From Science to Policy 8. European Forest Institute.
- Hysten, G., & Granhus, A. 2018. A probability model for root and butt rot in *Picea abies* derived from Norwegian national forest inventory data. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33: 657-667.
- Hysten, G., Antón Fernández, C. & Granhus, A. 2022. Skogressurser i Norge. Status og framtidsscenarier. NIBIO Rapport 8(85): 1-143.
- Ingerslev, M., Mälkönen, E., Nilsen, P., Nohrstedt, H., Oskarsson, H. mfl. 2001. Main findings and future challenges in forest nutritional research and management in the Nordic countries. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 488-501.
- Jacobsen, R.M., Bendiksen, E. & Brandrud, T.E. 2025. Skogrestaurering – effekter av metoder utprøvd i Fennoskandia. Litteraturgjennomgang og pilotstudie. NINA Rapport 2576.
- IPCC 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf
- Jacobsen, R.M., Bendiksen, E. & Brandrud, T.E. 2025. Skogrestaurering – effekter av metoder utprøvd i Fennoskandia. Litteraturgjennomgang og pilotstudie. NINA Rapport 2576. Norsk institutt for naturforskning.
- Jakobsson, S. & Pedersen, B. (Red.) 2020. Naturindeks for Norge 2020. Tilstand og utvikling for biologisk mangfold. NINA Rapport 1886. Norsk institutt for naturforskning. https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1800/naturindeksfor Norge2020_m1800.pdf
- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R. mfl. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137: 253-268.
- Johannesson, C.F., Ilvesniemi, H., Kjønaas, O.J., Larsen, K.S., Lehtonen, A. mfl. 2025. Decadal decline in forest floor soil organic carbon after clear-cutting in Nordic and Canadian forests. *Forest Ecology and Management* 586: 122668.
- Johannesson, C.F. 2025. Forest management effects on soil carbon storage and soil CO₂ and CH₄ fluxes in high latitude forests. PhD thesis. University of Copenhagen, Denmark.
- Johnson, D. W. & Curtis, P. S. 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology and Management* 140: 227-238.
- Kausrud, K.L., Vandvik, V., Flø, D., Geange, S.R., Hegland, S.J. mfl. 2022. Impacts of climate change on the forest ecosystem. VKM Report 2022:15. ISBN: 978-82-8259-390-8, ISSN: 2535-4019. Vitenskapskomiteen for mat og miljø (VKM), Oslo, Norge.

- Kindermann, G. E., Schörghuber, S., Linkosalo, T., Sanchez, A., Rammer, W. mfl. 2013. Potential stocks and increments of woody biomass in the European Union under different management and climate scenarios. *Carbon Balance and Management* 8: 1-20.
- Kjønaas, O. J., Bárcena, T. G., Hysten, G., Nordbakken, J.-F. & Økland, T. 2021. Boreal tree species change as a climate mitigation strategy: impact on ecosystem C and N stocks and soil nutrient levels. *Ecosphere* 12, e03826.
- Koivula, M., & Vanha-Majamaa, I. 2020. Experimental evidence on biodiversity impacts of variable retention forestry, prescribed burning, and deadwood manipulation in Fennoscandia. *Ecological Processes*, 9, 11.
- Kuehne, C., Brunner, A., Hanssen, K.H., Granhus, A., Moan, M.Å. mfl. 2025a. Effects of stand density and site quality on growth and ingrowth in multi-layered Norway spruce selection forests: findings from long-term trials in Norway (innsendt manuskript).
- Kuehne, C., Granhus, A. & Astrup, R. 2025b. Assessing the profitability of thinning Norway's spruce and pine forests: an analysis accounting for machine trail effects. *Scandinavian Journal of Forest Research* 40: 41-51.
- Kuehne, C., Maleki, K., Merlin, M. & Granhus, A. 2025c. Interactive effects of species admixture, site quality, age, and drought on growth dynamics of Norway spruce and Scots pine stands in Norway. *Forest Ecology and Management* 590, 122804.
- Kuehne, C., McLean, J., Maleki, K., Antón-Fernández, C. & Astrup, R., 2022. A stand-level growth and yield model for thinned and unthinned even-aged Scots pine forests in Norway. *Silva Fennica* 56, article id 10627.
- Kujala, H., Minunno, F., Junttila, V., Mikkonen, N., Mäkelä, A. mfl. 2023. Role of data uncertainty when identifying important areas for biodiversity and carbon in boreal forests. *Ambio* 52: 1804–1818.
- Kvaalen, H. 2019. Lønnsomhet ved grøfterensk etter hogst. NIBIO Rapport 5(115): 1-2.
- Laine, A.M., Ojanen, P., Lindroos, T., Koponen, K., Maanavilja, L. mfl. 2024. Climate change mitigation potential of restoration of boreal peatlands drained for forestry can be adjusted by site selection and restoration measures. *Restoration Ecology* 32(7), e14213.
- Landbruksdirektoratet, Miljødirektoratet og Norsk institutt for bioøkonomi 2021. Vurdering av tilskuddsordning for gjødsling av skog. Rapport 36.
- Landbruksdirektoratet 2024a. Kartlegging av foryngelse og miljøhensyn ved hogst. Rapport 2023. Rapport nr. 24/3-44.
- Landbruksdirektoratet 2024b. Rødhyll truar tilveksten i norske skogar (nyhetssak). https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/nyhetsrom/nyhetsarkiv/rodhyll-truar-tilveksten-i-norske-skogar?utm_source=chatgpt.com
- Launiainen, S., Ahtikoski, A., Rinne, J., Ojanen, P. & Hökkä, H. 2025. Rewetting drained boreal peatland forests does not mitigate climate warming in the twenty-first century. *Ambio* 54: 2107-2117.
- Lehmann, J., Cowie, A., Masiello, C. A., Kammann, C., Woolf, D. mfl. 2021. Biochar in climate change mitigation. *Nature Geoscience* 14: 883-892.

- Lim, H., Oren, R., Palmroth, S., Torngern, P., Mörling, T. mfl. 2015. Inter-annual variability of precipitation constrains the production response of boreal *Pinus sylvestris* to nitrogen fertilization. *Forest Ecology and Management* 348: 31-45.
- Lindgren, P.M.F., Ransome, D.B., Sullivan, D.S. & Sullivan, T.P. 2006. Plant community attributes 12 to 14 years following precommercial thinning in a young lodgepole pine forest. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 48-61.
- Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M. & Sievänen, R. 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling* 189: 168–182.
- Lohne, T. M. S. 2023. Flekkbarking av furu (*Pinus sylvestris* L.): effekter på vedens ekstraktivstoffer og vannopptak. Masteroppgave, Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. 31 s.
- Lunde, L.F., Birkemoe, T., Sverdrup-Thygeson, A., Asplund, J., Halvorsen, R. mfl. 2025. Towards repeated clear-cutting of boreal forests – a tipping point for biodiversity? *Biological Reviews* 100: 1181-1205.
- Lundmark, T., Poudel, B. C., Stal, G., Nordin, A. & Sonesson, J. 2018. Carbon balance in production forestry in relation to rotation length. *Canadian Journal of Forest Research* 48: 672-678.
- Maanavilja, L., Kangas, L., Mehtätalo, L. & Tuittila, E.S., 2015. Rewetting of drained boreal spruce swamp forests results in rapid recovery of Sphagnum production. *Journal of Applied Ecology* 52: 1355-1363.
- Maaroufi, N.I., Nordin, A., Hasselquist, N.J., Bach, L.H., Palmqvist, K. mfl. 2015. Anthropogenic nitrogen deposition enhances carbon sequestration in boreal soils. *Global Change Biology* 21: 3169-3180.
- Mander, Ü., Espenberg, M., Melling, L. & Kull, A., 2024. Peatland restoration pathways to mitigate greenhouse gas emissions and retain peat carbon. *Biogeochemistry* 167: 523-543.
- Mason, B. & Valinger, E. 2013. Managing forests to reduce storm damage. I: B. Gardiner, A. Schuck, M-J. Schelhaas mfl. (Red.) *Living with storm damage to forests*, s. 89-98. European Forest Institute. ISBN: 978-952-5980-08-0.
https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/efi_wsctu3_2013.pdf.
- Mayer, M., Prescott, C. E., Abaker, W. E. A., Augusto, L., Cécillon, L. mfl. 2020. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management* 466, 118127.
- Metzler, H., Launiainen, S. & Vico, G. 2024. Amount of carbon fixed, transit time and fate of harvested wood products define the climate change mitigation potential of boreal forest management - a model analysis. *Ecological Modeling* 491, 110694.
- Miljødirektoratet, Statens landbruksforvaltning og Skog og Landskap. 2013. Planting av skog på nye arealer som klimatiltak – Egnede arealer og miljøkriterier. Miljødirektoratet Rapport M26. 149 s.
- Miljødirektoratet, Statens landbruksforvaltning og Skog og landskap. 2014. Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak. Egnede arealer og miljøkriterier. Miljødirektoratet Rapport M174. 143 s.
- Miljødirektoratet 2016. Vern eller bruk av skog som klimatiltak. Miljødirektoratet Rapport M-519. 21 s.

- Miljødirektoratet & Landbruksdirektoratet 2023. Kunnskapsgrunnlag om økologisk tilstand i norsk skog og utredning av tiltak. Miljødirektoratet Rapport M-2597. 235 s.
- Miljødirektoratet 2024. Klimatiltak i Norge. Miljødirektoratet Rapport M-2760. 530 s.
- Miljødirektoratet, Statistisk sentralbyrå & NIBIO. 2024. Greenhouse Gas Emissions 1990 – 2022. National Inventory Document. Miljødirektoratet Rapport M-2727. 665 s.
- Miljødirektoratet 2025. Klimatiltak i Norge – 2025. Skog- og arealbruk. Tiltaksark.
<https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimatiltak/tiltaksark-2025/skog-og-arealbruk/>
- Mjöfors, K., Strömberg, M., Nohrstedt, H. O., Johansson, M. B. & Gardenäs, A. I. 2017. Indications that site preparation increases forest ecosystem carbon stocks in the long term. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32: 717-725.
- Mohr, C. W., Sjøgaard, G., Sevillano, I., Alfredsen, G. & Hobrak, K. 2024. Framskrivninger for arealbrukssektoren (LULUCF) under FNs klimakonvensjon og EUs klimarammeverk. NIBIO Rapport 8(124): 1-150.
- Müller, M., Olsson, P.O., Eklundh, L., Jamali, S. & Ardö, J. 2022. Features predisposing forest to bark beetle outbreaks and their dynamics during drought. *Forest Ecology and Management* 523, 120480.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A., 2004a. Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management* 201: 311-325.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A., 2004b. Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland. *Forestry* 77(4): 349-364.
- Mäkipää, R.A.S., Abramoff, R.O.S., Adamczyk, B.R.O., Baldy, R.N., Biryol, C. mfl. 2023. How does management affect soil C sequestration and greenhouse gas fluxes in boreal and temperate forests? - A review. *Forest Ecology and Management* 529, 120637.
- Mäkelä, A., Minunno, F., Kujala, H., Kosenius, A-K., Heikkinen, R. mfl. 2023 I. Effect of forest management choices on carbon sequestration and biodiversity at national scale. *Ambio* 52: 1737–1756.
- Nater, C.R. & Eriksen, L.F. (red.) 2025. Naturindeks for Norge 2025. Tilstand og utvikling for biologisk mangfold. NINA Temahefte 97. Norsk institutt for naturforskning.
- Nilsen, P. 2001. Fertilization experiments on forest mineral soils: A review of the Norwegian results. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 541-554.
- Nybø, S., Skarpaas, O., Framstad, E. & Kålås, J.A. 2008. Naturindeks for Norge – forslag til rammeverk. NINA rapport 347. 69 s.
- Nybø, S. & Evju, M. (red) 2017. Fagsystem for fastsetting av god økologisk tilstand. Forslag fra et ekspertråd. Ekspertrådet for økologisk tilstand, 247 s.
<https://www.regjeringen.no/no/dokument/rapportar-og-planar/id438817/>.
- Nybø, S., Kolstad, A., Czúcz, B., Framstad, E., Sandvik, H. mfl. 2025. Nasjonal pilot for økologisk tilstandsregnskap. NINA Rapport 2668. Norsk institutt for naturforskning.
- Nygaard, P. H. & Øyen, B. 2020. Skoghistorisk tilbakeblikk med vekt på utviklingen av bestandsskogbruket i Norge NIBIO Rapport 6(45): 1-33.
- Ojanen, P. & Minkinen, K., 2020. Rewetting Offers Rapid Climate Benefits for Tropical and Agricultural Peatlands But Not for Forestry-Drained Peatlands. *Global Biogeochemical Cycles* 34(7), 16.

- Palviainen, M., Aaltonen, H., Lauren, A., Köster, K., Berninger, F. mfl. 2020. Biochar amendment increases tree growth in nutrient-poor, young Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management* 474, 118362.
- Pedersen, Å. Ø., Arneberg, P., Fuglei, E., Jepsen, J. U., Mosbacher, J. mfl. 2021. Panel-based assessment of ecosystem condition (PAEC) as a knowledge platform for ecosystem-based management of Norwegian Arctic tundra. *Kortrapport 56*. Norsk Polarinstitutt.
- Petersson, H., Ellison, D., Mensah, A.A., Berndes, G., Egnell, G. mfl. 2022. On the role of forests and the forest sector for climate change mitigation in Sweden. *Global Change Biology Bioenergy* 14: 793–813.
- Prescott, C. E. 2010. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? *Biogeochemistry* 101: 133-149.
- Pukkala, T., Möykkynen, T., Thor, M., Rönnerberg, J. & Stenlid, J. 2005. Modeling infection and spread of *Heterobasidion annosum* in even-aged Fennoscandian conifer stands. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 74-84.
- Pukkala, T., Laiho, O. & Lähde, E. 2016. Continuous cover management reduces wind damage. *Forest Ecology and Management* 372: 120-127.
- Ranius, T., Hämäläinen, A., Egnell, G., Olsson, B., Eklof, K. mfl. A. 2018. The effects of logging residue extraction for energy on ecosystem services and biodiversity: A synthesis. *Journal of Environmental Management* 209: 409-425.
- Rautio, P., Routa, J., Huuskonen, S., Holmström, E., Cedergren, J. mfl. 2025. Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries. *Managing Forest Ecosystems*, Springer.
- Ring E. & Sikström U. 2024. Environmental impact of mechanical site preparation on mineral soils in Sweden and Finland — a review. *Silva Fennica* 58, 23056.
- Ruiz-Peinado, R., Pretzsch, H., Löf, M., Heym, M., Bielak, K. mfl. 2021. Mixing effects on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) productivity along a climatic gradient across Europe. *Forest Ecology and Management* 482, 118834.
- Saurasunet, M., Mathisen, K.M. & Skarpe, C. 2018. Effects of increased soil scarification intensity on natural regeneration of Scots pine *Pinus sylvestris* L. and Birch *Betula spp.* *L. Forests* 9(5), 262.
- Schei, F. H., Nordén, J., Jacobsen, R. M., Bredin, Y. K. 2021. Gjødsling av skog – oppdatert kunnskap om virkning på naturmangfold. I: Landbruksdirektoratet, Miljødirektoratet & NIBIO 2021: Vurdering av tilskuddsordning for gjødsling av skog. Rapport 36, 15 s.
- Schei, F.H., Hegre, H., Solstad, H., Alm, T., Fløistad, I.S., Pedersen, O., Vandvik, V., Vollering, J., Westergaard, K.B. og Skarpaas, O. 2023. Pinophyta: Vurdering av douglasgran *Pseudotsuga menziesii* for Fastlands-Norge med havområder. *Fremmedartslista 2023*. Artsdatabanken. <https://lister.artsdatabanken.no/fremmedartslista/2023/111>. Nedlastet 15.02.2026
- Schulte, M., Jonsson, R., Hammar, T., Stendahl, J. & Hansson, P-A. 2022. Nordic forest management towards climate change mitigation: time dynamic temperature change impacts of wood product systems including substitution effects. *European Journal of Forest Research* 141:845–863.
- Schulte, M., P. Lauri, F. Di Fulvio, N. Forsell, A.L.D. Augustynczyk, J. mfl. 2025. Global forest carbon leakage and substitution effect potentials: The case of the Swedish forest sector. *Journal of Environmental Management* 393, 127193.

- Shorohova, E., Kneeshaw, D., Kuuluvainen, T. & Gauthier, S. 2011. Variability and dynamics of old-growth forests in the circumboreal zone: implications for conservation, restoration and management. *Silva Fennica* 45: 785-806.
- Sikström, U., Hjelm, K., Hanssen, K.H., Saksa, T. & Wallertz, K. 2020. Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts in Fennoscandia – a review. *Silva Fennica* 54(2): 1-35.
- Skogfrøverket 2024. Strategi for skogplanteledning og frøforsyning 2010–2040. 40 s.
- Skogkurs 2019. Norm for grøfting etter hogst på skogsmark. 4 s. <https://s46339.pcdn.co/wp-content/uploads/Grofting-av-fastmark-i-skog-NORM-1.pdf>.
- Skytt, T., G. Englund, and B.-G. Jonsson. 2021. Climate mitigation forestry - temporal trade-offs. *Environmental Research Letters* 16, 114037.
- SLU 2024. Skogsdata 2024. Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från SLU Riksskogtaxeringen. Tema: Arter. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU Umeå. 166 s.
- Smenderovac, E., Hoage, J., Porter, T.M., Emilson, C., Fleming, R. mfl. 2023. Boreal forest soil biotic communities are affected by harvesting, site preparation with no additional effects of higher biomass removal 5 years post-harvest. *Forest Ecology and Management* 528: 120636.
- Sohn, J.A., Saha, S. & Bauhus, J., 2016. Potential of forest thinning to mitigate drought stress: A meta-analysis. *Forest Ecology and Management* 380: 261-273.
- Solheim, H. 2003. Skader og råte etter tynning i granskog. *Aktuelt fra skogforskningen* 6/03.
- Solheim, H., Fossdal, C.G. & Hietala, A.M. 2013. Rotkjuke – granas verste fiende. I: Solheim, H. 2013. Klimavinnerne - blant soppene. Norsk Institutt for Skog og landskap. 15 s.
- Solvin, T., Fløistad, I.S., Proschowsky, G.F., Leisgaard, T., Ylioja, T. mfl. 2023. Statistics: Forest seeds and plants in the Nordic region 2023. NordGen Publication Series 2023:02.
- Stokland, J.N., Siitonen, J. & Jonsson, B.G. 2012. Biodiversity in dead wood. Cambridge university press.
- Stokland, J.N., Eriksen, R. & Granhus, A. 2020. Tilstand og utvikling i skog 2002-2017 for noen utvalgte miljøegenskaper. NIBIO Rapport 6(133): 1-69.
- Stokland, J., Granhus, A. & Sjøgaard, G. 2022. Grøftede arealer i skog og myr i Norge. Statistikk fra Landsskogtakseringen 2016-2020. NIBIO Rapport 8(90): 1-23.
- Storaunet, K.O. & Rolstad, J. 2020. Naturskog i Norge. En arealberegning basert på bestandsalder i Landsskogtakseringens takstomdrev fra 1990 til 2016. NIBIO Rapport 6(44): 1-37.
- Storaunet, K.O., Sverdrup-Thygeson, A., Halvorsen, R. & Rolstad, J. 2024. Naturskog og gammelskog: Hva er hva, og hva er staa? *Kronikk, Forskeren*. <https://www.forskeren.no/kronikk-meninger-natur/naturskog-og-gammelskog-hva-er-hva-og-hva-er-staa/2350470>
- Storaunet, K.O. 2025. Naturindeks for skog. I: Nater, C.R. & Eriksen, L. Naturindeks for Norge 2025. Tilstand og utvikling for biologisk mangfold. NINA Temahefte 97, s. 19-25.
- Strand, L.T., Callesen, I., Dalsgaard, L. & de Wit, H.A., 2016. Carbon and nitrogen stocks in Norwegian forest soils - the importance of soil formation, climate, and vegetation type for organic matter accumulation. *Canadian Journal of Forest Research* 46: 1459-1473.

- Strengbom, J. & Nordin, A. 2008. Commercial forest fertilization causes long-term residual effects in ground vegetation of boreal forests. *Forest Ecology and Management* 256: 2175-2181.
- Strengbom, J., Axelsson, E.P., Lundmark, T. & Nordin, A. 2018. Trade-offs in the multi-use potential of managed boreal forests. *Journal of Applied Ecology* 55: 958-966.
- Svensson, A. & Dalen, L. S. (Red.) 2025. Bærekraftig skogbruk i Norge. Norsk institutt for bioøkonomi. [Skogbrann — Bærekraftig skogbruk i Norge](#)
- Svensson, A. Eriksen, R., Hylen, G. & Granhus, A. 2021. Skogen i Norge. Statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge for perioden 2015-2019. NIBIO rapport 9(142): 1-53.
- Svensson, A. Eriksen, R., Hylen, G. & Granhus, A. 2023. Arealrepresentativ overvåking av skogvernområder gjennom Landsskogtakseringen. Landsskogtakseringen 2017-2021. NIBIO Rapport 9(13): 1-133.
- Sverdrup-Thygeson, A., Bendiksen, E., Birkemoe, T. & Larsson, K. H. 2014. Do conservation measures in forest work? A comparison of three area-based conservation tools for wood-living species in boreal forests. *Forest Ecology and Management* 330: 8–16.
- Søgaard, G. 2024. Klimaeffekten i 2035 for skogtiltakene. Notat til Miljødirektoratet. 8 s.
- Søgaard, G. & Granhus, A. 2012. Klimaoptimalt skogbruk. En vurdering av utvalgte skogskjøtselstiltak i Akershus fylke. Oppdragsrapport fra Skog og landskap 09. 34 s.
- Søgaard, G., Granhus, A., Gizachew, B., Clarke, N., Andreassen, K. mfl. 2015. En vurdering av utvalgte skogtiltak - innspill på veien mot Lavutslippssamfunnet 2050. Oppdragsrapport fra Skog og landskap 02. 46 s.
- Søgaard, G., Alfredsen, G., Antón Fernández, C., Astrup, R., Blom, H. mfl. 2020a. Klimakur 2030 – beskrivelse av utvalgte klimatiltak knyttet til skog. NIBIO Rapport 6(9): 1-96.
- Søgaard, G., Alfredsen, G., Antón Fernández, C., Astrup, R., Belbo, H. mfl. 2020b. Klimakur 2030 – beskrivelse av utvalgte klimatiltak knyttet til skog. Supplement. NIBIO Rapport 6(153): 1-88.
- Søgaard, G., Allen, M., Astrup, R., Belbo, H., Bergseng, E. mfl. 2019. Effekter av planting av skog på nye arealer. Betydning for klima, miljø og næring. NIBIO Rapport 5(3): 1-91.
- Søgaard, G., Astrup, R., Allen, M., Andreassen, K., Bergseng, E. mfl. 2017. Skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring. NIBIO Rapport 3(99): 1-86.
- Søgaard, G., Bright, R., Clarke, N., Fløistad, I. S., Granhus, A. mfl. 2023. Oppdatering av kunnskapsgrunnlag for klimatiltak i skog: Gjennomgang av 11 utvalgte tiltak i bestandsskogbruket. NIBIO Rapport 9(22): 1-62.
- Sønstebo, J. H., Tollefsrud, M. M., Myking, T., Steffenrem, A., Nilsen, A. E. mfl. 2018. Genetic diversity of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seed orchard crops: Effects of number of parents, seed year, and pollen contamination. *Forest Ecology and Management* 411: 132-141.
- Tahvanainen, T. 2026. Restoration of forestry-drained oligotrophic peatlands can bring climate change mitigation within a few decades. *Restoration Ecology*, e70326.
- Tange, A.C. & Sjølie, H.K. 2025. Riparian forest buffer management in Norway: Evaluating adherence to certification standards. *Trees, Forests and People* 22, 101069.

- Thor, M., Ståhl, G. & Stenlid, J. 2005. Modelling root rot incidence in Sweden using tree, site and stand variables. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20: 165–176.
- Tingstad, L., Evju, M., Sickel, H. & Töpper, J. 2019. Utvikling av nasjonal arealrepresentativ naturovervåking (ANO). Forslag til gjennomføring, protokoller og kostnadsvurderinger med utgangspunkt i erfaringer fra uttesting i Trøndelag. NINA Rapport 1642.
- Tong, C.H.M., Peichl, M., Noumonvi, K.D., Nilsson, M.B., Laudon, H. mfl. 2025. The Carbon Balance of a Rewetted Minerogenic Peatland Does Not Immediately Resemble That of Natural Mires in Boreal Sweden. *Global Change Biology* 31, e70169.
- Tonjer, L.-R., Nybakken, L., Birkemoe, T., Renčo, M., Ferdous, Z. & Asplund, J. 2023. Condensed tannins mediate the effect of long-term nitrogen addition on soil nematodes in a boreal spruce forest. *Forest ecology and management*, 545, 121248.
- Tonteri, T., Salemaa, M., Rautio, P., Hallikainen, V., Korpela, L. mfl. 2016. Forest management regulates temporal change in the cover of boreal plant species. *Forest Ecology and Management* 381: 115–124.
- Tyystjärvi, V., Markkanen, T., Backman, L., Raivonen, M., Leppänen, A. mfl. 2024. Future methane fluxes of peatlands are controlled by management practices and fluctuations in hydrological conditions due to climatic variability. *Biogeosciences* 21: 5745-5771.
- Ulyshen, M. D. (red.). 2018. Saproxylic insects: diversity, ecology and conservation (Vol. 1). Springer.
- Uotila, K., Rantala, J., Saksa, T. & Harstela, P. 2010. Effect of soil preparation method on economic result of Norway spruce regeneration chain. *Silva Fennica* 44: 511-524.
- Uotila, K., Rantala, J., Saksa, T. & Harstela, P. 2010. Effect of soil preparation method on economic result of Norway spruce regeneration chain. *Silva Fennica* 44: 511–524.
- Vazquez, C., Mulder, T., Chavez Rodriguez, L., David, F., Di Lonardo, D.P. mfl. 2025. Soil biology, soil health and ecosystem services: an overview. I: Norton, J., Schimel, J. & Lindo, Z. (red.), *Measuring and assessing the biological health of soils*. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge.
- Vandvik, V., Hegre, H., Solstad, H., Alm, T., Fløistad, I.S., Pedersen, O., Schei, F.H., Vollereng, J., Westergaard, K.B. og Skarpaas, O. 2023. Pinophyta: Vurdering av sitkagran *Picea sitchensis* for Fastlands-Norge med havområder. *Fremmedartslista 2023*. Artsdatabanken. <https://lister.artsdatabanken.no/fremmedartslista/2023/2618>. Nedlastet 15.02.2026.
- Wang Larsen, I., Framstad, E., Jansson, U., Winge, N.K. & A'Campo, W.A. 2024. Naturavtalens mål om 30 prosent vern av natur innen 2030. Rapport. 83 s. Holth & Winge AS og Norsk Institutt for naturforskning.
- Weldon, S., Farkas, E., Hanssen, K.H., Helgheim, B. & Lange, H. 2025. Potensialet for biokull i norsk skogbruk. NIBIO POP 54, 4 s.
- Widenfalk, O. & Weslien, J. 2009. Plant species richness in managed boreal forests—Effects of stand succession and thinning. *Forest Ecology and Management* 257: 1386-1394.
- Woelf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J. & Joseph, S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications* 1, 56.
- Økland, T., Nordbakken, J. F., Clarke, N., & Holt Hanssen, K. 2022. Short-term effects of hardened wood ash and nitrogen fertilisation on understory vegetation in a Norway

spruce forest in south-east Norway. Scandinavian Journal of Forest Research 37: 320–329.

Øyen, B.-H. & Tveite, B. 1998. En sammenligning av høydebonitet og produksjonsevne mellom ulike treslag på samme voksested i Vest-Norge. Rapport fra skogforskningen 15. 32 s.

Øyen, B.-H. & Bøhler, F. 2011. Høydebonitet og produksjonsevne ved konvertering mellom vanlig gran, ask, bok, eik, platanlønn og svartor i Sør-Norge. Forskning fra Skog og landskap 02: 22 s.

Vedlegg

Tabell V1. Forutsetninger for ventetid, treantall i etablert foryngelse, samt middeldiameter når nytt bestand er etablert for videre framskrivning i SiTree (DBH Start). Ventetid er alder når 5 cm dbh er nådd pluss estimert ventetid ved initiering av ny foryngelse etter hogst.

Ungskogpleie	Hovedtreslag	Bonitet	Ventetid (år)	Antall trær/ha	DBH start (mm)	
					Hovedtreslag	Sekundærtreslag
JA (Gjennomført ungskogpleie)	Furu	6	44	1 200 (furu) + 200 (bjørk)	50	55
		8	38			
		11	27	1 500 (furu) + 200 (bjørk)	50	65
		14	24			
		17	19	1 500 (furu) + 200 (bjørk)	50	75
		20	18			
		23	17			
		26	16			
	Gran	6	44	1 239 (gran) + 200 (bjørk)	50	55
		8	41			
		11	25	1 602 (gran) + 200 (bjørk)	50	65
		14	23			
		17	18	1 871 (gran) + 200 (bjørk)	50	75
		20	16			
		23	15			
		26	14			
	Lauvtre	6	33	1 000 (bjørk) + 200 (gran)	55	50
		8	27			
		11	22	1 000 (bjørk) + 200 (gran)	65	50
		14	20			
		17	15	2 000 (bjørk) + 400 (gran)	75	50
		20	15			
		23	14			
		26	13			
NEI (Ikke ungskogpleie-forsinka utvikling 10 %)	Furu	6	55	1 200 (furu) + 1 000 (bjørk)	50	55
		8	49			
		11	37	1 500 (furu) + 1 000 (bjørk)	50	65
		14	34			
		17	26	1 500 (furu) + 2 000 (bjørk)	50	75
		20	25			
		23	24			
		26	23			
	Gran	6	55	1 239 (gran) + 1 000 (bjørk)	50	55
		8	52			
		11	32	1 602 (gran) + 1 000 (bjørk)	50	65
		14	30			
		17	25	1 871 (gran) + 2 000 (bjørk)	50	75
		20	23			
		23	22			
		26	21			
	Lauvtre	6	40	1 000 (bjørk) + 200 (gran)	55	50
		8	34			
		11	29	1 000 (bjørk) + 200 (gran)	65	50
		14	27			

Ungskogpleie	Hovedtreslag	Bonitet	Ventetid (år)	Antall trær/ha	DBH start (mm)	
					Hovedtreslag	Sekundærtreslag
		17	16	2 000 (bjørk) + 400 (gran)	75	50
		20	16			
		23	15			
		26	14			

Tabellene V2 og V3 angir andel foredlet plantemateriale i hhv. BAU-scenariet og scenariet med økt foredling for ulike regioner og høydesoner. Foredlingseffekten er basert på upubliserte analyser av avkomforsøkene i Skogfrøverkets foredlingsprogram og internasjonale publikasjoner fra Finland og Sverige. Økningen i høydevekst er vanligvis ledsaget av en tilsvarende økning i diametertilvekst.

Tabell V2. BAU-scenariet: Forventet andel av plantede trær med opphav fra frøplantasjer (foredlet plantemateriale) beregnet av Skogfrøverket. Forventet genetisk gevinst for høydevekst ved 15-20 års alder angis i parentes. Siden avlsmaterialet er valgt fra gammel skog, forventer vi at veksten ikke avtar over tid.

Region	Treslag	Første 10 år	Etter 10 år
Østlandet < 350 m (G1)	Gran	95 % [8]	95 % [10]
	Furu	90 [6]	90 [8]
Østlandet 350–650 (G2)	Gran	95 % [8]	95 % [10]
	Furu	90 [6]	90 [8]
Østlandet > 650 (G3)	Gran	95 % [8]	95 % [10]
	Furu	65 [6]	65 [8]
Vestlandet < 350 (G4)	Gran	100 % [8]	100 % [10]
	Furu	25 [6]	25 [8]
Trøndelag / Helgeland < 250 (G5)	Gran	90 % [8]	90 % [10]
	Furu	50 [6]	50 [8]
Trøndelag / Helgeland 250-450 (G6)	Gran	25 % [8]	25 % [10]
	Furu	50 [6]	50 [8]
Nordland nord og Troms/Finnmark < 250 m (G7)	Gran	25 % [8]	25 % [10]
	Furu	25 [6]	25 [8]

Tabell V3. Økt foredling scenariet: Forventet andel av plantede trær med opphav fra frøplantasjer (foredlet plantemateriale) beregnet av Skogfrøverket. Forventet genetisk gevinst for høydevekst ved 15-20 års alder angis i parentes. Siden avlsmaterialet er valgt fra gammel skog, forventer vi at veksten ikke avtar over tid.

Region	Treslag	Første 10 år	Etter 10 år
Østlandet < 350 m (G1)	Gran	100 % [10]	100 % [20]
	Furu	100 [10]	100 [15]
Østlandet 350–650 (G2)	Gran	100 % [10]	100 % [20]
	Furu	100 [10]	100 [15]
Østlandet > 650 (G3)	Gran	100 % [10]	100 % [20]
	Furu	90 [10]	90 [15]
Vestlandet < 350 (G4)	Gran	100 % [10]	100 % [20]
	Furu	50 [10]	50 [15]

Region	Treslag	Første 10 år	Etter 10 år
Trøndelag / Helgeland < 250 (G5)	Gran	100 % [10]	100 % [20]
	Furu	75 [10]	75 [15]
Trøndelag / Helgeland 250-450 (G6)	Gran	50 % [10]	50 % [20]
	Furu	75 [10]	75 [15]
Nordland nord og Troms/Finnmark < 250 m (G7)	Gran	50 % [10]	50 % [20]
	Furu	50 [10]	50 [15]

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 underlagt Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter.