



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

2025

ISSN 2535-2806

MINA fagrapport 108

Klimasmart skogbruk i Norge

Balansering av klimatiltak, klimatilpasning og skoglige økosystemtjenester

Sjur Baardsen

Tron Eid

Hans Fredrik Hoen



Baardsen, S., Eid, T. & Hoen, H.F. 2025. **Klimasmart skogbruk i Norge.** – MINA fagrapport 108. 141 s.

Ås, november 2025

ISSN: 2535-2806

RETTIGHETSHAVER

© Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU)

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Forskningsutvalget, MINA, NMBU

OPPDRAGSGIVER

Norges Forskningsråd

FORSIDEBILDE

Ulike skogbilder. Foto: Sjur Baardsen og Tron Eid, NMBU

NØKKEWORD

Klimasmart skogbruk, klimaendringer, karbonopptak og karbonlagring, klimatilpasning i skogbruket, skogøkosystemtjenester, internasjonal skogpolitikk, skogskader

KEY WORDS

Climate-smart forestry, climate change, carbon sequestration and storage, climate adaptation in forestry, forest ecosystem services, international forest policy, forest disturbances

Sjur Baardsen (sjur.baardsen@nmbu.no), Tron Eid & Hans Fredrik Hoen: Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås.

Forord

Denne rapporten fra prosjektet Climate-Smart Forestry Norway (CSFN; NFR-prosjekt 302701) er utarbeidet som del av prosjektets femte og siste arbeidspakke. Vårt mål har vært å sammenfatte innsikter fra de fire første arbeidspakkene og sette dem i en bredere kontekst av foreliggende kunnskap om klimasmart skogbruk.

Vi takker for de betydelige bidragene fra våre kolleger og samarbeidspartnere, som utgjør mye av grunnlaget for denne syntesen.

Utfordringene som følger av klimaendringer krever en helhetlig tilnærming som ivaretar karbonopptak og -lagring, reduserer utslipp av drivhusgasser og forbereder skogøkosystemene på endrede miljøforhold. Ved å kombinere ny kunnskap med etablert innsikt, gir denne rapporten et integrert perspektiv på hvordan norske skoger kan bidra til klimatiltak (øke skogens evne til å dempe klimaendringene), klimatilpasning (øke skogens motstandskraft mot uønskede effekter av klimaendringene) og samtidig understøtte andre sentrale skogøkosystemtjenester.

Vi håper at anbefalingene til skogforvaltning som presenteres her vil øke forståelsen av klimasmart skogbruk i Norge, og stimulere til dialog og diskusjon blant de som utformer regelverk, skogforvaltere, skogeiere og andre som er interessert i skogbruk. Vårt mål er å hjelpe aktører med å forene klimamål med bredere mål for bærekraft. Videre håper vi at denne syntesen vil inspirere til videre forskning og samarbeid, og bidra til å utløse det fulle potensialet for klimasmart skogbruk.

Forfatterne retter en spesiell takk til Dr. Joyce Machado Nunes Romeiro for hennes vesentlige bidrag og støtte til denne rapporten, og til førsteamanuensis Per Kristian Rørstad for gjennomlesing og gode endringsforslag. Takk også til fagdirektør Harald Aalde, LMD, samt næringspolitisk sjef Yngve Holth, Glommen-Mjøsen Skog SA og almenningsbestyrer i Romedal Almenning og Stange Almenning, Gaute Nøkleholm for gode innspill i konferansen vi arrangerte over dette temaet i september 2025.

Vi vil også takke Norges forskningsråd for økonomisk støtte som gjorde dette arbeidet mulig.

Tidlige utkast til deler av denne rapporten ble språklig støttet ved hjelp av OpenAIs ChatGPT. Innholdet er gjennomgått og godkjent av forfatterne, som står fullt ansvarlige for det endelige innholdet. Figurene 11, 12 og 13 er også laget med ChatGPT (DALL·E), OpenAI, og kvalitetssikret av forfatterne. Bruken av AI er i tråd med NMBUs retningslinjer.

Vi gjør oppmerksom på at det også finnes en engelskspråklig versjon av denne rapporten.

Ås, november 2025

Sjur Baardsen, Tron Eid, Hans Fredrik Hoen

Begreper og forkortelser, definisjoner

Begrep	Definisjon
Albedo	Andel av innkommende solstråling som reflekteres fra en overflate. I boreale skoger vil økt kronedekke av bartrær vanligvis redusere albedo, noe som potensielt kan motvirke noen av klimafordelene fra karbonopptak og -lagring.
Betaling for økosystemtjenester	Økonomiske insentiver til skogeiere eller skogforvaltere for å levere tjenester som karbonopptak og -lagring, biologisk mangfold, vannregulering osv.
Bioenergi med karbonfangst og -lagring	Teknologi som omdanner biomasse til energi og samtidig fanger CO ₂ og lagrer det permanent, ofte under bakken, og skaper dermed negative utslipp.
Bioenergi med karbonfangst og -utnyttelse	Ligner på forrige, men i stedet for lagring benyttes fanget CO ₂ i industrielle prosesser eller produkter.
CAPM (Kapitalverdimodellen)	En teoretisk modell utviklet for finansmarkeder som beskriver sammenhengen mellom forventet avkastning og risiko.
CO ₂ (Karbondioksid)	Den viktigste drivhusgassen som slippes ut ved forbrenning og nedbrytning av fossile brenslere og biomasse, og som i stor grad bidrar til global oppvarming.
CO ₂ e (Karbondioksid-ekvivalenter)	En måleenhet for å uttrykke det globale oppvarmingspotensialet av ulike klimagasser sammenlignet med CO ₂ , vanligvis over en periode på 100 år.
CRCF (EU-rammeverk for sertifisering av karbonfjerning)	Forestående EU-regelverk for sertifisering av permanent karbonfjerning, karbonlandbruk og langvarig karbonlagring i produkter (også relevant for frivillige markeder).
DDR (Fallende diskonteringsrente)	En metode der diskonteringsrenten reduseres over tid, ofte brukt ved vurdering av langsiktige klima- og skoginvesteringer.
EU ESR (EUs innsatsfordelingsforordning)	Forordning som setter nasjonale utslippsmål for sektorer utenfor kvotesystemet (bl.a. transport og jordbruk). Norge følger et tilsvarende regime.
EU BDS (EUs naturmangfoldsstrategi)	Strategi for å beskytte og gjenopprette naturmangfold, som påvirker nasjonal skogpolitikk.
EU DR (EUs avskogingsforordning)	Forordning for å redusere avskoging og skogforringelse ved å forby import knyttet til avskogingsintensive verdikjeder.
EU ETS (EUs kvotesystem for utslipp av drivhusgasser)	System for handel med utslippskvoter. Norge deltar via EØS-avtalen.
EXW (Ex Works)	Internasjonal handelsbetingelse hvor selgeren gjør varen tilgjengelig på eget område, og kjøperen har ansvar for transport og risiko.

EØS (Det europeiske økonomiske samarbeidsområde)	Avtale som inkluderer Norge, Island og Liechtenstein i EUs indre marked og påvirker relevant skogpolitikk.
FAS (Free Alongside Ship)	Handelsbetingelse der selgeren leverer varene ved siden av «skipet», og kjøper overtar ansvar derfra.
FRL (skoglig reseransenivå)	I EUs LULUCF-regelverk er FRL referansegrunnlaget for regnskapsføring av forvaltet skogareal: et estimat (tonn CO ₂ -ekv./år) av de gjennomsnittlige årlige netto utslippene eller opptakene som forventes fra et lands forvaltede skoger i perioden 2021–2025, beregnet etter kriteriene fastsatt i forordningen, og basert på årene 2000-2009. Det brukes til å sammenligne faktiske fremtidige resultater og beregne kreditter/debiteringer i LULUCF-pilaren. For perioden 2026-2030 vil det kalles NFRL, og referanseperioden vil være 2016-2018. Hvis Norge ikke innlemmer oppdateringen i EØS-regelverket, vil vi fortsatt bruke 2000-2009 som referanseperiode for perioden 2026-2030.
FSC (Forest Stewardship Council)	Internasjonal sertifiseringsorganisasjon som fremmer ansvarlig skogbruk etter strenge miljømessige, sosiale og økonomiske standarder.
GBF (Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework)	Den globale naturavtalen vedtatt av CBD COP15 (2022). Setter 23 mål for 2030 og fire langsiktige mål mot 2050.
GHG (Drivhusgasser)	Gasser i atmosfæren som absorberer langbølget stråling. De viktigste drivhusgassene er vanndamp, karbondioksid (CO ₂), metan (CH ₄), lystgass (N ₂ O) og fluorholdige gasser som KFK. Økt tilførsel av CO ₂ og andre drivhusgasser i atmosfæren gir en forsterket drivhuseffekt, som bidrar til globale klimaendringer. Definert i vedlegg A til Kyotoprotokollen.
IPBES (Det mellomstatlige naturpanelet)	FNs naturpanel som vurderer globalt naturmangfold og økosystemtjenester (analogt til IPCC for klima).
IPCC (Det mellomstatlige panelet for klimaendringer)	FNs klimapanel, vurderer vitenskap om klimaendringer og mulige løsninger.
Karbonkreditt	En ofte omsettelig enhet som representerer ett tonn CO ₂ fjernet fra atmosfæren, brukt i karbonmarkeder eller frivillige kompensasjonsordninger.
Klimaendringer	Langsiktige endringer i globale eller regionale klimamønstre, hovedsakelig forårsaket av menneskeskapte utslipp av drivhusgasser.
Klimasmart skogbruk	Skogbrukspraksiser som samtidig skal dempe klimaendringer, tilpasse skogøkosystemer til klimaendringer og støtte ulike skogøkosystemtjenester.

Landsskogtakseringen	Systematisk og landsomfattende kartlegging av skogressurser, produktivitet og skoghelse i Norge, etablert 1919.
(LHF) Lukkede hogstformer	Hogstformer som bevarer et kontinuerlig skogdekke over tid ved gjennomføring av bledningshogst, gruppehogst eller skjermtrestillingshogst.
LULUCF	Kategori i nasjonale klimaregnskap som dekker utslipp og opptak fra arealbruk, arealbruksendringer og skogbruk i EU-reguleringer.
MEA (Millennium Ecosystem Assessment)	FN-støttet global vurdering (2001–2005) som populariserte begrepet økosystemtjenester.
Natur	Natur refererer generelt til den fysiske verden og dens fenomener, uavhengig av menneskelig aktivitet. Begrepet omfatter helheten av jordens levende organismer (planter, dyr, mikroorganismer) samt ikke-levende komponenter (land, vann, atmosfære, mineraler og klima). I vitenskapelig bruk settes natur ofte i kontrast til 'kultur' eller 'menneskeskapte miljøer', selv om mennesker og deres handlinger i økende grad forstås som en integrert del av og påvirkningsfaktor i naturen.
Naturmangfold	Biologisk mangfold, landskapsmessig mangfold og geologisk mangfold, som ikke i det alt vesentlige er et resultat av menneskers påvirkning
NDC (Nationally Determined Contribution)	Nasjonalt fastsatt klimamål under Parisavtalen. Land melder inn og oppdaterer sine NDC-er minst hvert femte år, med økende ambisjoner. Norges mål for 2030 er å redusere utslippene med minst 55 % sammenlignet med 1990-nivået. I juni 2025 vedtok Stortinget et nytt, lovfestet mål om 70–75 % utslippsreduksjon innen 2035, som er meldt inn til FN som ny NDC. Målet er forankret i EUs klimarammeverk, og regjeringen planlegger å nå det uten bruk av klimavoter utenfor Europa.
NIBIO	Norsk institutt for bioøkonomi, forsker på bærekraftig bruk av landbaserte ressurser.
Parisavtalen	En juridisk bindende internasjonal avtale om klimaendringer vedtatt i 2015, som har som mål å begrense den globale oppvarmingen til godt under 2 grader Celsius over førindustrielt nivå, samtidig som det arbeides for å begrense oppvarmingen til 1,5 grader. En del av FNs klimakonvensjon (UNFCCC).
PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification)	Internasjonalt sertifiseringssystem for bærekraftig skogbruk, mye brukt i Norge.
Rotstop®	Biologisk middel (<i>Phlebiopsis gigante</i>) brukt på ferske stubber for å forhindre rotråte forårsaket av sopper fra slekten <i>Heterobasidion</i> .

Sterk vs. svak separabilitet	Begreper som beskriver hvorvidt ulike tjenester/produkter er uavhengige (sterk) eller avhengige (svak) i produksjon/bruk, viktig egenskap ved aggregering på ulike skalaer.
Skogøkosystemtjenester	Tjenester fra skog, som tømmerproduksjon, karbonopptak og -lagring, vannregulering, biologisk mangfold og rekreasjon, dvs. naturmangfold.
Treprodukter	Produkter fra trevirke (f.eks. trelast, møbler, papir) som lagrer karbon og påvirker karbonregnskapet over levetiden.
VERRA (Verified Carbon Standard)	Frivillig karbonkreditt-standard administrert av non-profit-organisasjonen Verra. Benyttes til sertifisering og omsetning av karbonprosjekter.
Økosystem	Et økosystem er en funksjonell enhet i naturen som omfatter levende organismer (det biotiske samfunnet, inkludert planter, dyr og mikroorganismer) som samhandler med hverandre og med sitt abiotiske miljø, som klima, jord, vann, næringsstoffer og atmosfære, gjennom energistrømmer og kretsløp av materiale. Økosystemer kan variere sterkt i størrelse, fra en liten dam eller et enkelt skogbestand til hele biosfæren.
Økosystemtjenester	Se Skogøkosystemtjenester.
ÅHF (Åpne hogstformer)	Hogstformer med periodisk flatehogst eller frøtrestillingshogst (etablering og avvikling av frøtrestilling) gjennom et omløp (ventetid pluss hogstalder, typisk 50-150 år i Norge) fulgt av planting eller naturlig foryngelse.

Leseveiledning

Dersom du er ny til begrepet klimasmart skogbruk, bør du begynne med **kapittel 1: Innledning, fra virkesbalanse til klimasmart skogbruk**. Dette kapitlet gir kontekst om dette begrepet og forklarer dets betydning både for klimatiltak (særlig karbonopptak og -lagring) og klimatilpasning (økt motstandskraft). Det klargjør også målsettingene med rapporten: å tilby forskningsbaserte og faglige anbefalinger for karbonopptak og -lagring, klimatilpasning, balansere ulike skogøkosystemtjenester og håndtere tilhørende risiko.

For et konseptuelt grunnlag, gå videre til **kapittel 2: Konseptuelt rammeverk**. Dette kapitlet forklarer hvordan klimaendringer, som endringer i temperatur og nedbør, påvirker skog. Det introduserer videre sentrale begreper, skogøkosystemtjenester, risiko og usikkerhet, og diskuterer hvordan disse griper inn i målene om klimatiltak og klimatilpasning. Dersom du ønsker en dypere forståelse av risiko, usikkerhet og avveininger (for eksempel mellom karbonopptak og -lagring, og biologisk mangfold) i skogforvaltning, vil kapittel 2 være spesielt nyttig.

Dersom du forvalter skog eller gir råd om planlegging og drift, vil **kapittel 3: Klimaendringer - klimatiltak og klimatilpasning** være særlig relevant. Dette kapitlet beskriver et bredt spekter av forvaltningstiltak og -alternativer og diskuterer tilhørende effekter av klimaendringer. Kapitlet er delt i tre underdelar:

Seksjon 3.1: Forvaltning på bestandsnivå, Inneholder detaljert informasjon om åpne hogstformer og lukkede hogstformer. Det gir praktisk veiledning i skogbehandling og anbefalinger for å redusere risiko (f.eks. barkbiller, vindfelling) samtidig som klimamål oppnås.

Seksjon 3.2: Forvaltning på eiendomsnivå, Omhandler planlegging av hogst og forvaltning i rom og tid, strategier for å håndtere uventede forstyrrelser (som storm eller skogbrann) og logistisk koordinering. Det fremhever tiltak som oppryddingshogst, tilpasning av tynningsprogram og hogstalter, og tiltak for å beskytte vannressurser og naturmangfold på eiendomsnivå.

Seksjon 3.3: Forvaltning på landskaps-, regionalt og nasjonalt nivå, Tar for seg overordnede temaer som arealbruk, bevaring og restaurering av myr - og det bredere begrepet våtmark i noen tilfeller - og flernivå risikohåndtering. Dette er viktig for å forstå hvordan bredere planlegging og regional koordinering kan styrke motstandskraft utover enkeltstående eiendommer.

For innsikt i hvordan treprodukter bidrar i klimasammenheng, se **kapittel 4: Treprodukter og deres rolle i klimatiltak**. I dette kapitlet undersøker vi hvordan treprodukter lagrer karbon over tid, hvordan substitusjonseffekter kan redusere utslipp, og muligheter for negative utslipp gjennom teknologier som bioenergi med karbonfangst og lagring eller utnyttelse.

For oversikt over politikk og institusjonelle rammer, se **kapittel 5: Politisk og institusjonelt rammeverk**. Det gir en oversikt over hvordan klimasmart skogbruk er knyttet til internasjonale og nasjonale initiativ, inkludert Parisavtalen under FNs rammekonvensjon om klimaendringer (UNFCCC), EU-politikk og norsk skogpolitikk. Kapitlet skisserer virkemidler og insentiver (som tilskudd, karbon-kredittordninger og sertifiseringssystemer) som kan støtte klimasmart forvaltning.

Kapittel 6: Politikknarrativer presenterer sju stiliserte perspektiver, hver med ulik vektlegging, økonomisk, miljømessig, sosial eller klimarettet. Ved å undersøke disse ulike narrative, belyses hvor det kan oppstå synergieffekter og målkonflikter. Lesere som ønsker å forstå hvordan ulike prioriteringer (f.eks. økonomisk avkastning kontra biomangfold eller klimatiltak) fører til forskjellige resultater, vil kunne finne dette kapitlet verdifullt.

For konkrete og praktiske anbefalinger rettet mot offentlig sektor og beslutningstakere, se **kapittel 7: Råd og anbefalinger i samfunnsperspektiv**. Dette kapitlet bygger på de foregående analysene, men med

et offentlig og samfunnsrettet perspektiv (inkludert forvaltning av offentlig eid skog). Det diskuterer hvordan myndigheter og offentlige etater kan fremme og implementere klimasmart skogbruk for å øke motstandskraft, bevare naturmangfold og sikre økonomisk bærekraft i skog-sektoren.

Nært beslektet er **kapittel 8: Råd og anbefalinger i skogeierperspektiv**. Dette er tilpasset den praktiske beslutningstakingen til private skogeiere og deres organisasjoner. Selv om kapittel 7 og 8 dekker mange av de samme temaene og anbefalingene, fokuserer kapittel 8 på skogeieres spesifikke roller, begrensninger og muligheter. Begge kapitlene er skrevet som selvstendige anbefalinger, basert på analysene i de tidligere kapitlene (derfor vil enkelte hovedpunkter nødvendigvis gjentas). Anbefalingene forutsetter at skogeiere følger skogsertifiseringsordninger.

Innhold

Forord.....	3
Begreper og forkortelser, definisjoner	4
Leseveiledning.....	8
0 Sammendrag	13
1 Innledning, fra virkesbalanse til klimasmart skogbruk	16
2 Konseptuelt rammeverk	19
2.1 Innledning	19
2.2 Klimaendringer og påvirkning på skog.....	20
2.2.1 Skogens vekst og produksjon.....	20
2.2.2 Naturlige forstyrrelser.....	21
2.3 Skogforvaltning for klimatiltak og klimatilpasning.....	22
2.4 Syntese.....	23
2.4.1 Skogøkosystemtjenester i et bredt perspektiv	23
2.4.1.1 Naturmangfold.....	24
2.4.1.2 Rekreasjon og turisme	25
2.4.1.3 Hydrologi og vannbalanse.....	26
2.4.2 Risiko og usikkerhet	27
2.4.2.1 Fleksibilitet/adaptiv forvaltning.....	28
2.4.2.2 Diversifisering og kompensasjon for (relevant) risiko	29
2.4.2.3 Ren (Knightiansk) usikkerhet på lang sikt	29
2.4.3 Synergier/avveininger (samkoblet produksjon)	31
3 Klimaendringer - klimatiltak og klimatilpasning	34
3.1 Forvaltning på bestandsnivå	34
3.1.1 Åpne hogstformer	34
3.1.1.1 Foryngelsesfase.....	36
3.1.1.2 Ungskogfase	41
3.1.1.3 Produksjonsskogfase.....	42
3.1.1.4 Hogstmodenhetsfase	44
3.1.1.5 Behandlingsprogrammer gjennom et omløp.....	47
3.1.2 Lukkede hogstformer	52
3.1.2.1 Beskrivelse av lukkede hogstformer	53
3.1.2.2 Effekter av lukkede hogstformer	57

3.2 Forvaltning på eiendomsnivå	61
3.2.1 Skogbruksplanlegging	65
3.2.2 Uttak av biomasse etter forstyrrelser	67
3.2.2.1 Oppryddingshogst og sanitærhogst.....	67
3.2.2.2 Skogbrannhåndtering	68
3.2.3.1 Romlig hogstplanlegging	69
3.2.3.2 Adaptiv tilpasning av hogstalter	70
3.2.3.3 Langtidsovervåking og overholdelse av regelverk	70
3.2.3.4 Skogreisingsinitiativer og effekter	71
3.2.4 Skogsdrift og logistikk	72
3.2.5 Bevaring av naturmangfold gjennom adaptiv forvaltning.....	74
3.2.6 Hydrologisk forvaltning.....	74
3.3 Forvaltning på landskaps-, regionalt og nasjonalt nivå.....	76
3.3.1 Fragmentert eierskap, sonering og tilpasning	76
3.3.2 Samarbeid på tvers	76
3.3.3 Koordinert restaurering av våtmarker	78
3.3.4 Regional koordinering og infrastruktur.....	79
3.3.5 Aggregeringsutfordringer fra bestand til nasjonalt nivå.....	79
4. Treprodukter og deres rolle i klimatiltak	81
4.1 Forlenging av treprodukters levetid for økt karbonlagring	81
4.2 Substitusjonseffekter av biomassetilbud	82
4.3 Bioenergi med karbonfangst og -lagring.....	82
4.4 Økt konkurranseevne i sirkulær bioøkonomi.....	83
4.5 Treprodukter i nasjonal og internasjonal klimapolitikk	83
4.6 Karbonlandbruk og integrasjon av treprodukter	83
5 Politisk og institusjonelt rammeverk	85
5.1 Overordnet rammeverk og sammenheng	85
5.2 Norges forpliktelser, Parisavtalen og globale mål	86
5.3 EUs klimaregelverk via EØS.....	87
5.4 Nasjonal klimapolitikk og private initiativer	91
5.5 Risiko, usikkerhet, flernivå-koordinering insentivenes varighet.....	94
5.6 Institusjonelle rammer og praktiske begrensninger	95
6 Politikknarrativer.....	99
6.1 Økonomisk forvaltning.....	101
6.2 Miljømessig forvaltning.....	103

6.3 Sosial forvaltning.....	105
6.4 Bærekraftig forvaltning av skogøkosystemtjenester	106
6.5 Maksimering av klimatiltak	108
6.6 Maksimering av klimatilpasning.....	110
6.7 Avkarbonisering av økonomien	112
7 Råd og anbefalinger i samfunnsperspektiv.....	114
7.1 Politikk og internasjonale rammer	114
7.2 Styrket oppfølging av lov- og sertifiseringskrav	115
7.3 Balanse mellom klima, markedsorientert verdiskapning og naturmangfold	115
7.4 Nærmere om klimatilpasning	116
7.5 Motivasjon og virkemidler for skogeierne	116
7.6 Punktliste	117
8 Råd og anbefalinger i skogeierperspektiv.....	118
8.1 Langsiktig og klimatilpasset planlegging.....	118
8.2 Klimatiltak: Økt karbonlagring og fornybare produkter	119
8.3 Klimatilpasning: Økt robusthet og redusert risiko	119
8.4 Balanser klimahensyn, økonomi og naturmangfold	120
8.5 Økonomiske virkemidler og støtteordninger for klimasmart skogbruk	121
8.6 Kompetanse, samarbeid og ansvarlighet i praksis.....	122
8.7 Punktliste	123
9. Referanser	124
10. Supplerende materiale.....	140
10.1. Behandlingsprogrammer gjennom et omløp.....	140

0 Sammendrag

Denne rapporten sammenfatter funn fra prosjektet Climate-Smart Forestry Norway (CSFN), og integrerer dem med nyere forskning på skog og klima. Ved å kombinere nyere innsikter med velprøvde prinsipper presenterer rapporten en helhetlig tilnærming som tar opp både klimatiltak (f.eks. karbonopptak og -lagring) og klimatilpasning (f.eks. økt motstandskraft mot klimaforstyrrelser), samtidig som det tas hensyn til et bredt spekter av skogøkosystemtjenester.

Hvorfor er klimasmart skogbruk viktig?

Klimasmart skogbruk springer ut av det presserende behovet for å begrense klimaendringer, samtidig som skogene tilpasses stadig mer uforutsigbare forhold. Norges boreale skoger møter lengre vekstsesonger og hyppigere ekstreme hendelser (stormer, tørke, insektsangrep), og bør samtidig opprettholde et høyt nivå på karbonopptak og -lagring i både biomasse og treprodukter. Samtidig skal naturmangfold, rekreasjonsmuligheter, vannregulering med mere ivaretas. For å nå disse mange målene kreves integrerte tilnærminger som balanserer økologiske, økonomiske og sosiale hensyn, med erkjennelsen av at klimaendringer kan undergrave tidligere relevante skogbrukspraksiser. Fleksibilitet, langsiktig overvåkning og planlegging blir derfor viktig for skogeiere og beslutningstakere som vil beskytte skogens helse, opprettholde stabile inntekter og sikre sentrale økosystemfunksjoner.

Det konseptuelle rammeverket

Et hovedpremiss i rapporten er behovet for å balansere klimatiltak og klimatilpasning innenfor et bredere rammeverk for skogøkosystemtjenester. For eksempel kan maksimering av virkesproduksjon gå på bekostning av leveområder for arter eller landskapskvaliteter, mens bruk av lukkede hogstformer vil redusere avvirkning på kort sikt, men øke motstandskraften på lang sikt. De lange tidshorisontene i borealt skogbruk, typisk 50 til 150 år per omløp (ventetid pluss hogstalter), forsterker planleggingsutfordringene i møte med usikre politiske føringer, markedsforhold og klimascenarier. For å håndtere denne kompleksiteten anbefaler rapporten adaptiv planlegging, der dag-til-dagtiltak bidrar til og justerer langsiktige strategier.

Tiltak på flere nivåer er nødvendig

Tiltak på bestandsnivå

For bestandsskogbruk med åpne hogstformer kan tiltakene inndeles i fire faser: foryngelse, ungsogpleie, tynning og sluttavvirkning, mens lukkede hogstformer søker å opprettholde et sammenhengende skogdekke over tid. Teknikker som markberedning, behandling av stubber for å forhindre rotråte, og riktig valg av treslag, tetthet og fordeling kan øke bestandets stabilitet og produktivitet. Planlegging av tynning og hogstalter påvirker både klimatiltak og -tilpasning. Det finnes ingen "one size fits all"-oppskrift; det kreves helhetlige beslutninger som balanserer ulike mål.

Selv om enkeltstående tiltak på bestandsnivå kan virke små, kan de gi betydelige samlede fordeler når de kombineres med aktiv overvåkning. Dersom forholdene forverres grunnet ekstremvær eller skadegjørere, kan raske tiltak begrense skadene og dermed beskytte både karbonlagre, naturverdier og økonomi.

Tiltak på eiendomsnivå

De fleste norske skogeiendommer består av mange bestand, noe som gjør romlig og tidsmessig koordinering viktig. Å tilpasse hogstplaner mellom bestand, unngå store sammenhengende flatehogster, og inkludere elementer som kantsoner eller korridorer for biologisk mangfold, kan redusere sårbarhet for forstyrrelser og samtidig bevare rekreasjons- og landskapsverdier. Inkludering av myrer (og

våtmarker) i forvaltningsplaner gir ekstra risikodemping ved å minske flomfare, opprettholde vannkvalitet og beskytte karbonrike jordsmonn.

Skogbruksplanen bør utvikles slik at den i større grad kan brukes som et sentralt verktøy i arbeidet med et klimasmart skogbruk. En slik plan vil kunne gi et samlet bilde av skogressursene som støtter skogeieren i å vurdere klimatiltak og klimatilpasning, som treslagsvalg, hogststrategier og risikohåndtering.

Detaljert overvåkning på eiendomsnivå og bruk av kartverktøy kan forbedre effektiviteten i forvaltningen, og gjøre det lettere for skogeiere å tilpasse tiltak etter markedsforhold og økologiske forhold. Slik planlegging fremmer synergier mellom ulike skogøkosystemtjenester. For eksempel kan et godt utformet skogsbilveisystem samtidig muliggjøre effektiv tømmertransport, tilrettelegge for friluftsliv og rekreasjon og forbedre responstiden ved skogbrann.

Koordinering på landskaps- regionalt- og nasjonalt nivå

Noen utfordringer og forstyrrelser krysser eiendomsgrenser og krever samarbeid på landskaps- eller regionalt nivå. Insektsangrep, vindfelling og skogbranner kan spre seg over mange eiendommer, og dermed kreve felles overvåkning og koordinerte tiltaksplaner. Nasjonale og internasjonale regelverk påvirker også forvaltningsvalg; bestemmelser om naturmangfold, karbonregnskap og arealbruk kan fremme eller begrense visse praksiser. Rapporten etterlyser harmoniserte arealplaner som ivaretar både næringskogbruk og vern, samt robuste tidligvarslingsystemer for å avdekke nye trusler. Koordinert planlegging, deling av data og felles investeringer i forskning kan øke skogens motstandskraft og tilpasningsevne på større skalaer.

Rollen til treprodukter

Treprodukter forlenger skogens klimanytte utover bestandets levetid. Varige treprodukter, som bygningsmaterialer, i isolasjon eller i møbler, lagrer karbon over flere tiår. Å erstatte tre med mer utslippsintensive materialer som stål eller betong reduserer utslippene og forsterker skogens bidrag til klimademping. Bioenergi med karbonfangst og -lagring/utnyttelse gir muligheter for negative utslipp når substitusjon er inkludert, selv om det fortsatt eksisterer teknologisk, politisk og markedsmessig usikkerhet.

Å realisere det fulle klimabidraget fra treprodukter forutsetter sterk etterspørsel etter biobaserte materialer, åpne og pålitelige karbonregnskapssystemer, samt investeringer i foredlingsindustri og karbonfangstteknologi. Uten støttende markedsmessige og politiske rammer kan tradisjonell tømmerproduksjon forbli det dominerende målet, noe som kan begrense skogbrukets videre bidrag til nasjonale klimamål.

Økonomiske og politiske vurderinger

Borealt skogbruk byr på økonomiske utfordringer grunnet den lange tidshorisonten. Lange omløp kompliserer tradisjonelle kost-nytte-analyser, spesielt med usikkerhet rundt framtidige klimaeffekter, tømmerpriser og politiske føringer. Vi argumenterer for at risikospredning, f.eks. gjennom treslagsblanding og utvikling av flere inntektsstrømmer (tømmer, karbonkreditter, rekreasjon), kan gi bedre resultater både for skogeiere og samfunnet. Vi anbefaler også bruk av synkende diskonteringsrater i samfunnsøkonomiske vurderinger for å unngå at langsiktige goder som karbonlagring og naturmangfold undervurderes.

Offentlige virkemidler og politikk spiller en sentral rolle. Tilskuddsordninger, karbonmarkedstiltak og internasjonale forpliktelser, som EU-direktiver, kan akselerere overgangen til klimasmart skogbruk. Men virkemidlene må utformes nøye for å forbli effektive i skiftende økonomiske omgivelser. Dersom det er misforhold mellom politiske mål og praktisk gjennomførbarhet, kan det skade både lønnsomheten og

skogens helse. I praksis kan mange skogeiere mangle ressurser eller kapasitet til å oppfylle strenge krav. Politikken bør derfor være fleksibel og tilpasset det som faktisk lar seg gjennomføre.

Narrativer

Rapporten inkluderer flere “politikk-narrativer” eller scenarier som illustrerer hvordan vektlegging av ulike mål (økonomiske, miljømessige, sosiale eller klimarelaterte) gir ulike avveininger og synergier. Denne analysen understreker behovet for balanserte og integrerte strategier fremfor ensporede tilnærminger.

Praktisk veiledning og gjennomføring

Vi anbefaler at både myndigheter og skogeiere integrerer klimatiltak og klimatilpasning i den ordinære skogforvaltningen – i et langsiktig perspektiv. Det mest sentrale virkemiddelet i praksis er oppdaterte og funksjonelle skogbruksplaner. Dagens skogbruksplan inneholder få elementer som kan knyttes direkte til klimaendringene. En mer klima-rettet skogbruksplan vil derfor gi et bedre grunnlag for klimatilpasning og risikostyring. Det anbefales derfor at myndighetene tar initiativ til å utvikle skogbruksplanen slik at den i større grad kan brukes som et aktivt beslutningsstøtteverktøy i klima-arbeidet. En slik plan bør muliggjøre vurderinger av karbonopptak og lagring, identifisering av risikoutsatte bestand (for eksempel områder med økt risiko for vindfall, tørke eller skadedyr), planlegging av treslagsvalg og tilpasning av hogststrategier. Den kan også integrere tiltak for naturmangfold og hydrologi og kobles til digitale databaser for løpende oppdateringer. For skogeieren vil en slik plan gi et detaljert bilde av ressursene og gjøre det mulig å vurdere tiltak som styrker karbonopptak og øker robustheten mot klimaendringer. For samfunnet vil dette kunne være et viktig kunnskapsgrunnlag for å sikre at lokale tiltak støtter nasjonale klima- og naturmål.

Fra et samfunnsperspektiv anbefaler vi at klimasmart skogbruk forankres i tydelige rammer og virkemidler. Myndighetene bør styrke etterlevelsen av eksisterende lov- og sertifiseringskrav, særlig foryngelsesplikten, fortsette å bidra til enkel tilgang til data om miljøverdier og skogtilstand, og videreutvikle virkemidler som motiverer skogeierne til klimatiltak. Vi anbefaler at politikk og planverk legger mer vekt på klimatilpasning, for eksempel gjennom krav til treslagsvalg, bedre overvåking av skoghelse og økt koordinert innsats ved skader etter ekstremvær. Koordinering på tvers av eiendommer og forvaltningsnivåer er viktige for å håndtere systemiske risikoer, som barkbilleangrep og stormskader.

For praktisk gjennomføring bør skogeiere prioritere tilfredsstillende foryngelse, ungsogpleie, risiko-bevisste skogbehandlingsprogram og hensyn til naturmangfold. Tilgjengelige tilskudd og rådgivning kan lette innføringen av klimatiltak. Samarbeid med naboeiendommer, skogeierlag og lokale myndigheter kan gi både mer effektive tiltak og bedre beredskap.

Samlet sett handler praktisk klimasmart skogbruk om å koble langsiktig planlegging, løpende kunnskapsoppdatering og koordinert innsats mellom skogeiere og myndigheter. En aktivt brukt skogbruksplan er det viktigste redskapet for å gjøre dette operativt, og for å sikre at både skogeierens og samfunnets klima- og naturmål faktisk nås.

1 Innledning, fra virkesbalanse til klimasmart skogbruk

Skogbruksbegreper og forvaltningsparadigmer har utviklet seg betydelig siden 1800-tallet, i takt med endringer i samfunnets behov, vitenskapelig forståelse og miljømessige prioriteringer.

Utholdende skogbruk, opprinnelse på 1800-tallet

Det tidligste moderne paradigmet var utholdende skogbruk, som oppstod i Europa på 1700–1800-tallet som en respons på avskoging og mangel på tømmer (se f.eks. Lowood (1990) og Frivold (2011)). Det bygde på prinsippet om kun å hogge så mye som kunne forynges naturlig, og hadde som mål å sikre en utholdende forsyning av trevirke. Tyske skogforvaltere formulerte dette som «Nachhaltigkeit» (bærekraftig uttak), berømt formulert av von Carlowitz (1713). På slutten av 1800-tallet hadde denne doktrinen blitt det dominerende rammeverket for skogbruk, og etablerte et regulert system for utholdende høsting, ofte realisert ved å konvertere varierte naturskoger til jevnaldrende bestand.

Flerbruk av skog, Utvidede mål på midten av 1900-tallet

Mot midten av 1900-tallet økte forventningene til at skoger skulle levere mer enn kun tømmer. Flerbruk av skog vokste frem for å balansere et bredere spekter av formål, inkludert vannforsyning, habitat for planter og dyr og rekreasjon, i tillegg til trevirkeproduksjon. I USA krevde «Multiple Use - Sustained Yield Act» av 1960 at nasjonale skoger skulle forvaltes for en «balansert kombinasjon» av friluftsliv, beite, tømmer, vannforsyning og dyreliv. Denne tilnærmingen utvidet skogbrukets rolle ved å integrere flere fornybare ressurser i forvaltningsmålene. Flerbruk av skog videreførte prinsippene for utholdende skogbruk, men utvidet konseptet til å inkludere bredere samfunnsbehov.

Bærekraftig og multifunksjonelt skogbruk - integrasjon mot slutten av 1900-tallet

Begrepet bærekraftig skogbruk, eller bærekraftig skogforvaltning, fikk økt oppmerksomhet mot slutten av 1900-tallet, påvirket av miljøbevegelsen og Brundtlandrapportens (WCED 1987) fokus på bærekraftig utvikling. Sustainable Forest Management (SFM) bygde videre på utholdende skogbruk ved å ta sikte på å bevare ikke bare tømmeruttak, men også skogens andre økologiske, økonomiske og sosiale funksjoner (MCPFE 1993; FAO 2005). Samtidig vokste ideen om multifunksjonalitet frem, og understreket at skoger naturlig leverer en rekke tjenester, fra treproduksjon og klimaregulering til jordvern og kulturelle verdier. Multifunctional Forestry (MF) fremhever behovet for å forvalte disse verdiene samtidig, fremfor å isolere dem. Sammen har SFM og MF lagt grunnlaget for politikk og sertifiseringsordninger verden over, og etablert kriterier for at skoger kan forbli produktive, robuste og samfunnsnyttige på flere nivåer.

Skogens økosystemtjenester - fra begrep til praksis

Økologisk forskning førte videre til rammeverket for økosystemtjenester, som kategoriserer fordelene fra SFM og MF i forsynende, regulerende, kulturelle og støttende tjenester (MEA 2005; Costanza et al. 1997). Perspektivet påvirket politikk og forvaltning, og ledet til utviklingen av verktøy som betaling for økosystemtjenester, selv om slike ordninger allerede eksisterte i deler av skogsektoren. Vi skal benytte begrepet skogøkosystemtjenester i denne rapporten.

Naturnært skogbruk - å arbeide med naturens prosesser

Naturnært skogbruk, med røtter i en lang europeisk tradisjon for naturnær skjøtsel, vektlegger forvaltning i harmoni med naturlige økologiske prosesser (Schütz 1999; Brang 2001). Dette paradigmet fremmer kontinuerlig skogdekke, naturlig foryngelse, blandingsskog og selektiv hogst. Naturnært skogbruk styrker ikke bare langsiktig produktivitet og robusthet, men også biologisk mangfold og andre økosystemfunksjoner, ved å arbeide med skogens egen regenerering framfor å påtvinge ensartethet.

Klimasmart skogbruk - integrering av klimamål

Klimasmart skogbruk vokste frem på 2010-tallet som en direkte respons på den eskalerende klimakrisen. Konseptet ble introdusert av Hansen et al. (2010) og utviklet for skogbruk av Nabuurs et al. (2015), og videreutviklet i påfølgende forskning (FAO 2017; Kauppi et al. 2018; Yousefpour et al. 2018; Bowditch et al. 2020; Verkerk et al. 2020, 2022; Ekholm et al. 2023; Shephard & Maggard 2023). Klimasmart skogbruk bygger gjerne på tre pilarer: å redusere og fjerne utslipp av drivhusgasser, styrke skogens robusthet mot klimaendringer, og opprettholde eller øke skogens produktivitet og økonomiske nytte. I stedet for å erstatte tidligere paradigmer, omformer klimasmart skogbruk dem med klimaet i sentrum, og søker vinn-vinn-strategier som forener klimamål med økonomiske, økologiske og sosiale hensyn. Eksempler på dette er å endre treslagsfordeling for å møte fremtidige klimautfordringer, justere hogstalter for å maksimere karbonlagring, eller fremme bruk av tre i stedet for mer karbonintensive materialer.

Likheter og forskjeller

Klimasmart skogbruk har mye til felles med tidligere paradigmer i sitt fokus på bærekraftig, flerfunksjonell forvaltning, og bruker ofte praksiser fra grønt og naturnært skogbruk (f.eks. styrket naturlig foryngelse for økt robusthet). Det som skiller dette relativt nye konseptet fra de andre konseptene, er naturligvis klimaendringens sentrale rolle, integreringen av både utslippsreduksjon og tilpasning i skogforvaltningen. Denne integrerte tilnærmingen omprioriterer tradisjonelle mål og legger ny vekt på å forvalte skogen som karbonlager, samtidig som økologiske, økonomiske og sosiale funksjoner ivaretas.

Klimasmart skogbruk i dag - boreal kontekst og global relevans

Klimasmart skogbruk har gått raskt fra teori til praksis i internasjonal politikk. I Europa fremmes det for å oppnå karbonnøytralitet, og i Nord-Amerika gir føderale programmer insentiver til klimasmart arealforvaltning. Relevansen er særlig tydelig i boreale skoger, som dekker rundt 30 % av verdens skogareal og lagrer en uforholdsmessig stor andel av karbonet på landjorda. Boreale områder varmes opp omtrent dobbelt så raskt som det globale gjennomsnittet, og opplever økt risiko for skogbrann, insektsangrep og tining av permafrost, noe som gjør klimasmart skogbruk helt nødvendig.

Typisk adresserer klimasmart skogbruk hvordan skoger og skogbasert sektor må tilpasse seg klimaendringer samtidig som de øker produktiviteten, bidrar til karbonopptak og -lagring, og leverer nytte for eiere og samfunn gjennom alle typer skogøkosystemtjenester. Vår tilnærming følger dette sporet. Vi foreslår tiltak for å:

1. Dempe klimaendringer (redusere klimaeffekter ved å øke opptak og lagring av karbon i levende og død biomasse, i jord og i treprodukter) og fremme bruk av treprodukter som erstatter alternativer med høyere karbonfotavtrykk (jf. seksjon 4.2), inkludert justering for eventuelle endringer i albedo.
2. Tilpasse skogforvaltningen til et endret klima for å styrke skogens motstandskraft mot naturlige forstyrrelser som barkbilleangrep, rotråteskader, vindfelling, snøskader, tørke og skogbrann, på bestands-, eiendoms- og landskapsnivå.

Tiltakene bør videre (jf. eksempelvis Nordisk Ministerråd 2017; Luyssaert et al. 2018; Hetemäki et al. 2024):

3. Ta hensyn til øvrige skogøkosystemtjenester (jf. seksjon 2.4.1)
4. Inkludere (veie) risiko og usikkerhet (jf. seksjon 2.4.2)
5. Vurdere potensielle synergier og avveininger mellom mål (jf. seksjon 2.4.3)

Det har tidligere blitt hevdet at klimatilpasning og utslippsreduksjon vil føre til et paradigmeskifte i skogteori og -praksis (Schoene & Bernier 2012). Vår tilnærming er mer beskjeden og praksisorientert,

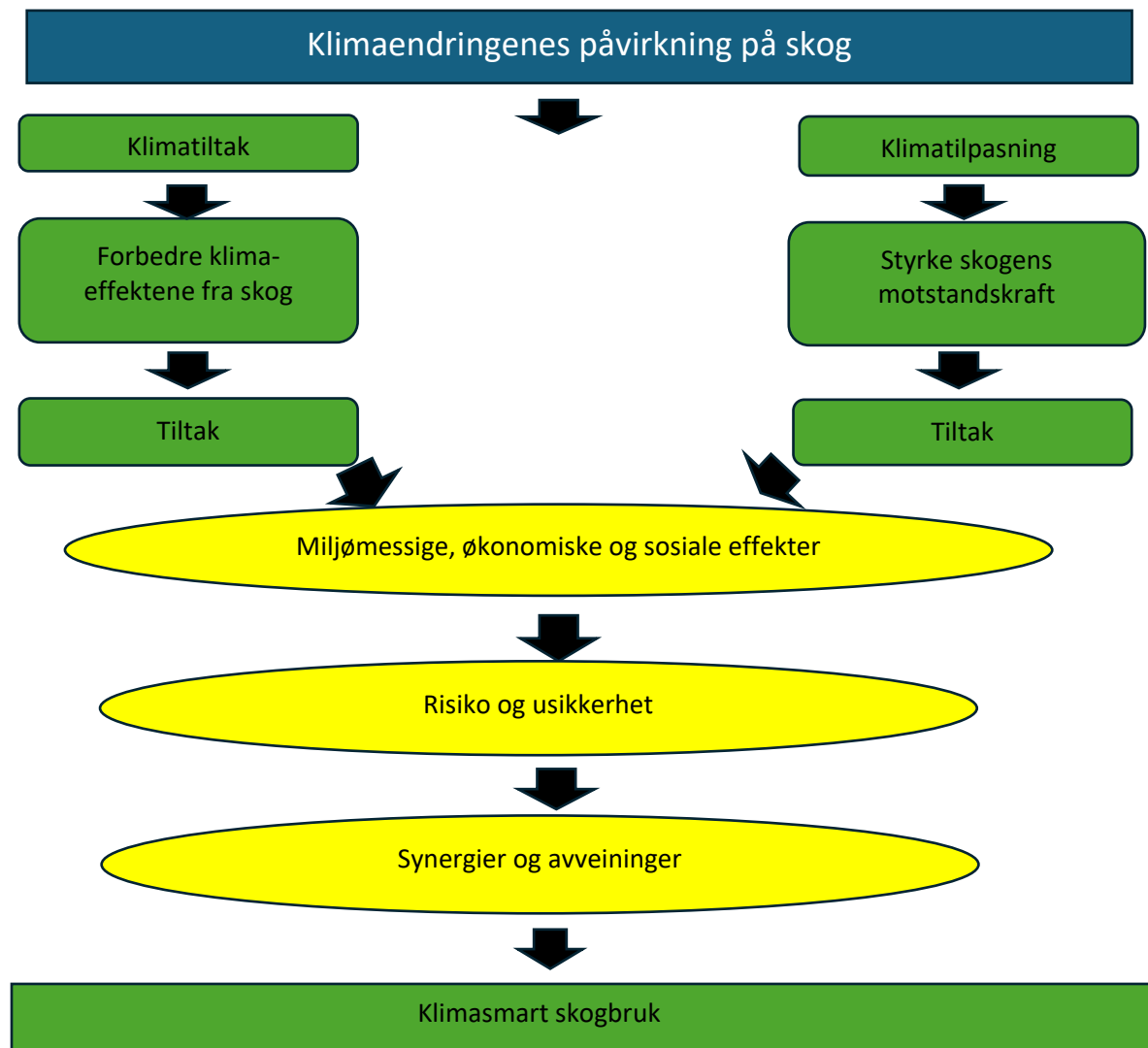
utviklet med skogbasert sektor som hovedmålgruppe. Vi har valgt en «bottom-up»-tilnærming, med tiltak og handlinger på bestandsnivå (seksjon 3.1), eiendomsnivå (seksjon 3.2) og landskaps- regionalt og nasjonalt nivå (seksjon 3.3), med vekt på praktisk relevans og tilpasningsdyktighet (jf. Bull et al. 2018).

2 Konseptuelt rammeverk

2.1 Innledning

Vårt rammeverk (Figur 1) begynner med å identifisere sannsynlige klimaendringer og tilhørende påvirkninger på skog. Deretter følger vi to separate analyselinjer:

- **Klimatiltak**, det vil si hvordan endringer og justeringer i skogforvaltning kan forbedre skogens og skogbaserte produkters påvirkning på klimaet, og
- **Klimatilpasning**, det vil si hvordan forvaltningen kan tilpasses for å øke skogens robusthet og motstandsdyktighet mot naturlige forstyrrelser i et endret klima.



Figur 1. Konseptuelt rammeverk.

Først analyseres disse to elementene isolert. Deretter inkluderes et bredere perspektiv på skogøkosystemtjenester, hvor vi syntetiserer effekter langs miljømessige, økonomiske og sosiale dimensjoner, inkludert vurderinger av risiko og usikkerhet samt synergier og avveininger.

2.2 Klimaendringer og påvirkning på skog

Økte temperaturer og nedbør er generelt forventet i de nordlige delene av Europa, inkludert Norge, som følge av klimaendringer (IPCC 2019; 2022). I tillegg forventes det hyppigere ekstreme værhendelser som stormer, kraftig regn og snøfall, flom og tørkeperioder (Walsh et al. 2020; Seneviratne et al. 2023). Disse endringene vil trolig ha stor innvirkning på vekst og produksjon, samt på hyppighet og alvorlighetsgrad av naturlige forstyrrelser i norske skoger.

2.2.1 Skogens vekst og produksjon

I hvilken grad og på hvilken måte klimaendringer påvirker den langsiktige skogproduksjonen (volumvekst sett i et skognæringsperspektiv) i Norge, avhenger av mange faktorer. Klimaendringer påvirker veksten til enkelttrær, samt naturlig avgang (dødelighet) og foryngelse. Det kan også være store regionale forskjeller: I nordlige og høyereliggende områder er veksten ofte temperaturbegrenset, mens den i sørlige områder kan være nedbørsbegrenset. Det er dessuten vanskelig å isolere klimaendringenes direkte effekter fra andre faktorer som endringer i forvaltning, nitrogenavsetning og forbedret genetisk plantemateriale.

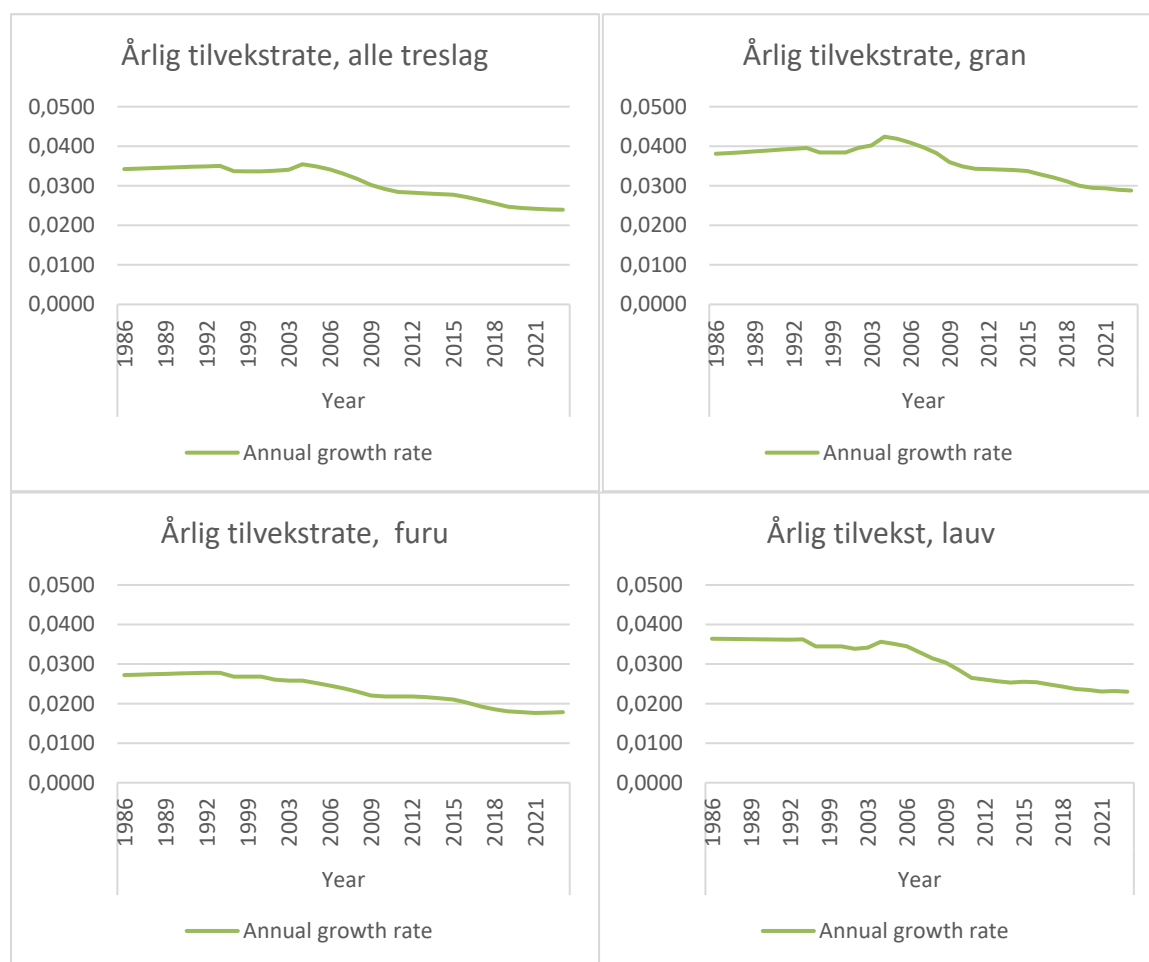
Generelt observeres det at boniteten (dominerende høydevekst) for bestand etablert i nær fortid er høyere enn for eldre bestand, under ellers like forhold. Basert på data fra Landsskogtakseringen fant Sharma et al. (2012) at denne bonitetstrenden for gran og furu har akselerert de siste 60 årene, trolig som følge av dynamiske endringer i vekstforholdene. Økt temperatur og nedbør etter 1990 bidrar trolig til dette, men også økt nitrogennedfall og høyere CO₂-nivåer i atmosfæren kan være medvirkende faktorer.

Ved bruk av borprøver fra gran og furu (årringsdata) og klimadata fra Landsskogtakseringens flater analyserte Merlin et al. (2024) sammenhengen mellom diametervekst, temperatur og nedbør i perioden 1960–2020. Selv om klimaet ble varmere og våtere når en sammenlignet periodene 1960–1990 og 1990–2020, fant de for begge treslag at forholdet mellom diametervekst og klima var relativt stabilt når de to periodene ble sammenlignet.

Disse to eksemplene illustrerer at klimaendringer kanskje kan ha en positiv effekt på enkelttrærnes vekst, men at denne effekten – så langt - er liten. Virkningene av klimaendringene for foryngelse og naturlig avgang vet vi lite om, men mest sannsynlig vil avgangen øke på grunn av mer ekstreme værforhold. Noe bekymring har i seinere tid oppstått fordi stående volum for gran har gått ned siden 2010 (Breidenbach et al. 2024). Dette skyldes delvis redusert areal i de mest produktive hogstklassene (hogstklasse III-IV) og et generelt høyt hogstnivå de siste årene, men også økt naturlig avgang. Når hogst og naturlig avgang overstiger tilvekst, synker stående volum. Dette er observert for gran, særlig i Sørøst-Norge på steder med intensiv forvaltning. Det er usikkert om økt naturlig avgang skyldes klimaendringer, men liknende trender er funnet i Finland og i Sverige (Henttonen et al. 2024; Laudon et al. 2024). I Sverige trekkes klimarelatert tørke frem som sannsynlig årsak, og det understrekes at det er behov for mer forskning for å unngå å utsette nødvendige framtidige tilpasninger og dermed skape en ytterligere forverret situasjon.

Denne utviklingen forsterker trender over lengre tid. Den årlige brutto tilveksten har ligget på rundt 24–26 millioner m³ stammeved (under bark) i over 20 år (Statistisk sentralbyrå, Landsskogtakseringen, tabell 06289). Dette tilsvarer rundt 65 % av Norges årlige utslipp av CO₂ omregnet med en faktor på 1,375 t CO₂·m⁻³ (Kauppi et al. 2022). Andre kilder opererer med høyere faktorer: 1,46 t CO₂·m⁻³ (Rørstad 2022a) og 1,8 t CO₂·m⁻³ (Løken et al. 2012), som gir enda høyere andel. Gjennomsnittlig netto opptak (brutto tilvekst minus naturlig avgang og hogst) var 7–12 millioner m³, tilsvarende 18–31 % av utslippene. I perioden 2004–2023 rapporterte Norge at LULUCF-sektoren i snitt bidro med et opptak på 19,2 millioner tonn CO_{2e} årlig, rundt 36 % av utslippene fra øvrige sektorer (Miljødirektoratet 2023). Men trenden er

fallende: Vekstraten (årlig brutto tilvekst / stående volum) har falt fra 3,54 % i 2004 til 2,39 % i 2023 (Statistisk Sentralbyrå, Landsskogtakseringen, tabell 06289, se Figur 2). I absolutte tall (prosentpoeng) er nedgangen i tilvekstraten mest uttalt for gran, med en endring fra 4,24 % i 2004 til 2,88 % i 2023 (–1,36 prosentpoeng). For furu falt tilvekstraten fra 2,58 % i 2004 til 1,79 % i 2023 (–0,79 prosentpoeng), mens tilvekstraten for lauvtrær gikk ned fra 3,56 % i 2004 til 2,30 % i 2023 (–1,26 prosentpoeng). For furu og lauvtrær startet nedgangen i tilvekstratene omtrent et tiår tidligere enn for gran. For gran er denne utviklingen trolig knyttet til økt hogst (med tyngdepunkt på produktive lokaliteter) og naturlig dødelighet (Breidenbach et al. 2024), mens den for furu og lauvtrær er et resultat av redusert vekst som følge av aldring.



Figur 2. Brutto vekstrater i Norge (årlig tilvekst/stående volum for alle arealer) 1986–2023, basert på SSB, Landsskogtakseringen, tabell 06289.

2.2.2 Naturlige forstyrrelser

Klimaendringer medfører økte og nye risikoer for norske skoger. Dette vil sannsynligvis øke hyppigheten og alvorlighetsgraden av naturlige forstyrrelser som barkbilleangrep, rotråte, vindfall, snøskader og skogbrann. Slike forstyrrelser påvirker boreale skoger generelt (Girona et al. 2023) og også i Norden (Venäläinen et al. 2020; Romeiro et al. 2022; Patacca et al. 2023; Romeiro et al. 2024). Selv om naturlige forstyrrelser kan ha viktige positive økologiske funksjoner, som bedre næringsomsetning og variasjon i

skogstruktur (Berglund & Kuuluvainen 2021), har de også negative konsekvenser for karbonlagring og økonomisk avkastning (Knoke et al. 2021). Tiltak for å møte disse utfordringene blir derfor stadig viktigere (se seksjon 3.2.2).

Díaz-Yáñez et al. (2016) fant at beiteskader forekom på 4 % av Landsskogtakseringens produktive permanente flater i perioden 1995–2014. Dette var noe mer enn snøskader (3 %), vind (2 %), insekter (1 %) og sopp (1 %). Data om økonomiske tap på grunn av skader i Norden er begrenset, men Lehtonen et al. (2016) rapporterte at årlige erstatninger for snøskader i Finland i snitt for de tre siste tiårene var EUR 0,5 mill., tilsvarende 7 % av totale forsikringsutbetalinger. Ved ekstreme snøfall kan tapene bli flere millioner. I Norge ble skader fra snø vinteren 2020–2021 estimert til rundt EUR 3 millioner i Sørøst-Norge (Zubkov et al. 2024). Generelt forventes snøskader i Norge å avta, men med regionale forskjeller og en økning i Sørøst-Norge (Solberg et al. 2018).

I deler av Europa har barkbilleskader allerede nådd et historisk høyt nivå. I 2019 rapporterte Tsjekkia om 20,7 millioner m³ skadet gran (Fernandez-Carrillo et al. 2020), mens Tyskland meldte om 43,3 millioner m³ skadet av insekter, hovedsakelig granbarkbiller (Statistisches Bundesamt 2021). I Sør-Sverige ble det i perioden 2018 til 2023 anslått at barkbiller drepte 32 millioner m³ gran, med ytterligere økning forventet i årene som kommer (Skogsstyrelsen, sitert i Kärvalo et al. 2023). Selv om Norge ikke har opplevd store utbrudd av granbarkbiller siden 1970-tallet, er det økende bekymring blant forskere og skogforvaltere for fremtidige utbrudd som følge av klimaendringer. Det finnes ikke detaljerte tall for hvor mye gran som er rammet av barkbiller i Norge. Gohli et al. (2024) samlet inn fangstdata fra granbarkbilfeller (1731 lokaliteter i ulike deler av landet) over en periode på 17 år uten store utbrudd, og brukte informasjon om skogforhold og klima fra nærliggende landskap for å identifisere faktorer som påvirker populasjonsstørrelser. De fant at volum (m³/ha) av hogstmoden gran, omfanget av nye hogstflatekanter, temperatur og jordfuktighet var de viktigste faktorene. Det er også bekymring knyttet til barkbillens evne til å sverme to ganger i løpet av én vekstsesong ved et varmere klima. Tidligere var dette sjeldent, men de siste årene har dette blitt hyppig observert i Sørøst-Norge (Krokene et al. 2025). Dette øker risikoen for nye invasjoner og utbrudd av biller. Det kombinerte presset fra et varmere klima og flere spredningsveier øker ikke bare trusselen fra eksisterende skadegjørere som barkbiller, men også fra arter som tidligere har vært ubetydelige eller helt nye insekter som kan etablere seg i norske skoger.

2.3 Skogforvaltning for klimatilpasning og klimatilpasning

I boreale skoger, som i Norge, har åpne hogstformer produksjonssykluser (omløpstider) på mellom 50 og 150 år (eller mer). Den lange tidshorisonten medfører betydelig usikkerhet og risiko i vurdering og prioritering av tiltak. Dette tar ulike former avhengig av fremtidige scenarier for globale utslipp (klimagassbaner), de tilhørende endringene i klimaet, hvordan dette påvirker skogens produktivitet, sårbarhet og robusthet på bestands- og landskapsnivå, og hvordan klimaendringer kan påvirke politikk og markeder. Vil markedskrefter og politiske tiltak være sterke nok til å muliggjøre et «grønt skifte» og avkarbonisere verdensøkonomien? Og i så fall, hvor raskt vil dette skje? Risiko og usikkerhet vil knytte seg både til fysiske endringer i miljøet (for eksempel stormer, kraftig nedbør og snøfall, tørke, insekter og skogbranner), og til økonomi, varemarkeder (priser på produkter, innsatsfaktorer, logistikk) og politikk. Vi forsøker derfor å inkludere usikkerhet og risiko i våre analyser og vurderinger.

Ulike tiltak vil virke sammen i tid og rom. Eksempelvis kan flatehogst i ett bestand påvirke nabobestands sårbarhet for storm eller brann. I syntesen og utformingen av anbefalinger forsøker vi derfor å inkludere mulige synergier eller avveininger mellom alternativer og tiltak. Ett eksempel på synergi kan være å bytte ut dominerende treslag fra gran til furu på tørkeutsatte lokaliteter, noe som kan gjøre bestandet mer tørkeresistent, mindre utsatt for vindfelling og barkbilleskader (*Ips typographus*), men samtidig kanskje noe mer utsatt for beiteskader.

Klimatiltak og klimatilpasning innebærer betydelige endringer i skogarealet og krever lang tid for å bli gjennomført. Endringer i treslagsfordeling kan i hovedsak kun gjøres etter slutthogst. Siden 1950 har vi forynget ca. 1–2 % av skogarealet årlig, noe som betyr at det vil ta 50–100 år å endre treslagsfordelingen på hele skogarealet i Norge. Tilsvarende gjelder dersom man ønsker å gå fra enaldrede bestand med bestandsskogbruk til fleraldrede strukturer som egner seg for lukkede hogstformer. Dette vil også kreve mange tiår å gjennomføre.

Usikkerheten i fremtidig utvikling av temperatur, nedbør og ekstremvær er stor, særlig over den lange produksjonssyklusen som skogbruk krever. Stressfaktorene som påvirker skogen, vil trolig øke over tid og kan til og med akselerere. En viktig forutsetning for klimatilpasning er derfor å bevare fleksibilitet som muliggjør endringer i tiltak over tid. Det er for eksempel mye lettere og raskere å fjerne treslag enn å introdusere nye dersom forholdene endres. Klimatiltak (demping, tiltak for å redusere) og klimatilpasning må operasjonaliseres gjennom konkrete tiltak på ulike nivåer (se seksjon 3.1–3.3 for detaljerte tiltak på bestands-, eiendoms- og landskapsnivå).

2.4 Syntese

Denne seksjonen drøfter og gir eksempler på hvordan skogforvaltning orientert mot biomasse- eller tømmerproduksjon kan påvirke skogøkosystemtjenester i bredere forstand. Videre vurderes risiko og usikkerhet ved analysing og prioritering av tiltak, og i hvilken grad synergier og avveininger oppstår når to eller flere tiltak gjennomføres samtidig. Hetemäki et al. (2024) gir en aktuell litteraturgjennomgang av synergier og avveininger innen europeisk bioøkonomisk skogforskning. De fremhever at slike vurderinger er hyppig studert, men med varierende begrepsbruk og omfang. Et viktig funn er at avveininger mellom tømmerproduksjon og naturmangfold er godt dokumentert, mens andre avveininger, for eksempel mellom karbonlagring, albedoeffekter og vannregulering, er mindre utforsket.

Studier understreker viktigheten av å integrere klimatilpasning og klimatiltak i skogforvaltningen for å møte både økonomiske og økologiske bærekraftsutfordringer. Locatelli et al. (2015) deler slike interaksjoner inn i tre typer: felles utfall, utilsiktede bieffekter og felles målsettinger, som reflekterer hvordan tilpasnings- og begrensningstiltak kan støtte eller motvirke hverandre. Disse avveiningene er viktige ved vurdering av langsiktig politikk og skogens robusthet overfor klimatiske usikkerheter.

2.4.1 Skogøkosystemtjenester i et bredt perspektiv

I prosessen med å etablere tusenårsmålene ble begrepet økosystemtjenester utviklet som teori og rammeverk for bedre å forstå og forklare samspillet mellom natur, økosystemer, mennesker og samfunn (MEA 2005, jf. også kapittel 1). Ifølge dette rammeverket bidrar natur til menneskelig velferd gjennom fire hovedkategorier av tjenester: i) Grunnleggende livsprosesser (støttetjenester), ii) Regulerende tjenester, iii) Forsyningstjenester og iv) Kulturelle tjenester.

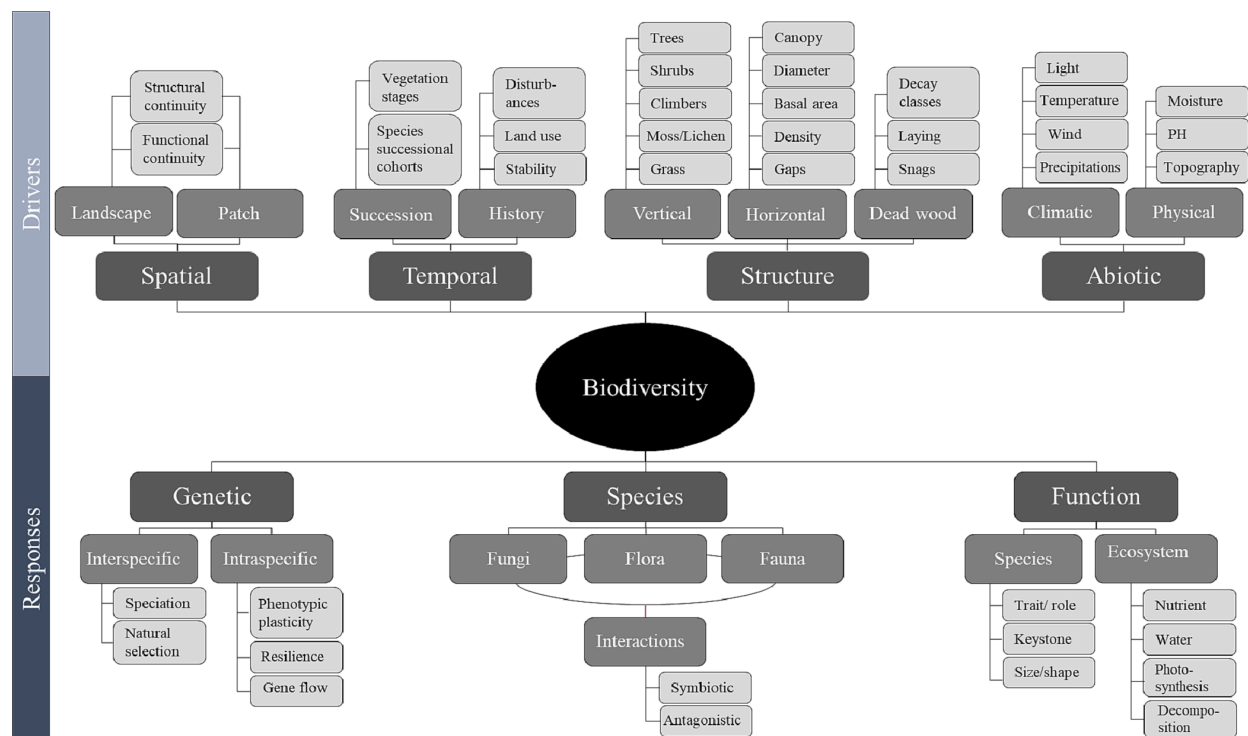
Grunnleggende livsprosesser, også kalt økosystemfunksjoner eller støttetjenester, er nødvendige for liv på jorden og for alle de andre tjenestene, for eksempel fotosyntese, primærproduksjon, næringsstoffsikring, og dannelse av jord og sedimenter. Regulerende tjenester er naturens bidrag til et trygt miljø, som klimaregulering, rent vann, sykdomsregulering, naturmangfold, pollinering og flomvern. Forsyningstjenester er varene vi får fra naturen, som mat, tømmer, fiber, brensel, genetiske ressurser og biokjemikalier. Kulturelle tjenester, også kalt opplevelses- og kunnskapstjenester, omfatter rekreasjon, friluftsliv, læring, estetikk og åndelige verdier. Det er omdiskutert om naturmangfold i seg selv er en økosystemtjeneste eller en grunnleggende forutsetning for biosfærens eksistens. I 2012 ble det mellomstatlige vitenskapspanelet for biologisk mangfold og økosystemtjenester (IPBES) etablert (vår understreking). Det signaliserte at verdenssamfunnet likestiller naturmangfold med økosystemtjenester.

De to skogøkosystemtjenestene tømmerforsyning og karbonopptak/-lagring er sentrale i denne rapporten. Likevel påvirker skogen og hvordan arealet forvaltes skogøkosystemtjenester i alle fire kategorier. De mest relevante tilleggstjenestene i denne (norske) sammenhengen er biologisk mangfold, hydrologi og vannbalanse (regulerende tjenester) og rekreasjon og turisme (kulturell tjeneste). I lys av FNs bærekraftsmål representerer disse tjenestene både miljømessige, økonomiske og sosiale sektorer. Av disse grunner oppfatter vi klimasmart skogbruk som bærekraftig skogbruk som også eksplisitt omfatter klimaendringene.

2.4.1.1 Naturmangfold

Naturmangfold er flerdimensjonalt og refererer til variasjon innen arter, mellom arter og mellom økosystemer. IPBES' hovedrapport (IPBES 2019) fremhever at menneskelig sivilisasjon påvirker og omformer naturen gjennom fem direkte drivere: arealbruksendringer på land og til havs, direkte utnyttelse (hogst), klimaendringer, utslipp og forurensning, og introduksjon av fremmede arter.

Hunault-Fontbonne & Eyvindson (2023) foreslår en enkel driver–respons-modell for biologisk mangfold i skog, med fire driverkategorier: romlige koblinger, tidsmessig kontinuitet, bestandsstruktur og abiotisk miljø. De skiller også tre responskategorier: genetisk mangfold, artsmangfold og funksjonelt mangfold. Ved å bruke denne rammen blir det tydeligere hvilke mekanismer som allerede er reflektert i indikatorene for klimasmart skogbruk og hvilke som er oversett, særlig genetisk variasjon og langsiktig habitatkontinuitet. Konseptet er visualisert i Figur 3.



Figur 3. Hovedaspektene ved biologisk mangfold basert på en narrativ gjennomgang av begrepet naturmangfold i økologien. Aspektene er organisert mellom drivere og responser (mørkegrå ruter) med tilhørende delkomponenter (lysegrå ruter). Tilbakekoblinger og interaksjoner mellom aspektene er utelatt for forenkling. Kopiert fra Hunault-Fontbonne & Eyvindson (2023).

I tillegg til etablerte tiltak for å styrke naturmangfold, viser litteraturen at integrerte tilnærminger kan forbedre mangfoldet uten nødvendigvis å redusere tømmeruttak. For eksempel kan landskapsbasert planlegging for vern skape synergier mellom tømmerproduksjon og vern av biologisk mangfold ved å optimalisere områder for vern og buffersoner (Hetemäki et al. 2024). Videre overlapper tiltak for å styrke skogens motstandskraft ofte med og virker i synergi med tiltak for biologisk mangfold, ettersom naturmangfold i seg selv er en kritisk komponent for skogens robusthet (Lindner et al. 2020). Å inkludere artsavhengige habitatkrav i skogforvaltningen kan dermed redusere tap av biologisk mangfold samtidig som levering av økosystemtjenester opprettholdes.

Nordisk ministerråd (2017) understreker at strategier for biologisk mangfold i skog bør utformes for å integrere både klimatilpasning og klimatiltak, slik at verneområder ikke bare fungerer som karbonlagre, men også styrker økosystemers robusthet. Videre peker Locatelli et al. (2015) på at avveiningene mellom tømmerproduksjon og vern av biologisk mangfold ofte undervurderes i klimadiskusjoner. Deres funn tyder på at tilpasningsorienterte strategier for biologisk mangfold, slik som blandingsskog og naturlig foryngelse, også kan bidra til langsiktig karbonopptak og -lagring.

Typiske tiltak for å ivareta og fremme naturmangfold i bærekraftig skogforvaltning er blant annet: verne- og rekreasjonsområder, økologiske korridorer, død ved, blandingsskoger, lukkede hogstformer, og forlenget hogstalter. Klimaendringer påvirker direkte naturmangfold, og klimatilpasningstiltak kan ha enten synergistiske eller konkurrerende effekter. Se f.eks. Krumm, Schuck & Rigling (2020) og Felton et al. (2024) for bredere behandlinger av balansering mellom skogbruk og naturvern i europeisk kontekst. Se også seksjon 3.1.2 og 3.2.5 for detaljerte beskrivelser av tiltak for naturmangfold på bestands- og eiendomsnivå.

På bestandsnivå inkluderer tiltak som kan påvirke biologisk mangfold beslutninger om hogstalter, livsløpstrær etter hogst, foryngelse med blandingsskog kontra ensartede bestand, eventuell bruk av kjemikalier (herbicider og pesticider), valg mellom åpne hogstformer eller lukkede hogstformer, og håndtering av dødt trevirke.

Tiltak på eiendoms, landskaps- og soneringsnivå støtter klimatilpasning og -tiltak ved å koordinere beslutninger på tvers av eiendomsgrenser og ved å styrke økologiske koblinger. For eksempel reduserer områder for friluftsliv og nøkkelbiotopvern sekundære insektsangrep og beskytter sårbare arter. Se seksjon 3.3.1, 3.3.2 og 3.3.3 for soneinndeling, samarbeid på tvers av eiendommer og restaurering av myr. Godt planlagte skogsbilveier (seksjon 3.2.4) støtter effektiv opprydding etter skader, brannberedskap og erosjonskontroll. Korridorer for konektivitet (f.eks. kantsoner langs vann) hjelper arter å migrere og opprettholder genetisk utveksling, noe som styrker klimamotstandskraften.

I flerbruksområder kan skogeiere velge mellom arealsegregering (separat vern) eller arealintegrasjon (samproduksjon som balanserer tømmer og vern). Triade- eller multisonestategier (seksjon 3.2.3 og 3.3.1) konsentrerer intensiv produksjon til høyproduktive arealer med buffere for naturmangfold eller rekreasjon. Restaurering av myr (seksjon 3.2.6 og 3.3.3) forbedrer vannlagring, reduserer utslipp og beskytter karbonlagre i jorda. Til sist ivaretar landskapsvern estetiske og kulturelle verdier, som ofte samsvarer med friluftsliv, turisme og eventuelle karbonkredittmuligheter (seksjon 5.3).

Indikatorbaserte vurderinger av robusthet, som foreslått av Lindner et al. (2020), er viktige for å overvåke endringer i skogens sårbarhet og robusthet. Dette muliggjør proaktiv og tilpasningsdyktig forvaltning under klimatiske usikkerheter og er sentralt i adaptiv forvaltningspraksis.

2.4.1.2 Rekreasjon og turisme

Skog har vært brukt til rekreasjon i århundrer. Industrialisering, befolkningsvekst, urbanisering, økonomisk utvikling og økt mobilitet er noen av de viktigste drivkreftene som har åpnet og påvirket

bruken av skog til rekreasjon det siste århundret. I Norge er allemannsretten en del av kulturarven og ble lovfestet gjennom Friluftsloven av 1957. Offentligheten har dermed en tradisjonell og juridisk rett til fri ferdsel året rundt i skog og utmark.

Skogbruk og skogforvaltning påvirker landskapet i både tid og rom. Skogsbilveier gir tilgang (til fots, på sykkel, på ski) og åpner tidligere utilgjengelige områder for ulike former for friluftsliv (Gundersen & Vistad 2016). Naturbasert turisme har utviklet seg de siste 20–30 årene i takt med økt mobilitet og innovasjon innen utstyr og aktiviteter som toppturer, terrengsykling og rafting. I en fersk undersøkelse svarte 90 % av nordmenn over 16 år at de hadde brukt parker eller natur til å gå tur, og 75 % hadde gått tur i fjell, skog eller utmark det siste året (SSB 2024a). Én av tre hadde gått på ski i naturen, 25 % hadde syklet, og halvparten hadde plukket sopp eller bær. Dette dokumenterer at en stor andel av den norske befolkningen bruker natur og skog regelmessig til rekreasjon.

Forvaltning og dynamikk i skog og landskap påvirker opplevelsen og oppfatningen til de som bruker skogen til rekreasjon. Aktiviteten er størst i bynære og tett befolkede områder (periurbane områder), og det bør derfor tas større hensyn til friluftsliv her enn i mer avsidesliggende skoger. «Recreational Opportunity Spectrum» (ROS) har vist seg egnet som tilnærming for å integrere friluftssinteresser i arealplanlegging. Denne modellen kombinerer fysiske og sosiale forhold og søker å klassifisere områder langs et spektrum av rekreasjonsmuligheter, fra byparker via produksjonsskoger til villmark (Gundersen et al. 2019).

Typiske tiltak for å fremme (ivareta/vedlikeholde og styrke) friluftsopplevelser og attraktivitet i skog:

- Skogsbilveier skaper synergier (gåtur, sykling og ski)
- Landskaps- og utsiktsverdier kan stå i konflikt med store flatehogster
- Blanding av treslag og lukkede hogstformer kan være synergistiske
- Forlenget hogstalter kan være nøytral eller positiv i forhold til biologisk mangfold

2.4.1.3 Hydrologi og vannbalanse

Skog dekker nær 40 % eller 12 millioner hektar av landarealet i Norge, hvorav rundt 26 % eller 8,2 millioner hektar er klassifisert som produktiv skog (SSB 2024b). Skogen spiller en betydelig rolle i hydrologi og vannbalanse, og kan beskytte mot flom, jordskred og snøskred. Skogen og forvaltningen av denne har derfor stor betydning for hvorvidt bygninger og infrastruktur nedenfor (nedstrøms) blir utsatt for slike miljøfarer.

I tillegg til å regulere vannføring bidrar skog til å redusere flomfare og jorderosjon ved å stabilisere det hydrologiske kretsløpet. Forskning viser at blandingsskoger og lukkede hogstformer forbedrer vannlagringsevnen, særlig i bratte områder eller i regioner med høy nedbør (Laudon & Maher Hasselquist 2023). Økt skogreising i nedbørsfelt og beskyttelse av flomutsatte soner kan styrke disse funksjonene samtidig som de støtter naturmangfold.

I tillegg til flombeskyttelse har skog en viktig rolle i å regulere vannkvalitet og håndtere hydrologiske ekstremepisoder. Effekten avhenger av treslagsfordeling, aldersstruktur og jordforvaltning. Forskning tyder på at blandingsskoger og lukkede hogstformer forbedrer vannretensjon sammenlignet med monokulturer. Ifølge Eyvindson et al. (2023) viser nyere studier fra Finland at vannstandshåndtering i tidligere grøftede myrer kan påvirke utslippene av drivhusgasser betydelig samtidig som økonomisk bærekraft bevares.

Restaurering av tidligere grøftede myrer ved å heve vannspeilet og selektiv blokkering av grøfter (seksjon 3.3.3) kan stabilisere vannbalansen, redusere flomtopper og øke karbonlagring. Slike tiltak kan også

forbedre biologisk mangfold i myrer og regulere vannkvalitet ved å redusere næringsavrenning. Når klimaet endres, kan integrering av myrrestaurering i skogplanlegging bli viktig for hydrologisk stabilitet.

Regjeringen (Meld. St. 27 (2023–2024)) har nylig påpekt behovet for mer kunnskap om naturbaserte løsninger for å redusere miljøfarer, det vil si hvordan skogen begrenser faren for flom, snøskred og jordskred (i løsneområdet) og konsekvensene av slike (i utløpsområdet). Det siste gjelder særlig snøskred, men også jord- og steinskred. Skog er et dynamisk system, og skogens evne til å begrense flom eller redusere skredfare er i liten grad undersøkt under norske forhold (Nordrum et al. 2020). Hva er naturens vannlagringsevne, og hvordan påvirkes den av arealbruk, vegetasjonsendringer og skogens tilstand? Hvor mye vann lagrer et nylig avvirket areal, en tettvokst ensartet produksjonsskog, eller en blandingsskog med trær i ulike aldre på samme lokalitet? Hva er effekten av selektive hogster eller flatehogst på stabilitet versus skred, snøskred eller flom? Slike spørsmål er knapt undersøkt i norsk kontekst. Relaterte spørsmål gjelder virkningen av arealbruksendringer i utbyggingsområder. Hva er effekten i et nedbørsfelt av omfattende hyttebygging, særlig i høyden og ofte på myrområder? Hva er effekten av å restaurere tidligere grøftede myrer på vannlagringsevnen i et nedbørsfelt?

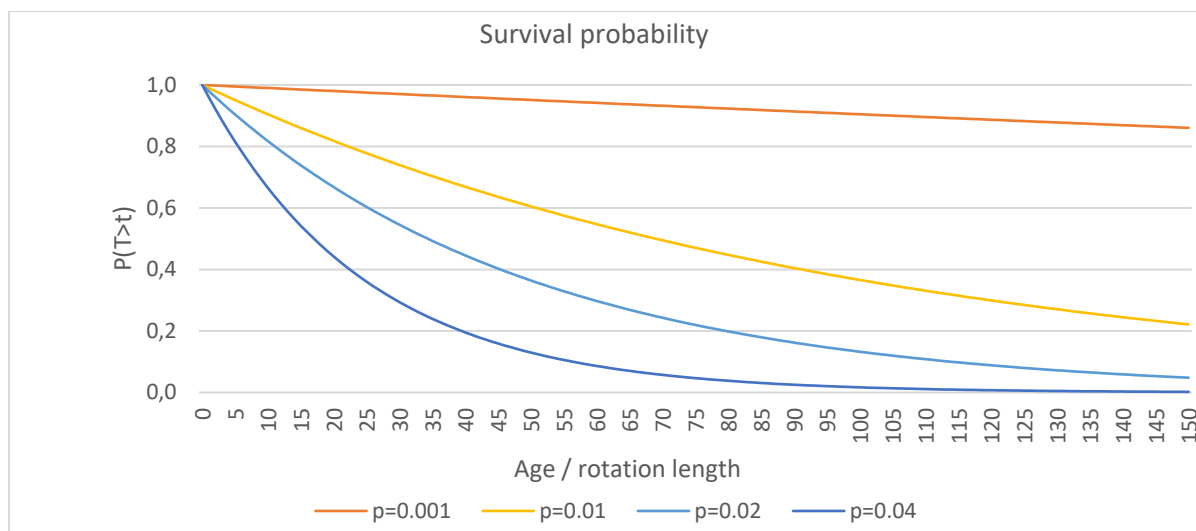
Typiske tiltak for å fremme (ivareta/vedlikeholde og styrke) skogens evne til å redusere miljøfare gjennom bærekraftig skogbruk er: verne- og rekreasjonsområder, bevisst utforming av veier og veinett, nøye planlegging av forvaltning i tid og rom, og treslagsvalg. For å begrense negative hydrologiske effekter bør moderne skogsveinett inkludere klimatilpasset infrastruktur, som strategisk plasserte stikkrenner for å opprettholde naturlig vannstrøm, erosjonssikringstiltak og justeringer av veigradienter for å hindre oppsamling av vann. Slike tiltak kan redusere sedimenttransport til vassdrag og opprettholde økologisk balanse i bekker og elver.

2.4.2 Risiko og usikkerhet

Med produksjonssykluser på 50–150 år med åpne hogstformer er det åpenbart at mange av faktorene som inngår, kan få et annet utfall enn det som var antatt *ex ante* i en analyse av behandlingstiltak og deres økonomiske lønnsomhet. Mangelen på sikker kunnskap kan ta ulike former. Den kan være knyttet til biologisk produksjon og til abiotiske eller biotiske produksjonsfaktorer. Ekstreme hendelser som storm, nedbør (regn, tung og våt snø), insektsangrep eller brann kan inntreffe med større intensitet og hyppighet som følge av klimaendringer. Gradvise endringer, for eksempel knyttet til gjødslingseffekt fra økt CO₂-konsentrasjon i atmosfæren eller lengre vekstsesonger med høyere gjennomsnittstemperatur, kan føre til en gradvis, men usikker, endring i vekst og produktivitet. Teknologier for skogsdrift og skogindustri vil sannsynligvis utvikles og endres på uforutsigbare eller uventede måter. Skogbaserte produkter og tjenester vil være utsatt for konkurranse fra alternativer med annen ressursbase eller kan bli favorisert av endrede forbrukerpreferanser. Markeder vil dermed utvikle seg og endres, og kan i tillegg bli påvirket av politikk og tiltak som også kan endre seg ved skifte i politiske prioriteringer. Det er en overveldende oppgave, og trolig verken realistisk eller hensiktsmessig, å inkludere og adressere alt dette i én samlet analyse.

Individer, virksomheter og samfunn vil normalt foretrekke å unngå eller redusere risiko for et gitt utfallsnivå, det vil si at de er risikoaverse. Dette legges til grunn som en forutsetning i denne rapporten.

Ekstreme hendelser har potensial til å forårsake ødeleggende skade eller store forstyrrelser i et skogbestand, en gruppe med bestand eller til og med i hele landskap. En enkel måte å illustrere dette på, er gjennom en kumulativ eksponentiell overlevelsesfunksjon, som gir den kumulative sannsynligheten for “overlevelse” som funksjon av bestandets alder, det vil si at en ekstrem hendelse som fører til sammenbrudd ennå ikke har inntruffet.



Figur 4. Sannsynlighet for å nå hogstmoden alder uten bestandserstattende forstyrrelser (overlevelse) som funksjon av bestandets alder (t) opp til omløpsalder for fire (diskrete) årlige sannsynligheter for forstyrrelser (p), antatt konstant over omløpet. Tilpasset fra figur 1 i Schoene & Bernier (2012).

Med en årlig sannsynlighet på $p = 0,001$ (0,1 %) for at en ekstrem hendelse fører til sammenbrudd i et bestand, vil omtrent 90 % av bestandet nå (overleve til) 100 års alder. Overlevelsessannsynligheten faller til 37 % dersom den årlige sannsynligheten for sammenbrudd er $p = 0,01$ (1 %), mens kun 13 % av bestandet vil overleve til 100 år dersom $p = 0,02$. Dette er en grov og forenklet framstilling, men den illustrerer noe av følsomheten for risiko knyttet til så lange produksjonssykluser som i borealt skogbruk.

I et klima i endring må risiko og usikkerhet i skogforvaltning vurderes i en bredere sammenheng, som omfatter både kortsiktige forstyrrelser (f.eks. storm, skadedyr) og langsiktige endringer i produktivitet og økosystemfunksjoner. Hetemäki et al. (2022) understreker at samvirkning mellom flere stressfaktorer, som tørke, vindfall og barkbilleangrep, krever tilpasningsstrategier både på bestands- og landskapsnivå.

Grunnleggende og robuste tilnærminger for å håndtere usikkerhet og risiko er hensiktsmessige (Eyvindson & Kangas 2018). Et nyttig og vanlig skille mellom risiko og usikkerhet er hvorvidt sannsynlighetsfordelingen for mulige utfall er kjent eller kan estimeres (risiko), eller ikke (usikkerhet).

2.4.2.1 Fleksibilitet/adaptiv forvaltning

Å opprettholde fleksibilitet og anvende adaptiv forvaltning er én slik generell og robust tilnærming. I praksis kan dette bety å etablere blandingsbestand som, på et senere utviklingstrinn, når man har mer presis kunnskap om klimaendringer, markedsutvikling og fremtidig etterspørsel, kan opprettholdes eller styres i retning av ett dominerende treslag. Dette understrekes av *Nordic Council of Ministers* (NCM 2017), som diskuterer hvordan EUs klimapolitikk og karbonprising skaper ytterligere risiko for langsiktige skogbruksinvesteringer. Der fremheves at økonomisk lønnsomhet i økende grad henger sammen med hvor godt skogforvaltningen tilpasser seg endrede politiske incentiver og svingninger i karbonmarkedet. Dette tilsier forvaltningsrammeverk som integrerer både miljømessige, markedsmessige og politiske risikoer.

Å fremme robusthet er en beslektet tilnærming. Når det gjelder kraftig vind/storm, kan dette oppnås ved å sikte mot en plantetetthet som balanserer stabilitet for enkelttrær og bestand eller gruppe. Bayesiansk analyse eller beslutningstrær kan anvendes for å analysere slike tilnærminger (Aza et al. 2021;

2022). En tredje vei kan være å velge variasjon innenfor en eiendom eller på tvers av landskap som en form for forsikringsmessig tilnærming eller sikring (hedging).

Et grunnleggende mål på risiko er varians, som enkelt beskriver spredningen av mulige utfall rundt middelveien eller forventningsverdien. Utfall kan være verre (uønskede) eller bedre enn forventet. Begrepet *nedside-semivarians* omfatter kun uønsket eller negativ risiko (Markowitz 1959). Basert på dette har man utviklet målene *Value at Risk* (VaR) og *Conditional Value at Risk* (CVaR). Et beslektet begrep er *sikkerhetsekvivalent*, forstått som et utbytte eller utfall uten risiko som anses likeverdig med forventet utbytte med risiko. Kort sagt anvender tilnærminger innen denne forskningsgrenen optimalisering og matematisk programmering (f.eks. heltalls- eller lineær programmering, max-min-optimalisering, stokastisk programmering) for å undersøke planleggingsproblemer under risiko, f.eks. med ikke-synkende avvirkning (balansekvantum) eller maksimering av minimum kontantstrøm fra avvirkning samtidig som man ivaretar naturmangfold (Hartikainen et al. 2016). Opsjonsprising har vært mye brukt for å analysere hogstalter/max nåverdi under risiko, og robuste optimaliseringsteknikker har fått økt anvendelse. Hildebrandt & Knoke (2011) anbefaler robust optimalisering som en lovende tilnærming til beslutningsproblemer med betydelig usikkerhet som følge av svært lange produksjons- og investeringshorisonter. Omfattende oversikter finnes bl.a. hos Hildebrandt & Knoke (2011), Eyvindson & Kangas (2018) og Knoke et al. (2025).

2.4.2.2 Diversifisering og kompensasjon for (relevant) risiko

Et beslektet grunnleggende og robust råd fra finans- og investeringsteori (kapitalmarkedsteori) er at risikoaverse investorer vil kreve kompensasjon i form av økt kapitalavkastning for å akseptere (økt) risiko. Med utgangspunkt i Markowitz (1959) ble kapitalverdimodellen (Capital Asset Pricing Model, CAPM) utviklet på 1960-tallet; se Perold (2004) for en oversikt. Innsikten fra CAPM kan ha stor betydning ved analyser av (risikable) skogbruksinvesteringer. En økning i påkrevd realavkastning vil typisk påvirke ex-ante investeringsanalyse av skogbehandling i retning av reduserte investeringer i foryngelse ved planting, mindre ungskogpleie og tynning samt forkortede hogstaldere. Når man står overfor økt risiko, vil en risikoavers investor derfor redusere kapitaloppbyggingen i skogen.

Med effektive markeder vil imidlertid investorer ikke bli kompensert for såkalt diversifiserbar eller usystematisk risiko; de får kun kompensasjon for systematisk, ikke-diversifiserbar eller relevant risiko. I CAPM-termer er *beta* et mål på systematisk risiko i et prosjekt og uttrykker korrelasjonen mellom prosjektet og markedsporteføljen. Investorer bør diversifisere og eliminere deler av risikoen i investeringsporteføljen (dvs. redusere beta mest mulig). Ved å spre investeringene på ulike prosjekter eller aktiviteter med utfall (profitt) som ikke er perfekt korrelerte, kan man redusere samlet risikoeksponering (eliminere såkalt usystematisk risiko). I praksis kan diversifisering i skogbruk i møte med klimaendringer innebære å etablere bestand med ulike treslag og ulik evne til å tilpasse seg endringer i temperatur, nedbør og vindmønstre.

2.4.2.3 Ren (Knightiansk) usikkerhet på lang sikt

Lange produksjonssykluser er i seg selv kjennetegnende for borealt skogbruk på grunn av relativt langsom vekst og utvikling. Lønnsomheten av investeringer i skogtiltak er dermed svært sensitiv for den påkrevde realavkastningen (diskonteringsrenten) på kapitalinvesteringen. Klimaendringer, som følge av menneskeskapte utslipp av drivhusgasser, er på tilsvarende måte en prosess som utvikles over lang tid. Prosjekter eller tiltak som har som mål å redusere utslipp og dermed konsentrasjonen av drivhusgasser i atmosfæren, innebærer typisk store investeringer eller kostnader i dag, mens fordelene vil vare i flere hundre år. Hvorvidt slike prosjekter består en nytte-kostnadsanalyse, vil være svært følsomt for valg av diskonteringsrenten.

Weitzman (2007; 2009a) diskuterer hvordan ren (Knightiansk) usikkerhet kompliserer samfunns-/makroøkonomisk analyse av klimaendringer. I motsetning til kvantifiserbar risiko reflekterer Knightiansk usikkerhet en grunnleggende manglende evne til å forutsi sannsynlighetsfordelinger for klimatiske og økonomiske langtidsvirkninger. Dette har betydelige konsekvenser for diskontering og nytte-kostnadsanalyser. Weitzman argumenterer særlig for at usikkerhet om fremtidig økonomisk vekst, teknologisk fremgang og alvorlighetsgraden av klimaeffekter innebærer at tradisjonelle diskonteringsmetoder kan undervurdere verdien av føre-var-tiltak i klimapolitikken på en systematisk måte.

Hanewinkel et al. (2013) fremhever lignende bekymringer i skogbruk, og peker på at økonomiske framskrivinger over lange tidshorisonter står overfor betydelig usikkerhet knyttet til volatile tømmerpriser, usikker etterspørsel og endrede klimatiske forhold. Studien deres viser at valget av diskonteringsrente påvirker anslått netto nåverdi (NPV) av europeiske skoger betydelig, med potensielle økonomiske tap på mellom 14 % og 50 % innen år 2100, avhengig av klima- og økonomiske forutsetninger. Dette understreker hvordan Knightiansk usikkerhet forsterker den økonomiske risikoen i skogbruk og nødvendiggjør tilpasningsdyktig og fleksibel beslutningstaking. De diskuterer viktige faktorer som den rene tidspreferansen, aversjonen mot ulikhet mellom generasjoner, forbruksveksten og kalkulasjonsrenten for å diskontere fremtidige økonomiske effekter av klimaendringer.

Weitzman (2007) påpeker at de sektorene i økonomien som er mest sårbare for global oppvarming, i hovedsak er "utendørs"-aktiviteter, inkludert jordbruk, kystbasert rekreasjon og naturlandskap, som gir både økonomisk verdi og andre økosystemtjenester. Disse sektorene vil sannsynligvis oppleve dyptgripende klimarelaterte forstyrrelser, som stigende havnivå og endringer i jordbruksproduktivitet, som ikke er sterkt korrelert med teknologisk fremgang i andre økonomiske sektorer. Derimot vil "innendørs"-aktiviteter, som dominerer moderne økonomier, i stor grad formes av usikker fremtidig teknologiutvikling. Dette skillet antyder at investeringsrisikoen forbundet med klimaendringer i uforholdsmessig grad er konsentrert i utendørssektorer, noe som påvirker økonomiske analyser basert på investerings-beta-beregninger. Videre kan økende inntektsnivå over tid, gjennom høy inntektselastisitet i miljøbevissthet, forsterke opplevd eksistensverdi av uberørte naturområder og ytterligere styrke betydningen av å bevare økologisk integritet.

De økonomiske implikasjonene av ren (Knightiansk) usikkerhet, slik de er diskutert hos Weitzman (2007) og Hanewinkel et al. (2013), forsterker dermed betydningen av en føre-var-tilnærming i klimasmart skogbruk. Tradisjonelle nytte-kostnadsmodeller, som bygger på faste diskonteringsrenter og kvantifiserbar risiko, fanger ikke nødvendigvis opp de fulle økonomiske konsekvensene ved klimahendelser med lav sannsynlighet, og alvorlige konsekvenser. Weitzman (2007) advarer spesifikt mot at standard økonomiske modeller undervurderer potensialet for katastrofale klimautfall, og dermed rettferdiggjør sterkere klimatiltak selv når presise sannsynligheter er ukjente.

Tilsvarende anbefaler Arrow et al. (2014) bruk av fallende diskonteringsrenter (Declining Discount Rates, DDR) i analyser av langsiktige offentlige investeringer, for å sikre at framtidige fordeler ikke undervurderes. Dette samsvarer med argumenter for adaptiv skogforvaltning og strategier for robusthet som ikke baserer seg på presise framtidsforutsigelser, men heller opprettholder fleksibilitet for å møte uforutsette utfordringer. På 2000-tallet innførte Storbritannia (2003) og Frankrike (2005) DDR i sine retningslinjer for offentlige prosjekter (Arrow 2014). Norge fulgte etter et tiår senere, og siden 2014 har Finansdepartementet anbefalt å bruke DDR i evaluering av offentlige investeringer (Finansdepartementet 2021). Den anbefalte risikojusterte reelle diskonteringsrenten er 4,0 prosent for de første 40 årene, 3,0 prosent for år 40–75, og 2,0 prosent deretter.

Risiko og usikkerhet er sentrale tema for skogøkonomi under klimaendringer. Selv om tradisjonelle strategier for risikohåndtering, som diversifisering og sikring, fortsatt er relevante, gjør tilstedeværelsen av ren (Knightiansk) usikkerhet det nødvendig med tilpasningsdyktige beslutningsprosesser og politiske

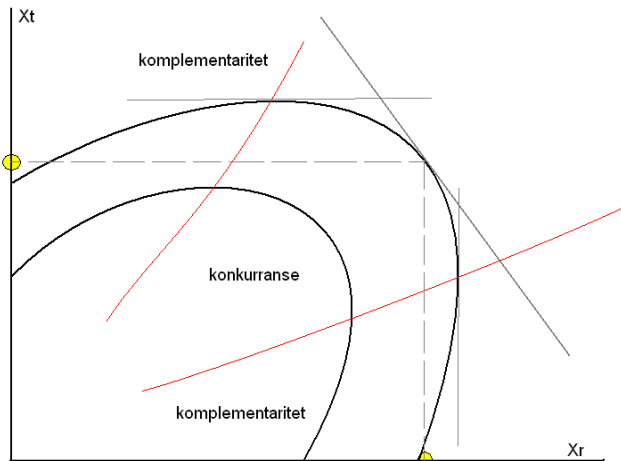
rammeverk som tar høyde for uunngåelige ukjente faktorer. Som påpekt av Weitzman (2007) og Hanewinkel et al. (2013), må langsiktige økonomiske analyser av skogbruk og klimaendringer innlemme føre-var-prinsipper, og erkjenne at den fulle virkningen av klimatiske usikkerheter ikke kan kvantifiseres pålitelig og sannsynligvis bør vurderes (diskonteres) med lave og mulig synkende reelle avkastningskrav.

2.4.3 Synergier/avveininger (samkoblet produksjon)

Synergier oppstår når de samlede virkningene av to eller flere tiltak som iverksettes sammen eller i fellesskap er større enn summen av virkningene når lignende tiltak gjennomføres hver for seg. En avveining viser vanligvis til en situasjon der mengden eller kvaliteten på én vare ikke kan økes uten samtidig å gå på bekostning av mengden eller kvaliteten på én eller flere andre varer. I økonomi illustreres dette gjennom begrepene produksjonsmulighetskurve (PPF), indifferenskurver (IC) og nyttemulighetskurve eller -linje (Hetemäki et al. 2022; Hetemäki et al. 2024). Både PPF og IC viser avveininger, i henholdsvis produksjon og forbruk. Gitt effektiv bruk av et sett innsatsfaktorer, viser PPF hvor mye output som kan oppnås når ressursene brukes effektivt. Formen på PPF-kurven (hellingen på tangenten til kurven) viser hvor mye en liten økning i én output påvirker den andre, enten forsterkende (synergidel av PPF) eller reduserende (avveiningsdel av PPF).

Nyere forskning fremhever at synergier og avveininger i skogbioøkonomien er flerdimensjonale og ofte innebærer komplekse samspill mellom ulike politiske mål, økonomiske hensyn og andre skogøkosystemtjenester (Hetemäki et al. 2024). Synergier går ut over enkle komplementariteter og krever nøye integrering av strategier for å utnytte positive effekter eller begrense konflikter. Mens synergier ofte innebærer gjensidig forsterkende fordeler, som for eksempel samtidig forbedring av karbonlagring og naturmangfold, oppstår avveininger gjerne når forbedring av én økosystemtjeneste svekker en annen. For eksempel kan skogplantingsprosjekter med mål om karbonfangst utilsiktet påvirke lokal hydrologi og øke konkurransen om vannressurser (Locatelli et al. 2015).

De fleste skogøkosystemtjenester leveres gjennom såkalt samkoblet produksjon. Ved samkoblet produksjon er det ikke mulig å produsere én vare uten samtidig å produsere én eller flere andre. I kommersiell tømmerproduksjon kan ulike sortimenter som sagtømmer, massevirke og energivirke betraktes som ulike produkter som resultat av samme prosess; avvirkning eller hogst. Et annet eksempel på samkoblet produksjon er tømmerproduksjon og friluftsliv fra samme skogareal. I de nordiske landene har vi allemannsretten, som gir offentligheten fri tilgang til skogområder. Skogsbilveier brukes ofte også til rekreasjonsformål, og tømmerproduksjon bidrar dermed i viss grad til økte friluftsmuligheter. Enkelte rekreasjonsbrukere i skogen kan til og med bidra til tømmerproduksjonen, for eksempel hvis vi antar at noen brukere kan øke sannsynligheten for tidlig oppdagelse av skogbrann. På den annen side kan mange besøkende øke risikoen for å starte brann, skade nyplantinger eller forvolde annen skade på trær eller bestand. Vi kan ha en situasjon med koblet produksjon og en PPF som har en form som vist i figur 5 nedenfor. Langs enkelte deler av PPF-en vil produksjonen av de to produktene vise komplementaritet eller synergi, mens det i andre deler vil preges av avveininger eller konkurranse.



Figur 5. Samkoblet produksjon av friluftsliv (X_t) og tømmer (X_r) fra et skogareal.

Dette illustrerer at enkelte kombinasjoner av skogøkosystemtjenester kan ha produksjonsmuligheter med tydelige synergier og en smal del av PPF med avveininger, mens for andre kombinasjoner kan avveiningene dominere langs mesteparten av PPF-en.

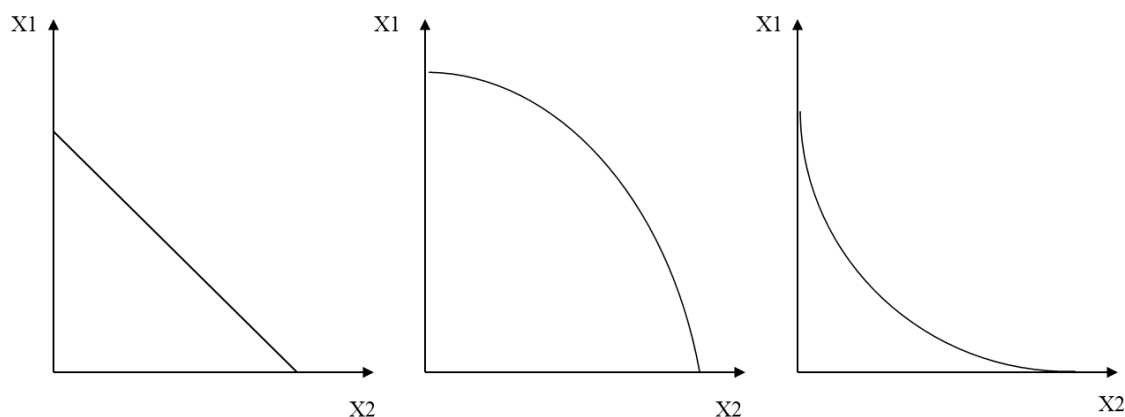
Synergier i skogforvaltning kan også deles inn i to brede kategorier: svake synergier, der fordelene oppstår uavhengig, men ikke forsterker hverandre, og sterke synergier, der fordelene gjensidig forsterker hverandre (Nordisk Ministerråd 2017). En koblet produksjon av tømmer og rekreasjonstjenester kan gi svake synergier når besøkende bidrar til overvåking av skogtilstand uten å påvirke tømmeruttaket vesentlig. Sterke synergier oppstår derimot når bærekraftige skogtiltak både forbedrer biologisk mangfold og øker karbonopptak og -lagring, og dermed gir en forsterket positiv effekt. For eksempel kan en svak synergi oppstå når tynning av skog forbedrer fremkommelighet for turgåere uten særlig innvirkning på naturmangfold.

Locatelli et al. (2015) og Nordisk Ministerråd (2017) understreker at tiltak for klimatilpasning og utslippsreduksjon bør vurderes samlet for å utnytte synergier og unngå utilsiktede avveininger. For eksempel kan skogplanting for karbonfangst redusere lokal vanntilgang dersom det ikke tas hydrologiske hensyn. I tillegg identifiserer Locatelli et al. (2015) tilfeller der skogreising utilsiktet har økt risikoen for skogbrann som følge av treslagsvalg og endret skogstruktur. En annen vanlig avveining i europeisk skogbruk er mellom tømmerproduksjon og bevaring av biologisk mangfold (Luyssaert et al. 2018). Intensivt drevne skoger optimalisert for tømmerproduksjon kan føre til tap av gammelskogshabitater og redusert artsmangfold, særlig for arter som er avhengige av død ved og komplekse strukturer.

Formen og dynamikken til PPF i skogbaserte systemer for flervareproduksjon påvirkes av flere biofysiske og økonomiske rammebetingelser, inkludert arealbruk, markedsdrivere og klimaendringer (Luyssaert et al. 2018; Hetemäki et al. 2024). Ved vurdering av tømmerproduksjon og karbonopptak og -lagring kan PPF endres over tid som følge av teknologiske fremskritt, slik som presisjonsskogbruk, forbedret skogbehandling eller genetisk forbedrede treslag, som gir økt ressursutnyttelse. Tilsvarende kan klimarelaterte forstyrrelser som stormer, tørke og skadedyr føre til at PPF trekker seg sammen, og dermed forsterke avveiningene mellom konkurrerende mål. Skogforvaltning bør derfor ikke bare ta hensyn til dagens produksjonsmuligheter, men også søke å ta høyde for hvordan miljøforhold i endring kan endre fremtidige synergier og avveininger.

Fremtidig forskning bør konsentrere seg om å kvantifisere den relative styrken til synergier og avveininger i ulike skogøkosystemtjenester, og dermed bidra til bedre informerte politiske beslutninger både nasjonalt og på internasjonalt nivå.

Noen skogøkosystemtjenester leveres ikke gjennom samkoblet produksjon. Et eksempel er eksistensen av urørte skoger eller urskoger, som i ren forstand ikke kan sameksistere med tømmeruttak fra samme område. Dette tilfellet kan betegnes som assortert produksjon; se figur 6.



Figur 6. Assortert produksjonsprosess med urørt skog (x_1) og tømmeruttak (x_2) fra et skogareal.

I alternativet til venstre i figur 6 er arealet homogent med hensyn til tømmerproduksjon, og det finnes ingen interaksjon mellom den delen av arealet som er avsatt til tømmerproduksjon og det (potensielle) området som er avsatt til vern som urørt skog. I alternativet i midten er arealet ikke-homogent med hensyn til produktivitet for tømmerproduksjon, men homogent med hensyn til arealet av urørt skog. I alternativet til høyre finnes det interaksjon mellom delen av arealet som er satt av til tømmeruttak og (det potensielle) området for urørt skog. I dette tilfellet vil kun den innerste delen av det vernede området tilfredsstille kriteriene for urørt skog, mens den omkringliggende (urørte) buffersonen eliminerer interaksjonen mellom tømmeruttak og det uforstyrrede kjerneområdet.

Gitt utfordringene med å balansere synergier og avveininger, må politiske rammeverk inneholde mekanismer for adaptiv styring som muliggjør dynamisk tilpasning basert på ny kunnskap (Hetemäki et al. 2024). Dette inkluderer å fremme sektorovergrepene integrering av politikk, sikre at skogplantingstiltak samsvarer med mål for bevaring av naturmangfold, og utvikle markedsinsentiver for skogøkosystemtjenester utover tømmerproduksjon. Videre kan finansielle mekanismer som støtter verdsetting av ikke-markedsbaserte tjenester, som karbonkreditter for tiltak som fremmer naturmangfold, gjøre en helhetlig skogforvaltning mer gjennomførbare.

En mer detaljert drøfting av politiske rammeverk, reguleringer, økonomiske virkemidler og styringsstrategier for implementering av klimasmart skogbruk finnes i kapittel 5: Politisk og institusjonelt rammeverk.

3 Klimaendringer - klimatiltak og klimatilpasning

Dette kapitlet beskriver tiltak og muligheter i skogforvaltningen, samt deres effekter og potensial under klimaendringer, på bestands-, eiendoms- og høyere nivåer (landskap, regionalt, nasjonalt). Tiltakene på bestandsnivå gjelder skogbehandling der det hovedsakelig er skogeieren som har ansvar og myndighet til å fatte beslutninger. Beslutninger på eiendomsnivå formes også i stor grad av skogeieren, men avhenger i tillegg av lokale og regionale myndigheter, og inkluderer alle biofysiske egenskaper ved hele eiendommen, med veier, myrer og elver osv., i tillegg til alle skogbestand. Endelig er tiltak og beslutninger som strekker seg utover den enkelte eiendom og inn i landskap, regioner og på nasjonalt nivå nødvendige, fordi klimaendringer fører til utfordringer for hele skogøkosystemet og samfunnet.

Gjennom hele rapporten antar vi at all skogsdrift er sertifisert under minst ett av Norges to anerkjente systemer for bærekraftig skogforvaltning (PEFC eller FSC), og at alle relevante aktører, inkludert skogeiere, skogeierandelslag, veiplanleggere og andre, overholder disse og andre etablerte reguleringer. Begge sertifiseringsordningene pålegger juridisk bindende krav til bevaring av biologisk mangfold, vern av kulturminner, beskyttelse av hydrologi og jordsmonn, friluftslivverdier, samiske rettigheter, arbeids-sikkerhet og andre skogøkosystemtjenester. For enkelhets skyld forholder vi oss kun til PEFCs reglement for skogsertifisering (ikke FSC) gjennom hele rapporten, hvis ikke annet er nevnt spesifikt (se PEFC 2022).

Det foregår også parallell aktivitet knyttet til private karbonkredittstandarder som for eksempel Verified Carbon Standard (VERRA) og det kommende EU-rammeverket for sertifisering av karbonfjerning (CRCF; se seksjon 5.3).

3.1 Forvaltning på bestandsnivå

Denne seksjonen gir en oversikt over tiltak for skogbehandling på bestandsnivå. Når tiltakene beskrives, skiller vi mellom Åpne Hogst Former (ÅHF) og Lukkede Hogst Former (LHF) (se henholdsvis seksjonene 3.1.1 og 3.1.2). Vi forutsetter at åpne hogstformer inkluderer «flatehogst» og «frøtrestillingshogst», mens lukkede hogstformer inkluderer «skjermtrestillingshogst», «gruppehogst» og «bledningshogst». Skillet mellom frøtrestillingshogst og skjermtrestillingshogst, og dermed mellom åpne og lukkede hogstformer, defineres av hvor mange trær som blir stående igjen for foryngelsesformål etter slutthogst, det vil si henholdsvis maksimalt 150 trær/ha og minimum 160 trær/ha. I tillegg kreves det at åpne (uten trær) arealer under alle de lukkede hogstformene til enhver tid må være mindre enn 0.2 ha.

Under de lukkede hogstformene utvikler bestandet vanligvis en skogstruktur som er mer eller mindre fleraldret, i motsetning til under de åpne hogstformene, der skogstrukturen hovedsakelig er enaldret. Skjermtrestillingshogst og gruppehogst bør bare regnes som lukkede hogstformer dersom et maksimalt åpent areal (uten trær) på 0.2 ha er en eksplisitt målsetting og faktisk opprettholdes (Brunner et al. 2025; Cedergren et al. 2025). En rask og fullstendig fjerning av skjermtrær i en skjermtrestillingshogst, eller store, mange eller hyppige åpninger i en gruppehogst som ikke har som mål å opprettholde et kontinuerlig skogdekke, faller dermed utenfor definisjonen av lukkede hogstformer og bør derfor defineres som åpne hogstformer. I beskrivelsene som følger forutsetter vi imidlertid at gruppehogst og skjermtrestillingshogst inngår som lukkede hogstformer.

3.1.1 Åpne hogstformer

For ÅHF beskriver vi først de enkelte tiltakene uten å ta hensyn til tidsdimensjonen. Deretter inkluderer vi tidsaspektet, der relevante tiltak over et omløp beskrives. En sekvens av behandlinger, fra foryngelse til sluttavvirkning, betegnes som et «behandlingsprogram».

Ved bruk av ÅHF karakteriseres bestandet som jevnaldret, og kan dermed deles inn i følgende utviklingsfaser: foryngelsesfase, ungskog, produksjonsskog og hogstmoden skog. Relevante behandlingsalternativer spesifiseres i henhold til disse fasene (tabell 1). Et tiltak defineres som én enkelt handling som endrer forholdene i bestandet. Et tiltak kan omfatte flere nivåer av valg som må gjøres. For eksempel, hvis vi velger «planting» som foryngelsesmetode, må vi ta flere tilleggsvurderinger knyttet til treslag, plantemateriale og til slutt plantetetthet. Å velge å ikke gjennomføre et tiltak (f.eks. tynning) regnes også som et gyldig alternativ. Generelt hviler valg og beslutninger vedrørende alle tiltak på bestandsnivå på skogeieren, forutsatt at skogbruksloven (<https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-05-27-31>) og sertifiseringskravene følges (PEFC 2022). Den faktiske gjennomføringen av tiltakene skjer i de fleste tilfeller via skogeierandelslag og/eller entreprenører.

I det følgende beskrives ulike aspekter ved tiltakene slik de er vist i tabell 1, og deres potensial for klimatilpasning og klimatilpasning.

Tabell 1. Tiltaksalternativer under åpne hogstformer i ulike bestandsutviklingsfaser.

Bestands- utviklingsfase	Tiltaksnivå 1	Tiltaksnivå 2	Tiltaksnivå 3
Foryngelse	Forebygging av rotkjuke	Ingen forebygging	
		Velg metode	Avvirkning vinterstid
			Bruk av Rotstop ved sommeravvirkning
	Markberedning	Ingen markberedning	
		Markberedning	
	Planting	Velg treslag	Gran til furu
			Gran til blandingsskog
		Velg proveniens og genetisk materiale	
		Velg plantetetthet	Redusert i forhold til «anbefalt»
	Naturlig foryngelse	Bruk granfrøtrær	Nærliggende bestand
		Bruk furufrøtrær	Frøtreetablering
Ungskog	Ungskogpleie	Ingen ungskogpleie	
		Velg treslag	Gran til blandingsskog
		Velg tetthet	Redusert i forhold til «anbefalt»
Produksjonsskog	Tynning	Ingen tynning	
		Velg tynningsmetode og intensitet	Fritynning eller høytynning
	Gjødsling	Ingen gjødsling	
		Gjødsling	
Hogstmoden skog	Sluttavvirkning	Velg foryngelsesmetode	Planting
			Naturlig foryngelse
		Velg avvirkningsmetode	Stammekvistet avvirkning
			Stammekvistet + GROT
		Velg hogstaldet	Optimal biologisk hogstaldet
			Optimal økonomisk hogstaldet
			Redusert i forhold til optimal økonomisk hogstaldet

3.1.1.1 Foryngelsesfase

Foryngelsesfasen er utgangspunktet for et nytt omløp. Før selve foryngelsen kan tiltak som forebygging av rotkjuke og markberedning også benyttes. Planting og naturlig foryngelse er de to hovedalternativene for etablering av ny skog.

Skogloven slår fast at skogeieren har ansvar for foryngelse av alle skogarealer som er hogd ved foryngelseshogst. Myndighetene kan pålegge tiltak for å sikre dette dersom kravet ikke overholdes.

Tabell 2 viser minsteantallet trær som kreves etablert ifølge forskrift

(<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-06-07-593>). Tallene gjelder både planting og naturlig foryngelse.

Tabell 2. Minste antall trær/ha etter bonitet som kreves for foryngelse i henhold til skogloven.

Gran- og lauvdominert areal		Furudominert areal	
Bonitet (H40, m)	Trær/ha	Bonitet (H40, m)	Trær/ha
G20-G26	1500	F17-F20	1500
G14-G17	1000	F11-F14	1000
G6-G11	500	F6-F8	500

Forebygging av rotkjuke

Rotkjuke er en råtesykdom forårsaket av hvitråtesoppene *Heterobasidion* spp (se f.eks. Solheim (2010), Dalen (2018), Aza et al. (2021; 2022)). I Norge rammer soppen hovedsakelig gran og furu. For gran kan råtesonen strekke seg opptil 10–12 meter oppover stammen, mens råten hos furu vanligvis er begrenset til rotsystemet. Infeksjon skjer når ferskt virke (stubber og røtter) eksponeres for soppsporer, og inntreffer når hogst skjer under sommerforhold (tørr mark og temperaturer over null). Soppen kan forårsake betydelige økonomiske tap, særlig for gran, fordi den ødelegger den mest verdifulle delen av treet og kan nedklassifisere sagtømmer til massevirke eller energivirke.

Basert på borprøver i grantrær (18 141 stk.) fra Landsskogtakseringen fant Hylén & Granhus (2018) at rundt 10 % av trærne var infisert med rotkjuke. En sannsynlighetsmodell for råteforekomst i brysthøyde hos gran viste at sannsynligheten økte med diameter, bestandets alder, høyde over havet og sommer-temperatur. De fant også at grantrær i blandingsskog med furu som dominerende treslag hadde betydelig lavere råtesannsynlighet enn gran i bestand dominert av gran eller bjørk.

Spredningen av rotkjuke til neste generasjon trær kan i stor grad reduseres dersom foryngelseshogst skjer vinterstid, på frossen mark og ved temperaturer under null grader (se tabell 1). Klimaendringer (økte temperaturer) vil trolig redusere mengden arealer som kan hogges under slike vinterforhold, slik at større andeler må hogges når trærne er mer utsatt for infeksjon. Rotstop er et relativt nytt produkt som kan redusere overføring av rotkjuke til neste generasjon trær (se tabell 1). Middelet består av en vannopløsning med sporer fra soppen *Phlebiopsis gigantea* og sprayes automatisk på stubbene av hogstmaskinen ved felling. Dette forhindrer etablering av *Heterobasidion*-sporer på stubbene og videre eskalerende spredning til levende trær.

Forebygging av rotkjuke er et viktig klimatilpasningstiltak som øker skogens motstandsevne mot skade, reduserer økonomiske tap for skogeieren og bidrar til å sikre stabil tømmerleveranse til industrien (f.eks. Sjøgaard et al. 2017). Optimal temperatur for vekst hos hvitråtesoppene er rundt 22–24 °C (Hanssen et al. 2019). Økt temperatur som følge av klimaendringer vil derfor trolig akselerere soppens spredning og vekst. Økningen i sopputbredelse kan dermed overstige en eventuell økning i tilvekst som klima-

endringene måtte medføre. Forebygging av rotkjuke er derfor også et klimatiltak som kan øke karbonbinding og -lagring.

Markberedning

Markberedning er et tiltak for å forbedre forholdene for etablering av ny skog etter hogst, enten ved planting, såing eller naturlig foryngelse (Hanssen 2017a). Mulige positive effekter inkluderer redusert konkurranse fra annen vegetasjon, mer stabil fuktighet i de øvre jordlagene, økt jordtemperatur (som fremmer rotvekst), og raskere nedbrytning av humus som frigjør næringsstoffer. Etter 10–15 år kan trær som er etablert etter markberedning få 10–25 % større gjennomsnittshøyde (Sikström et al. 2020). Denne vekstøkningen er dog midlertidig.

Det er også indikasjoner på at markberedning kan redusere skader fra gransnutebille (*Hylobius abietis* L.), og dermed øke antall overlevende planter (se f.eks. Hanssen (2017b) og Sikström et al. (2020)).

Ved markberedning for naturlig foryngelse eller såing bør behandlingen være relativt grunn og kun fjerne humuslaget. For dyp markberedning øker risikoen for frostskaider på småplantene. Markberedning er mest effektiv der humuslaget er tykt og fast, slik at frøplantene har vansker med å nå mineraljorda. Slike forhold finnes særlig for vegetasjonstypen røsslyng-blokkebærskog, men også blåbær- og bærlyngskog.

Markberedning kan være et viktig klimatiltak ved å øke tetthet og vekst hos trærne, og dermed karbonopptak og -lagring i trærne. Selv om den totale karbonmengden i økosystemet sannsynligvis øker, er det fremdeles usikkerhet knyttet til hvordan markberedning påvirker karboninnholdet i jorda (Søgaard et al. 2023). En annen bekymring er erosjon. Med mer intens nedbør som følge av klimaendringer, kan det bli nødvendig å tilpasse markberedningen for å redusere faren for jorderosjon. Dette kan gjøres ved å legge markberedningsfurene langs høydekonturene, eller ved å bruke flekkvis markberedning for å redusere arealet med eksponert jord.

Planting eller naturlig foryngelse

Planting og naturlig foryngelse er de to viktigste metodene for å etablere et nytt bestand etter hogst. Valget mellom dem avhenger dels av naturgitte forhold (treslag i forrige bestand, bonitet, vegetasjonstype, jordtype m.m.), og dels av økonomiske preferanser hos beslutningstakeren. Ved planting må det i tillegg tas aktive valg med hensyn til treslag, proveniens og genetisk plantemateriale, samt plantetetthet (se tabell 1).

I Norge er planting mest vanlig i granskog, mens naturlig foryngelse er mest vanlig i furuskog. Naturlig foryngelse av gran skjer hovedsakelig på lavproduktive lokaliteter, mens planting benyttes på høyproduktive lokaliteter. For furu spenner naturlig foryngelse over et større spekter av boniteter, men på de mest produktive arealene brukes også planting i noen grad.

Naturlig foryngelse forutsetter tilgang på frøtrær av aktuelt treslag i bestanden eller i nærliggende bestand. For furu skjer dette hovedsakelig ved å etterlate frøtrær (30–150 trær/ha) etter hogst. Såing av furufrø kan være et alternativ eller supplement dersom forholdene for naturlig foryngelse er dårlige. Såing har i svært liten grad vært brukt i Norge, men de siste årene har noe mer arealer blitt forynget ved en kombinasjon av såing og markberedning (Skogkurs 2021). For gran er naturlig foryngelse avhengig av frø fra nærliggende bestand, og siden granfrø ikke spres over lange avstander, bør bestandsstørrelsen ikke overstige 0,5–1,0 ha for å få tilstrekkelig frøtilgang.

Sammenlignet med planting kan naturlig foryngelse ha negative effekter for klimatiltak fordi ventetida på foryngelsen gir lengre omløpstid og dermed lavere volum- og biomasseproduksjon. Risiko for mislykket foryngelse og lav plantetetthet ved naturlig foryngelse kan gi tilsvarende effekter.

Dersom planting velges, må det tas flere valg knyttet til treslag, proveniens, genetisk materiale og plantetetthet (se tabell 1). Disse valgene kan ha stor betydning for produksjonspotensialet. De er også viktige fordi de til dels kan ha motsatte effekter på klimatiltak (karbonopptak og -lagring) og klimatilpasning (motstand mot barkbiller, rotkjuke, vind, snø og tørke).

Treslag

Når treslag velges ved planting, har målet for beslutningstaker normalt vært å maksimere volumproduksjon eller inntekt. Valget av treslag har nesten utelukkende vært basert på informasjon om treslag og bonitet i det tidligere hogde bestandet. Ettersom gran generelt er mer utsatt for naturlige forstyrrelser enn furu, og klimaendringene har fått økt oppmerksomhet, har diskusjonene rundt treslagsvalg i senere tid hovedsakelig dreid seg om to alternativer: et skifte fra enaldrede granbestand til enaldrede furubestand, eller et skifte fra enaldrede granbestand til blandinger av ulike treslag (se tabell 1). Merk at dersom andelen barvolum (gran og/eller furu) i et eksisterende bestand før hogst er større enn 50 %, kan treslagsskifte til lauvtrær bare gjennomføres med godkjenning fra kommunen (<https://lovdata.no/forskrift/2006-06-07-593/§5>).

Det første alternativet har vært diskutert fordi store arealer på typiske furulokaliteter de siste tiårene er blitt tilplantet med gran for å oppnå høyere produksjon og inntekter. Under klimaendringer vil slike arealer være særlig utsatt for tørkeskader, spesielt i lavereliggende strøk i Sørøst-Norge, fordi gran har relativ stor kronemasse i forhold til rotsystemet som er grunt og relativt lite (Hanssen et al. 2019). Samtidig må man ha i mente at furu kan være sårbart for beiteskader, særlig i områder med mye elg.

Det andre alternativet, altså å gå over fra enaldrede granbestand til blanding av treslag (gran, furu, bjørk eller andre lauvtrær), vurderes som et generelt risikoreduserende tiltak, siden gran er det treslaget som er mest sårbart for naturlige forstyrrelser (Hanssen et al. 2019). For eksempel kan det være økonomisk gunstig i enkelte tilfeller å forynge granbestand angrepet av rotkjuke med furu, selv i områder der gran vanligvis gir best produksjon (Aza et al. 2022). På samme måte viste Romeiro et al. (2025) at blandingsbestand av gran og furu gir økonomiske fordeler sammenlignet med enaldrede granbestand når risikoen for granbarkbilleangrep (*Ips typographus*) vurderes. Videre kan risikoen for vindfelling og tørkeskader reduseres i blandingsbestand (gran, furu og bjørk), fordi gran har et grunt og lite rotsystem (Hanssen et al. 2019).

Selv om skiftet fra enaldrede granbestand til enten blandingsbestand eller enaldrede furubestand generelt kan være effektive klimatilpasningstiltak for å redusere naturlige forstyrrelser, kan det ha negative konsekvenser for volumproduksjon og dermed også karbonopptak og -lagring (Hanssen, u.å.a). På middels produktive lokaliteter vil volumproduksjonen over et omløp trolig være omtrent den samme i blandingsbestand av gran og furu som i monokulturer av de samme artene. På høyproduktive lokaliteter vil blandingsbestand imidlertid gi lavere volumproduksjon. Nye analyser, basert på forsøksflater med blanding av gran og bjørk etablert på 1970-tallet (Braathe 1988), viser at volumproduksjonen øker med økende andel gran i bestandet, hovedsakelig fordi veksten hos gran er mer utholdende enn hos bjørk sent i omløpet (Søgaard et al. 2017). Derfor vil treslagsskifte fra rene granbestand til blandingsskog i de fleste tilfeller, dersom man ser bort fra de sannsynlig positive effektene knyttet til redusert risiko for naturlige forstyrrelser, ha en negativ innvirkning på skogens klimadepende potensial gjennom karbonopptak og -lagring. En blanding av treslag, spesielt dersom andelen bjørk er høy, kan imidlertid ha en positiv klimadepende effekt knyttet til albedo (Halim et al. 2019; Bright & Astrup 2019).

Proveniens og genetisk plantemateriale

I rapporten til Søgaard et al. (2023) understrekes den store betydningen av riktig proveniens og genetisk plantemateriale i skogforvaltningen, spesielt i sammenheng med klimatilpasning og klimatiltak. Valg av egnet plantemateriale påvirker direkte både skogproduksjonen og motstandsevnen

mot miljøstress og dermed evnen til å binde karbon. Det finnes strenge regler for bruk av utenlandske treslag i norsk skogbruk <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-05-25-460?q=forskrift%20om%20utsettelse%20av%20utenlandske>.

Skogeiere har begrenset kontroll over utvikling og tilgjengelighet av genetisk plantemateriale, da dette i stor grad styres gjennom foredlingsprogram og frøforsyningssystemer. De har likevel ansvar for å ta informerte valg om hvilket plantemateriale som skal brukes, basert på de beste alternativene som er tilgjengelige.

Hovedmålene med genetisk forbedring i skogbruket er å øke tilveksten og forbedre motstandskraften mot naturlige forstyrrelser. Ettersom klimaendringer fører til endrede temperatur- og nedbørsmønstre, er det viktig å velge plantemateriale som kan utnytte en lengre vekstsesong uten å bli mer utsatt for skade. Genetisk seleksjon må derfor balansere mellom optimal vekst og robusthet under skiftende klimatiske forhold. Proveniensvalg spiller en viktig rolle i denne prosessen, ettersom trær fra ulike geografiske opprinnelser kan ha ulik tilpasning til spesifikke klimatiske forhold. Ved å velge de mest egnede proveniensene kan skogeieren styrke bestandets robusthet samtidig som produktiviteten opprettholdes.

Bruk av genetisk forbedret plantemateriale er derfor ikke bare et effektivt virkemiddel for økt karbonopptak og -lagring gjennom forbedret vekst (f.eks. Sevillano et al. 2025), men også en sentral strategi for å tilpasse skogen til klimaendringer. Å sikre at skogen plantes med klimabestendig materiale bidrar til å opprettholde skogens helse og stabilitet på lang sikt og dermed dens rolle som karbonlager og leverandør av ulike økosystemtjenester i en verden i endring.

Forholdene for varmekjær edellauvskog er forventet å bli bedre med klimaendringene, og mer aktiv skjøtsel av blant annet eik (sommereik og vintereik) har derfor fått en del oppmerksomhet de siste årene. Eikas potensielt verdifulle virke, dype røtter, tørketoleranse og positive effekt for biologisk mangfold, tilsier at den kan være et alternativt treslag for klimatilpasning i fremtidens skogbruk. Et forskningsprosjekt er derfor nylig etablert der blant annet eikenøtter (frø) fra plusstrær skal samles inn og dyrkes i planteskoler, videre skal det gjennomføres proveniensforsøk og etableres demonstrasjonsfelter der eik plantes både som hovedtreslag og i blanding med andre treslag (Skogfrøverket 2024, NIBIO 2025).

Valg av treslag er også viktig med tanke på naturmangfoldet. Sjøgaard et al. (2023) skriver:

«På generelt grunnlag kan det slås fast at økt treslagsblanding både i og mellom bestand, i motsetning til monokulturer, vil være gunstig for naturmangfoldet. I den boreale barskogsonen er særlig rogn, osp og selje (ROS-arter), samt or, viktige for artsmangfoldet, både som levende og døde trær. Planting av fremmede bartrær, som douglasgran, sitkagran eller lutzgran, vil per definisjon være negativt, selv om de øker mangfoldet av treslag lokalt. Når det gjelder effekten av treslagsblanding på vegetasjonen i feltsjiktet så er bildet mer nyansert, og det er vanskelig å trekke klare konklusjoner (Barbier mfl. 2008). Men treslagsvalg etter hogst vil medføre forskjeller i ressurstilgang (for eksempel lys, vann og næring) til bakken, noe som påvirker artsmangfoldet i mark- og feltsjiktet.»

Plantetetthet

Valg av plantetetthet kan ha betydning både for klimatiltak og klimatilpasning. Tetthet påvirker også volumproduksjon over omløpet og inntektene til skogeieren.

Tabell 3 viser anbefalt plantetetthet (antall planter/ha) i henhold til bonitet og treslag (Skogkurs 2013a; Landbruksdirektoratet 2023). Tallene fra Landbruksdirektoratet angis som intervaller, som viser at tettheten kan tilpasses ulike mål for skogsdriften. Anbefalingene fra Skogkurs er mer spesifikke, men godt innenfor intervallene til Landbruksdirektoratet. Tilsvarende tall som fra Skogkurs anbefales også av planteskoler og statsforvaltere i Norge.

Tabell 3. Anbefalt antall plantede trær/ha etter bonitet for gran og furu.

Bonitet (H40, m)	Gran		Furu	
	Landbruksdirektoratet	Skogkurs*	Landbruksdirektoratet	Skogkurs*
23	1800-3000	2750	-	
20	1800-3000	2400	1900-3400	3100
17	1300-2300	2200	1900-3400	2600
14	1300-2300	1800	1200-2400	2150
11	600-1400	1400	1200-2400	1700
8	600-1400	900	800-1300	1200
6	600-1400	-	800-1300	-

*Tallene forutsetter 10 % naturlig avgang i foryngelsesfasen

Effektene av plantetetthet på langsiktig volumproduksjon og tømmerverdier er blitt diskutert i mange 10-år i Norge, men det finnes relativt få vitenskapelige studier om dette. Basert på eksperimentelle prøveflater med ulike tetthetsforband antydes det imidlertid at treantallet, innenfor relativt store intervaller for gitte bonitetsklasser, ikke har veldig stor betydning for framtidig stående volum, selv om det også understrekes at lav tetthet (stor avstand mellom trær) til en viss grad kan redusere stående volum (Gizachew et al. 2012). I det følgende vil vi bruke «anbefalt» treantall/ha fra Skogkurs (tabell 3) som «basis» når vi diskuterer alternativer for tetthet i foryngelsesfasen (tabell 1).

Det finnes imidlertid mange grunner til at skogeiere velger å avvike fra «anbefalt» tetthet. Det kan skyldes «informerte valg» basert på lønnsomhet, hensyn til biologisk mangfold og friluftsliv, eller «uinformerte valg» grunnet manglende kunnskap eller oppfølging. I mange tilfeller er faktisk observert tetthet (Landbruksdirektoratet 2024a) lavere enn anbefalt, og noen ganger lavere enn det som kreves etter skogbruksloven (se tabell 2).

For å støtte klimatiltak gis det statlig tilskudd til suppleringsplanting i etablerte foryngelser for å oppnå «anbefalt» tetthet for volumproduksjon og dermed øke karbonopptak og -lagring. En økt tetthet utover det anbefalte kan ha en negativ effekt på klimatiltak (lavere volumproduksjon). Plantetetthet langt over Skogkurs sine anbefalinger (tabell 3) er derfor ikke ønskelig og inngår heller ikke i tilskuddsordningen. Dersom plantetettheten ligger under eller i nærheten av minimumskravene i henhold til skogloven (tabell 2) vil en slik ordning kunne ha positive effekter på karbonopptak og -lagring.

Valget av tetthet kan også være viktig for tilpasning til naturlige forstyrrelser. Basert på observerte skader på permanente prøveflater fra Landsskogtakseringen i perioden 2005–2015, viste Solberg et al. (2019) at mangel på enkeltrestabilitet var en viktig årsak til vind- og snøskader. Redusert tetthet i ungskogfasen, sammenlignet med anbefalt tetthet, er derfor foreslått som klimatilpasningstiltak for å redusere slike skader (Søgaard et al. 2017; Dalen 2021; Solberg et al. 2022; Skogbrand u.å.). Hypotesen er at lavere tetthet tidlig i omløpet øker diameter i forhold til høyde (økt diameter-høydeforhold), noe som gir mer stabile trær og reduserer risikoen for snø- og vindskader (se også seksjon 3.1.1.2).

Tilsvarende effekt på enkelt-tre stabilitet kan også oppnås ved å plante med lav tetthet. Scenarier der en sammenligner forvaltning med nær optimal tetthet med redusert tetthet i både foryngelses- og ungskogfasen (jf. tabell 1), etterfulgt av henholdsvis én tynning og ingen tynning, viste at motstandsdyktigheten mot snølast i trærne økte, og at sannsynligheten for snøskader ble redusert

(Strîmbu et al. 2025). Tilsvarende effekter kan forventes også for kombinasjonen av vind- og snøskader (Díaz-Yáñez et al. 2019). Som klimatiltak er imidlertid redusert tetthet mindre positivt. Scenariene til Strîmbu et al. (2025) viste noe redusert tilvekst på lang sikt med redusert tetthet og tilsvarende lavere karbonopptak og -lagring. Skogeierens lønnsomhet ble imidlertid ikke redusert, hovedsakelig fordi det ikke ble tynnet.

Redusert tetthet kan redusere tørkestress og skader, særlig i granbestand (Hanssen et al. 2019; Sjøgaard et al. 2023). Tørkestress kan også øke risikoen for angrep fra barkbiller (*Ips typographus*). Selv om det er usikkerhet og kunnskapsmangler på dette området, bør redusert tetthet som mulig klimatilpasningstiltak mot tørke- og billeangrep ikke utelukkes.

3.1.1.2 Ungskogfase

Hovedformålet med ungskogpleie er å sikre vekstvilkår og kvalitet for framtidstrærne, altså de trærne som skal utvikles videre inn i produksjons- og hogstmodenhetsfasene. Generelt bør framtidstrærne være de som vil gi høyest mulig inntekt for skogeieren, basert på treslag og dimensjon. Ungskogpleie bør gjennomføres før framtidstrærne hemmes i veksten eller skades av konkurrerende trær, vanligvis ved en trehøyde mellom 1 og 4 meter, avhengig av bonitet og treslagsblanding (f.eks. Skogkurs 2017; Sjøgaard et al. 2017; Landbruksdirektoratet 2023; og Granhus, u.å.).

Fordelingen av treslag og tetthet etter foryngelsesfasen er avgjørende for hvordan ungskogpleien bør gjennomføres. I bestand med bare et treslag består ungskogpleie hovedsakelig i å regulere tettheten (både romlig og som antall trær per hektar), mens det i blandingsbestand også er nødvendig å velge hvilke treslag som skal prioriteres, i tillegg til tetthetsregulering. Det er verdt å merke seg at trær ofte etablerer seg naturlig i foryngelsesfasen, selv etter planting – særlig bjørk, men også gran og furu. Å unnlate å gjennomføre ungskogpleie kan være aktuelt, men bare dersom tettheten er lav og/eller dersom treslagsfordelingen er gunstig for framtidige inntekter (f.eks. svært få lauvtrær).

Valg som tas under ungskogpleien når det gjelder treslag og tetthet, har betydning både for klimatiltak og klimatilpasning. Tradisjonelt har målet vært å maksimere framtidig volumproduksjon og økonomisk avkastning. På grunn av økt oppmerksomhet rundt klimaendringer har det i senere tid vært særlig fokus på to hovedretninger: en overgang fra rene granbestand til blandingskog, og en overgang fra «anbefalt» tetthet til redusert tetthet (se tabell 1).

Treslag

En overgang fra enaldrede granbestand til blandingskog med gran, furu og bjørk i ungskogfasen regnes som et generelt klimatilpasningstiltak for å redusere risiko, ettersom gran er det treslaget som er mest sårbart for naturlige forstyrrelser som rotråte og barkbilleangrep, og trolig også for vindfelling og tørkestress (jf. seksjon 3.1.1.1). I tillegg er treslagsblanding generelt gunstig for biologisk mangfold, og det er et krav i det norske skogsertifiseringssystemet at en viss andel lauvtrær fremmes gjennom ungskogpleie.

Når det gjelder klimatiltak, vil en overgang fra rene plantefelt med gran til blandingskog med høy andel naturlig forynget bjørk som regel gi en negativ effekt, på grunn av redusert langsiktig volumproduksjon og dermed lavere karbonopptak og -lagring. Med hensyn til albedo kan tiltaket imidlertid ha en positiv effekt, spesielt dersom andelen bjørk er høy (Halim et al. 2019; Bright & Astrup 2019).

Tetthet

De viktigste faktorene å vurdere når man fastsetter tetthet etter ungskogpleie, er framtidig volum- og verdiproduksjon. Analyser viser at dersom det står igjen 1500–2500 trær per hektar, vil verdiproduksjonen for resten av omløpet uansett være minst 90 % av maksimal produksjon (Sjøgaard et al.

2017). Høyere eller lavere tetthet enn dette vil redusere produksjonen ytterligere, særlig ved lavere tetthet. Den generelle anbefalingen er derfor å la 1500–2500 trær per hektar vokse videre inn i produksjonsfasen. Selv om det ikke planlegges tynning senere i omløpet, anbefales det ikke å gå under 1500 trær per hektar fordi det er usikkerhet og manglende kunnskap om langtidseffekter ved så lav tetthet (Søgaard et al. 2017). Scenariene til Strimbu et al. (2025) viste at stående volum på eiendomsnivå ved slutten av en 100-års planleggingsperiode, der tettheten systematisk ble redusert til 1300 trær per hektar i ungskogpleien for å øke motstandsdyktigheten mot snøskader, var om lag 8 % lavere enn volumet i en forvaltning mer i tråd med ovennevnte anbefalinger. Skogeierens lønnsomhet for alternativet med redusert tetthet ble imidlertid ikke dårligere, hovedsakelig fordi det ikke ble tynnet. Å redusere tettheten i forhold til «anbefalt» tetthet (jf. tabell 1) kan derfor være et aktuelt klimatilpasningstiltak for å redusere snøskader, og muligens også vindskader, selv om det kan gi noe redusert klimanytte i form av karbonlagring. For barkbilleskader kan derimot redusert tetthet virke negativt som tilpasningstiltak (Romeiro et al. 2024; 2025).

3.1.1.3 Produksjonsskogfase

I produksjonsskogfasen finnes det i hovedsak to aktuelle behandlingstiltak: kommersiell tynning og gjødsling. Hovedmålet med begge tiltakene er å øke den økonomiske verdien av bestandet ved sluttavvirkning. Tynning kan imidlertid også gjennomføres som et "ikke-kommersielt" tiltak for å legge til rette for overgang til ulike former for lukkede hogstformer (LHF) (jf. seksjon 3.1.2).

Hovedformålet med (kommersielle) tynninger er å øke produksjon og kvalitet på de trærne som er ment å utvikle seg videre til sluttavvirkning. Generelt bør man rette seg mot de trærne som forventes å gi høyest mulig inntekt ved sluttavvirkning, basert på treslag og størrelse. Trær som ikke er ønsket videre i produksjonen, fjernes under tynningen. Tynning er også skogeieren den første muligheten i omløpet til å hente en viss inntekt. Tynning gjennomføres vanligvis når overhøyden i bestandet er over 12 meter (for å oppnå salgbare dimensjoner) og under 18 meter (for å unngå ustabilitet) (f.eks. Skogkurs 2013b; Andreassen 2017; Søgaard et al. 2017; og Søgaard et al. 2023). Omfanget av kommersiell tynning i Norge varierer betydelig, avhengig av blant annet bestandsstruktur, bonitet, terrengforhold, virkespriser og lokale tradisjoner. I Sørøst-Norge kan andelen tynnet volum i forhold til totalt hogd volum nå 15–20 %, særlig i furudominerte områder, men andelen er vanligvis lavere. I andre deler av landet er andelen kommersiell tynning langt lavere (Søgaard et al. 2017).

Tynning eller ikke tynning

Valget om å tynne (eller ikke) som tiltak for å øke skogeiers inntekt avhenger av flere faktorer. Den gjeldende anbefalingen er å prioritere tynning i bestand som tidligere har fått utført ungskogpleie. Trærne i slike bestand har vanligvis større diameter og bedre enkeltrestabilitet. I tillegg kan man unngå kostbar forhåndsrydding før tynning, noe som øker sannsynligheten for en positiv nettoinntekt i selve tynningen. En slik positiv nettoinntekt er også mer sannsynlig dersom terrenget er lett og driftsavstanden kort. Økonomisk sett er det imidlertid ikke nok med positiv nettoinntekt fra selve tynningen for å begrunne tiltaket, hele kontantstrømmen gjennom omløpet, inkludert verdi ved sluttavvirkning, bør vurderes.

Tynningsmetode og intensitet

Dersom man bestemmer seg for tynning, er neste steg å velge metode og intensitet, altså hvor mange trær/ha eller m² grunnflate/ha som skal fjernes, og hvilke trær som skal stå igjen. Den mest vanlige anbefalingen er å bruke "fri tynning", det vil si at man fjerner trær rundt de trærne som skal utvikles videre (de mest verdifulle), med en øvre grense på 35 % av grunnflaten per dekar (Skogkurs 2013b). Strategien ses på som et kompromiss mellom å sikre høy verdi ved sluttavvirkning og samtidig bevare produksjon og stabilitet. Et alternativ er "høytynning", der man fjerner de største trærne og lar de

mindre vokse videre. Dette kan gi god nettoinntekt i selve tynningen, men kan også føre til lavere diameter ved sluttavvirkning og/eller forlenget hogstalter.

Effekten av kommersiell tynning som klimatiltak er usikker. En positiv klimaeffekt forutsetter at volumproduksjonen over hele omløpet øker, og dermed også karbonopptak og -lagring i biomasse. I beste fall, ved høy bonitet og/eller tidlig tynning, kan produksjonen opprettholdes eller øke svakt, men som oftest reduseres produksjonen, og dermed også karbonlagringen. Det er likevel verdt å merke seg at redusert tetthet som følge av tynning kan gi større trær og dermed høyere andel sagtømmer ved sluttavvirkning, noe som igjen kan øke karbonlagring i treprodukter (jf. kapittel 4). Tynning kan også føre til uttak av trær som ellers ville gått ut og kan bli brukt til bioenergi.

Når det gjelder naturlige forstyrrelser, har tynning hovedsakelig negative effekter. I granbestand kan tynning øke risikoen for råte fordi ferskt treverk eksponeres, både i stubber, røtter og hvis stående trær skades under drift. Dette kan imidlertid motvirkes ved å tynne på vinterføre eller ved bruk av Rotstop under tynning i sommerhalvåret.

Manglende stabilitet, både på enkelttre- og bestandsnivå, er en viktig årsak til snø- og vindskader i Norge (Solberg et al.. 2019). Risikoen for slike skader øker som regel ved tynning, fordi trærne mister støtten og beskyttelsen fra nabotrær. Dette gjelder særlig ved store uttak sent i produksjonsfasen. Generelt vil en lav tetthet etablert i foryngelsesfasen som holdes ved like også i ungskogsfasen fremme diametervekst i forhold til høydevekst (høyere diameter/høyde-forhold), og dermed styrke stabiliteten til det enkelte tre. Dette kan være en mulig tilpasningsstrategi for helt å unngå tynning og dermed redusere risiko for vind- og snøskader.

Barkbilleskader er en økende bekymring under klimaendringer. Effekten av tynning som klimatilpasning er imidlertid usikker. En østerriksk modell for prediksjon av skadeomfang ble tilpasset norske forhold (Romeiro et al.. 2024; 2025), og resultatene viste at de økonomiske tapene var større i bestand med lav tetthet enn i bestand med høy tetthet, blant annet fordi lav tetthet gir mer lys og varme i kronesjiktet og barken, noe som igjen kan øke barkbilleaktiviteten (Seidl et al.. 2007). Ut fra dette bør tettheten ikke reduseres gjennom tynning. Samtidig anbefales tynning i en nylig opprettet beredskapsplan for tiltak mot barkbilleangrep for å redusere konkurransen mellom trær, og dermed øke robustheten og vitaliteten til de gjestående trærne (Landbruksdirektoratet 2024b).

Tynning er også nevnt som et mulig tiltak for å redusere tørkestress og naturlig avgang sent i omløpet (Søgaard et al.. 2017). Hypotesen er at i utynnede bestand, med høy konkurranse og stress, vil avgangen mot slutten av omløpet være høyere enn i tynnede bestand hvor svake trær er fjernet og konkurransen redusert.

Gjødsling

I skogområder der nitrogen (N) er vekstbegrensende, kan N-gjødsling gi økt diametervekst. Målet er å øke veksten og dermed den økonomiske verdien ved sluttavvirkning. Effekten varer 8–10 år, så tiltaket bør utføres omtrent 10 år før planlagt slutthogst. Den vanlige anbefalingen er å tilføre 150 kg N/ha, som gir en forventet årlig tilvekstøkning på 1,5 m³/ha, altså 15 m³/ha over 10 år (Hanssen, u.å.a.; Søgaard et al.. 2023; Landbruksdirektoratet 2024a). Skogsertifiseringen stiller visse krav til gjødsling for å sikre at naturlige prosesser og langsiktig produksforhold opprettholdes.

I tillegg til økt inntekt for skogeier er gjødsling også et positivt klimatiltak, ettersom økt biomasse gir økt karbonopptak og -lagring. Gjødsling gir også større trær og dermed økt andel sagtømmer, som igjen kan gi høyere karbonlagring i treprodukter (jf. kapittel 4). Mulige effekter av gjødsling på karbon i jordsmonnet er omdiskutert (Landbruksdirektoratet 2021), med hovedkonklusjonen er at effekten som klimatiltak generelt er positiv. Det må imidlertid nevnes at N-gjødsling også gir økte utslipp av N₂O (lystgass), som er negativt som klimatiltak (Mäkipää et al. 2023).

For å fremme klimatiltak er det siden 2016 gitt statlig støtte (for tiden 50 % av kostnadene) til skogiere som gjødsler. Ordningen skal bidra til økt karbonlagring. Miljøkrav utover det sertifiseringen krever, må imidlertid imøtekommes for å motta støtte (Landbruksdirektoratet 2023). I perioden 2006–2015 varierte årlig gjødslet areal mellom 450 og 1200 ha. Etter at støtteordningen ble innført i 2016, steg det årlige arealet i snitt til nesten 5000 ha (2016–2023), med topp på 9000 ha i 2017 (SSB 2025).

Effekten av gjødsling som klimatilpasningstiltak mot naturlige forstyrrelser synes begrenset, men lavere hogstalter og dermed redusert risiko for tørkestress og barkbilleangrep i sene faser kan være en indirekte effekt. Det finnes imidlertid noe usikkerhet knyttet til kjemiske forsvarsmekanismer i gran som kan tyde på at gjødsling vil svekke trærnes robusthet mot insekter og beitedyr (Nybakken et al.. 2018; Hanssen et al.. 2020).

Det finnes også usikkerhet og kunnskapshull knyttet til gjødslingens påvirkning på biologisk mangfold. Med dagens praksis og omfang vurderes imidlertid ikke effektene som vesentlige på landskapsnivå. På bestandsnivå kan gjødsling i noen grad påvirke artssammensetning og mangfold, men ved moderate "én gang per omløp"-gjødslinger er slike endringer ansett som små og forbigående (Landbruksdirektoratet 2021).

3.1.1.4 Hogstmodenhetsfase

Sluttavvirkning er hovedaktiviteten i denne fasen av omløpet. Hovedformålet med sluttavvirkningen er å høste resultatet av produksjonen og gi skogieren økonomisk utbytte. Dette utbyttet representerer det økonomiske resultatet av den biologiske tilveksten i tømmer volum og kvalitet gjennom omløpet. I tillegg må foryngelse for neste omløp sikres når det besluttet hvordan og når sluttavvirkningen skal gjennomføres. Planting og naturlig foryngelse er de to viktigste behandlingsalternativene for etablering av et nytt bestand. Hvis planting velges, må det tas beslutninger om treslag og tetthet, mens naturlig foryngelse forutsetter at det finnes frøtrær av relevante treslag i bestandet eller i nabobestand. Naturlig foryngelse av furu legges til rette ved å la frøtrær stå igjen i bestandet etter sluttavvirkningen. For gran er naturlig foryngelse avhengig av frø fra trær i nabobestand. I tillegg bør tiltak som rotråteforebygging og markberedning vurderes (se seksjon 3.1.1.1 for detaljer).

Krav knyttet til sluttavvirkning er gitt gjennom sertifiseringsstandarden og forskrifter (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-06-07-593>). Formålet med disse kravene er, i tillegg til å sikre tilfredsstillende foryngelse i det nye bestandet, å ivareta skogens miljøverdier. Eksempler på krav i forskriftene og standardene er å bevare livsmiljøer, fjerne hogstavfall fra grøfter, bekker og stier, reparere kjøreskader og å sette igjen livsløpstrær (5 trær/ha).

De to viktigste beslutningene i forbindelse med sluttavvirkning, i tillegg til de som legger til rette for foryngelse og sikrer miljøverdier, er valg av hogstmetode og valg av hogstalter.

Hogstmetode

Den totale biomassen til et tre består av omtrent 25 % i røtter og stubbe, 50 % i stamme og 25 % i greiner og topp (Løken et al. 2012). Greiner og topper (GROT) kan potensielt flishogges og brukes til oppvarming og bioenergi, og dermed erstatte fossilt brensel. Sluttavvirkning kan gjennomføres som stammeuttak eller som uttak stamme pluss GROT (røtter og stubber er utelatt). Stammeuttak er den klart mest brukte metoden i Norge, selv om potensialet for bruk av GROT er stort. Dersom man antar at det årlige avvirkningsvolumet av stammeved i Norge er 13,0 millioner m³, betyr dette at omtrent 6,5 millioner m³ blir liggende igjen som GROT. Ved uttak av GROT blir vanligvis omtrent 30 % av denne biomassen liggende igjen i skogen (Alfredsen et al. 2018), noe som indikerer at omtrent 4,6 millioner m³ potensielt kunne ha vært brukt til oppvarming og bioenergi. Uttaket av GROT er i dag nesten fraværende, mens det

var noe større før en tilskuddsordning ble avviklet i 2014, for eksempel utgjorde det 80 000 m³ (flis) i 2013 (Alfredsen et al. 2018).

Uttak av både stamme og GROT kan være et bedre klimatiltak enn kun stammeuttak (Miljødirektoratet 2015; Sjøgaard et al. 2020). Når hogstavfall fjernes fra skogen og brukes til energiproduksjon, slippes karbonet ut i atmosfæren så snart biomassen forbrennes. Dersom denne energiproduksjonen erstatter fossil energi, er effekten positiv for klimatiltaket. Når hogstavfallet blir liggende i skogen, vil biomassen brytes ned og dermed slippe ut mesteparten av karbonet som CO₂ over tid. Noe av den nedbrutte biomassen vil også lagres som karbon i jorda over tid. Det er imidlertid kunnskapshull og usikkerhet knyttet til tidsaspektet i disse prosessene, blant annet på grunn av lokale klimavariasjoner og variasjoner i treslag og dimensjoner.

Det er også uttrykt usikkerhet knyttet uttak av GROT med tanke på næringsstoffer fra jorda. Det ser imidlertid ut til at opptil omtrent 70 % av biomassen i greiner og toppe kan fjernes uten negativ påvirkning på næringsinnhold og tilvekst (Sjøgaard et al. 2020). Uttak av GROT kan også påvirke etablering og vekst av planter negativt og øke gnagskader fra stor granbarkbille, særlig nær resthauger. Samtidig finnes det indikasjoner på bedre vekst for planter som er satt i områder hvor resthauger tidligere har ligget og hvor de siden er fjernet (Hanssen et al. 2018).

Hogstalter

Valg av hogstalter er viktig for langsiktig volumproduksjon og skogeierens økonomiske avkastning. Den optimale biologiske og økonomiske hogstalteren bestemmes ved å maksimere henholdsvis langsiktig volumproduksjon og nåverdi (NPV). Maksimal langsiktig volumproduksjon oppnås når hogsten skjer ved en alder der den årlige tilveksten blir lik gjennomsnittlig årlig tilvekst. Økonomisk optimal hogstalter oppnås når hogsten gir maksimal nåverdi, det vil si den høyeste NPV av sluttavvirkningen pluss verdien av snau skogmark ved et gitt krav til reell renteavkastning.

Tabell 4 viser biologisk optimal hogstalter for ulike treslag og bonitetsklasser. Tallene er beregnet fra et sett med velkjente tilvekstmodeller (Tveite & Braastad) basert på langsiktige skogforsøk som forvaltes av Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) (<https://feltforsok.nibio.no/-Kalkulator/BonKalk.cfm>). En grunnleggende forutsetning for å oppnå disse tallene er å holde bestandstettheten tilstrekkelig høy gjennom hele omløpet (altså nær gjeldende anbefalinger for tetthet ved foryngelse, etter ungskogpleie og tynning, jf. seksjonene 3.1.1.1 til 3.1.1.3). Merk at nye modeller nylig er utviklet basert på oppdaterte data fra forsøksfeltene (Allen et al. 2020; Kühne et al. 2022). Generelt predikerer disse modellene noe høyere volumproduksjon enn de gamle modellene (Kühne et al. 2023). I tillegg synes de optimale biologiske hogstaldrene å være litt høyere i henhold til de nye modellene, særlig for de mest produktive bonitetene (5–10 år).

Tabell 4. Biologisk optimal hogstalter (år) etter treslag og bonitetsklasse.

Bonitet (H40, m)	Gran	Furu
23	84	82
20	90	90
17	98	99
14	108	110
11	122	127
8	141	154
6	163	182

Tabell 5 viser økonomisk optimal hogstalter for ulike treslag, bonitetsklasser og realrentenivåer (Hoen 2025). Tallene er basert på simuleringer med Gaya 2.0 (Strimbu et al. 2023).

Tabell 5. Økonomisk optimal hogstalter (år) etter bonitetsklasse og krav til reell renteavkastning (Hoen 2025).

Bonitet (H40, m)	Gran			Furu		
	Krav til reell renteavkastning			Krav til reell renteavkastning		
	2,0%	3,0%	4,0%	2,0%	3,0%	4,0%
23	65	55	50	60	50	50
20	70	60	55	65	60	55
17	80	70	65	75	65	60
14	90	80	70	85	70	65
11	105	90	85	95	85	75
8	135	120	105	115	100	90

Valg av hogstalter påvirkes av faktorer som skogeierens inntekter og lønnsomhet, klimatilpasning, klimatilpassing, biologisk mangfold og virkninger på treprodukter (Treprodukter og deres rolle i klimatilpassing, jmf. kapittel 4).

For å maksimere klimabidraget knyttet til karbonopptak og -lagring i biomasse over bakkenivå, bør biologisk optimal hogstalter (tabell 4) benyttes, da den gir maksimal langsiktig volum- og biomasseproduksjon. Høyere hogstalter enn dette vil øke det kortsiktige karbonlageret over bakken, men det langsiktige karbonopptaket vil reduseres. Lavere hogstalter enn de biologisk optimale vil redusere både kort- og langsiktig karbonopptak og -lagring.

Hogstalteren påvirker også karbonlageret i jorda, men hvor mye og på hvilken måte er fortsatt omdiskutert (Dalsgaard et al. 2015; Mayer et al. 2020; Johannesson et al. 2025; Madsen et al. 2025). Det er forventet at ca. 10–20 % av karbonet i jorda tapes i løpet av ca. 20 år etter sluttavvirkning. Forutsatt at arealet forynges, vil karbon i jord akkumuleres resten av omløpet. Det er imidlertid usikkert om denne akkumuleringen fullt ut gjenoppretter det tapte karbonet, blant annet grunnet variasjoner mellom ulike jordtyper. Felldata fra den svenske Skogsmarksinventeringen (Ortiz et al. 2013) viste at karbon i jord økte jevnt med 6,6 (±7) TgC/år i perioden 1994–2000. Basert på modellering (Yasso07) har Norge rapportert en svak og jevn økning i jordkarbon til UNFCCC (Miljødirektoratet 2023). Disse resultatene er imidlertid generelle og ikke direkte koblet til hogstalter. NIBIOs landsskogtaksering startet i 2023 med innsamling av jordprøver på et delutvalg av flatene. Data herfra kan i fremtiden gi resultater som viser hvordan jordkarbon utvikler seg med ulike hogstalter.

Albedoeffekten fra skog, særlig i snødekte eller høyereliggende områder, kan forstås som en negativ økosystemtjeneste (negativ eksternalitet), ettersom skogdekke reduserer jordoverflatens refleksivitet og bidrar til oppvarming. For å øke klimaeffekten relatert til albedo bør lavere hogstalter benyttes, siden dette vil forlenge perioden skogarealet reflekterer sollys tilbake til atmosfæren og dermed kan bidra til å redusere temperaturstigningen under klimaendringer. Bright et al. (2024) fant imidlertid at bare 4 % av Norges skogarealer hadde albedoeffekter som var store nok til å oppveie effektene av

karbonopptak. Tilsvarende konkluderte Rørstad (2022a) med at CO₂-opptaket klart overgikk albedoeffekten. Sett i sammenheng med endrede hogstaldere er derfor albedoeffekten svært begrenset.

For å maksimere inntekt og lønnsomhet for skogeieren bør økonomisk optimal hogstalder (tabell 5) benyttes, siden dette gir høyest nåverdi. Disse hogstaldere avhenger i tillegg til bonitet av hvilken realrente som kreves. Generelt er økonomisk optimal hogstalder betydelig kortere enn den biologiske, selv med lav rente (rundt 2 %), noe som innebærer at både karbonlagring og -opptak reduseres. De nedre aldersgrensene som er satt i norsk sertifisering blir imidlertid ikke brutt av de økonomisk optimale hogstaldrene, selv med høy rente (rundt 4 %). Merk at både biologisk og økonomisk optimale hogstaldere (tabell 4 og 5) forutsetter "normal" utvikling av naturlig dødelighet i bestanden uten alvorlige naturlige forstyrrelser.

Lavere hogstaldere enn de økonomisk optimale anbefales generelt når skader forbundet med naturlige forstyrrelser vurderes, særlig ved observerte angrep av rotråte og barkbiller, eller ved begynnende vindfall, snøbrekk og tørkestress. To simuleringstudier, som tok hensyn til risiko for rotråte og barkbiller støtter dette, selv om de økonomiske gevinstene ved å redusere hogstalderen var veldig små. Aza et al. (2021) fant at hogstalderen ble endret i 14–23 % av de simulerte bestandene, avhengig av rentekrav og utviklingshastighet for råte i stammen. Den gjennomsnittlige reduksjonen i hogstalder, for de bestand som faktisk fikk en endring, var henholdsvis 1,3 og 4,7 år for rentekrav 2 % og 3 %. Tilsvarende fant Romeiro et al. (2025) at under dagens klimaforhold ble hogstalderen i gjennomsnitt redusert med rundt 2 år (3 % rentekrav) i noen regioner i Sørøst-Norge, mens den på sikt ble redusert med 5 år ved klimaendringer (RCP8.5). Variasjonene mellom bestandene var store, og resultatene viste at bestand med lav tetthet og høy andel gran på den mest produktive marka hadde størst reduksjon i hogstalder og størst økonomisk gevinst av en slik reduksjon når barkbillerisiko ble vurdert.

3.1.1.5 Behandlingsprogrammer gjennom et omløp

I dette seksjonen inkluderes tidsaspektet for de individuelt beskrevne tiltakene (tabell 1) ved å analysere sekvenser av tiltak gjennom et fullt omløp. En slik sekvens kalles et "behandlingsprogram". Analysen skal illustrere noe av kompleksiteten på bestandsnivå når man vurderer målsettingene knyttet til klimatilpasning og klimatiltak i forbindelse med skogbehandling.

For å forenkle analysen har vi antatt at behandlingsprogrammene i hovedsak gjelder grandominerte skogområder på middels til høy bonitet ($H_{40} = 11\text{--}26$ m). Hovedgrunnene til dette er at disse grandominerte områdene har størst potensial for klimatiltak (høyest tilvekst), men er samtidig mest utsatt for naturlige forstyrrelser og derfor viktige for klimatilpasning. I tillegg er disse områdene de mest verdifulle i kroner per hektar. Omtrent 25 % av det produktive skogarealet i Norge, som utgjør omtrent 40 % av stående volum, tilhører denne kategorien skog (<https://landsskog.nibio.no/>).

Som utgangspunkt for analysen har vi utviklet et sett behandlingsprogrammer som hver for seg fokuserer på ulike målsettinger for klimatiltak (maksimere karbonopptak og -lagring og albedo) og klimatilpasning (minimere skader fra barkbiller, rotjuke, vind, snø og tørke). I tillegg har vi utviklet programmer som minimerer alle naturlige forstyrrelser samlet, og som maksimerer lønnsomheten (se også Vedlegg 10.1 for detaljerte beskrivelser av alle programmene).

Behandlingsprogrammene bygger på de tiltakene som er beskrevet i seksjonene 3.1.1.1 til 3.1.1.4. Selv om programmene er mest mulig basert på tilgjengelig dokumentasjon, foreligger det usikkerhet knyttet til kunnskapshull, antakelser og faglige vurderinger. For å forenkle har vi ikke tatt hensyn til karbonopptak og -lagring i jord eller karbonlagring i treprodukter ved utarbeidelsen av programmene.

Programmene bygger på kunnskap fra mange års teoretisk og empirisk forskning på skogproduksjon i Norge. Det finnes fortsatt usikkerhet knyttet til konkrete tall for tetthet i foryngelse og ungskogfasen (jf.

tabell 3 og seksjon 3.1.1.2) og tall for hogstalter (jf. tabellene 4 og 5, seksjon 3.1.1.4), grunnet datagrunnlaget og modellene som ligger til grunn for vekst og naturlig avgang. Vi anser imidlertid disse usikkerhetene som relativt små. Langt større usikkerhet er knyttet til fremtidige klimaendringer i temperatur og nedbør, som vil påvirke vekstforhold og dermed optimal tetthet og hogstalter. Hvordan og i hvilken grad er imidlertid uavklart.

Ved utarbeidelsen av programmene er skogeierens inntekter til en viss grad vurdert. For eksempel foreslås det ikke å forynge et tidligere granbestand egnet for granproduksjon med 100 % furu eller bjørk som klimatilpasningstiltak for å unngå barkbilleangrep. I stedet forutsetter vi en blanding av treslag, inkludert gran, for å redusere sårbarhet. På samme måte bør bestandet, strengt tatt, stå urørt for å maksimere karbonopptak og -lagring, men vi forutsetter at det foregår en aktiv skjøtsel. Planene avhenger også til en viss grad av økonomiske forutsetninger. Den optimale økonomiske hogstalteren som er utgangspunkt for programmene tilsvarer et krav til realavkastning på omtrent 2,0 % (jf. tabell 5), og nettoinntekten (tømmerverdi minus driftskostnader: rotnetto) ved sluttavvirkning er antatt å være rundt 400 kr/m³.

I det følgende beskrives de enkelte tiltakene over et omløp for tre av behandlingsprogrammene: én som maksimerer karbonopptak og -lagring, én som minimerer alle naturlige forstyrrelser samlet, og én som maksimerer lønnsomheten. Effekten av disse programmene på mål knyttet til klimatiltak, klimatilpasning og lønnsomhet vises også (tabell 6). Nærmere beskrivelser er vist under tabellen.

Tabell 6. Behandlingsprogrammer for maksimalt karbonopptak og -lagring, minimal risiko for alle naturlige skader samlet, og maksimal lønnsomhet. Hvert av behandlingsprogrammene er evaluert for sin effekt på ulike elementer av klimatilpasning, klimatiltak og lønnsomhet.

Behandlings- strategi	Bestandets utviklingsfase	Tiltak	Klimatiltak			Klimatilpasning					Lønn- somhet
			Karbon- opptak	Karbon- lagring	Albedo	Barkbille- skader	Råte- skader	Vind- felling	Snø- skader	Tørke- skader	
Maksimere karbonopptak og lagring	Foryngelse	Plant ett treslag (G)									
		Anbefalt tetthet									
	Ungskog	Behold anbefalt tetthet									
	Produksjons- skog	Ingen tynning									
		Gjødsling									
	Hogstmoden skog	Flatehogst ved optimal biologisk hogstalder									
Minimere alle naturlige forstyrrelser samlet	Foryngelse	Plant blandingsskog (G, F, B)									
		Lav tetthet									
	Ungskog	Behold lav tetthet									
	Produksjons- skog	Ingen tynning									
		Ingen gjødsling									
	Hogstmoden skog	Flatehogst før økonomisk optimal hogstalder									
Maksimere lønnsomhet	Foryngelse	Plant ett treslag (G)									
		Anbefalt tetthet									
	Ungskog	Behold anbefalt tetthet									
	Produksjons- skog	Tynning									
		Gjødsling									
	Hogstmoden skog	Flatehogst ved optimal økonomisk hogstalder									

Grønn: synergi, Rød: avveining, Gul: nøytral.

Den generelle lærdommen fra denne analysen (tabell 6) er, ikke overraskende, at det ikke finnes én løsning som dekker alle hensyn til klimatilpasning, klimatiltak og skogeiers lønnsomhet. En strategi for maksimering av karbonopptak og -lagring har negativ effekt på albedo, hovedsakelig negativ effekt på klimatilpasning, og delvis negativ og delvis positiv effekt på lønnsomhet. En strategi for å minimere alle naturlige forstyrrelser samlet gir negativ effekt på karbonopptak og -lagring, og en hovedsakelig positiv effekt på albedo og negativ effekt på lønnsomhet. En strategi som maksimerer lønnsomhet, gir delvis positiv og delvis negativ effekt på klimatiltak og hovedsakelig negativ effekt på tilpasning til naturlige forstyrrelser. Nedenfor følger en detaljert beskrivelse av de tre behandlingsprogrammene.

Maksimer karbonopptak og -lagring

Foryngelsesfase: plante gran med «anbefalt» tetthet i henhold til volumproduksjon.

Ungskogfase: opprettholde «anbefalt» tetthet i henhold til volumproduksjon.

Produksjonsskogfase: ingen tynning, men bruk av gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved optimal biologisk hogstalders.

Kommentarer til behandlingsforløpet:

Dette behandlingsforløpet forutsetter at gran plantes med en tetthet i samsvar med anbefalte antall trær per hektar fra Skogkurs (jf. seksjon 3.1.1.1, tabell 3), og at den gjeldende anbefalingen om 1500–2500 trær/ha (jf. seksjon 3.1.1.2) følges gjennom hele ungskogfasen. I produksjonsskogfasen unngår man tynning fordi dette reduserer volumproduksjonen på bestandsnivå, men gjødsling anvendes (10 år før sluttavvirkning) fordi dette øker volumproduksjonen (jf. seksjon 3.1.1.3). Sluttavvirkning (flatehogst) forutsettes gjennomført ved hogstaldere der løpende tilvekst tilsvarer midlere årlig tilvekst (jf. seksjon 3.1.1.4, tabell 4).

Effekter på klimatiltak og klimatilpasningsmål (jf. tabell 6):

- For klimatiltak via albedo er alle tiltak i dette forløpet, med mulig unntak av gjødsling, negative.
- For klimatilpasning mot barkbilleskader er det negativt å plante gran i ensarta bestand og bruke høye hogstaldere. Å opprettholde «anbefalt» tetthet i foryngelses- og ungskogfaser er trolig positivt (Romeiro et al. 2024; 2025), selv om det er noe usikkerhet knyttet til effekten av tynning (jf. seksjon 3.1.1.3).
- For klimatilpasning mot rotråteskader er granplanting og høye hogstaldere negative, mens unngåelse av tynning er positivt siden dette kan redusere smittepresset. Å holde «anbefalt» tetthet og bruke gjødsling er trolig nøytralt i denne sammenhengen.
- For tilpasning til vind- og snøskader er effektene generelt de samme, med unntak av treslagsvalg. For vind er planting av gran negativt på grunn av grunt rotsystem, mens det for snøskader ikke finnes empirisk grunnlag for at gran er mer utsatt enn furu. Generelt bør lav tetthet benyttes i foryngelses- og ungskogfaser, og tynning unngås, for å styrke stabilitet både på enkelttre- og bestandsnivå (Solberg et al. 2019; Strimbu et al. 2025). Høye hogstaldere fører sannsynligvis til økte skader.
- For tørreskader er alle tiltak i dette forløpet, med unntak av gjødsling, trolig negative.

Minimer alle naturlige forstyrrelser samlet

Foryngelsesfase: plante blanding av gran, furu og bjørk med lavere tetthet enn «anbefalt» for volumproduksjon.

Ungskogfase: opprettholde lavere tetthet enn «anbefalt» for maksimal volumproduksjon.

Produksjonsskogfase: ingen tynning eller gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved redusert økonomisk hogstalders.

Kommentarer til behandlingsforløpet:

Ingen enkeltstående behandlingsforløp kan oppfylle alle krav for tilpasning til alle typer naturlige forstyrrelser, fordi tiltakene til dels er motstridende. Dette forløpet er derfor et kompromiss der noen tiltak prioriteres på bekostning av full tilpasning til enkelte skader. Det forutsettes at blandingsbestand (gran, furu og bjørk) plantes med lavere tetthet enn anbefalt av Skogkurs (jf. seksjon 3.1.1.1, tabell 3), noe som svekker tilpasningen til barkbilleskader. I ungskogfasen antas det at tettheten holdes lavere enn den vanlige anbefalingen på 1500–2500 trær/ha (jf. seksjon 3.1.1.2), også på bekostning av tilpasning til barkbiller. I produksjonsskogfasen unngår man både tynning og gjødsling. Sluttavvirkning forutsettes gjennomført ved redusert hogstalter sammenliknet med når netto nåverdi (NPV) maksimeres (jf. seksjon 3.1.1.4, tabell 5). Det bør i tillegg vurderes å bruke Rotstop og/eller avvirke om vinteren for å redusere rotkjukesmitte, samt markberedning og riktig plantemateriale for å redusere gransnutebilleskader.

Effekter på klimatiltak og klimatilpasningsmål (jf. tabell 6):

- For å dempe klimaendringer gjennom karbonopptak og -lagring er alle enkeltbehandlinger som brukes i behandlingsprogrammet under foryngelsesfasen (plantning av blandingskog med lav tetthet) og ungskogfasen (beholde lav tetthet) negative. I produksjonsskogfasen er fravær av tynning positivt, mens manglende gjødsling er negativt. Redusert hogstalter er negativt for karbonopptak og -lagring.
- For albedo er de fleste tiltak positive, med unntak av å unngå tynning, da høy tetthet i produksjonsskogfasen kan redusere evnen til å reflektere sollys.
- For klimatilpasning er de fleste tiltak positive eller nøytrale. Unntaket er lav tetthet i foryngelses- og ungskogfaser, som trolig er negativt for barkbilletilpasning.

Maksimer lønnsomhet

Foryngelsesfase: plante gran med «anbefalt» tetthet i henhold til volumproduksjon.

Ungskogfase: opprettholde «anbefalt» tetthet.

Produksjonsskogfase: tynning og gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved optimal økonomisk hogstalter.

Kommentarer til behandlingsforløpet:

Dette forløpet forutsetter at ingen naturlige forstyrrelser oppstår i omløpet. Det antas videre at NPV maksimeres ved en realrente på rundt 2,0 %. Gran plantes i henhold til anbefalt tetthet fra Skogkurs (jf. seksjon 3.1.1.1, tabell 3) og med en bestandtetthet på 1500–2500 trær/ha gjennom ungskogfasen (jf. seksjon 3.1.1.2). Tidlig ungskogpleie forutsettes gjennomført slik at fordyrende forhåndsrydding før ev. tynning unngås. Tynning antas å bedre kvalitet og dimensjon og dermed verdi på tømmeret ved sluttavvirkning, samt å redusere avvirkningskostnader. Det forutsettes også gunstige terrengforhold og kort transportavstand. Marginene for lønnsom tynning er små, så forutsetningene må være oppfylt. Gjødsling anvendes 10 år før sluttavvirkning, da dette forventes å øke volumproduksjonen og dermed lønnsomheten (jf. seksjon 3.1.1.3). Sluttavvirkning skjer ved hogstaltere som maksimerer NPV (jf. seksjon 3.1.1.4, tabell 5).

Effekter på klimatiltak og klimatilpasningsmål (jf. tabell 6):

- For karbonopptak og -lagring er foryngelses- og ungskogfasene positive, det samme gjelder gjødsling. Tynning og sluttavvirkning ved optimal økonomisk hogstalter er negative.
- For albedo er de fleste tiltak negative, bortsett fra at tynning kan ha en svak positiv effekt.
- For tilpasning til barkbiller og rotkjuke er granplantning og tynning negative. Sluttavvirkning ved økonomisk optimal hogstalter er også svakt negativ fordi enda lavere hogstalter gir litt bedre tilpasning. Å opprettholde «anbefalt» tetthet i foryngelses- og ungskogfase er positivt for barkbiller og trolig nøytralt for rotkjuke.

- For vind- og snøskader er de fleste tiltak negative. Gran har grunt rotsystem (negativt for vind), og «anbefalt» tetthet og tynning svekker bestandets stabilitet. Økonomisk optimal hogstalders er også negativ, da enda lavere hogstalders trengs for tilpasning.
- For tørkeskader er gran negativt på grunn av lav tørketoleranse. Optimal hogstalders er negativt, mens tynning er positivt, da det kan øke trærnes styrke sent i omløpet.

3.1.2 Lukkede hogstformer

De siste årene har det vært økt oppmerksomhet rundt lukkede hogstformer (LHF) i Norge, dels som følge av reviderte sertifiseringsstandarder (PEFC 2022), økende fokus på biologisk mangfold og som et mulig klimatilpasningstiltak. Mange offentlige og private skogeiere viser også økende interesse for å ta i bruk lukkede hogstformer. Per i dag er imidlertid åpne hogstformer (ÅHF) fortsatt dominerende. Andelen produktivt skogareal som ble drevet etter prinsippene for LHF ble i 2017 estimert til 6,8 %, mens andelen avvirket volum var 3,6 % (Stokland et al. 2020). Dette innebærer at de fleste skogeiere og forvaltere verken har inngående kunnskap om eller erfaring med lukkede hogstformer. Det samme gjelder til dels forskningsmiljøene. En nylig utgitt bok, forfattet av en rekke forskere fra de nordiske landene, har imidlertid gjennomgått og utdypet mange aspekter ved LHF (Rautio et al. 2025). Boken presenterer dagens kunnskapsstatus, men konkluderer samtidig med at det er behov for omfattende forskning på grunn av kunnskapshull og usikkerheter knyttet til LHF i de nordiske landene.

Den generelle definisjonen av LHF i Norge er at 160 trær/ha eller flere etterlates til foryngelsesformål etter hogst. I tillegg kreves det at åpne (uten trær) arealer under all de lukkede hogstformene til enhver tid må være mindre enn 0.2 ha (Brunner et al. 2023; Granhus et al. 2024). De viktigste alternativene innen LHF er **bledningshogst, gruppehogst og skjermtrestillingshogst**. Disse alternativene omfatter ikke bare selve hogsten, men også ulike tiltak relatert til foryngelse, ungsogopleie og forskjellige avvirkningsregimer. Ved bruk av disse hogstformene utvikler bestanden seg vanligvis til mer eller mindre sjiktede strukturer, i motsetning til ÅHF, hvor strukturen hovedsakelig er enaldret. Skjermtrestillings- og gruppehogst regnes bare som LHF dersom et kontinuerlig skogdekke opprettholdes, og dersom dette er et eksplisitt mål (Brunner et al. 2025; Cedergren et al. 2025). En rask og fullstendig fjerning av skjermtrær i skjermtrestillingshogst, eller mange, store eller hyppige åpninger i gruppehogst som ikke opprettholder skogdekket, faller dermed utenfor definisjonen av LHF.

Den såkalte «fjellskoghogsten» er en metode som i noen grad har vært anvendt i fjellskog i Norge i mange år. Ofte kombineres gruppehogst og bledningshogst, avhengig av lokale forhold på stedet (Granhus et al. 2024). På grunn av krevende klimatiske forhold for naturlig foryngelse krever denne metoden ofte lengre intervaller mellom hogster og større uttak enn det som vanligvis praktiseres i LHF. Det betyr at det nødvendige kontinuerlige minimumsskogsdekket over tid, som beskrevet over, vanskelig oppnås med denne metoden.

Gitt de lange tradisjonene for åpne hogstformer i Norge og dagens lave aktivitet knyttet til LHF, kan omstilling til LHF være et mulig alternativ. Slike omstillinger innebærer risiko for skogskader, for eksempel knyttet til vind og snø, med tilhørende negative effekter på volumproduksjon og karbonlagring. Likevel forventes dette å bli en viktig aktivitet i tiårene fremover, noe som krever oppmerksomhet og hvor det finnes ulike alternativer (Granhus et al. 2024; Brunner et al. 2025).

Før man tar LHF i bruk i større omfang, er det nødvendig å vurdere om konkrete bestand faktisk er egnet for dette. Basert på prøveflater fra Landsskogtakseringen i hogstklasse IV og V, samt noen biologiske (f.eks. treslag, trestabilitet, variasjon i trekronestørrelse, vegetasjonstype) og driftsmessige (terreng) kriterier, estimerte Granhus et al. (2024) at ca. 38 % av det produktive skogarealet i disse hogstklassene er egnet for minst en av de lukkede hogstformene. Dette er et grovt estimat med få kriterier, som blant annet ikke inkluderer økonomiske vurderinger eller risikopreferanser hos skogeierne. Ifølge Brunner et

al. (2025) bør kriteriene for egnethet også variere mellom de ulike lukkede hogstformene. Selv om ingen fullstendig liste er utviklet for noen av systemene, nevnes blant annet betydningen av treslagstilpasset blanding, foryngelsespotensial, kroneform, og forekomst av rotråte og beiteskader som relevante vurderingsfaktorer.

Valg av egnede områder for å ta i bruk LHF er svært viktig for resultatet med hensyn til langvarig volumproduksjon, skogeiers inntekter og effektene på klimatiltak og klimatilpasning. Det pågår forskningsprosjekter (NMBU) knyttet til disse utfordringene, både når det gjelder grove egnethetsvurderinger med fjernanalyse og utvikling av prosedyrer for feltvurderinger basert på en detaljert kriterieliste som også inkluderer skogeiers mål og risikovilje. Gitt den manglende erfaringen og kunnskapen blant skogeiere, forvaltere og forskere om lukkede hogstformer i Norge, er dette arbeidet svært viktig.

I det følgende beskrives først de ulike lukkede hogstformene, inkludert omstilling til slike. Beskrivelsen er hovedsakelig basert på Brunner et al. (2025). Deretter diskuteres potensielle effekter av LHF knyttet til karbonopptak og -lagring samt klimatilpasning til naturlige forstyrrelser, og til slutt noen økonomiske og biologiske konsekvenser.

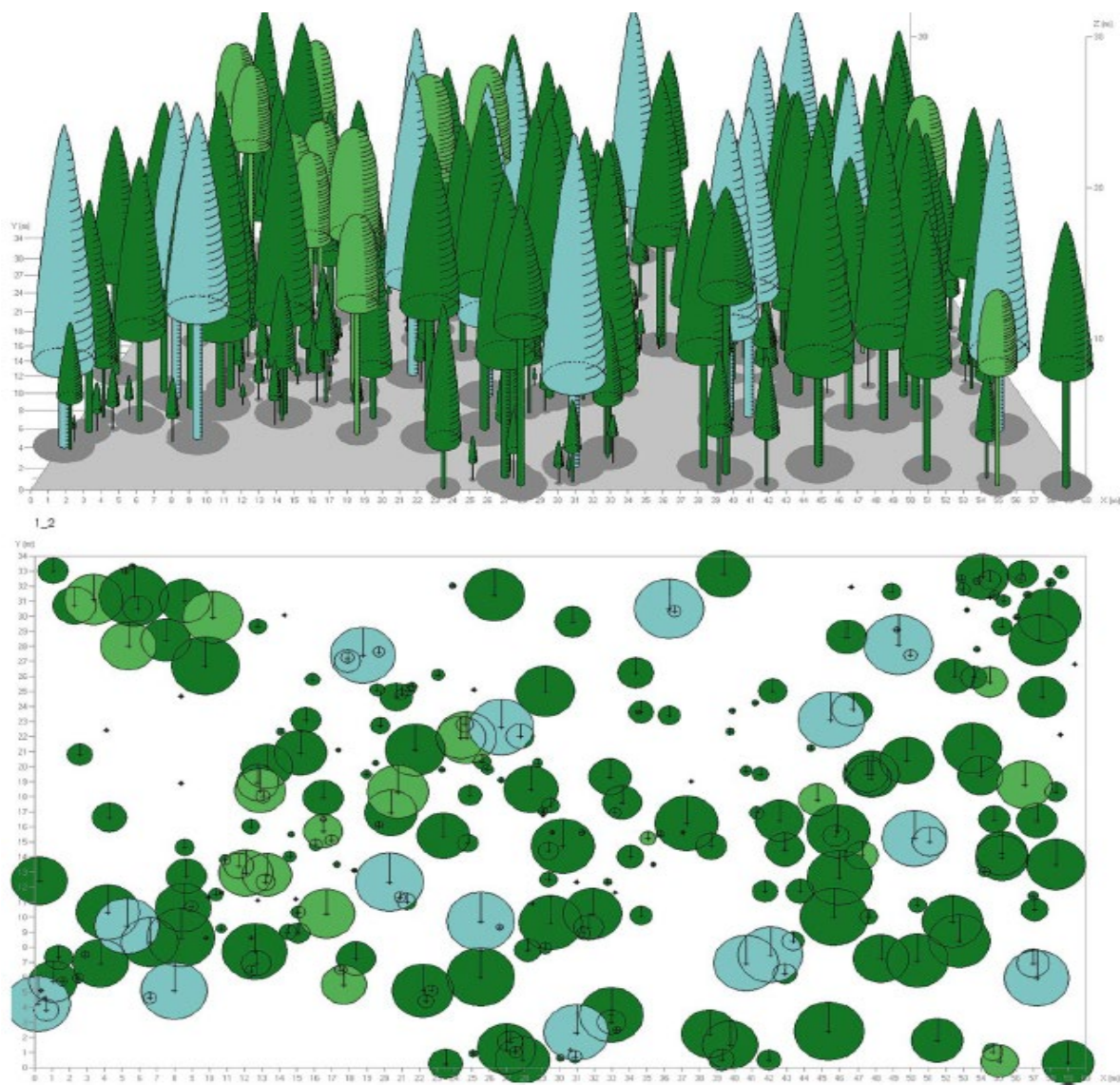
3.1.2.1 Beskrivelse av lukkede hogstformer

Bledningshogst

Bledningshogst bygger på uttak av enkelttrær og kontinuerlig opprettholdelse av en fleraldret bestandsstruktur. Fordi systemet krever høy bestandstetthet, er det i Norge best egnet for skyggetolerante treslag, som gran. Det finnes imidlertid noe erfaring og enkelte forsøk med furu. For å sikre kontinuerlig tilvekst for mindre skyggetolerante arter, som furu, må bestandstettheten reduseres, noe som kan begrense volumproduksjonen. Et alternativ kan være suppleringsplanting av furu.

Den vertikale strukturen i bestand med bledningshogst, kjennetegnes ofte av at antall trær synker med økende diameter (diameterfordeling med omvendt J-form). Det er imidlertid viktig å merke seg at bestandet også kan ha en horisontal struktur, med små åpninger og tettere grupper (se eksempel for granbestand i figur 7). For å opprettholde en stabil og produktiv fleraldret struktur over tid, må bestandstettheten holdes høy nok til å sikre tilstrekkelig produksjon og tilvekst. Hogstintervallene og uttaksvolumene må tilpasses dette. Uttak av enkelttrær styres vanligvis etter prinsippet om måldiameter-hogst (fjerne alle trær over en gitt minimumsdiameter), men kan også inneholde elementer av «vanlig» tynning.

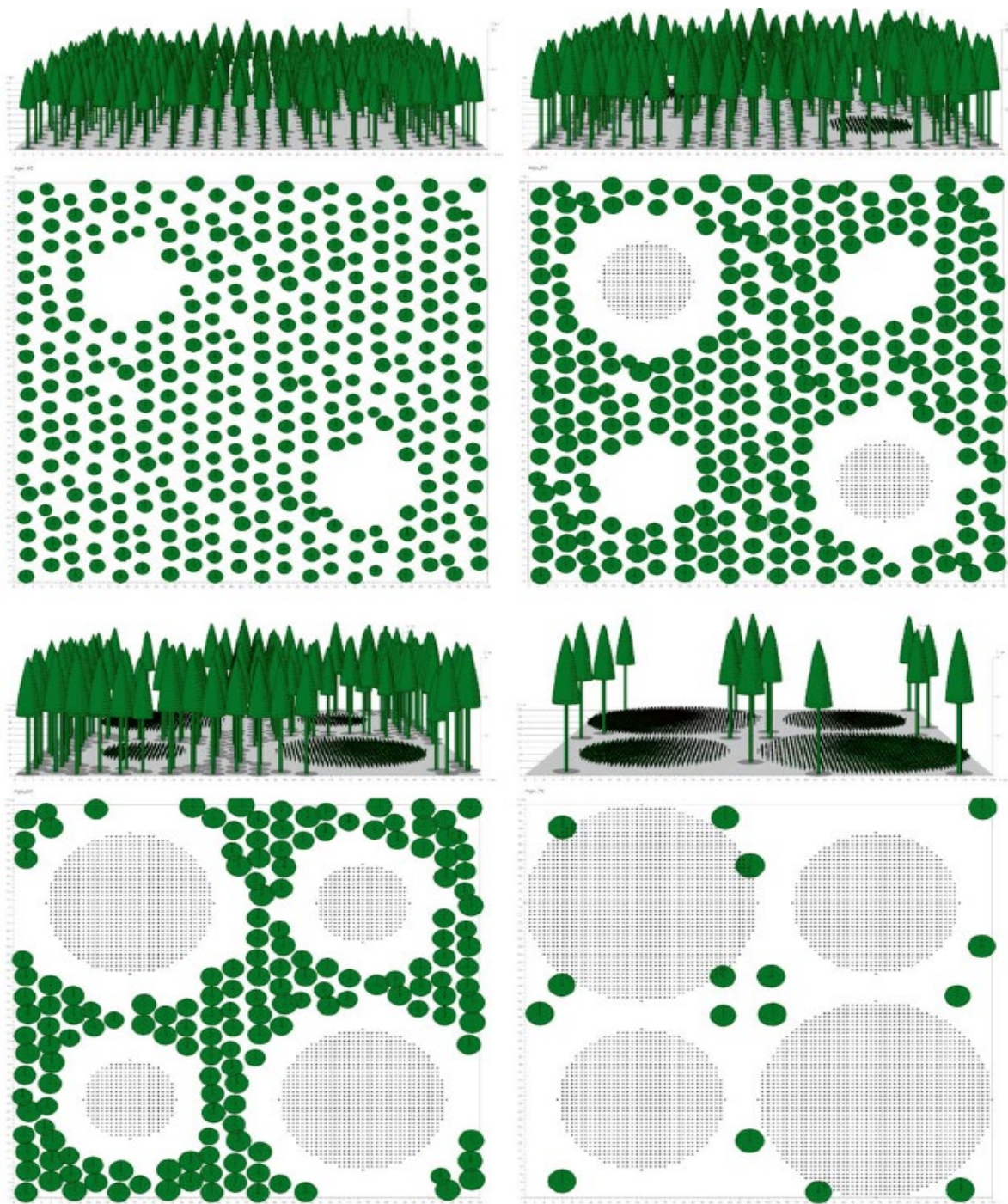
Bledningshogst er en intensivt driftsform og bør ikke forstås som en etterligning av naturlige forstyrrelsesregimer. Ettersom det hovedsakelig er de største trærne som fjernes, vil store levende og døde trær ikke automatisk være til stede i bestandet. Derfor bør det også i dette systemet etterlates store livsløpstrær og døde trær av ulike treslag.



Figur 7. Bestandsstruktur og hogstinstruksjoner for en prøveflate dominert av gran i Norge, forvaltet etter bledningshogst. Mørkegrønn = gran, lysegrønn = bjørk, lyseblå = grantrær som skal tas ut ved neste seleksjonshogst. Planlagt hogst vil fjerne ca. 100 m³/ha av en stående kubikkmasse på 255 m³/ha (tilpasset fra Brunner et al. 2025).

Gruppehogst

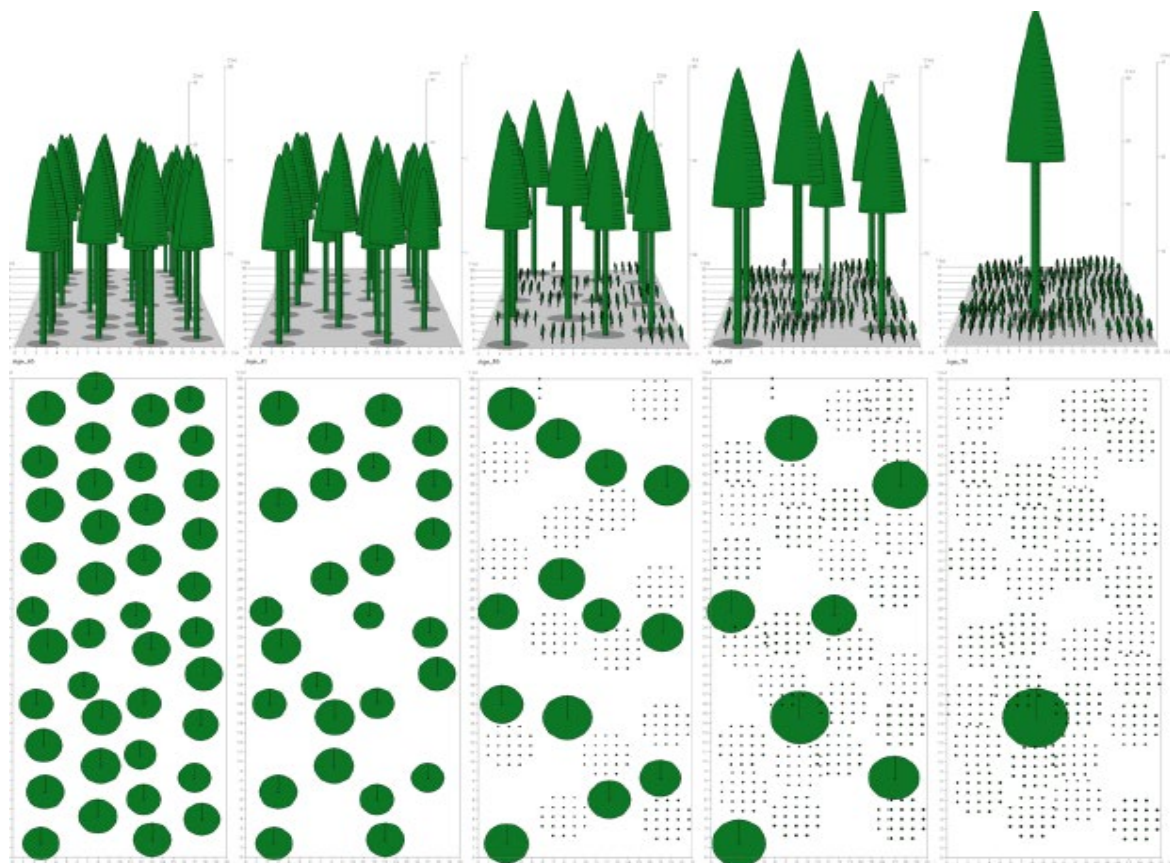
Ved gruppehogst i etablerte bestand tas trær ut ved å lage åpninger. Størrelsen, antallet, plasseringen og rekkefølgen på disse åpningene kan variere mye. Etter at foryngelsesprosessen er igangsatt med åpninger, kan de gjenværende delene av bestandet enten hogges umiddelbart eller bli stående i en periode. Størrelsen på åpningene og rekkefølgen på dem må tilpasses graden av skyggetoleranse hos treslaget som ønskes i neste generasjon. Utvidelse av åpningene er en vanlig metode i dette systemet (se eksempel for et granbestand i figur 8). Det finnes imidlertid svært få eksempler på praktisk bruk av gruppehogst i de nordiske landene.



Figur 8. Tidsserie for foryngelsesfasen i gruppehogst for gran. De to første åpningene med en diameter på 20 meter etableres når bestandet er 40 år gammelt, og dominerende høyde er 20 meter (bilde NV). Åpningene utvides til 35 meter ved 50 års alder, samtidig som to nye åpninger etableres (bilde NØ). Alle åpninger utvides ved 60 års alder (bilde SV). De gjenværende trærne hogges ved 70 års alder, når de har en høyde på rundt 30 meter og en brysthøydediameter på 40 cm (bilde SØ). På dette tidspunktet har foryngelsen nådd en minimumshøyde på ca. 0,5 meter, mens foryngelsen fra de første åpningene har nådd rundt 2 meter. De store trærne som ikke hogges på dette stadiet, illustrerer at livsløpstrær også bør stå igjen i dette systemet (tilpasset fra Brunner et al. 2025).

Skjermtrestillingshogst

Skjermtrestillingshogst har i noen grad vært praktisert i Norge de siste tiårene, både i gran- og furuskog, men kun på begrensede arealer. Systemet bør benyttes i bestand som er tynnet tidligere og derfor består av enkelttrær med lange kroner og høy enkelttrestabilitet. Den første forberedende hogsten igangsetter foryngelsesfasen, og etterfølges av en serie hogster som opprettholder et skjermdekke over flere tiår. Dette skal over tid gi en foryngelse med relativt høy tetthet og jevn fordeling over arealet. De siste skjermtrærne skal ikke fjernes før hele arealet er forynget og de unge trærne har nådd en minimumshøyde på minst 50 cm (se eksempel for granbestand i figur 9). Dette eksempelet på skjermtrestillingshogst gir et bestand i neste generasjon med aldersvariasjon på opptil 30 år, men som vanligvis utvikler en relativt homogen struktur til tross for den store aldersspredningen. Vindskader på skjermtrærne er vanlige i foryngelsesfasen, men dette varierer mye med bestandsstruktur, lokal eksposisjon for vind og lokalt klima.



Figur 9. Tidsserie for foryngelsesfasen i skjermtrestillingshogst for gran. Utgangspunktet er et bestand som tidligere er tynnet (bilde lengst til venstre). Den første forberedende hogsten utføres ved 40 års alder når dominerende høyde er ca. 20 meter, for å styrke trestabilitet (bilde 2). To skjermtrestillingshogster ved 50 og 60 års alder reduserer grunnflaten til ca. 12 m²/ha og igangsetter foryngelsen (bilde 3 og 4). Skjermtrærne fjernes ved 70 års alder (bilde lengst til høyre). På dette tidspunktet er skjermtrærne rundt 30 meter høye med brysthøydiameter på 40 cm, mens foryngelsen etablert etter første skjermtrestillingshogst har nådd ca. 2 meter i høyde (tilpasset fra Brunner et al. 2025).

Omstilling til lukkede hogstformer

Kompleksiteten og metodene for omstilling til LHF varierer med hvilket system man ønsker å gå over til. Omlegging til skjermrestillingshogst eller gruppehogst er relativt enkelt, mens omstilling til blodningshogst krever en vesentlig endring i praksis (Granhus et al. 2024; Brunner et al. 2025).

Omstilling til skjermrestillingshogst eller gruppehogst krever ikke at bestandet på forhånd har en sjiktet struktur. Trær med høy enkelttrestabilitet er imidlertid viktig for å unngå vindskader på sikt. Bestandet må derfor ha vært tilstrekkelig tynnet i tidligere utviklingsfaser. Ingen ytterligere forberedelser er nødvendig før disse systemene tas i bruk, ettersom foryngelsen antas å bli initiert som en følge av de forskjellige hogstmetodene i foryngelsesfasen (figur 8 og 9).

Omstilling til blodningshogst innebærer en vesentlig endring i skogbehandlingen, hvor områder med enaldret struktur gradvis endres til en fleraldret struktur som er egnet for systemet. Dette kan bare oppnås over flere tiår, og forutsetter gode forhold for naturlig foryngelse samt et tilstrekkelig antall trær med god enkelttrestabilitet som kan utvikle seg og overleve over lang tid. Dette er generelt vanskelig i Norge, ettersom skogbehandlingen i stor grad har skapt bestand med en enaldret struktur, med kun et treslag, ofte tette og uten tynning. Mange eldre bestand har derfor svært lav enkelttrestabilitet, og eneste praktiske alternativ er flatehogst. I yngre bestand er risikoen for vindskader mindre, og det kan være mulig å etablere åpninger og igangsette foryngelse som over tid utvikler en sjiktet struktur.

Praktisk erfaring med omstilling til blodningshogst i Norge er svært begrenset. To tilnærminger som i noen grad er testet i boreale skoger i Norden er «tynning med variabel tetthet» og «måldiameterhogst» (Granhus et al. 2024; Brunner et al. 2025). I tynning med variabel tetthet er målet å utvikle horisontal strukturell variasjon ved å dele bestandet inn i sektorer med ulik tynningsintensitet, fra åpne hull (alle trær fjernes), via ulike grader av tynning, til sektorer der ingen trær fjernes. Behandlingen bør starte i relativt unge bestand, helst før trærne når 15 meter i høyde. Nylig er det etablert et praktisk, men vitenskapelig eksperiment med denne tilnærmingen, tilpasset hogstmaskinbasert drift i Norge (Brunner 2024). Så langt har forsøket bekreftet at hogstoperasjonene er praktisk gjennomførbare, men empiriske resultater om utviklingen over tid foreligger ennå ikke.

I måldiameterhogst fjernes enkelttrær når de når en bestemt diameter, uavhengig av bestandsnivåets generelle hogstmodenhet. Metoden er ikke testet i Norge (i nyere tid), men det finnes noe erfaring fra Sverige og Sentral-Europa.

3.1.2.2 Effekter av lukkede hogstformer

Gitt den begrensede praktiske erfaringen og mangelen på empiriske vitenskapelige data for LHF i Norge, eksisterer det kunnskapshull og mye usikkerhet også når det gjelder effekter for ulike målsettinger. Følgende oppsummering tar for seg mulige effekter av LHF som tiltak for klimatilpasning og klimatiltak, men også for skogeiers inntekt og for biologisk mangfold. Oppsummeringen bygger hovedsakelig på sammenligninger mellom LHF og ÅHF. Det er viktig å understreke at valg av egnede områder for innføring av LHF er viktig for hvilke effekter som oppnås. Feilvalg vil kunne redusere de potensielle fordelene og i verste fall gi negative konsekvenser.

Karbonopptak og -lagring, og klimatiltak

Effektene av lukkede hogstformer (LHF) på klimatiltak gjennom økt karbonopptak og -lagring er komplekse og usikre. Det finnes få empiriske studier av karbondynamikk ved bruk av LHF, og dersom slike data eksisterer, er sammenligninger med åpne hogstformer (ÅHF) komplisert. Årsakene er blant annet variasjon i hvilke karbonlagre som undersøkes (trær, strø, død ved og jord), svake tilvekstdata og -modeller, utilstrekkelige beskrivelser av produktivitet, samt variasjoner i lokale klimaforhold og tidshorisonter som er studert. Litteraturgjennomganger indikerer at det per i dag ikke kan trekkes klare

konklusjoner fra slike sammenligninger (Felton et al. 2024; Bianchi et al. 2025; Högbom et al. 2025). En tilsvarende konklusjon kan også trekkes fra en ny norsk studie der 12 par feltflater med tilnærmet naturskog og tidligere flatehogd skog ble sammenlignet. Resultatene viste at det var begrensede eller små forskjeller for karbonbalansen i jorda (Madsen et al. 2025).

Basert på prøveflater fra Landsskogtakseringen gjennomførte Granhus et al. (2024) en simuleringsstudie der karbonlagring i et "business as usual"-scenario (BAU) med nesten bare åpne hogster, ble sammenlignet med ulike scenarier for lukkede hogstformer. For alle scenarier ble det antatt at årlig avvirkning gradvis økte fra dagens nivå på 12,5 mill. m³ til 16,7 mill. m³ ved slutten av simuleringsperioden (2100). I BAU ble det forutsatt at 1,5 % av årlig avvirkning ble gjort etter bledningshogst, 2 % etter skjermtrestillingshogst, og resten (96,5 %) etter ÅHF-prinsipper (flatehogst og frøtrestillingshogst), mens det mest intensive scenariet for lukkede hogstformer forutsatte en fordeling på henholdsvis 3 %, 22 % og 75 %. Resultatene viste at det mest intensive scenariet for lukkede hogstformer ga totalt 31,8 Mt mer karbonopptak (i levende biomasse, strø, død ved og jord) over 80 år enn BAU-scenariet. Dette tilsvarer et årlig ekstra karbonopptak på 0,4 Mt CO₂, noe som tilsvarer bare 0,8 % av de antropogene utslippene fra arealbruk, arealbruksendringer og skogbruk (LULUCF) i Norge i 2021 (Miljødirektoratet 2023).

Å øke bruken av LHF i det omfanget som forutsettes av Granhus et al. (2024), og samtidig opprettholde en årlig avvirkning på nivå som med ÅHF, vil være praktisk utfordrende. Mange enaldrede skogarealer må omdannes til strukturer som muliggjør bruk av lukkede hogstformer, noe som vil ta flere tiår. Studier av slik omstilling viser ofte redusert volumtilvekst i omstillingsfasen (Brunner et al. 2025). De nøyaktige reduksjonene er usikre, ettersom tilvekstmodellene som brukes ikke er spesielt utviklet for omstilling, men en viss reduksjon grunnet lavere tetthet i overgangsperioden må forventes.

En generell begrensning ved LHF er at de i stor grad baseres på naturlig foryngelse, noe som innebærer at foredlet eller provenienstilpasset plantemateriale vanligvis ikke kan benyttes. I motsetning til ÅHF, som muliggjør planting med genetisk forbedret materiale for økt vekst og motstandskraft mot skader, begrenser LHF slike tiltak. Dette kan føre til lavere vekstpotensial og redusert stressresistens sammenlignet med ÅHF.

I et kortsiktig perspektiv (omstillingsfasen til LHF) vil derfor en omfattende overgang fra ÅHF til LHF i Norge neppe være et effektivt klimatiltak med hensyn på karbonopptak og -lagring. En slik konklusjon gjelder imidlertid ikke nødvendigvis i et mer langsiktig perspektiv, men usikkerheten rundt karbonbalansen er stor, og mer empiri må innhentes gjennom langsiktig overvåking av biomassen både over og under bakken.

Naturlige forstyrrelser og klimatilpasning

Effektene av LHF som klimatilpasningstiltak er også komplekse og varierende når det gjelder skogskader. Generelt er skadebildet forskjellig mellom LHF og ÅHF, men få studier har sammenlignet systemene. Hantula et al. (2025) konkluderer i sin gjennomgang med at skader fra vind, snø, barkbiller og gransnutebille (*Hylobius abietis*) sannsynligvis er mindre i LHF enn i ÅHF, selv om omstilling fra ÅHF til LHF kan føre til økt risiko for vindskader i en periode. På den annen side vurderes rotråte å være en større risiko i LHF enn i ÅHF, uavhengig av hvilket system (bledningshogst, gruppehogst eller skjermtrestilling) som benyttes. De fremhever at bestand som allerede er infisert med rotråte under ingen omstendigheter bør omstilles til LHF.

Som allerede observert i Sentral-Europa, er en økning i skogskader og klimastress også forventet i Norge. Det trengs derfor mer forskning for å videreutvikle eksisterende overvåkningsprogrammer og for å forklare sammenhenger mellom skogbehandling og skader (Granhus et al. 2024). Viktigst er mer

kunnskap om hvordan LHF påvirker trærnes og bestandets stabilitet, og dermed deres motstand mot vind og snø, samt hvordan tørkestress, billeangrep og rotråte påvirker hverandre.

Et argument for økt bruk av LHF har vært å øke variasjonen i skogstruktur, både lokalt på bestandsnivå (treslag, dimensjoner) og som et mosaikkmønster i landskapet med ulike skogbehandlingsformer, som en generell risikospredningsstrategi under klimaendringer (Felton et al. 2024; Hantula et al. 2025). Dette er en relevant strategi også for Norge. Selv om konkret forskning mangler, bør man allerede nå i noen grad ta i bruk LHF for å høste erfaring og bygge empirisk kunnskap. Det er særlig viktig å forstå hvordan mosaikker av ulike skogbehandlingssystemer og -stadier, i et landskap dominert av granskog, kan bidra til å redusere risikoen for naturlige forstyrrelser.

Økonomiske effekter

Faktorer som påvirker inntekt og lønnsomhet i LHF varierer betydelig mellom de ulike systemene. Samtidig er usikkerheten og kunnskapshullene store, særlig for gruppehogst og for omstilling til LHF. Langsiktig volumproduksjon, tømmerkvalitet/-verdi og driftskostnader vurderes som de tre viktigste økonomiske faktorene ved sammenligning av LHF og ÅHF (Granhus et al. 2024; Ahtikoski et al. 2025).

Granhus et al. (2024) oppsummerer kunnskapen om volumproduksjon for de ulike typene lukkede hogstformer. For skjermtrestillingshogst indikeres det en 10–20 % reduksjon i langsiktig volumproduksjon sammenlignet med ÅHF. Årsakene er blant annet lengre omløpstider for å sikre foryngelse og lavere vekst for foryngelsen grunnet konkurranse med skjermtrærne. Noe av reduksjonen kan kompenseres ved at de gjenværende trærne får økt diametervekst før sluttavvirkning. Vindskader på skjermtrærne er imidlertid en betydelig utfordring, både for produksjon og økonomisk resultat.

For gruppehogst finnes det ingen empiriske studier av volumproduksjon, men randsonetap (reduert vekst nær åpninger) nevnes som en utfordring. Generelt forventes lavere volumproduksjon enn ved ÅHF også i dette systemet.

I bledningshogst kan produksjonsnedgangen være mindre, forutsatt at anbefalt tetthet opprettholdes gjennom jevnlig, moderate hogster. Bianchi et al. (2025) konkluderer i sin gjennomgang med at selv om ÅHF har en tendens til høyere volumproduksjon, finnes det empirisk dokumentasjon for at bledningshogst kan gi tilnærmet samme produksjon, gitt riktig tetthet og hogstregime.

I tillegg til volum er tømmerkvalitet, -verdi og driftskostnader viktig for økonomien i LHF. Ifølge Granhus et al. (2024) kan LHF gi bedre virkeegenskaper med tanke på tetthet, styrke og kvist. Diameter har også stor betydning, og siden LHF ofte høster de største trærne, kan det gi høyere tømmerverdi. Endringer i det norske prissystemet for tømmer har imidlertid redusert prisforskjellene mellom små og store dimensjoner, noe som også reduserer verdifordelen i LHF.

Kostnadene per m³ for selve hogsten er antagelig ganske like for LHF og ÅHF. Tidsforbruket per tre i hogst er høyere i LHF, blant annet fordi trærne står mer spredt og det må tas hensyn til gjenværende trær. Dette kan delvis kompenseres ved at de felte trærne i LHF er større, slik at kostnadene per m³ ikke øker vesentlig. Transportkostnadene per m³ blir høyere i LHF fordi mindre volum hentes ut per arealenhet og maskinføreren må kjøre mer forsiktig for å unngå skader på gjenstående trær. Faste kostnader per m³ ved flytting mellom hogstområder kan også bli høyere i LHF. For å holde kostnadene på samme nivå som i ÅHF, må man da ha større arealer per operasjon.

Oppsummert er kontantstrømmen per m³ for skogeier trolig ikke avgjørende forskjellig mellom de to systemene. Det er nivået på langsiktig volumproduksjon som er viktigst. Ahtikoski et al. (2025) viser i sin gjennomgang av simuleringstudier, hovedsakelig fra Finland og for bledningshogster, at produksjonsnivået har størst betydning for lønnsomhet. De understreker også behovet for gode vekst-, avgangs- og rekrutteringsmodeller for lukkede hogstformer, noe som i stor grad mangler i Norden. De konkluderer

også med at LHF er mest lønnsomt når det eksisterende bestandet allerede har en struktur som ligner på det som er målsettingen over tid. Dette bekreftes i en norsk simuleringsstudie av bledningshogst i granbestand med ulike diameterfordelinger (Gobakken et al. 2008), der LHF ga høyest nåverdi (NPV) i bestand med en klart J-formet diameterfordeling, mens ÅHF var mest lønnsomt i bestand med liten variasjon i diameterfordelingen.

Naturmangfold

De viktigste kunnskapshullene i forskningen på lukkede hogstformer (LHF) og dets effekter på naturmangfold er knyttet til langtidsvirkninger (60–100 år), mens korttidsvirkninger (10–15 år) i noen grad er studert (Felton et al. 2024; Granhus et al. 2024; Koivula et al. 2025). I sin litteraturgjennomgang konkluderer Koivula et al. (2025) med at lukkede hogstformer, sammenlignet med åpne hogstformer (ÅHF), sannsynligvis vil være gunstig for arter som påvirkes negativt når kronetaket fjernes, som blåbær og tilknyttede arter (viktig mat for planteetere og fugler), samt arter som er avhengige av kontinuitet i vertstrær eller kronetak (for eksempel lavarter, som igjen støtter et rikt og mangfoldig insektliv, som er viktig næringsgrunnlag for fugler). Videre konkluderer de med at LHF fremmer mer artsrike og tallrike mykorrhizasamfunn sammenlignet med ÅHF, noe som er viktig siden slike sopper utgjør en stor andel av naturmangfoldet i boreale skoger.

Gjennomgangen til Koivula et al. (2025) peker også på forskjeller mellom de ulike lukkede hogstformene når det gjelder effekter på naturmangfoldet. Bledningshogst er trolig best egnet til å bevare majoriteten av artene som finnes i eldre skog, selv om de mest følsomme artene fortsatt kan gå tilbake eller forsvinne også ved bledning. Gruppehogst påvirker trolig spesialiserte arter som er avhengige av stabile og minst mulig påvirkede forhold relativt lite, men forekomsten av disse artene kan reduseres dersom åpningene blir store. Skjermrestillingshogst kan ligne bledningshogst i hvordan de ulike artene responderer, men over tid utvikler skogen seg gjerne mot et mer enaldret og glissent kronedekke, som ikke gir samme fordeler for naturmangfoldet som de øvrige lukkede hogstformene. Det er også viktig å merke seg at store levende og døde trær ikke automatisk vil være til stede i skoger forvaltet med lukkede hogstformer. Det bør derfor alltid etterlates store livsløpstrær og dødt trevirke fra ulike treslag for å bevare arter som er avhengige av slike strukturer, slik loven krever.

Ettersom det kreves større areal for å opprettholde samme avvirkningsnivå under LHF sammenlignet med ÅHF, og fordi LHF krever hyppigere hogstinngrep og flere skogs- og stikkveier, kan dette medføre økte markskader og mulige negative effekter på naturmangfold. På den annen side kan det også øke mulighetene for friluftsliv og rekreasjon (Felton et al. 2024; Granhus et al. 2024). Studier viser dessuten at skogsstrukturene som utvikles under LHF ofte kan gi høyere estetisk verdi, ettersom allmennheten foretrekker slike landskap med trær med varierende dimensjoner og uten flatehogst.

3.2 Forvaltning på eiendomsnivå

Her i seksjon 3.2 utvider vi fokuset fra enkeltbestand (seksjon 3.1) til eiendomsnivå, som omfatter flere bestand, veier, vannløp og andre stedsspesifikke elementer. På dette nivået avgjør skogeier eller forvalter når og hvor det skal hogges, hvordan ulike tiltak skal koordineres, og hvordan man best kan håndtere uforutsette forstyrrelser (f.eks. stormskader eller skadeinsekter), med mål om å ivareta økonomiske, økologiske og regulatoriske hensyn. Tabell 7 oppsummerer slike tiltak og viser hvordan de kan bidra til klimatiltak, klimatilpasning og andre skogøkosystemtjenester, samt mulige synergier eller konflikter mellom disse.

Forvaltning på eiendomsnivå integrerer økonomisk bærekraft, naturmangfold og klimamål ved å tilpasse tiltakene til lokale forhold og skogeiers målsetninger. Selv om denne skalaen er mindre omfattende enn regionale eller nasjonale rammer, dekker den flere miljøelementer enn enkeltbestand, som for eksempel myrer, veier og ulike bestandsstrukturer.

Denne seksjonen viser hvordan beslutninger på eiendomsnivå kan fremme klimasmart skogbruk gjennom økt karbonopptak og -lagring, styrket biomasse- og karbonlager, samt økt robusthet mot klimainduserte forstyrrelser. Nøkkelaktiviteter, som uttak av biomasse, romlig og tidsmessig hogstplanlegging, vannforvaltning og naturmangfoldstiltak, påvirker både produktivitet og stabilitet. Informerte valg kan øke tømmerinntektene, sikre bærekraftig foryngelse og støtte andre skogøkosystemtjenester, samtidig som risiko for skogbrann, skadeinsekter og jorderosjon reduseres.

Selv om fokuset her er på praktiske metoder, skjer forvaltning på eiendomsnivå innenfor rammen av nasjonal lovgivning, EUs direktiver, sertifiseringskrav og markedsforhold (beskrevet i kapittel 5). Skogeiers preferanser og samarbeid mellom eiendommer spiller også inn, og disse aspektene fremheves flere steder i teksten. Landskapsperspektivet utdypes videre i seksjon 3.3.

Nye studier av Patacca et al. (2023) viser at naturlige forstyrrelser i europeiske skoger har økt kraftig siden 1950, hovedsakelig som følge av klimaendringer. Dette understreker behovet for å justere høstingsstrategier for biomasse i lys av endrede forstyrrelsesmønstre, særlig i områder med høy eksponering for storm, tørke og skadegjørere.

I tillegg til tradisjonell skogbehandling krever slike nye utfordringer tilpasningsstrategier på eiendomsnivå. Som utdypet i seksjon 3.1, illustrerer økende barkbilleangrep, forsterket av klimaendringer, viktigheten av å integrere risikobasert skogforvaltning i beslutningsprosessene (se f.eks. Romeiro et al. 2025). Videre viser forskning at treprodukter spiller en viktig rolle i karbonlagring og i å erstatte mer klimabelastende materialer, og gir dermed et viktig bidrag til klimatiltak (Kallio et al. 2023). Nyere studier fremhever også potensialet i adaptive forvaltningsprogrammer som triade-modellen og funksjonelle komplekse nettverk, som fremmer strukturelt og artsmessig mangfold på bestand-, eiendoms- og landskapsnivå. Disse strategiene kan redusere risikoen for skader som følge av ekstremvær og biotiske stressfaktorer (Triviño et al. 2023).

Skogbehandling påvirker ikke bare økologiske forhold, men kan også få målbare økonomiske ringvirkninger for naboeiendommer. For eksempel fant Kim & Johnson (2002) at nærheten til skog øker verdien på naboeiendommer, men synlighet av flatehogst reduserer eiendomsverdiene.

Videre kan overvåking av multifunksjonalitet i skogbruk på eiendomsnivå styrkes gjennom bruk av indikatorer slik som identifisert i det pågående MoniFun-prosjektet (Muñoz et al. 2024). Disse indikatorene vil dekke sentrale skogøkosystemtjenester som biologisk mangfold, karbondynamikk og sosioøkonomiske funksjoner, og støtte datadrevet beslutningstaking i tråd med relevant EU-politikk og mål for bærekraftig skogforvaltning.

Skogeiernes beslutninger om hogst, foryngelse og investeringer påvirkes av både strukturelle forhold, økonomiske motiver og preferanser generelt, kunnskap, planlegging og eierkarakteristika. Eiendomsretten og forutsigbarhet i regelverket påvirker viljen til langsiktig investering i tiltak som fremmer klimatilpasning, karbonlagring og naturhensyn. Nedenfor følger noen sentrale momenter:

Eiendomsstørrelse og fragmentering: Skogeiere med større eiendommer har høyere sannsynlighet for å hogge (Bolkesjø & Baardsen 2002; Beach et al. 2005; Størdal et al. 2008; Bashir et al. 2020), mens hogstintensiteten per arealenhet kan være høyere på mindre, ofte produktive eiendommer (Bashir et al. 2020). Fragmentering og små teiger øker driftskostnader og transaksjonskostnader, noe som gir lavere aktivitetsnivå (Beach et al. 2005; Størdal et al. 2008).

Økonomiske mål, priser og skoginntekters betydning: Skogeiere som vektlegger finansielle mål og økonomisk sikkerhet har klart høyere hogsttilbøyelighet og leverer mer tømmer per arealenhet enn andre (Bashir et al. 2020). Når skoginntekten er marginal relativt til annen inntekt, øker sannsynligheten for at ikke-markedsmål (rekreasjon, naturhensyn) dominerer og at hogst utsettes (Beach et al. 2005; Petuccio et al. 2015).

Kunnskap, kompetanse og planlegging: Kjennskap til virkemidler og drift løfter aktiviteten. I Norge gir kunnskap om skogfond den største enkeltvise økningen i hogstsannsynligheten. Hyppige skogbesøk trekker i samme retning (Bashir et al. 2020). Skogbruksplaner/forvaltningsplaner er gjennomgående assosiert med mer aktiv forvaltning (Størdal et al. 2008; Bashir et al. 2020).

Eiertype, demografi og bosted/avstand: Yngre og nærboende eiere er oftere aktive; økt avstand reduserer viljen til å hogge (Bashir et al. 2020).

Tabell 7. Behov for klimatiltak (demping) og klimatilpasning på eiendomsnivå i klimasmart skogbruk.

Behov	Tiltak	Intensjon	Demping/ Tilpasning	Beslutningstaker
Uttak av biomasse etter forstyrrelser	Oppryddingshogst	Raskt uttak av tømmer etter forstyrrelser for å begrense økonomiske tap og redusere spredning av skadegjørere.	Tilpasning	Skogeier
	Sanitærhogst	Fjerning av infiserte eller høy-risiko trær for å hindre videre spredning og sikre helsen til gjenværende bestand.	Tilpasning	Skogeier, kan involvere kommune eller fylkeskommune
	Skogbrannhåndtering	Redusere brannrisiko gjennom for eksempel tynning og brangater, samt forbedre restitusjon etter brann ved jordvern og arealretensjon.	Tilpasning	Skogeier, kan involvere kommune eller fylkeskommune
Planlegging i rom og tid	Romlig hogstplanlegging	Organisere hogstmønstre for å redusere eksponering for naturforstyrrelser og beskytte viktige økologiske områder.	Tilpasning	Skogeier
	Adaptiv tilpasning av hogstalder	Justere hogstalder i takt med markedsforhold og klimarisiko.	Demping og tilpasning	Skogeier (styrt av marked og politiske insentiver)
	Langtidsovervåkning og overholdelse av regelverk	Overvåke skogtilstand og utvikling kontinuerlig for å sikre tilpasningsdyktighet og overholdelse av regelverk.	Demping og tilpasning	Skogeier
	Skogreisingsinitiativer og effekter	Øke inntekt og karbonopptak og -lagring og diversifisere arealbruk ved å etablere ny skog, med hensyn til økologiske kompromisser.	Demping og tilpasning	Skogeier; eventuelt støttet av insentivordninger
Skogsdrift og logistikk	Hogst	Optimalisere valg av hogstsystem og tidspunkt (årstid) for å redusere kjøreskader, erosjon, senke driftskostnader og forbedre naturlig foryngelse.	Demping og tilpasning	Skogeier, med teknisk/operasjonell støtte

Behov	Tiltak	Intensjon	Demping/ Tilpasning	Beslutningstaker
	Etablering av skogsbilveinett	Bygge eller oppgradere veier for å redusere hogstkostnader, sikre helårs tilgang og muliggjøre klimatilpassede operasjoner.	Demping og tilpasning	Skogeier, underlagt offentlige krav og insentiver
	Vedlikehold av skogsbilveinett	Sikre stabil tilgang og redusere miljøpåvirkning (f.eks. jorderosjon og vannforringelse) under uttak og transport.	Tilpasning	Skogeier
	Transportlogistikk	Optimalisere tømmertransport gjennom ruteplanlegging, sanntidssporing og multimodale løsninger for å redusere kostnader og utslipp.	Demping og tilpasning	Skogeier/ logistikkselskap
Bevaring av naturmangfold gjennom adaptiv forvaltning	Adaptiv forvaltning	Øke økosystemets robusthet og artsmangfold gjennom tilpasset skogbehandling.	Tilpasning	Skogeier med veiledning/insentiver fra myndigheter og sertifiseringssystemer
Hydrologisk forvaltning	Gjenoppretting av våtmarker	Heve grunnvannet i tidligere grøftede myrer for å gjenopprette karbonlager, stabilisere hydrologi og styrke økosystemfunksjoner.	Demping og tilpasning	Skogeier; offentlige myndigheter (inkl. Norges vassdrags- og energidirektorat og Statens vegvesen)

3.2.1 Skogbruksplanlegging

Aktører og roller i skogbruksplanlegging

Opplegget for skogbruksplanlegging med miljøregistreringer og utarbeidelse av skogbruksplaner i Norge er et viktig redskap for å skaffe informasjon om skogen både for det offentlige og den enkelte skogeier. Levetiden til en skogbruksplan varierer, men i de fleste tilfeller blir nye planer for et område utarbeidet for hvert tiende til femtende år. Landbruks- og matdepartementet og Landbruksdirektoratet har det overordnede ansvaret for skogbruksplanleggingen, mens de viktigste aktørene i prosessen for gjennomføring av et prosjekt (ofte for en kommune eller flere kommuner) er aktuell statsforvalter, aktuelle kommuner og en prosjektgruppe med blant annet representanter for skogeierne (Landbruksdirektoratet 2025). Det tilhørende takstarbeidet og utarbeidelse av selve skogbruksplanen blir gjort av produsenten (oftest planavdelingen i et skogeierandelslag) etter en utvelgelsesprosess med kravspesifikasjon/tilbud.

Staten gir tilskudd til den enkelte skogeier for å utarbeide skogbruksplan (omfatter både skog- og miljøinformasjon). I Forskrift om tilskudd til skogbruksplanlegging med miljøregistreringer (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-02-04-449>) stilles det derfor visse krav både til metodikk brukt i takstarbeidet og til innholdet i skogbruksplanen. Som takstmetode for trevirkeressursene blir det i de aller fleste tilfeller gjort fjernmåling med flybåren laserskanning og systematiske prøveflatetakster (målinger i felt) for å skaffe til veie nødvendige grunnlagsdata. Miljøregistreringene er basert på gjeldende MiS-instruks der kriterier for utforming av arealer med livsmiljøer er spesifisert. Registreringsmetodikken er basert på forskning som viser sammenhenger mellom arter og livsmiljøer for arter, og fra 2017 er Natur i Norge (NiN) sitt type- og beskrivelsessystem tatt i bruk ved kartleggingen (<https://artsdatabanken.no/naturtyper/natur-i-norge/kartlegging-etter-nin>).

Krav til skogbruksplanen i dag

I en standard skogbruksplan skal det utarbeides et kart over skogeiendommen inkludert en inndeling i bestand og infrastruktur i form av veier, stier, grenser og terreng. All informasjon som er registrert eller beregnet skal være stedfestet og knyttet til bestand. For det enkelte bestand skal følgende informasjon være tilgjengelig: areal, hogstklasse, bonitet, volum fordelt på treslag, alder, volumtilvekst og miljøverdier knyttet til biologisk mangfold, landskap, friluftsliv og kulturminner. I tillegg skal skogbruksplanen omfatte følgende informasjon for areal for hele eiendommen: totalt areal fordelt på markslag, produktivt skogareal fordelt på boniteter og hogstklasser, volum fordelt på treslag, boniteter og hogstklasser, volumtilvekst og produksjonsevne.

I tillegg til de pålagte kravene i skogbruksplanen kan skogeier velge å ta inn mer informasjon og funksjonalitet i skogbruksplanen for å tilpasse den mest mulig til egne behov og kompetanse. Dette innebærer ekstra kostnader avhengig av hvilke produkter/funksjonaliteter som velges. Eksempler på slike produkter er forslag om skogbehandling i bestand (automatiserte eller basert på ekstra markbefaring, ofte i form av «må», «bør» eller «kan») og forslag om årlig gjennomsnittlig avvirkningskvantum på eiendomsnivå for neste 10-årsperiode basert på prognoser. Skogeier kan også velge å få skogbruksplanen på en digital plattform. På slike plattformer gis det også mulighet for ajourføring av alder, hogstklasse, volumtilvekst/stående volum og gjennomførte tiltak. Ajourføring kan gjøres av skogeier selv eller den kan settes bort til produsenten av skogbruksplanen.

Bruk av data fra skogbruksplaner

Data som framkommer i skogbruksplanen, danner selvsagt et helt sentralt grunnlag for beslutninger om skogforvaltning som skogeier må ta på bestandsnivå (seksjon 3.1) og eiendomsnivå (seksjon 3.2). I tillegg er statsforvalteren, kommunen, NIBIO, Landbruksdirektoratet og Jordskifterettene sikret tilgang til egenskaps- og kartdata fra skogbruksplanen og miljøregistreringene som grunnlag for forvaltning og beslutninger på landskaps-, regionalt og nasjonalt nivå (se seksjon 3.3.). Dette er viktige data og informasjon i forbindelse med ulike tiltak i skogbruket (i henhold til sertifisering, lover, forskrifter mm). Dataene brukes også til utforming av statistikk, forskning og oppfølging av virkemiddelbruk. Også skogeierandelslagene får tilgang til dataene dersom skogeier aktivt gir tillatelse ved bestilling av skogbruksplan (Landbruksdirektoratet 2025). Skog- og miljødataene er samlet i sentrale databaser som forvaltes av NIBIO, se blant annet i Kilden – Skogportalen: (<https://kilden.nibio.no/?topic=skog-portal&zoom=0&x=383375&y=7219344&bgLayer=graaone>), der detaljerte skog- og miljødata presenteres som kartfigurer.

Skogbruksplan med forslag til klimaforvaltning inkludert

Skogeieren bør ideelt sett ha en oppdatert skogbruksplan med klimaforvaltning inkludert, som strekker seg mange tiår fram i tid. En standard skogbruksplan slik den foreligger i dag har strengt tatt ingen elementer som direkte peker mot klimasmart skogbehandling. Den inneholder stort sett bare en beskrivelse av nåværende tilstand for alder, volum og treslagsfordeling i bestand, mens eventuelle forslag til skogbehandling har en helt tradisjonell orientering mot volumproduksjon og inntekt. Selv om dagens skogbruksplan selvsagt indirekte kan brukes som grunnlag for beslutninger i retning av et klimasmart skogbruk er det få konkrete forslag om skogbehandling som peker i retning av klimatiltak og klimatilpasning.

Noen eksempler på elementer som kunne inkluderes i skogbruksplanen er:

- For å illustrere synergier og avveininger mellom ulike målsettinger (jmf. Figur 6): En generell beskrivelse av behandlingsprogrammer i bestand over et omløp der for eksempel hovedprioriteringen er på klimatiltak (øke karbonopptak og -lagring), klimatilpasning (minske naturlige forstyrrelser) og lønnsomhet.
- Langsiktige scenarier (prognoser) på eiendomsnivå med for eksempel hovedprioriteringen på klimatiltak (øke karbonopptak og -lagring), klimatilpasning (minske naturlige forstyrrelser) eller lønnsomhet (jmf. Romeiro et al. (2025), Strîmbu et al. (2023), (2025)).
- En kvantifisering av karbonopptak og -lagring for bestand og skogeiendom utfra dagens skogtilstand (basert på volumtilvekst og stående volum for bestand og eiendom som eksisterer i dagens skogbruksplan).
- Markfuktighetskart for å identifisere potensielle tørkeskader på skog eller driftsutfordringer (eksisterer allerede hos noen produsenter av skogbruksplaner).
- Kart for driftsveganalyser (eksisterer allerede hos noen produsenter av skogbruksplaner).
- Temakart for potensielle arealer (bestand) der skogskader er sannsynlig (sårbarhetskart for vind-, snø-, barkbille- eller råteskader).
- Temakart for potensielle arealer (bestand) der treslagsskifte er aktuelt.

Noen av disse forslagene kan relativt enkelt iverksettes, mens andre krever mer forskning og utvikling av funksjonalitet/programvare. Det vil også være spørsmål om slike elementer av klimaforvaltning i skogbruksplanen skal være «obligatoriske» (på linje med miljøregistreringer) eller «frivillige» (skogeier tar kostnaden). Alt dette tilsier at en implementering av «skogbruksplan med klimaforvaltning» krever

en prosess der departement og direktorat tar ledelsen og involverer planavdelingene i skogeierandelslagene, skogeiere og forskere.

3.2.2 Uttak av biomasse etter forstyrrelser

3.2.2.1 Oppryddingshogst og sanitærhogst

Naturlige forstyrrelser, inkludert stormer, insektutbrudd, tørkerelatert skogdød og skogbranner, utgjør betydelige miljømessige utfordringer for forvaltning på eiendomsnivå. Slike hendelser kan redusere kortsiktig tømmeruttak, og påvirke langsiktig skoglig motstandskraft og karbonlagring. Av denne grunn bør fjerning av biomasse etter forstyrrelser planlegges strategisk for å ivareta økologisk gjenoppretting og samtidig opprettholde økonomien. Slik målrettet oppryddingshogst, utført i tråd med sertifiseringskravene, bidrar til å forhindre sekundær skade (f.eks. barkbilleangrep), minimere tap av habitat og beskytte jordsmonnet, og dermed redusere risikoen for framtidige forstyrrelser.

Behovet og omfanget av biomasseuttak avhenger av flere faktorer, inkludert type og alvorlighetsgrad av forstyrrelsen, potensial for ytterligere skade, og de rådende lokale forholdene. For eksempel skaper vindfall ofte ideelle forhold for barkbiller, noe som kan føre til sekundære angrep dersom de ikke håndteres. Studier har vist at rask fjerning av stormfelte eller svekkede trær kan bidra til å dempe utviklingen i slike utbrudd, særlig i granbestand som er sårbare for barkbilleangrep (Hanssen et al. 2019).

Den økende trusselen fra barkbiller, forsterket av klimaendringer, understreker derfor viktigheten av å integrere risikobaserte forvaltningsmodeller i beslutningsprosesser (Romeiro et al. 2025). Klimaframskrivninger antyder at regioner som Vestfold, som historisk har vært utsatt for barkbilleutbrudd, vil oppleve økt risiko som følge av høyere temperaturer og tørkestress. Tilpasningsstrategier som blandings-skog og lavere hogstalter er viktige for å redusere disse truslene, jf. seksjon 3.1.

Snøskader utgjør en betydelig abiotisk forstyrrelse, særlig i boreale skoger i Norden. Tilpasningsdyktig forvaltning kan øke motstandsdyktigheten mot slike skader, slik det er vist i Sørøst-Norge, der kontroll av bestandstetthet i foryngelses- og ungskogfaser øker motstanden mot snølast og reduserer årlig skadehyppighet (Strimbu et al. 2025). Videre har avanserte teknologier som UAV-baserte bilder og flybåren LiDAR vist seg effektive for å oppdage og kartlegge snøskader på individuelt trenivå (Puliti & Astrup 2022; Rätty et al. 2024). Slike verktøy støtter målrettet forvaltning ved å effektivisere oppdagelse av forstyrrelser og styrke beslutningsgrunnlaget etter hendelser.

Effekten av oppryddingshogst som tiltak mot sekundære forstyrrelser er imidlertid omdiskutert. Leverkus et al. (2021) påpeker at selv om slik hogst kan redusere mengden brennbart materiale og noen forstyrrelsesrisikoer, kan det også føre til økt småbrensel på bakken, forverre mikroklimatiske forhold og utilsiktet øke sårbarheten for nye forstyrrelser. De argumenterer for et beslutningsrammeverk som balanserer økonomisk gjenoppretting med økologisk motstandskraft, og anbefaler delvis bevaring av dødt virke for å støtte biologisk mangfold og stabilitet i økosystemet.

Karbonbalansen ved biomasseuttak etter forstyrrelser er også gjenstand for debatt. Selv om oppryddingshogst i enkelte tilfeller kan redusere fremtidig karbonutslipp ved å forhindre nye skader (f.eks. insektsangrep eller ytterligere vindfall i svekkede bestand), reduserer det samtidig karbon lagret i død ved og jordas nedbrytingsmateriale.

Behovene til mange skogavhengige arter, inkludert sopp, virvelløse dyr og hulerugende fugler, som er avhengige av død ved, må tas i betraktning. Studier har vist at moderat tilbakehold av stående døde trær og grove nedfalne stammer kan gi betydelig økning i biologisk mangfold og samtidig tillate et produktivt skogbruk (Lindenmayer & Noss 2006). Dette er særlig relevant i boreale og tempererte

skoger, hvor stammer under nedbrytning fungerer som fuktighets- og næringsreservoarer og fremmer foryngelse.

Samarbeid mellom naboer kan øke effektiviteten og den økologiske effekten av biomasseuttak, jf. seksjon 3.3 for slike landskapseffekter. Videre kan tradisjonell og lokal økologisk kunnskap bidra til mer økologisk følsom forvaltning (Crowley et al. 2019), for eksempel ved å sikre viktige habitat og andre skogøkosystemtjenester.

Timing av oppryddingshogst er også viktig, og regulert i sertifiseringsordningene. Uttak under frost og i tørre perioder reduserer jordpakking og hjulspor, mens hogst i fuktige perioder kan skade jordstrukturen og redusere langsiktig produksjonsevne (Han et al. 2006). Å la en del av biomassen, som stokker og greiner, bli liggende strategisk plassert kan bidra til å stabilisere mikroklimaet, redusere erosjon og støtte naturmangfold.

3.2.2.2 Skogbrannhåndtering

Skogbranner er i ferd med å bli en alvorlig miljøutfordring i boreale og tempererte skoger, der klimaendringer intensiverer tørke og øker brannfaren. Selv om branner historisk har vært sjeldnere i Norden, fører høyere temperaturer, endret skogstruktur og lengre tørkeperioder til at behovet for helhetlig brannrisikohåndtering vokser. Brannrisiko kan reduseres ved å fjerne brennbart materiale som dødt virke og kvist, plante mer artsrike og robuste skoger og anlegge hensiktsmessige branngater. Etter brann bør noe forkullet virke bli liggende, da det kan danne et habitat, og støtte regenerering.

Økende brannfare i nordlige skoger skyldes hovedsakelig klimainduserte endringer i temperatur og nedbør. Varme forhold forlenger brannsesongen, mens langvarig tørke og økt fordampning gjør biomasse mer lettantennelig. Samtidig bidrar menneskelige aktiviteter, som hogst, veibygging og økt friluftsliv, til økt risiko for antennelse, noe som forsterker behovet for samordnede tiltak.

Etter at en skogbrann er slukket, er restaurering viktig for å gjenopprette økosystemfunksjoner og hindre degradering. Brannskadde områder er særlig sårbare for erosjon og hydrologisk ustabilitet, og bør stabiliseres raskt. Rasktvoksende bakkedekke og erosjonskontrolltiltak, som flisdekke, kan redusere avrenning og bevare jordfuktighet. Man må imidlertid huske å oppfylle følgende sertifiseringskrav: «Ved skogbranner i eldre skog der mer enn 5 dekar er brannpåvirket, skal 5 dekar av de mest biologisk verdifulle områdene med brannpåvirket skog pr. eiendom settes igjen urørt i 10 år. Ved skogbranner i eldre skog på arealer mindre enn 5 dekar settes hele arealet igjen urørt i 10 år» (PEFC 2022).

Oppryddingshogst etter brann brukes ofte for å ta ut økonomiske verdier og forberede planting. For stort uttak kan imidlertid føre til degradering. Ibáñez et al. (2022) viser at høy brannintensitet reduserer frøspiring ved å ødelegge organisk materiale og jordbiota, mens lav intensitet fremmer mikroorganismer som støtter naturlig foryngelse av bartrær. Derfor bør noe forkullet biomasse bli liggende for å fremme gjenetablering av mikrobiell aktivitet og sunn skogutvikling (jf. seksjon 3.2.2.1).

Gjenoppetting av skogdekke etter brann i Norge kan baseres på naturlig foryngelse, særlig av bjørk, furu og gran. Der produksjonsmålene tilsier det, kan det gjennomføres nyplanting med egnede treslag, men dette er mindre vanlig enn i mer brannutsatte regioner. Å fremme blandingsskog kan øke robustheten mot framtidige forstyrrelser, inkludert brann. Overvåking etter brann av foryngelse, jordforhold og økosystemutvikling gir verdifull kunnskap for å forbedre skogforvaltningsstrategier i et klima i endring.

3.2.3 Planlegging i rom og tid

Romlig og tidsmessig planlegging på eiendomsnivå er viktig for å forvalte skogressurser på en bærekraftig måte, samtidig som økonomiske, miljømessige og klimarelaterte mål ivaretas. Ved å god planlegging av hogstflater, plassering av skogsbilveier og tynningstidspunkter, kan skogforvaltere sikre at skogeierens mål, som å opprettholde habitatkontinuitet eller maksimere karbonlagring, integreres effektivt med langsiktig økologisk stabilitet. God planlegging av skogbrukstiltak over tid bidrar også til å redusere risiko for forstyrrelser (som vindfall eller insektsangrep) og fremmer sunn foryngelse under ulike voksestedsforhold.

For å nå disse målene må skogforvaltning på eiendomsnivå integrere romlige prinsipper som regulerer hvor og hvordan tiltak gjennomføres, f.eks. hogst, sammen med tidsmessig planlegging som avgjør når inngrepene er mest effektive. Meilby et al. (2001) understreker betydningen av å innlemme risikofaktorer i forvaltningsmodeller, da dette kan ha stor effekt på tømmeruttak og karbonlagring. Ved å inkludere slike risikoelementer blir planene mer robuste og tilpasningsdyktige overfor både økologiske og økonomiske usikkerheter. Se seksjon 2.4.2 for en bredere analyse av risiko.

Videre kan bruk av avanserte beslutningsstøttesystemer, digitale skogbruksverktøy og adaptive forvaltningsrammer hjelpe skogeiere med å optimalisere arealbruken, samtidig som de sikrer langsiktig produktivitet.

Suvanto et al. (2025) viser at bestandstilstanden, inkludert treslagsfordeling, aldersstruktur og grunnflate, har stor betydning for når og hvor intensivt det høstes, men regionale praksiser gir ytterligere variasjon. Deres analyse av europeiske skogdata viser at hogstmønstre varierer betydelig mellom regioner. For eksempel er det vanligere med hyppige, lavintensive hogster i Øst-Europa, mens nordlige områder ofte praktiserer sjeldne, men mer intensive inngrep. Slike forskjeller skyldes nasjonale retningslinjer, økonomiske insentiver, kulturelle preferanser og regulatoriske rammer.

Derfor er det viktig å forstå den sosioøkonomiske konteksten til skogeierne for å oppnå god planlegging. Joshi (2007) påpeker at egenskaper ved ikke-industrielle private skogeiere, som alder, utdanning og inntekt, har stor betydning for hvilke forvaltningsbeslutninger som tas. Crowley et al. (2019) og Grøndahl (2025) fremhever også betydningen av skogeierengasjement og tilgang på rådgivning. Skogeiere som søker faglig veiledning og deltar i kollektive tiltak, er mer tilbøyelige til å innføre bærekraftige praksiser. Dette er særlig relevant i Norge, der de fleste skogeiere er medlemmer i et skogeierandelslag.

3.2.3.1 Romlig hogstplanlegging

Den romlige plasseringen av hogstflater på en skogeiendom spiller en viktig rolle i å redusere klimarisiko og optimalisere ressursutnyttelse. Dårlig planlagte tiltak kan øke sårbarheten for vindfall, insektsangrep, brannfare og forstyrrelser i vannhusholdningen. I motsetning til dette kan gjennomtenkt romlig planlegging styrke økosystemets stabilitet og legge til rette for effektiv foryngelse. Flere nøkkelstrategier kan støtte dette målet.

Skogforstyrrelser påvirkes sterkt av bestandets struktur og forvaltningspraksis (Seidl et al. 2007). Å redusere sårbarhet for kjedereaksjoner av forstyrrelser krever nøye vurdering av bestandets utviklingsdynamikk, særlig i regioner med høy risiko. Strategier som ivaretar strukturelt mangfold og øker skogens robusthet på eiendomsnivå, kan bidra til å balansere tømmerproduksjon og langsiktig økosystemstabilitet.

Fremskritt innen GIS-basert romlig modellering og beslutningsstøtte har revolusjonert skogforvaltningen ved å muliggjøre mer presis og tilpasningsdyktig planlegging. Teknologier basert på geodata gjør det mulig å inkludere terrengdata, jordstabilitet og naturmangfold i utformingen av

hogstflater, slik at tiltakene blir miljømessig forsvarlige. Videre kan bruk av fjernmåling og LiDAR-skanning gi skogforvaltere mulighet til å justere hogstplaner raskt basert på data om tilvekst, jordfuktighet og forstyrrelsesmønstre (Baskent et al. 2024). Romlig sonering er også nyttig for å prioritere risikoområder for tilpasningsforvaltning og håndtere sårbarhet før den utvikler seg til større problemer.

Fremskritt innen simuleringsmodeller, som GAYA 2.0, har gitt robuste verktøy for planoptimalisering. Dette verktøyet, utviklet for norske forhold, integrerer detaljerte moduler for karbonflyt med økonomiske vurderinger, slik at scenarioanalyser kan balansere karbonopptak med lønnsomhet (Strîmbu et al. 2023). Submodeller for barkbille- og snøskader er også integrert i GAYA 2.0, og muliggjør risikovurdering knyttet til naturforstyrrelser (Romeiro et al. 2025; Strîmbu et al. 2025).

Å ta høyde for risiko og usikkerhet i planleggingen er særlig viktig for å redusere konsekvensene av naturforstyrrelser. Nyere studier viser at deterministiske modeller ofte undervurderer variasjon i vind- og snøskader, noe som gir suboptimale anbefalinger. For eksempel fant Eyvindson et al. (2024) at feilaktige forutsetninger om vindstyrke og frekvens kan endre optimale hogstintervaller betydelig og dermed påvirke stabiliteten i tømmerinntektene. Lignende forskning av Eyvindson et al. (2023) og Hunault-Fontbonne & Eyvindson (2023) viser fordelene ved stokastiske metoder som inkluderer risikoscenarier i planleggingen. Dette gjør det mulig å utvikle tilpasningsstrategier som balanserer økonomiske mål med robusthet mot forstyrrelser. Slike sannsynlighetsbaserte risikovurderinger kan derfor gjøre forvaltningen mer fleksibel og mindre sårbar, både økonomisk og økologisk.

I tillegg til planlegging og modellering av hogst, er det forventet økende behov for å brannsikre landskapsdesign i møte med klimaendringer. En strategi er å øke andelen lauvtrær i bartredominerte skoger for å redusere brennbarheten og dermed redusere faren for brannspredning. Å bevare naturlige branngater og lavbrennstoffsoner gjennom selektiv tynning eller blandingsplantinger kan også vurderes.

3.2.3.2 Adaptiv tilpasning av hogstalter

Tidsmessig planlegging styrer tidspunktet for hogst, tynninger og skogkulturtiltak, og skal sikre at tømmerproduksjonen samsvarer med både markedsdynamikk og økologisk bærekraft. Ved å tilpasse skogforvaltningen til klimavariasjoner og økonomiske forhold over tid, kan skogeiere sikre avkastning og samtidig opprettholde skogens helse. Flere tilnærminger kan støtte effektiv tidsplan-legging.

Et viktig hensyn er balansen mellom jevn produksjon og markedsorientert hogststrategi. Jevn produksjon innebærer stabile uttak (i m^3) over tid, noe som gir kontinuerlige inntektsstrømmer og forutsigbare foryngelsesykluser. Denne strategien prioriterer forutsigbarhet. Markedsstyrt hogst, derimot, utnytter svingninger i tømmerpriser, slik at skogeieren kan tjene mer ved å reagere på gunstige markedssignaler.

Et annet viktig aspekt ved tidsplanlegging er valg av hogstalter (jf. seksjon 3.1.1.4). Hogstalteren bør tilpasses treslagsfordeling, bonitet, tømmerpris, karbonopptak og -lagring, samt eksponering for klimarelaterte risikoer. I områder med høy risiko for stormskader eller insektsangrep, kan lavere hogstaltere og tidlig tynning redusere sårbarhet..

3.2.3.3 Langtidsovervåkning og overholdelse av regelverk

Effektiv eiendomsbasert forvaltning for klimatilpasset og klimasmart skogbruk vil kreve kontinuerlig overvåking for å følge med på endringer i skogdynamikk og karbonlagring og sikre samsvar med sertifiseringskravene. Periodiske vurderinger av karbonopptak gjør det mulig å justere hogstintensitet og hogstalter i tråd med målsettingene. Dette vil imidlertid vanligvis kreve økonomiske insentiver.

Rørstad (2022a) viser at når både tømmer og karbonopptak og -lagring tillegges en økonomisk verdi, avgjør prisforholdet hvilken strategi som er mest lønnsom. Dersom verdien av karbonopptak overstiger verdien av tømmeret per kubikkmeter, blir det mer lønnsomt å øke stående volum. Analysen indikerer at med dagens karbonpriser vil redusert hogstnivå ofte være mer gunstig sett i et nåverdiperspektiv.

Man kan også inkludere indikatorer for naturmangfold på eiendomsnivå. Slike indikatorer bidrar til å følge utviklingen i artsmangfold, habitatkvalitet og økosystemhelse, og sikrer at økologiske mål oppfylles parallelt med produksjonsmål.

I tillegg til miljøovervåking er det viktig med samsvar med nasjonale skogstandarder. Data fra Landsskogtakseringen gir verdifull innsikt i skogrelaterte variabler. Slike data støtter kunnskapsbasert beslutningstaking og gjør det mulig å tilpasse tiltak til lokale forhold og overordnede miljøtrender.

Finstad (2025) har undersøkt hvordan kommunene får tilgang til informasjon om planlagte hogster, og i hvilken grad dagens varslingsrutiner gir en reell forvaltningsmessig oversikt. Studien viser at mange kommuner mangler systematisk informasjon om når og hvor hogst skal gjennomføres, noe som svekker deres evne til å følge opp miljøkrav og samordne arealinteresser. Funnene indikerer også at dagens digitale meldingssystemer og skogbrukslovens meldeplikt ikke alltid sikrer god nok informasjonsflyt mellom skogeiere, skogbruksmyndigheter og kommunal planforvaltning. Et mer helhetlig og digitalt koordinert varslingsystem vil kunne støtte både klimatilpasning, ressursplanlegging og overvåking av økosystemtjenester på tvers av eiendomsgrenser.

Romlig og tidsmessig planlegging bør også ta hensyn til albedoeffekter, ettersom endringer i skogdekke påvirker jordoverflatens refleksjonsevne. Ramtvedt et al. (2024) viser at boreal albedo er særlig følsom for trehøyde, krontetthet og treslagsfordeling. Likevel finner Bright et al. (2024) at bare rundt 4 % av Norges skoger i dag har negative albedoeffekter store nok til å motvirke fordelene ved karbonopptak og -lagring, og dette tallet ventes å synke til under 1 % i fremtiden. Rørstad (2022a) viser også at albedoens nedkjølende effekt ved hogst kun tilsvarer 1,3 % av Norges samlede utslipp av drivhusgasser, mens karbonlageret i stående skog er mer enn 40 ganger større. Albedoeffekter har derfor begrenset innvirkning på optimal skogforvaltning i Norge.

Det er også viktig å ta i bruk moderne teknologi i romlig og tidsmessig planlegging. Wang et al. (2025) anbefaler bruk av smartsensorer og KI-baserte modeller for å forbedre presisjonen i beslutningene. Slike verktøy gjør det mulig å gjennomføre scenarioanalyser, slik at skogeiere kan ta hensyn til klimaeffekter og justere strategiene sine proaktivt, noe som øker skogens motstandsdyktighet og karbonopptak.

Økonomiske insentiver kan spille en viktig rolle i langsiktige beslutninger om skogforvaltning på eiendomsnivå. For eksempel kan CO₂-kvoter, finansiert av private kjøpere eller gjennom karbonavgifter, stimulere til etablering og vedlikehold av verneområder, og dermed forene økonomiske og miljømessige mål (Nabuurs et al. 2017). Foreløpig finnes det få slike initiativer i Norge. Se kapittel 5 for en oversikt over politiske virkemidler.

3.2.3.4 Skogreisingsinitiativer og effekter

Skogreising kan være både klimatiltak og klimatilpasning. Ved å plante trær i åpne, tidligere uproduktive eller dårlig naturlig foryngede områder, kan man gjøre lite utnyttede eller degraderte arealer til produktive skogbestand, og dermed forbedre økologiske funksjoner. Søgaard et al. (2019) viser at planting av gran på gjengrodde beitearealer eller tidligere ubevokst mark kan øke karbonlager både i biomasse og jord betydelig. Dette styrker skogens evne til karbonopptak, men kan også redusere naturmangfold. Det potensielle arealet for skogreising i Norge er beregnet til om lag 9,6 millioner dekar, tilsvarende rundt 12 % av dagens produktive skogareal, og representerer en tilsvarende

utnyttet mulighet for karbonopptak og -lagring, selv før man tar med i beregningen substitusjonseffekter fra treprodukter (jf. seksjon 4.2). Man må imidlertid være klar over at sertifiseringsordningene er ganske restriktive når det gjelder skogreising, og særlig med tanke på valg av treslag.

Fordeelene ved skogreising handler ikke bare om karbon. Tettere og mer strukturerte skogbestand kan forbedre mikroklimaet og styrke habitatkorridorer, noe som er viktig for mange arter. Å inkludere skogreising i eiendomsforvaltning er derfor viktig for å bygge mer robuste og sammenhengende skoglandskap. Dette bidrar til å møte langsiktige økologiske utfordringer under skiftende klima.

Som en del av strategier for klimasmart skogbruk tilbyr skogreising konkrete tiltak for å styrke skogens helse og økologiske integritet, samtidig som bredere mål som karbonopptak og -lagring og naturmangfold fremmes. I tillegg til miljømessige gevinster, kan skogreising gi økonomiske fordeler og samarbeids-muligheter for lokalsamfunn og skogeiere.

Samtidig fører årlig avskoging som følge av utbygging, veier osv. (0,05 % av skogarealet, ca. 58 km²) til et tap på omtrent 0,55 millioner tonn karbon (ca. 2 millioner tonn CO₂) i stående biomasse. Dette engangsutslippet tilsvarer omtrent 4 % av Norges samlede utslipp av CO₂ i et gjennomsnittlig år, og rundt 11 % av det netto karbonopptaket skogen gir årlig. Det er viktig å være klar over at ifølge EUs LULUCF-regelverk (jf. seksjon 5.3), telles hvert hektar som tas ut av skog som et utslippsbidrag i 20 år. Hvert ekstra hektar låser dermed Norge til en langsiktig forpliktelse om å kompensere for tapet.

Mesteparten av arealtapet i skog skyldes utbygging av infrastruktur, inkludert bygninger, veier og høyspentlinjer. Selv om avskoging er et problem, er en viktig svakhet ved dagens skogbruk i Norge den lave andelen avvirkede arealer som blir forynget tilfredsstillende: Kun rundt 78 % av arealene forynget tilfredsstillende (Landbruksdirektoratet (2024a)). Som Sevillano et al. (2025) fremhever, har intensiveringstiltak som økt planting, tettere bestand, bruk av foredlet plantemateriale, gjødsling og ungskogpleie potensial til å øke karbonopptaket betydelig på lang sikt. Å styrke foryngelsesinnsatsen er derfor viktig for å realisere skogens fulle potensial i klimaarbeidet.

3.2.4 Skogsdrift og logistikk

Effektiv koordinering av skogsdrift og logistikk er viktig for å sikre at forvaltningstiltak både gir økonomisk effektivitet og klimamessig robusthet. Denne seksjonen integrerer viktige momenter fra tabell 7, og omhandler hogst, etablering og vedlikehold av skogsbilveinett, samt transportlogistikk. Beslutninger på disse områdene er gjensidig avhengige; for eksempel vil valg av hogstmetode påvirke markas tilstand, skogsveienes funksjon og til slutt effektiviteten i tømmertransporten.

Hogst

Optimalisert hogst er sentralt for effektivt uttak av tømmer samtidig som miljøverdier bevares og foryngelse sikres i tråd med sertifiseringsordningen. Strategier inkluderer både valg av metoder og tidspunkt for tiltak. De viktigste tilnærmingene omfatter:

- **Bledningshogst, gruppehogst eller skjermrestillingshogst innenfor lukkede hogstformer (LHF):** Gradvis fjerning av enkelttrær, små grupper eller skjermtrær (jf. seksjon 3.1.2) fremmer naturlig foryngelse og opprettholder strukturelt mangfold, samtidig som kronedekket bevares. Ettersom LHF innebærer kortere hogstintervaller enn for åpne hogstformer, må maskiner inn i bestanden flere ganger over tid. Dette øker risikoen for kjøreskader, jordpakking og markskader, særlig på våte eller sensitive arealer. Operative planer må derfor følge sertifiseringskravene og begrense trafikk til forhåndsplanlagte kjøretraseer og bruke maskiner med lavt marktrykk eller vinsj/kabel der det er hensiktsmessig

- **Flatehogst med varierende livsløpsbevaring:** Hovedtyngden av trærne hogges, men viktige elementer (livsløpsarealer) bevares for å opprettholde habitatstruktur og økosystemfunksjoner (jf. seksjon 3.1.1 om åpne hogstformer).
- **Sesongtilpasset hogst:** Tiltak i utsatte områder med dårlig bæreevne planlegges til gunstige tider, for eksempel vinterhogst på frossen mark, for å redusere jordpakking og soppangrep. Williamson & Neilsen (2000) viser at jordfuktighet har stor innvirkning på jordas sårbarhet for komprimering.

Etablering av skogsbilveinett

Et godt planlagt skogsbilveinett er viktig for tilgang til hogstmodne bestand samtidig som økologiske inngrep minimeres. Tiltak inkluderer:

- **Planlegging i samsvar med sertifiseringskrav.**
- **Strategisk rutevalg:** Terreng- og hydrologidata brukes til å unngå økologisk sensitive områder og minimere forstyrrelser av jord og vannsystemer. Planleggingen inkluderer også hensyn til fremtidige behov som beredskap og tømmeruttak etter forstyrrelser.
- **Infrastrukturdesign:** Dreneringsløsninger som stikkrenner og vannavledningssystemer integreres i veibygging for å motvirke erosjon og håndtere avrenning.

Vedlikehold av skogsbilveinett

Etter etablering er vedlikehold viktig for å opprettholde funksjon og beskytte tilstøtende skog. Viktige tiltak:

- **Jevnlig planering:** Holder veidekket jevnt for å redusere hjulspor og jordpakking.
- **Effektiv drenering:** Vedlikehold av strukturer som stikkrenner og vannavledere for å forhindre erosjon.
- **Sesongtilpasninger:** Midlertidig stengning eller vektbegrensninger i våte perioder for å redusere slitasje og miljøskader.

Vedlikehold forlenger veikapasiteten, støtter effektiv tømmertransport og reduserer negative miljøeffekter som sedimentavrenning til vassdrag.

Transportlogistikk

Effektiv transportlogistikk sikrer at tømmer når frem til sagbruk eller marked på en kostnadseffektiv og miljømessig ansvarlig måte. Viktige komponenter:

- **Optimaliserte kjøreruter:** Bruk av beslutningsstøttesystemer og sanntidssporing for å planlegge effektive ruter fra bestand til velteplass, noe som reduserer kjøreavstand og drivstofforbruk. Flisberg et al. (2021) viser at god ruteplanlegging kan redusere både kostnader og miljøpåvirkning.
- **Multimodal integrasjon:** Kombinasjon av lastebiltransport med tog eller lekter der det er mulig, for å redusere utslipp og energibruk.
- **Samordnet tidsplanlegging:** Koordinering av uttak for å minimere ventetid og optimalisere ressursbruk.
- **I Norge selges tømmer normalt ved bilveg (Incoterms):** EXW/FAS, og transportlogistikken håndteres av kjøper eller skogeierandelslag. Viktige hensyn inkluderer optimalt rutevalg, sporing av kjøretøy i sanntid og bruk av multimodale løsninger.

3.2.5 Bevaring av naturmangfold gjennom adaptiv forvaltning

Tilpasningsdyktig (adaptiv) skogforvaltning på eiendomsnivå må ta hensyn til naturmangfold for både økologisk robusthet og langsiktig lønnsomhet. Bevaring av artsmangfold og habitatstruktur gir ikke bare økologiske gevinster, men også praktiske fordeler som bedre naturlig foryngelse og redusert sårbarhet for skadedyr og ekstremvær.

Variert treslagsfordeling er et viktig risikoreduserende tiltak. Når én art rammes av skade, gir blandingsbestand en buffer. De tåler forstyrrelser bedre enn monokulturer og kan bevare større volum og verdi etter for eksempel barkbilleangrep (Romeiro et al. 2025). Å blande for eksempel furu og gran kan redusere økonomiske tap under billeangrep og samtidig produsere tømmer med markedsverdi. Tiltaket virker også stabiliserende ved plutselige prisfall. Sertifisering krever at skogeiere vurderer slike løsninger.

Bledning kan redusere risikoen for bestandskollaps i et klima i endring. Selv beskjedne investeringer i mangfold og tilpasningsevne kan gi avkastning gjennom jevnere tømmerproduksjon, økt karbonlagring og inntekter fra økosystemtjenester. Samlet sett fungerer tiltak som artsmangfold, kantsoner og eldre skogelementer som effektive risikoreduserende strategier. De kan bidra til stabil kontantstrøm og økt langsiktig avkastning. Skogeiere som tar i bruk slike løsninger på en adaptiv måte kan styrke både økologisk bærekraft og sin evne til å møte klimaendringer, reguleringer, prisendringer og krav til produktivitet.

3.2.6 Hydrologisk forvaltning

Historisk ble det etablert omfattende kunstige dreneringsnettverk i nordiske skoger for å øke tilvekst og forbedre lufttilførselen i jorda. Bare i Sverige ble det gravd over én million kilometer grøfter for å øke tømmerproduksjonen (Laudon et al. 2022; Laudon & Maher Hasselquist, 2023), med lignende programmer i Finland og Norge. Disse grøftene fjernet vann og forbedret jordstruktur, noe som økte tilveksten betydelig gjennom store deler av 1900-tallet.

Drenering av torvjord til skog- og jordbruksformål påvirker imidlertid utslippene av drivhusgasser vesentlig. Maljanen et al. (2010) viser at drenerte myrer kan fungere som netto utslipp av CO₂ og N₂O som følge av økt aerob nedbrytning, selv flere tiår etter at aktivt jordbruk er opphørt og de tidligere myrene er blitt skogbevokst. I tillegg bidrar grøftene selv til betydelige utslipp av drivhusgasser, en faktor som ofte overses i vurderinger av dreneringens miljøpåvirkning.

I dag fører endrede nedbørsmønstre, økende temperaturer og høyere fordampning til nye hydrologiske utfordringer. Enkelte steder har regnmengden økt i deler av sesongen, men blitt knappere i andre perioder, noe som kan gi akutt tørkestress. Dette hemmer tilvekst og øker sårbarheten for skadedyr og sykdommer (Laudon et al. 2024). Dreneringssystemer som tidligere gavnet skogen, kan nå redusere jordas vannlagringsevne, noe som fører til hyppigere lukking av spalteåpninger i blader eller nåler til trærne. Dette svekker fotosyntesen og kan gi langvarig svekkelse av skoghelse og tilvekst.

I tillegg fører torvnedbrytning som følge av drenering til markante setninger i jorda, noe som skaper hydrologisk ustabilitet og gjør vannsystemet mer følsomt for både perioder med tørke og episoder med kraftig nedbør (Kløve et al. 2017). Endrede poreegenskaper og oksidasjon av torva bidrar samtidig til økt risiko for næringsutlekking og kan mobilisere tungmetaller, med potensielle konsekvenser for både skogøkosystemer og nedstrøms vassdrag. Derfor gjør også Skogloven vannbeskyttelse til et lovpålagt ansvar i all skogsdrift: hogst skal opprettholde vegeterte kantsoner mot vann, unngå forurensning og forby skadelig ny drenering. PEFC tillater grøfterensk under visse forhold.

Laudon et al. (2022) og Laudon & Maher Hasselquist (2023) anbefaler å balansere tilvekstmål med bevaring av jordfuktighet, for eksempel gjennom selektivt grøftevedlikehold og restaurering av myrer for å redusere både flom- og tørkerisiko. Kløve et al. (2017) foreslår at drenerte torvmyrer bør restaureres der det er mulig, for å redusere utslipp av drivhusgasser, og gjenopprette hydrologisk balanse. De advarer imidlertid om at langvarig drenering kan ha irreversibelt endret torvegenskapene, noe som kan vanskeliggjøre restaurering.

I tillegg bør klimasmarte skogstrategier i større grad ta hensyn til jordas utslipp av drivhusgasser. Mens de fleste klimatiltak fokuserer på karbonopptak og -lagring i biomasse og treprodukter, kan utslipp av CO₂, CH₄ og spesielt N₂O fra jord redusere nettoeffekten betraktelig. For eksempel kan nitrogengjødsling, selv om det øker vekst og karbonlagring i jord, også føre til økt N₂O-utslipp, en gass med 100-årig oppvarmingspotensial nesten 300 ganger høyere enn CO₂ (Mäkipää et al. 2023). Slike utslipp er særlig høye i næringsrike jordsmonn og på torvjord.

Fjernmåling, GIS-basert hydrologisk modellering og automatiske jordfuktighetssensorer kan levere sanntidsdata for en mer proaktiv vannforvaltning. Internet-of-Things (IoT)-baserte systemer, slik Wang et al. (2025) foreslår, kan ytterligere forbedre overvåking av jordfuktighet, grunnvannsnivåer og nedbør, og dermed legge til rette for rask, tilpasningsdyktig respons på et endret klima.

3.3 Forvaltning på landskaps-, regionalt og nasjonalt nivå

3.3.1 Fragmentert eierskap, sonering og tilpasning

Med mer enn 125 000 skogeiendommer i Norge, hvorav de fleste er privat eid, er skogforvaltningen svært fragmentert på landskapsnivå. Selv om sertifisering krever utarbeidelse av landskapsplaner for de aller største eiendommene, er de fleste for små til å alene kunne bidra mye til enhetlig forvaltning av større landskapselementer. For å håndtere de varierte miljømessige og økonomiske behovene på tvers av mange eiendommer, har en Triade-basert soneinndeling fått økende oppmerksomhet. Innenfor dette rammeverket tildeles arealer ulike hovedformål: intensiv produksjon, flerbruksområder og verneformål. Ved å gruppere arealer etter hovedfunksjon kan man beskytte viktige habitater i verneområder, opprettholde flerbruksområder for friluftsliv og naturmangfold, og konsentrere høyproduktiv skogsdrift der det er mest hensiktsmessig.

Fragmenteringen av eierskap i Norge gjør koordinering mellom offentlige og private aktører særlig krevende. Finstad (2025) peker på at manglende varsling av hogst til kommunene ofte fører til at arealplanlegging og miljøhensyn håndteres reaktivt snarere enn proaktivt. Dette forsterker utfordringen med å oppnå landskapsbasert planlegging og samordnet klimatilpasning. For klimasmart forvaltning er det derfor behov for mekanismer som knytter hogstmeldinger og kommunal planlegging tettere sammen, slik at lokale økologiske og hydrologiske hensyn kan ivaretas i forkant av tiltakene.

Selv om idéen er gammel, har nyere utvikling innen skogbruk fremmet Triade-inndeling som en mulig strategisk metode for å fremme multifunksjonalitet i boreale skoger. Denne tilnærmingen deler landskapet inn i soner med ulik forvaltningsprioritet: intensiv produksjon, ekstensiv flerbruk og vern. Blattert et al. (2023) fant at en slik inndeling i finske boreale skoger reduserte nåverdien fra 0 % (ved ingen hensyn til multifunksjonalitet) til 39 % ved maksimal multifunksjonalitet, her representert ved 20 % intensiv produksjon, 50 % ekstensiv flerbruk og 30 % vern.

Nyere forskning fremhever også behovet for å integrere tilpasningsdyktige forvaltningsstrategier i landskapsplanlegging, for å møte økende klimarelaterte forstyrrelser. Romeiro et al. (2025) viser at områder med historisk høy forekomst av barkbilleangrep kan oppnå betydelige økonomiske fordeler gjennom tidlig hogst og innføring av mer treslagsblanding. Slike proaktive tiltak styrker ikke bare skoghelsen, men bidrar også til langsiktige klimamål.

3.3.2 Samarbeid på tvers

Skogforvaltning på eiendomsnivå påvirker og påvirkes av skogforvaltningen på naboeiendommer, noe som gjør samarbeid på tvers av eiendomsgrenser viktig for både bærekraft og effektivitet. Skogbruk i de nordiske landene krever i økende grad koordinering over eiendomsgrenser for å håndtere klimarelaterte utfordringer som skadedyrsutbrudd, brannfare, vannforvaltning og bevaring av naturmangfold. Etter hvert som klimaendringene forsterker disse truslene, blir samordnet innsats stadig viktigere for å opprettholde både produktivitet og motstandskraft mot skogskader.

Omtrent 80 % av norske skogeiendommer utgjør kun 20 % av det produktive skogarealet, noe som illustrerer store skjevheter i arealfordelingen. Videre er eiendommer under 20 hektar, som utgjør omtrent halvparten av alle skogeiendommer, lite relevante enheter for forvaltning av mange skogøkosystemtjenester. Romlige hensyn eller tilkobling mellom habitater, landskapsestetikk, rekreasjonsverdi eller bevaring av sjeldne elementer krever forvaltningsstrategier som strekker seg utover enkeltstående eiendommer. Ideelt sett bør derfor beslutninger samordnes i både tid og rom på tvers av eiendommer innenfor landskapet eller andre relevante områder. Slik koordinering eller samarbeid på landskapsnivå kan gi stordrifts- og effektivitetsgevinster (Hoen et al. 2006; Martins et al.

2021; Londo & Grebner 2004). Det forutsetter imidlertid at den operative samarbeidsformen eller organisasjonen kan etableres til lavere kostnad enn de gevinstene den utløser. Det er også verdt å nevne at ukoordinert forvaltning gir variasjon i forvaltningspraksis mellom eiendommer. Denne variasjonen kan fungere som en slags forsikring på aggregert (landskaps-)nivå og være gunstig for biologisk robusthet og for produksjon av ulike skogøkosystemtjenester. I Norge kan slike gevinster oppnås gjennom planlegging og koordinering i regi av skogeierandelslag, som ofte er ansvarlige for hogst på tilgrensende eiendommer. Dette kan for eksempel bygge på den gamle tradisjonen med jaktvald.

Samordnet risikohåndtering

Mange skogrelaterte farer krysser eiendomsgrenser, noe som gjør individuell innsats utilstrekkelig. Skadedyr som barkbiller, sopp og patogener sprer seg raskt mellom bestand, og stykkevis bekjempelse er lite effektivt. Felles overvåkningsnettverk og samkjørte bekjempelsestiltak kan redusere skadeomfanget.

Brannforebygging har også stort utbytte av koordinert innsats. Strategisk plasserte branngater, felles varslingsystemer og samordnet reduksjon av brensel (f.eks. dødt virke) er mer virkningsfulle når de gjennomføres på tvers av eiendommer. Videre styrker felles investeringer i adkomstveier og slokkingsutstyr den regionale beredskapen og reduserer kostnader.

I tillegg til biotiske trusler møter skogeiere økende risiko fra klimarelaterte forstyrrelser som vindfelling, tørkerelatert dødelighet, snø- og isskader, skogbranner og flomskader. Tilpasningsstrategier kan hjelpe med å forutsi hyppighet og intensitet av slike hendelser. Når slike strategier gjennomføres i fellesskap, styrkes landskapets samlede motstandskraft og ressursbruk kan gjøres både proaktiv og responsiv. En slik integrert tilnærming gir bedre risikohåndtering enn isolerte tiltak på eiendomsnivå.

Effektivt samarbeid over grenser forutsetter nøyaktige og standardiserte data. Varierende overvåkingsprotokoller for skadedyr eller inkonsekvent vurdering av brannrisiko kan skape både tilfeldige og systematiske feil i beslutningsgrunnlaget. Scenariomodeller og sannsynlighetsbasert framskrivning (Eyvindson et al. 2024) kan hjelpe med å håndtere slike usikkerheter. Etablering av felles dataplattformer og standardiserte metoder bedrer datakvaliteten og sikrer at felles tiltak bygger på sammenlignbar og robust informasjon.

Selv om det er avgjørende å styrke overvåkings- og koordineringssystemer, må det nevnes at Norge allerede har et godt etablert fundament for overvåking, planlegging og samarbeid på tvers av eiendomsgrenser i skogbruket. Landsskogtakseringen, som forvaltes av NIBIO, gir systematiske og landsrepresentative data om skogvolum, treslagsfordeling, foryngelse, karbonlager og skoghelse, og danner grunnlaget for både nasjonale klimaregnskap og langsiktig skogforvaltning. Dette bør suppleres av målrettede overvåkingsprogrammer for skader som rotråte, tørke, snøskader og insektsangrep, støttet av nasjonale granbarkbillefelle-nettverk som brukes i risikomodeller og tidligvarslingssystemer.

Digitale plattformer som NIBIOs Kilden, med Skogportalen som temaløsning, samler og visualiserer skogressursdata sammen med tilgjengelige miljøregistreringer (f.eks. MiS), nøkkelbiotoper og verneområder. Dette gir et helhetlig kunnskapsgrunnlag som støtter planlegging og dokumentasjon for skogeiere, næringsaktører og forvaltningen. Samarbeid på tvers av eiendommer og forvaltningsnivåer tilrettelegges av skogeierandelslag allerede i dag, som koordinering av hogst, logistikk og miljøhensyn, dette kunne også utvides til klimatilpasningstiltak. I tillegg har en rekke nasjonale og regionale forsknings- og utviklingsprosjekter bidratt til felles læring og metodeutvikling.

Til tross for disse godt utviklede strukturene er omfattende koordinering på landskapsnivå, særlig innen skogbrannforebygging og bekjempelse av skadegjørere, fortsatt i stor grad frivillig og prosjektbasert. Overvåkings- og varslingstjenester for granbarkbille (f.eks. Skogskader.no og NIBIOs varslingstjenester) illustrerer en vellykket nasjonal koordinering, men tiltakene for å håndtere barkbillene utføres i stor grad av den enkelte skogeier. Tilsvarende drar skogbrannforebygging nytte av lokale initiativer og støtte fra forsikringssektoren (f.eks. Skogbrand), men systematisk risiko-håndtering på tvers av eiendommer er fortsatt sjelden. Å styrke institusjonelle rammer, insentiver og finansieringsmekanismer for å skalere opp eksisterende samarbeid og knytte det tettere til strategier for klimatilpassing og klimatilpasning, fremstår som en pragmatisk vei videre som kan unngå ineffektiviteten ved å bygge helt nye systemer fra bunnen av.

Integrert vannforvaltning over eiendomsgrenser

Vannsystemer, inkludert bekker, grunnvann og dreneringsnettverk, krysser eiendomsgrenser. Drenering på én eiendom kan føre til vannmangel, flom eller erosjon på naboeiendommer. Felles innsats og koordinering for å vedlikeholde våtmarker, kantsoner og fangdammer stabiliserer vannføring, beskytter jordstruktur og støtter akvatisk naturmangfold. I klimautsatte områder er samarbeid om flom- og tørkeforvaltning, inkludert styrt drenering og vegetative buffersoner, langt mer effektivt enn isolerte tiltak.

Økonomiske synergier gjennom felles infrastruktur og markedstilgang

Samarbeid mellom skogeiere kan også gi økonomiske gevinster. Medlemskap i skogeierandelslag gir mulighet for samordnet tømmerleveranse, sterkere forhandlingsposisjon og lavere driftskostnader via stordrift. Gruppebasert sertifisering blir lettere når kostnader og administrasjon deles. Felles investeringer i infrastruktur, som skogsveier, biobrenselanlegg og lager, reduserer dobbel kapasitet, gir helårstilgang og styrker regionale næringsmiljøer.

Styrket naturmangfold gjennom samordnet landskapsforvaltning

Bevaring av naturmangfold kan ha stor nytte av koordinert forvaltning på landskapsnivå. Mange arter er avhengige av sammenhengende habitater, og tiltak på tvers av eiendomsgrenser er derfor viktig, jfr eksistensen av jaktvald. Ved å samordne kantsoner, nøkkelbiotoper og økologiske korridorer kan skogeiere opprettholde og utvide leveområder. Strategisk plasserte blandingskoger støtter både mangfold og økosystemrobusthet. Bekjempelse av fremmede arter og planteskadegjørere er også langt mer effektivt i samordnet form enn ved spredte enkelttiltak (Hunault-Fontbonne & Eyvindson 2023).

3.3.3 Koordinert restaurering av våtmarker

Hydrologiske tiltak i skogbruket virker ikke bare på eiendomsnivå, men får kumulative effekter i hele nedbørsfelt. Når mange små inngrep summeres, som kantsoner, grøfting, restaurering av myr eller forebygging av kjørespor, påvirkes vannbalanse, erosjon og flomdynamikk i større skala enn hva som er tilfelle på den enkelte eiendom.

På landskapsnivå blir derfor flere hensyn særlig viktige:

- Samordning mellom eiendommer. Enkeltstående tiltak kan være nyttige, men effekten forsterkes når skogeiere koordinerer innsatsen. Samarbeid kan gjelde alt fra restaurering av våtmarker til etablering av sammenhengende kantsoner langs vassdrag.

- Flom- og overvannshåndtering. Skogens hydrologiske funksjoner strekker seg utover eiendomsgrenser. Store hogstflater eller grøftede arealer kan øke avrenning og forsterke flomtopper nedstrøms, mens bevaring av fuktige arealer (myr) kan dempe dem.
- Vannressurser og samfunnsinteresser. I mange regioner er skogen en del av nedbørsfelt som forsyner tettsteder med drikkevann. Tiltak i skogbruket kan dermed få direkte konsekvenser for vannkvalitet og rensing. Hydrologisk forvaltning på landskapsnivå bør derfor kobles til samfunnsplanlegging og hensynet til langsiktig vannforsyning.

Samlet sett innebærer dette at hydrologisk forvaltning på landskapsnivå ikke bare handler om summen av enkeltstående tiltak, men om å bygge helhetlige strategier hvor skogbruket sees i sammenheng med vannressurser, naturmangfold og samfunnssikkerhet.

3.3.4 Regional koordinering og infrastruktur

Regional skogforvaltning kan integrere overordnede politiske rammeverk og økonomiske strategier for å fremme klimatilpasning og -tiltak. Verkerk et al. (2022) argumenterer for at regional koordinering kan styrke effekten av klimasmart skogbruk ved å harmonisere praksis på tvers av administrative grenser og skogtyper.

- **Regional politisk integrasjon:** Harmonisering av skogpolitikk og virkemiddelbruk på tvers av regioner sikrer konsistente strategier for klimatilpasning og karbonregnskap. Regionale myndigheter kan tilrettelegge for erfaringsdeling og teknisk kompetanse.
- **Markedsadgang og økonomiske insentiver:** Skogeierandelslagene styrker markedsmulighetene for skogeiere og gjør det mulig å oppnå stordriftsfordeler.
- **Felles infrastruktur og teknologi:** Investeringer i felles infrastruktur som bioenergianlegg og avanserte overvåkingsteknologier (f.eks. GIS og fjernmåling) forbedrer både effektivitet og presisjon i regional skogforvaltning.

Videre kan en funksjonell nettverkstilnærming styrke skogens motstandskraft. Dette innebærer å fremme funksjonell og strukturell variasjon både på bestands- og landskapsnivå, for å øke tilpasningsevnen til klimaendringer og ekstreme hendelser.

Effektiv gjennomføring av klimasmart skogbruk på landskapsnivå krever robuste beslutningsstøttesystemer (Hunault-Fontbonne & Eyvindson 2023). Ved å kombinere økosystemmodellering med multi-objektiv optimering kan forvaltere balansere motstridende politiske mål og samtidig tilpasse seg regionale skogforhold. Verktøy som GAYA 2.0 kan simulere ulike forvaltningsstrategier for lokale skog- og klimaforhold. Ved å kombinere dette verktøyet med romlige indikatorer kan man analysere avveininger og synergier, og optimalisere både karbonopptak og -lagring og naturmangfold på tvers av større skoglandskap.

3.3.5 Aggregeringsutfordringer fra bestand til nasjonalt nivå

Regionale forskjeller i vekstforhold, terreng og klima påvirker strategier for både naturmangfold og karbonlagring. Derfor kan politiske virkemidler som er tilpasset regionale forskjeller gi bedre økologiske og økonomiske resultater. Nylige simuleringer viser at naturmangfolds- og karbonpolitikk har ulike effekter langs produktivitetsgradienter, noe som krever tilpasningsstrategier på forskjellige romlige nivåer (López et al. 2024). Det er samtidig viktig at lokale tiltak summeres til å oppfylle nasjonale mål (jf. seksjon 5.2 om Norges forpliktelser under Parisavtalen).

Når strategier for klimasmart skogbruk iverksettes på tvers av romlige nivåer, fra enkeltbestand til nasjonalt marked og politikk, blir spørsmålet om aggregering stadig mer komplekst. Aggregering

innebærer å kombinere data, forvaltningstiltak og økologiske og økonomiske resultater fra mindre enheter (bestand, eiendom) til større enheter (landskap, regioner og nasjon). Denne prosessen introduserer mange utfordringer som kan påvirke både prediksjonsnøyaktighet, tiltakseffektivitet og politisk sammenhenger.

Et sentralt begrep i denne sammenhengen er separerbarhet, som for eksempel kan handle om hvorvidt bestandsvise resultater kan summeres direkte til høyere nivå. Ved sterk separerbarhet er det få interaksjoner mellom bestand, og resultatene på landskaps- eller nasjonalt nivå kan beregnes ved å summere resultatene fra enkeltbestand. Ved svak separerbarhet derimot, vil interaksjoner som skadedyrspredning, vannflyt eller dyrevandring føre til synergieffekter eller målkonflikter som vanskeliggjør enkel aggregering.

I praksis kan et tiltak som er optimalt for ett bestand, få uventede konsekvenser i større skala. For eksempel kan en enhetlig strategi for karbonopptak og -lagring på bestandsnivå øke regionens sårbarhet for skadedyr eller forstyrre økologiske forbindelser viktige for artsmangfold. Derfor kreves det helhetlige og integrerte modeller på nasjonalt nivå for å fange slike interaksjoner og sikre at lokale tiltak samlet bidrar til langsiktig bærekraft og motstandsdyktighet i hele landskapet.

4. Treprodukter og deres rolle i klimatiltak

Treprodukter bidrar til å dempe klimaendringene gjennom karbonlagring og substitusjonseffekter. Når de lagrer karbon, kan trebaserte produkter holde på karbonet som trærne har absorbert lenge etter hogst, og dermed forsinke dets tilbakevending til atmosfæren. Ved å erstatte mer utslippsintensive materialer eller drivstoff, kan treprodukter indirekte redusere det samlede klimagassavtrykket fra økonomisk aktivitet. Størrelsen og varigheten av disse fordelene avhenger av en rekke faktorer, inkludert produktenes levetid, hvilke alternative materialer som erstattes, teknologisk innovasjon, behandling ved slutten av levetiden og de overordnede rammebetingelsene i politikken. I dette kapitlet ser vi på hvordan treprodukter kan bidra til klimatiltak, gjennom deres lagringskapasitet, substitusjonspotensial, mulige veier til negative utslipp, samt utfordringer og usikkerhet knyttet til å samordne utviklingen av treprodukter med nasjonale og internasjonale klimamål.

4.1 Forlenging av treprodukters levetid for økt karbonlagring

En godt kjent måte treprodukter bidrar til å dempe klimaendringer på, er ved å fungere som et karbonlager i varierende tidsrom. Konstruksjonsvirke og teknisk bearbeidede treprodukter har vanligvis en brukstid på flere tiår, mens kortlivede produkter som papir og emballasje frigir karbon langt raskere (Sathre & O'Connor 2010; Leskinen et al. 2018). En del av karbonet i tømmeret tapes tidlig i prosesseringen, i form av bark og rester som brukes til prosessenergi eller kastes. Følgelig avhenger andelen karbon som blir igjen i sluttproduktet både av industripraksis og hvilken type produkt som produseres (Myllyviita et al. 2021).

Når beholdningen av treprodukter øker raskere enn den forvitrer eller kastes, vokser eller øker dette karbonlageret. I nasjonale utslippsregnskap rapporteres karbonlageret i treprodukter ofte separat (IPCC 2019; Miljødirektoratet 2021), med standardantakelser om produktlevetid og halveringstid for å beregne hvor raskt de ulike produktkategoriene frigir karbon til atmosfæren. Mens kortlivede produkter som papir og papp raskt metter sitt karbonlager, kan en overgang til mer holdbare varer, som trepanel eller biobasert isolasjon laget av massevirke og sagbruksrester, bidra til å opprettholde eller øke netto karbonlagring over tid. Trelast har som hovedregel lengre levetid enn de andre produktkategoriene. Imidlertid brukes nesten alt sagtømmer som hogges i Norge allerede til produksjon av trelast, så en viktig faktor er hvordan massevirke og rester utnyttes. Kallio et al. (2023) anslår at i 2020 ble rundt 40 % av karbonet fra industriell tømmerhogst i Norge midlertidig beholdt i treprodukter (utenom energibiomasse), mens 25 % ble eksportert. Omtrent en tredjedel ble omdannet til CO₂ under industriell prosessering, primært ved forbrenning til energi.

En sentral utfordring for å opprettholde treprodukter som karbonlager over tid er at alle produkter har begrenset levetid. For at lageret av treprodukter skal vedvare, må produksjonen, og dermed hogstnivåene, øke. Dette kan skje dersom en større andel massevirke reallokeres til produkter med høyere verdi og lengre levetid, som tekniske panelprodukter eller isolasjonsmaterialer (Kallio et al. 2025). Men en økning i hogsten for å styrke karbonlageret i treprodukter vil samtidig redusere karbonlageret i skogen. Det finnes både økologiske og politiske grenser for hvor mye hogsten kan økes. Å forlenge produktenes levetid gjennom forbedret produktdesign og tiltak innen sirkulær økonomi (f.eks. gjenbruk, innsatsfaktor i annen produksjon og resirkulering) er derfor en effektiv strategi for å styrke karbonlagringen gjennom treprodukter uten å svekke karbonlagrene i skogen.

4.2 Substitusjonseffekter av biomassetilbud

I tillegg til karbonlagring gir treprodukter ofte substitusjonseffekter ved å erstatte mer fossilintensive materialer eller drivstoff. Denne effekten er som regel viktigere enn selve karbonlagringen. Når det gjelder materialsubstitusjon, kan treverk i konstruksjoner erstatte stål og betong, som vanligvis har høyere utslipp over livsløpet (Sathre & O'Connor 2010). Trefiberemballasje kan erstatte plast og metaller, og nye trebaserte tekstilfibre kan konkurrere med langt mer utslippsintensive syntetiske materialer som polyester (Kallio et al. 2023).

Trebasert biomasse kan også brukes til varmeproduksjon, elektrisitet og drivstoff, som alternativ til kull, olje og gass. Klimanytten ved bioenergi avhenger av opprinnelsen til råstoffet, fornyelsesgraden og systemgrensene. Forbrenning av stammevirke som kunne vært brukt til produkter, krever at det vokser opp nytt virke for å kompensere utslippet. Samtidig vil dette konkurrere med materialbasert trebruk. Hurtig nedbrytbare greiner og topper kan også tas ut for energi, men da må hensyn tas til effekter på jordas produksjonsevne og karbonbalanse (Suter et al. 2017; Röder & Thornley 2018), for eksempel ved å la barnåler bli igjen i skogen før virket fraktes ut.

Ikke alle treprodukter gir substitusjonsfordeler. Data fra Kallio et al. (2023) peker på byggematerialer, biobasert isolasjon og trebaserte tekstiler som produkter med relativt høy substitusjonseffekt. For biodrivstoff og mange papirkvaliteter overstiger tapet i skogbaserte karbonlagre klimanytten fra substitusjon. Selv om produksjonen av skogbaserte produkter bestemmes av markedet, bør klimapolitikken prioritere treprodukter med dokumenterbare livsløpsfordeler, og i det minste unngå å stimulere etterspørsel etter produkter som er negative for klimaet. Transportdrivstoff fra tre kan være et slikt eksempel. Kallio et al. (2025) viser at om massevirke omdirigeres fra papirproduksjon til bioetanol, gir det bare marginal, men dog positiv, klimanytte. På grunn av det høye virkebehovet i produksjonen kan subsidier dessuten fortrenge andre produkter med bedre klimaprofil.

Sterk politisk støtte til bygging med lave utslipp kan styrke treets rolle i klimaarbeidet. På lengre sikt vil imidlertid substitusjonseffekten også avhenge av hvor raskt andre bransjer avkarboniserer. Dersom stål-, sement- og plastindustrien kutter utslippene betydelig, kan treets komparative fordel svekkes (Leskinen et al. 2018).

I sin analyse av substitusjonseffekter i ulike scenarier mot et fullstendig avkarbonisert energisystem fant Jåstad & Bolkesjø (2023) at skogbiomasse fortsatt kan spille en viktig rolle i energiomstillingen, i hvert fall på kort og mellomlang sikt. Dersom bruk av skogbiomasse begrenses, må energisystemet kompensere med andre teknologier som vindkraft, solceller og varme fra strøm, noe som i enkelte scenarier kan øke både arealbruk og fossilbruk.

4.3 Bioenergi med karbonfangst og -lagring

Bioenergi med karbonfangst og -lagring eller -utnyttelse kan gi netto negative utslipp, forutsatt at biomassen som høstes vokser opp igjen, og at fanget karbon lagres eller utnyttes slik at det ikke raskt slipper ut igjen (IPCC 2019). Dersom trebasert biomasse forbrennes og CO₂ fanges og lagres geologisk, kan nettoeffekten være et positivt klimatiltak, forutsatt at nyplanting eller naturlig foryngelse veier opp uttaket.

Men det er mange utfordringer knyttet til å implementere disse teknologiene: høye kostnader, mangelfull infrastruktur for CO₂-transport og -lagring, og usikkerhet rundt tilgang på biomasse. Enhver strategi som inkluderer bioenergi med karbonfangst og -lagring i skogbasert klimaarbeid må derfor vurdere alternativkostnadene ved å bruke tre til energi i stedet for holdbare produkter.

Modellering utført av Hu et al. (2023) viser at storskala utbygging av bioenergi med karbonfangst og -lagring i Norden er teknisk gjennomførbart, men vil kreve integrering i EUs kvotesystem (EU ETS), strengere internasjonale bærekraftsstandarder og nøye fordeling av biomasse for å unngå karbonlekkasje og sektorvise målkonflikter.

En nært beslektet tilnærming til bioenergi med karbonfangst er produksjon av biokull (biochar) gjennom pyrolyse av hogstavfall og andre skoglige restressurser (energivirke, flis fra bark og avkapp etc.). Biokull kan bidra til økt karbonlagring i jord og redusert klimagassutslipp, men effekten er avhengig av tilgang på biomasse og langsiktig bærekraftig utnyttelse. Hagenbo et al. (2022) viser at biokull fra norske skogrester under boreale forhold kan fjerne om lag 0,4–0,8 Tg CO₂-ekvivalenter per år, tilsvarende 0,8–1,5 % av Norges årlige utslipp. Samtidig reduseres karbonlageret i jorda når restbiomasse fjernes, og næringstap (særlig nitrogen) kan begrense vekst og karbonopptak på sikt. Forfatterne konkluderer med at biokull derfor vil kunne ha en moderat, men ikke avgjørende rolle i norsk klimapolitikk, og at tiltaket krever nøye vurdering av ressursgrunnlag, næringstap og økonomi før eventuell storskala implementering.

4.4 Økt konkurranseevne i sirkulær bioøkonomi

En sirkulær bioøkonomi innebærer optimal ressursutnyttelse, lengre produktlevetid (kaskadebruk), og overgang fra fossilbaserte innsatsfaktorer. Selv med disse mulighetene, gjenstår betydelig usikkerhet. Én handler om markedet, etterspørselen etter klimasmarte treprodukter avhenger av pris, kvalitet og kundepreferanser. En annen gjelder teknologiutvikling: dersom grønne alternativer som fossilfri stål og lavutslippssement kommer raskt, kan treets fortrinn svekkes. Investering i anlegg for avanserte biomaterialer innebærer også høy risiko, med store kapitalkostnader og lang tilbakebetalingstid (Suter et al. 2017). Politisk ustabilitet i form av varierende karbonprising, subsidier eller handelstiltak kan svekke viljen til langsiktig satsing.

Videre forskning og utvikling, sammen med stabile politiske rammer, kan bidra til å redusere usikkerheten og stimulere tiltak i privat sektor. Samarbeid mellom skogeiere, skogindustri og academia kan fremme gjennombrudd innen produktdesign, kaskadebruk og integrert energi- og materialproduksjon.

4.5 Treprodukter i nasjonal og internasjonal klimapolitikk

Nasjonal rapportering under rammeverket for arealbruk, arealbruksendringer og skogbruk (LULUCF) inkluderer vanligvis treprodukter sammen med karbonlagrene i skogen. Rapporteringstilnærminger varierer imidlertid med hvordan de håndterer eksportert versus innenlands brukt trevirke, og det kan være vanskelig å fange opp både hele klimanytten og mulig karbonlekkasje knyttet til global handel (jf. seksjon 5.3 om lekkasje). Norge benytter for eksempel en produksjonsbasert tilnærming, der kun treprodukter basert på innenlandsk foredlet tømmer godskrives i det nasjonale utslippsregnskapet (Miljødirektoratet, 2021). Denne metoden fanger ikke nødvendigvis opp de reelle klimaeffektene av norsk tømmer som foredles i utlandet.

4.6 Karbonlandbruk og integrasjon av treprodukter

Obligatorisk LULUCF-regnskap setter et utgangspunkt, men karbonskogbruk, det vil si frivillige ordninger eller kontrakter som kan sertifiseres under EUs kommende rammeverk for sertifisering av karbonfjerning (CRCF; se seksjon 5.3), gir i tillegg markedsbaserte belønninger for ekstra karbon som bindes i skog, jord eller varige treprodukter. Å styrke klimabidraget fra treprodukter avhenger derfor av et politisk rammeverk som aktivt fremmer slike insentiver (se seksjon 5.4 for Norges nåværende virkemidler).

Karbonskogbruk kobler økonomiske eller regulatoriske fordeler til tiltak som øker karbonlagring i levende biomasse. Å utvide slike ordninger til å omfatte treprodukter kan motivere skogeiere, sagbruk og videreforedlere til å velge bruksområder med lengre levetid og klimatilpasset avfallshåndtering (Leskinen et al. 2018).

Kredittsystemer som gir høyere betaling for lang levetid, for eksempel ved å tildele flere klimakreditter til produkter med lengre halveringstid, kan styre mer tømmer mot byggematerialer og møbler fremfor kortlivede produkter som emballasje. Deres effekt avhenger imidlertid av robust overvåking, rapportering og verifisering, samt effektive tiltak mot karbonlekkasje, det vil si at intensiv drift ikke bare flyttes til et annet område.

I praksis fungerer karbonskogbruk best som del av en bredere politikkmix: bindende standarder for klimasmart skogbruk, målrettede tilskudd til utvikling av innovative treprodukter og rådgivningstjenester kan samlet styrke rollen til treprodukter i et lavutslippssamfunn.

5 Politisk og institusjonelt rammeverk

Klimasmart skogbruk bygger direkte på det langsiktige økonomiske målet skogeiere har: å sikre tømmerinntekter og levekår gjennom god skogforvaltning og markedsorienterte beslutninger. Klima- og naturhensyn kommer ikke i stedet for de økonomiske driverne, men legger nye mål oppå dem. Med andre ord: når vi diskuterer nye politiske rammeverk, virkemidler eller avveininger, forutsetter vi at skogeiere fortsatt legger vekt på sunn økonomi. Klimasmart skogbruk stiller bare spørsmålet: Hvordan kan de samme skogene samtidig levere tømmerverdi, binde karbon, øke robustheten og ivareta naturmangfold, til lave kostnader? Dette betyr ikke at skogeiere kun er opptatt av økonomi; mange har også andre mål for skogbruket (bevaring, jakt, friluftsliv og naturmangfold). Likevel vil rene klimatiltak ofte betraktes som et samfunnsansvar snarere enn en privat oppgave, og krever derfor spesifikke økonomiske virkemidler (se allikevel seksjon 5.4 for private initiativ). Tilpasningstiltak derimot, kan lettere oppfattes som private tiltak, men begrepet er fortsatt nytt i mange sammenhenger.

Klimasmart skogbruk virker innenfor et sammensatt politisk system. Dette utdypes i seksjonene 5.1–5.6. Et effektivt rammeverk må samordne internasjonale forpliktelser, europeiske reguleringer og nasjonal politikk, samtidig som det håndterer langsiktige risikoer og praktiske begrensninger i felt. Denne delen gjennomgår det politiske landskapet, fra globale avtaler til nasjonale lover, reguleringer og institusjoner, og viser hvordan nye klima- og naturreguleringer former veien videre. Den viser også hvor det finnes enighet og uenighet mellom aktører, og understreker betydningen av å balansere klima- og naturmål i norsk skogpolitikk.

5.1 Overordnet rammeverk og sammenheng

Politikken for klimasmart skogbruk må skape et helhetlig regelverk og økonomiske rammebetingelser som støtter flere mål samtidig. Dette inkluderer:

Klimatiltak og klimatilpasning: Politikken bør integrere eksisterende skoglovgivning (som Skogloven), sertifiseringsstandarder og internasjonale avtaler, og sikre samsvar med bredere klima- og miljømål, også for skogtjenester som ikke er regulert. I praksis betyr dette at klimatiltak (som karbonopptak og -lagring) samordnes med tilpasningstiltak (som økt robusthet) og vern av naturmangfold. Den økende integrasjonen mellom klima- og naturstrategier forsterker behovet for sammenheng.

Synergier og avveininger: Som diskutert i seksjon 2.4.3, kan skogtiltak gi både synergier (f.eks. økt karbonopptak og bedre habitater) og avveininger (f.eks. redusert naturmangfold ved intensiv biomassehogst). Politisk sammenheng krever aktiv styring av slike gjensidige virkninger. Samarbeid på tvers av eiendomsgrenser, mellom private eiere, kommuner, fylkeskommuner og statlige aktører, er viktig for å sikre at tiltak på bestandsnivå ikke undergraver behovene på landskapsnivå. For eksempel bør økt hogst for klimasmarte produkter samordnes med naturhensyn slik at verdifulle habitater ikke går tapt.

Skalaovergripende integrasjon: Politikken må virke fra lokalbestand og eiendom opp til nasjonalt og internasjonalt nivå. Beslutninger på eiendomsnivå (treslagsvalg, tynning, hogstalter, vegbygging osv.) kan i mange tilfeller trenge støtte i form av insentiver og veiledning som skaleres opp til regional koordinering. Å unngå fragmenterte tiltak er viktig; for eksempel bør en kommunal arealplan støtte opp under nasjonale klimamål. Som vist i kapittel 3 kan flernivåstyring sikre at tiltak fra enkeltaktører (som valg av klimarobuste treslag) bidrar til bredere mål (som økologiske nettverk). Derfor bør virkemidler for klimasmart skogbruk utformes med disse skalanivåene i mente.

5.2 Norges forpliktelser, Parisavtalen og globale mål

På globalt nivå definerer Parisavtalen (2015) under FNs klimakonvensjon (UNFCCC) de grunnleggende målene for klimainnsats. Norge, som part i avtalen, har forpliktet seg til ambisiøse utslippskutt gjennom sitt nasjonalt fastsatte bidrag (NDC). Det gjeldende NDC-målet er å redusere utslippene av drivhusgasser med minst 55 % innen 2030 sammenlignet med 1990-nivået, noe som tilsvarer utslipp på om lag 23,1 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Viktig er det at Norge har som mål å oppfylle dette i samarbeid med EU, blant annet gjennom bruk av internasjonale mekanismer under artikkel 6 i Parisavtalen (samarbeid og overføring av klimakvoter) og gjennom tett integrasjon med EUs klimapolitikk. Parisavtalen etablerer også et langsiktig mål: Norges klimalov definerer ambisjonen om å bli et lavutslippssamfunn (nær nullutslipp) innen 2050, i tråd med det globale målet om netto nullutslipp.

I tillegg til nasjonale tiltak for å redusere utslipp av drivhusgasser, har Norge forpliktet seg til internasjonale naturmål gjennom Kunming-Montreal rammeverket for naturmangfold (GBF). Meld. St. 35 (2023–2024), lagt frem for Stortinget i november 2024 og vedtatt i januar 2025, oversetter samtlige 23 GBF-mål til norsk politikk. Den setter som nasjonalt mål å bevare minst 30 % av landarealet innen 2030 (GBF-mål 3), restaurere 30 % av forringede økosystemer på land, i ferskvann, langs kysten og til havs innen 2030 (GBF-mål 2), samt å sikre bærekraftig bruk av produktjonslandskap som skog (GBF-mål 10). Viktige virkemidler inkluderer en “meny av tiltak” for bærekraftig skogbruk, utvikling av et nasjonalt system for naturregnskap og skjerpede aktsomhetskrav for næringer som påvirker naturmangfold. På denne måten gir Meld. St. 35 (2023–2024) et naturpolitisk rammeverk som tilsvarer hvordan Parisavtalen styrer klimapolitikken.

Norge har nå også begynt å legge inn et tidsperspektiv utover 2030 i sine klimaforpliktelser. I juni 2025 vedtok stortinget en ny klimamelding (Meld. St. 25 (2024–2025)), som skisserer klimastrategien frem mot 2035. Dette innebærer et nytt lovfestet mål for 2035: 70–75 % utslippskutt fra 1990-nivå. Målet er å oppdatere Norges internasjonale mål i 2025, som krevd i Parisavtalens syklus for oppdatering av ambisjoner. Regjeringen presiserer at 2035-målet skal omfatte hele økonomien, inkludert arealbruk og skog. Ekstra (addisjonelle) karbonopptak fra skog ut over referansenivået (FRL/NFRL) vil derfor kunne bidra til å nå målsettingen. Det er verdt å merke seg at meldingen signaliserer følgende om målsettinger på lang sikt: «Erfaring fra mange års klimapolitikk, er at klimamål med en ti-femten-års tidshorisont ikke har gitt tilstrekkelig insentiv for klimatiltak i skogen. Dette fordi det tar lang tid før tiltakene resulterer i de ønskede klimaeffektene. Arbeidet har derfor ikke kunnet gi vesentlige bidrag til oppfylling av kortsiktige klimamål. For å støtte opp under et slikt langsiktig perspektiv, vil regjeringen arbeide med å fastsette et langsiktig klimamål for forvaltet skog. Målet må settes ut fra hva som kan være et realistisk nivå for CO₂-opptak og karbonlagring. Et slikt langsiktig klimamål for skog må også ses i sammenheng med, og ikke svekke oppnåelsen av, mål for økologisk tilstand i skog. Tiltak og virkemidler for oppfylling av et klimamål for skog må videre ta hensyn til andre samfunns mål, samt ta høyde for hvordan framtidige klimaendringer påvirker CO₂-opptak og karbonlagring i skogen. På lang sikt vil skogtiltak kunne øke opptaket i skogen i en størrelsesorden som vil kunne gi store bidrag til framtidige klimamål, og til Parisavtalens balanse mål i andre halvdel av dette århundre».

Med «lang sikt» ligger det altså her implisitt 25–75 år. Dette bør leses som en aksept for at skogen må forvaltes i et lengre perspektiv (jfr Klimakonvensjonens artikkel 2 og Parisavtalens 4.1) enn Parisavtalens mer kortsiktige målsettinger.

Norges doble forpliktelser, til Parisavtalen og til GBFs naturmål, viser behovet for integrerte strategier. På den ene siden er økt karbonopptak i skog et klimatiltak; på den andre siden er arealvern et tiltak for naturmangfold. Utfordringen, og muligheten, for Norge er å utvikle politikk som oppfyller begge deler:

styrke skogens karbonopptak og lagring og samtidig stanse naturtap. Disse globale forpliktelsene setter rammen for de europeiske og nasjonale tiltakene beskrevet nedenfor.

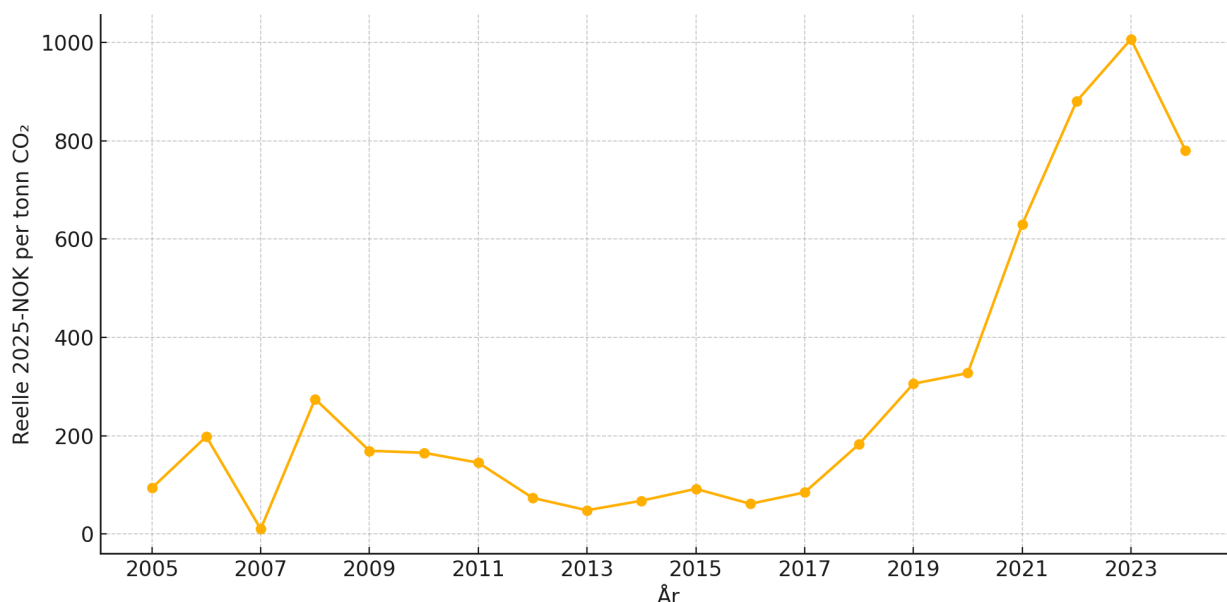
5.3 EUs klimaregelverk via EØS

Selv om Norge ikke er medlem i EU, er vi tett tilknyttet EUs klimapolitikk gjennom EØS-avtalen og særskilte bilaterale avtaler. Norge har valgt å oppfylle sitt klimamål for 2030 i samarbeid med EU, og er dermed tett sammenvevd med EUs klimapolitiske arkitektur for 2021–2030. Denne har tre hovedpilarer: EUs kvotesystem (EU ETS) fra 2005, innsatsfordelingsforordningen (ESR) med røtter fra ESD 2009, og LULUCF-forordningen (Land Use, Land Use Change and Forestry) fra 2018. Norge deltar i alle tre:

EU ETS (Emission Trading System; EUs kvotehandelssystem)

Norge er fullverdig deltaker i EUs kvote-handelssystem for store punktutslipp (kraftproduksjon, industri, luftfart m.m.). Et EU-omfattende tak på utslipp (som reduseres årlig) bestemmer hvor mange kvoter selskapene kan handle. Ved å delta underlegges Norge samme utslippstak for de berørte sektorene som EU-land. Det betyr at utslipp fra norsk olje- og gassproduksjon, industri og luftfart reguleres gjennom ETS-markedet. EU har nylig strammet inn kvotesystemet med mål om 62 % utslippskutt i ETS-sektorene innen 2030 (vs. 2005), noe som driver kvoteprisen opp, jf. Figur 10. Høyere kvotepriser har indirekte positiv effekt på klimasmart skogbruk: de gjør bioenergi og biomaterialer av tre mer konkurransedyktige sammenlignet med fossilintensive produkter. På lengre sikt kan et robust karbonmarked også stimulere til negative utslippsteknologier (f.eks. bioenergi med karbonfangst og lagring), der norsk skogbruk kan spille en rolle. En styrket ETS driver altså økonomien mot lavutslippsløsninger, og kan utvide markedet for bærekraftig trevirke og biomasse.

EU etablerer et eget ETS II for bygninger og veitransport (fra og med 2027/28), som Norge forventes å slutte seg til gjennom EØS. Selv om forpliktelsene vil ligge hos drivstoffleverandørene og ikke sluttbrukerne, vil ETS II ytterligere øke kostnadene for fossile brensler og styrke insentivene for fornybar energi, elektrifisering og bærekraftig biomasse i oppvarming og transport, områder der norsk skogbruk og bioenergi kan bli stadig mer relevante.



Figur 10. Indikativ utvikling av EU ETS-kvotepris (EUA). Målt i 2025-NOK. Merk at figuren er basert på en sammenstilling av data fra ulike kilder (EEA, EC, ICAP):

<https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-2012>

https://commission.europa.eu/publications/report-functioning-european-carbon-market-2022_en

<https://data.europa.eu/doi/10.2834/63208>; <https://data.europa.eu/doi/10.2834/157367>

<https://icapcarbonaction.com/en/ets-price-explorer/>

EU ESR (Effort Sharing Regulation; EUs innsatsfordelingsforordning)

Innsatsfordelingsforordningen fastsetter bindende mål for sektorer utenfor ETS (transport, bygg, jordbruk, avfall og småindustri). Gjennom klimasamarbeidet med EU har Norge fått et mål for ikke-ETS-sektorene på linje med høyinntektsland i EU, anslått til 45–50 % kutt innen 2030 sammenlignet med 2005. Å nå dette krever tiltak som elektrifisering av transport (særlig tunge kjøretøy), effektivisering av oppvarming, og utslippskutt i landbruket. Disse kan ha indirekte effekt på skogbruk: elektrifisering øker behovet for ren kraft og kan øke etterspørselen etter biodrivstoff (jf. seksjon 4.2 om tvilsom klimateffekt av bioetanol); lavere landbruksutslipp kan stimulere til skogplanting på marginale jordbruksarealer. ESR åpner også for noe fleksibilitet: dersom Norge overoppfyller LULUCF-målet (binder mer CO₂ enn forventet), kan dette brukes til å kompensere for manglende kutt i ESR-sektorene, men ikke omvendt. Norge har forhandlet frem muligheten til å bruke overskudd i arealsektoren på denne måten opptil 1,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, tilsvarende omtrent 3 % av Norges totale utslipp), og dermed kobles karbonopptak og -lagring direkte til klimamålene for transport, bygg og landbruk.

EU LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry; EUs regelverk for arealbruk og skog)

EUs regelverk for landsektoren (EU 2018) regulerer hvordan utslipp og opptak fra skog og arealbruk skal regnes og belønnes. Norske skoger utgjør et betydelig karbonlager, og i 2019 valgte Norge frivillig å følge EUs LULUCF-regler for perioden 2021–2025, inkludert EUs “ingen debet”. Det betyr at netto utslipp fra arealbruk og skog ikke skal øke, sektoren må minst være i balanse eller bidra positivt. Norge leverte en nasjonal skogregnskapsplan med et referansenivå (FRL) som utgangspunkt for forventet CO₂-opptak. Hvis det faktiske nettoopptaket er lavere enn FRL, regnes differansen som utslipp som må kompenseres. Det betyr i praksis et tak på hvor mye skogens opptak kan reduseres. I første rapporterings-periode (2021–2025) er det bekymring for at FRL ble satt for ambisiøst (basert på en periode, 2000–2009, med uvanlig høyt opptak, og vesentlig lavere avvirkning enn i dag), slik at dagens utvikling ikke vil nå dette nivået. Prognoser antyder at Norge vil få et regnskapsmessig underskudd i LULUCF, noe som vil kreve kjøp av LULUCF-kvoter fra andre land eller ekstra tiltak. Eventuelle positive bidrag kan brukes til å kompensere for underskudd i ESR, men bare opp til 0,8 Mt CO₂e pr år.

EU har i 2023 vedtatt en ny LULUCF-forordning (EU 2023) som skjerper målene: netto opptak i EU skal økes til 310 millioner tonn CO₂-ekvivalenter innen 2030. Dette vil kreve økt innsats fra alle medlemsland. FRL vil ikke lenger bli benyttet, men bli erstattet av NFRL. Norge er ikke automatisk bundet av den nye forordningen (LULUCF er utenfor EØS sitt hovedregelverk), men vurderer å melde seg inn også for neste periode (2026–2030). Dette vil sannsynligvis innebære strengere forpliktelser for norsk skog. Hvis Norge ikke melder seg inn, vil allikevel reglementet for 2021–2025 fremdeles gjelde for 2026–2030. Kritikere peker på det faktum at 2030-fristen er kort for skog, tiltak i dag (planting, ny skjøtsel) gir først effekt mye senere. På kort sikt er det enkleste tiltaket å redusere utslipp fra arealbruksendringer (f.eks. unngå avskoging), eller midlertidig redusere hogst slik at karbonlagrene øker. Dette er imidlertid sannsynligvis i konflikt med inntektsmål for skogeiere og industriens råvarebehov.

EUs politikk stiller dermed et todelt krav til norsk skog: bidra til karbonopptak og støtte det grønne skiftet via biomasse. Samtidig blir kravene stadig strengere. Regjeringens nye 2035-forslag bekrefter at Norge vil holde seg tett på EUs klimapolitikk også etter 2030. Europa gir både begrensninger og muligheter: skogbruk som svekker sluket straffes, men innovasjon og karbonskogbruk belønnes. Hvordan EU balanserer dette, får stor betydning for Norges skogpolitikk.

Kallio og Solberg (2018) viser at 60–100 % av enhver norsk hogstbegrensning kan bli utlignet av økt hogst i utlandet. Dette kalles lekkasje, se f.eks. viser Päivinen et al. (2022); Kallio & Rannestad (2025, manus). Videre viser Päivinen et al. (2022) at mange EU-land allerede hogger over referansenivåene (FRL) fastsatt i LULUCF-regelverket, noe som betyr at få land forventes å kunne tilby overskuddsenheter av karbonopptak for handel. Korosuo et al. (2023) anslår også at kun et fåtall land vil nå sitt FRL for perioden 2021–2025, noe som impliserer at kredittpotensialet tilgjengelig for Norge kan være svært begrenset. Videre finner Garvik & Kallio (2025, manus) at de kommende strengere LULUCF-målene og EUs strategi for biologisk mangfold mot 2030 (EU BDS) vil føre til at en enda større andel hogst flyttes ut av Europa, med mindre det etableres globale sikkerhetsmekanismer. Nylig modellering av Hu et al. (2024) bekrefter at lekkasjeratene for norsk hogstreduksjon ligger mellom 61 % og 76 %, hvor over halvparten av den kompenserende hogsten skjer utenfor Norden. Studien kartlegger også detaljerte handelsstrømmer og viser at nasjonale hogstbegrensninger i et nordisk land utløser betydelige tilpasninger både i naboland og globalt, noe som understreker behovet for internasjonalt koordinerte sikkerhetsmekanismer. Samlet viser disse studiene at Norges klima- og naturstrategier må utvikles med et globalt markedsperspektiv, ellers risikerer man at nasjonale gevinster utlignes, eller til og med overkompenseres, av høyere utslipp og økologisk press i andre land. Dette kan innebære en svært kostbar løsning for Norge (og Europa), med marginal, eller til og med negativ, klima- og miljøeffekt, ettersom vi da kan ende opp med å importere tømmer fra land utenfor Europa.

Det gjeldende LULUCF-regelverket i EU/EØS (EU 2018) anvender den såkalte produksjonstilnærmingen for høstede treprodukter. Alt karbon som tas ut gjennom hogst bokføres straks i det landet hvor hogsten finner sted, og de påfølgende utslippene fra produktnedbrytning rapporteres over tid av samme land, uavhengig av om trevirket eksporteres og anvendes i annet territorium.

Dette metodiske valget er velbegrunnet i hensynet til datatilgang, kontroll- og verifiserbarhet, men medfører to strukturelle skjevheter:

- Asymmetrisk byrdefordeling: Eksportland fører framtidige utslipp selv når trevirket brukes i klimavennlige, varige produkter i utlandet, mens importland ikke gis noen tilsvarende kreditering for den faktiske lagringen.
- Svake etterspørselsinsentiver: Land som importerer tømmer og treprodukter for varig bruk opplever ingen positiv effekt i sine nasjonale drivhusgassregnskap, hvilket reduserer insentivet til å erstatte mer karbonintensive materialer som stål og betong i bygg- og anleggssektoren.

Med dagens teknologi for verdikjedesporing, herunder opprinnelsesmerking, tollkoder, elektroniske sertifiseringsordninger og digitale bygningsloggbøker, er det fullt mulig å dokumentere karbonet langs hele livssyklusen fra hogst til sluttbruk. Det metodiske rammeverket framstår derfor ikke foreldet i seg selv, men utilstrekkelig til å fange den klimapolitiske realiteten i en stadig mer globalisert bioøkonomi.

(CRCF) EU-regelverk for sertifisering av karbonfjerning

Forordning (EU) 2024/3012 etablerer et felles EU-rammeverk for sertifisering av permanent karbonfjerning, karbonfangst i landbruk og skog (carbon farming) og langvarig karbonlagring i produkter. Regelverket trådte i kraft 26. desember 2024. CRCF er frivillig, men fastsetter felles EU-kriterier for

kvantifisering, tilleggseffekt (addisjonalitet), varighet og bærekraft, samt krav om tredjepartsverifikasjon og registrering i et felles EU-register. Kommisjonen skal nå gjøre regelverket operativt: delegerte rettsakter med metodikk per aktivitet er planlagt i 2025, og gjennomføringsbestemmelser om verifikasjon og midlertidig register skal følge. Ifølge Kommisjonens veikart og markedsanalytikere ventes de første EU-sertifiserte karbonfjerningsenheter (karbonkredittene) å utstedes i 2026, og innen juli 2026 skal Kommisjonen rapportere om mulig kobling til kvotemarkeder som EU ETS. CRCF-rammeverket legger stor vekt på integreringen av EUs QU.A.L.I.T.Y.-kriterier (Quantification, Additionality, Long-term Storage, Sustainability) i enhver skogbasert karbonfjerning-ordning. Som påpekt av Chiti et al. (2024): uten klare standarder for varighet og lekkasjesikring risikerer karbonkreditter å mangle reell miljøintegritet.

For Norge er det sannsynlig at CRCF vil innlemmes i EØS-avtalen. Regjeringen har allerede åpnet EØS-prosess for forordningen, og vurderer hvordan og når den skal gjennomføres. Når den først er innført, vil norske bønder, skogeiere og industrielle aktører kunne sertifisere prosjekter under CRCF-godkjente ordninger og omsette «EU Carbon Removal Units» på lik linje med EU-aktører. Klima- og miljødepartementet har påpekt at slike kreditter kan bli en viktig inntektskilde i det frivillige markedet, og etter 2026 kanskje også i regulerte markeder, forutsatt at norske metoder og systemer for måling, rapportering og verifikasjon harmoniseres med kommende EU-regler. Selv om CRCF og LULUCF omfatter mange av de samme arealbaserte aktivitetene, har de ulike formål og er ikke formelt integrert. LULUCF-forordningen regulerer rapportering av nasjonale utslipp og opptak for etterlevelseshensyn, mens CRCF gir frivillig sertifisering av individuelle prosjekter basert på strenge kvalitetskriterier. For Norge betyr dette at opptak sertifisert under CRCF, for eksempel gjennom karbonjordbruk, ikke kan regnes mot LULUCF-målene med mindre fremtidige EU-regler eksplisitt tillater det. Likevel er de to rammeverkene komplementære: Sertifiserte CRCF-prosjekter må bruke robuste systemer for overvåking og verifisering, noe som også kan støtte nasjonal rapportering dersom dette holdes tydelig atskilt. Se også seksjon 5.4 for private initiativer om kjøp og salg av klimavoter.

Revidert fornybardirektiv (RED II og III)

RED II forventes innlemmet i EØS innen utgangen av 2025, og kan dermed også få virkninger for norske skoger. Ved å skjerpe bærekraftskriteriene for skogbiomasse brukt til bioenergi og ved å øke andelen fornybar energi i varme- og kraftproduksjon, vil direktivet sannsynligvis øke etterspørselen etter trebasert brensel, samtidig som det innfører strengere krav til hogstpraksis, sporbarhet og karbonregnskap under LULUCF. Norges implementering av RED III er det foreløpig lite informasjon om.

EUs avskogingsforordning (EUDR)

EUs avskogingsforordning (EUDR), som primært er rettet mot import til EU, vil bli innlemmet i EØS-avtalen, slik tilfellet var med den tidligere EU-tømmerforordningen. For den norske skogsektoren innebærer dette at krav til etterlevelse vil gå utover eksisterende sertifiseringsordninger, ved at det kreves systematisk levering av geolokaliseringsdata på polygonnivå for alle hogstfelt som skal til EU-markedet. Selv om Norge forventes å bli klassifisert som et lavrisikoland, med liten eller ingen reell avskogingsrisiko, stiller forordningen likevel krav om full sporbarhet og aktsomhetsrapportering for hver enkelt leveranse. Dette vil påføre ytterligere administrative og økonomiske byrder, særlig for mindre skogeiere og bedrifter som kan mangle den digitale infrastrukturen som kreves for å levere nødvendig dokumentasjon. Større aktører, som allerede er integrert i PEFC- eller FSC-systemene, er bedre posisjonert, men må likevel oppgradere sine rutiner for å sikre samsvar med forordningens strenge krav til geodata og rapportering. Norske myndigheter må på sin side etablere et kompetent tilsynsorgan når forordningen formelt innlemmes i EØS-retten, en prosess som for tiden vurderes, men ennå ikke er fullført. Selv om disse endringene i første omgang kan øke transaksjonskostnadene, representerer de også en mulighet: ved å dokumentere robust etterlevelse i en juridiskjon som

allerede er preget av bærekraftig forvaltning og høy sertifiseringsgrad, kan norsk tømmer og trelast befestes et konkurransefortrinn på EU-markedet. EU-kommisjonen har foreslått å utsette implementeringen for små virksomheter i nok et år, dvs. til desember 2026, mens større virksomheter kan bruke første halvår i 2026 til å tilpasse systemene.

5.4 Nasjonal klimapolitikk og private initiativer

Norges nasjonale klimapolitiske rammeverk er forankret i klimaloven. Denne loven fastsetter hovedmålene, per i dag: minst 55 % utslippskutt innen 2030 og en visjon om et lavutslippssamfunn innen 2050, og etablerer juridisk ansvarlighet for måloppnåelse. I henhold til loven må regjeringen oppdatere delmål minst hvert femte år i tråd med Parisavtalen og regelmessig rapportere fremdrift. I juni 2025 ble det oppnådd enighet i stortinget om å inkludere det nye målet på 70–75 % kutt innen 2035. Ved å lovfeste målene sikrer Norge politisk kontinuitet på tvers av regjeringer og gir forutsigbarhet for alle sektorer, inkludert skogbruket. Det bør dog innvendes at et perspektiv på bare 10 år er utilstrekkelig for den langsiktige planleggingen som bør legges til grunn for skogbruk.

Loven åpner for at målene kan nås gjennom en kombinasjon av nasjonale tiltak og internasjonalt samarbeid. I praksis betyr dette at Norge deltar i EUs kvotemarkeder og kan bruke klimakvoter, men må også gjennomføre nasjonale tiltak for utslippskutt og karbonopptak. En rekke virkemidler påvirker skogsektoren direkte eller indirekte:

Skoglovgivning og bærekraftig forvaltning

Skogloven krever bærekraftig skogbruk og inneholder et sett med reguleringer og insentiver. For eksempel er skogeier forpliktet til å forynge skogen etter hogst (vanligvis innen tre år), noe som også skal sikre kontinuerlig karbonopptak og ressursfornyelse. Dette hindrer overutnyttelse og bidrar til å opprettholde skogens karbonlager over tid. I tillegg er norsk skogbruk underlagt sertifiseringsordninger (se seksjon 5.6), som stiller ytterligere krav til bærekraft. Disse inkluderer å sette av deler av produktiv skog til hensyn for naturmangfold (f.eks. biologisk viktige nøkkelområder), og fungerer som et minimumsvern på privat grunn. Gjennom slike regler søker Norge å sikre både klima- og miljøhensyn i skogforvaltningen.

Vernede områder for naturmangfold

Regjeringen har forpliktet seg til å øke andelen av skogen under formelt vern. Per i dag er ca. 5 % av Norges produktive skogareal vernet (hovedsakelig som naturreservater). Målet er å doble dette til 10 % i løpet av de kommende årene, et mål som ble vedtatt av Stortinget i 2016 og bekreftet gjennom forpliktelsene i GBF i 2022. Vernet skal i hovedsak skje gjennom frivillig skogvern, der private eiere tilbyr arealer mot økonomisk kompensasjon. Selv om dette vil redusere arealet tilgjengelig for tømmerproduksjon, anses det som viktig for å stanse tap av naturmangfold i skogøkosystemer og bidra til målet om 30 % vern av landareal. Samfunnet kan vurdere dette som en langsiktig investering: vern av gammelskog og økologisk verdifulle områder bevarer karbonlagre og skogens motstandskraft, og støtter arter som inngår i robuste, klimatilpassede skogsystemer. Meld. St. 35 (2023–2024) understreker at styrket vern, sammen med andre arealbaserte bevaringsformer, er nødvendig for å representativt ta vare på Norges skogtyper og artsmangfold. Klima- og naturpolitikk føres dermed parallelt, mer skogvern begrunnes både ut fra naturhensyn og som klimatiltak.

Skogspesifikke økonomiske virkemidler

Norge bruker ulike økonomiske virkemidler for å fremme klimasmart skogbruk. Et langvarig virkemiddel er **Skogfond**, hjemlet i skogloven. I denne ordningen settes en andel (mellom 4 % og 40 %) av tømmerinntekten til side i et fond, som kun kan brukes til godkjente investeringer i skogen

(foryngelse, ungskogpleie, skogsveier og andre tiltak relatert til bærekraftig skogbruk). 85 % av beløpet er fradragsberettiget i skatteregnskapet. Ordningen fungerer dermed som en subsidiering av nyinvesteringer og tiltak som øker skogens vekst og karbonopptak og -lagring (for eksempel foryngelse med foredlet plantemateriale eller ungskogpleie). I tillegg gir staten direkte tilskudd til spesifikke klimatiltak i skog, for eksempel nyplanting på ubrukt jordbruksmark, restaurering av grøftede myrområder for å begrense CO₂- og N₂O-utslipp, og forsøk med intensivert foryngelse eller gjødsling for å stimulere vekst. Tiltakene skal øke karbonopptaket og samtidig støtte inntektene i distriktene.

Det finnes også allerede private aktører som kjøper og selger karbonkreditter for ekstra karbonlagring, i tråd med EUs CRCF-initiativ nevnt i seksjon 5.3. Selv om dette ennå ikke er del av et godt utviklet og regulert karbonmarked, stimuleres slike tiltak av den forventede økningen i den samfunnsøkonomiske kostnaden ved utslipp. Både kvoteprisen i EU ETS (jf. figur 10) og den norske CO₂-avgiften forventes å dobles mellom 2025 og 2030, fra henholdsvis ca. 770 til 1500 kr og fra 1400 til rundt 2400 kr per tonn CO₂ (Kilder: Prop. 1 LS (2024–25); BloombergNEF (2024); Morgan Stanley Research (2024); Reuters (2024)). Det betyr at samfunnsverdien av karbonopptak i skog allerede er høy, og økende.

Denne utviklingen er ventet å fortsette etter 2030, som understreket av Rørstad (2022b). Regjeringens prisbane for karbon, 8 % vekst per år i 2030–2040, 4 % i 2040–2060, og 3 % i 2060–2090, innebærer at den nåværende samfunnsverdien av karbonopptak og -lagring i mange tilfeller overstiger tømmerverdien, noe som gjør det samfunnsøkonomisk lønnsomt å forlenge hogstaldere.

Rådgivning og veiledningstjenester

Norge investerer i kunnskapsformidling og kapasitetsbygging for bærekraftig og klimasmart skogbruk. Forskning, utdanning og rådgivning bidrar til å omsette politiske mål til praktisk handling. For eksempel utvikler Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) og Skogbrukets kursinstitutt (Skogkurs) retningslinjer for klimatilpasset skogbehandling, som hvilke treslag eller provenienser som bør plantes under fremtidige klimascenarier, eller hvordan skogen bør drives for å redusere risiko for skadedyr under varmere forhold. Digitale verktøy, som Skogbrukets klimakalkulator, tilbys skogeiere for å beregne karbonvirkningen av ulike driftsvalg (ikke i drift våren 2025). Ved å styrke bevisstheten og den tekniske kompetansen, sikrer slike tjenester at skogeierne er rustet til å møte endrede rammevilkår og kan gjennomføre tiltak, fra naturvennlig hogst til karbonorientert skogplanlegging, som samlet bidrar til Norges klima- og naturmål.

Alle disse nasjonale tiltakene inngår i en virkemiddelpakke som skal bringe skogbruket i tråd med mål for bærekraftig og klimasmart skogbruk. De illustrerer en tilnærming som kombinerer regulering, økonomiske insentiver og kunnskapsstøtte for å fremme ønsket praksis. På den ene siden finnes klare begrensninger, for eksempel hogstforbud i vernede områder, krav om foryngelse og press for å redusere klimapåvirkningen fra skogbruket. På den andre siden finnes det muligheter og støtte, investeringstilskudd, inntektsmuligheter fra karbonkreditter og et lovende fremtidsmarked for treprodukter i en karbonbegrenset økonomi.

For skogeiere og næringsaktører betyr dette at driftsstrategiene må tilpasses nye forventninger. Noen kan velge å forlenge hogstalderen eller sette av mer areal til vern, mens andre kan intensivere driften på egnete arealer (ved bruk av forbedret plantemateriale eller gjødsling) for å kompensere for produksjonstap andre steder. Politikken samlete virkning innebærer håndtering av avveininger: Internasjonale avtaler kan innebære tiltak som svekker karbonopptak og -lagring, mens økonomiske virkemidler kan stimulere til innovasjon som øker karbonopptak og -lagring og substitusjon.

Hovedinteressenter og deres synspunkter

Generelt er det bred enighet i skogsektoren i Norge om at bærekraftig skogforvaltning er viktig både for klimadimensjonen og for økologi og natur. De fleste aktører er enige i at skogen kan bidra i klimakampen, gjennom karbonlagring og fornybare materialer, og at dette må forenes med økonomisk avkastning og bevaring av naturmangfold. Likevel finnes det ulik vektning av prioriteringer. Skognæringsorganisasjoner (som NORSKOG, Norges Skogeierforbund og Treindustrien) legger typisk vekt på aktiv forvaltning og bruk av skogen som klimaløsning. De understreker at økt vekst og trebruk kan gi betydelige utslippskutt, for eksempel ved at treprodukter lagrer karbon og erstatter stål og betong, eller ved at bioenergi fortrenger fossile brensler. De støtter gjerne insentiver for økt langsiktig tilvekst og karbonopptak og -lagring. De vektlegger også betydningen av at vernetiltak forblir frivillige og samarbeidsbaserte. For eksempel argumenterer bransje og eiere for at utvidet skogvern bør gjennomføres gjennom det frivillige verneprogrammet med økonomisk kompensasjon, fremfor nye obligatoriske reguleringer. Forslag om sterkt vern (som totalforbud mot hogst i gammelskog) har møtt motstand, da de anses å undergrave tillit og pågående frivillige tiltak. Etter deres syn er norsk skogbruk allerede på vei mot stadig økt bærekraft, og de advarer mot for strenge begrensninger som kan redusere tømmerforsyningen og dermed svekke sektorens klimabidrag.

På den annen side vektlegger miljøorganisasjoner (som WWF Norge, SABIMA, Biofokus og Naturvernforbundet) behovet for sterkere vern og økologiske sikkerhetsnett. Flere av disse gruppene bygger gjerne på definisjonen til Storaunet & Rolstad (2020), der skog som ikke er hogd siden ca. 1940 betegnes som «natturskog» eller «gammelskog». De påpeker at selv om det har skjedd fremskritt, er kun ca. 5 % av Norges skoger strengt vernet, og mange gammelskogsområder mangler fortsatt beskyttelse. Disse gruppene ønsker å fremskynde veien mot målet om 10 % skogvern, og videre, for å sikre at Norge oppfyller sine internasjonale naturforpliktelser (merk at også skognæringen og skogeierne støtter 10 %, så lenge det er frivillig og økonomisk kompensert).

De etterlyser «reelt» vern, som ikke bare handler om prosentandel areal, men også om kvalitet og representativitet. For eksempel argumenterer Naturvernforbundet for at Norge ikke kan telle med verneområder på papiret eller bare fjerne fjellområder i oppnåelsen av 30 %-målet; i stedet må mer lavlandsskog og produktiv skog med høy økologisk verdi vernes for å stanse artsutryddelse. Miljøorganisasjonene ønsker også endringer i skogpraksis i hele landskapet: bedre regulering av hogstmetoder, økt bevaring av dødvedstrukturer og eldre bestand, og en føre-var-tilnærming til nye inngrep. De støtter ideen om et eget, tilleggs mål for naturlig karbonlagring (slik WWF har foreslått), slik at økt karbonopptak i skog forfølges som et mål i seg selv, og ikke som en erstatning for å kutte fossile utslipp. På dette punktet finner miljøorganisasjonene og skogeierne felles grunn: begge er enige om at karbonopptak og lagring i skog skal komme i tillegg til, ikke i stedet for, utslippskutt. Der de skiller lag, er i hvor stor grad de aksepterer midlertidige hogstreduksjoner for å oppnå langsiktige klima- og naturgevinster; miljøorganisasjonene mener at klimamål ikke kan nås på bekostning av videre naturnedbygging, og støtter derfor tiltak som strengere hogstgrenser i gammel skog og bedre håndheving av miljøhensyn ved avvirkning.

Det er bred enighet om det overordnede målet: et «bærekraftig, klimasmart skogbruk» som gir flere goder. Debatten handler om hvordan man best balanserer karbonopptak, tømmerproduksjon og naturvern, altså hva som er det optimale forholdet mellom bruk og bevaring. Den pågående politikktutviklingen gir aktørene anledning til å påvirke detaljene. Myndighetene forsøker å styre en mellomvei: for eksempel ved å kombinere økt skogvern med støtte til industriens omstilling til høyverdiprodukter, eller ved å sikre at klimatiltak i skogen (som planting og gjødsling) gjennomføres på økologisk aktsom måte. Slutt målet er et sett med politikktiltak som de fleste aktørene kan stille seg bak, der norske skoger forvaltes slik at de forblir et robust karbonlager, en kilde til fornybare råvarer

og et reservoar for naturmangfold på lang sikt. Å oppnå denne balansen gjennom en inkluderende politisk ramme er grunnleggende for den tilnærmingen til klimasmart skogbruk som denne rapporten bygger på.

Avsluttende kommentar om politikk for klimasmart skogbruk:

Når klimapolitikk utformes for skogsektoren, er det viktig å ha tre regnskap i tankene samtidig:

1. Landregnskapet (karbonopptak og utslipp i skog);
2. Produktregnskapet (treprodukter, med standard halveringstid: 35 år for sagtømmer, 25 år for plater og 2 år for papir);
3. Substitusjonsregnskapet (utslipp som unngås når tre erstatter betong, stål, plast, fossilt brensel eller andre klimabelastende materialer).

Kun de to første inngår eksplisitt i nasjonale og internasjonale utslippsregnskap (inklusive LULUCF). Substitusjon må fanges gjennom livsløpsregnskap, produktstandarder eller karbonfjerningssertifikater som det nye EU-systemet (CRCF). En meta-analyse (Sathre & O'Connor, 2010) indikerer i snitt 3,9 t CO₂ spart per tonn tørt trevirke ved materialsubstitusjon, med betydelig variasjon etter produkt og referansemateriale. Derfor, for å lagre karbon over lengre tid, bør politikken styre mer massevirke og restressurser inn i treprodukter, isolasjon, tekstiler og andre varige varer, i tråd med et kaskadeprinsipp der forbrenning er siste utvei. Bioenergi, enten som direkte forbrenning eller biodrivstoffproduksjon, kan bidra til avkarbonisering når det erstatter fossilt brensel og er bærekraftig forvaltet (uten netto karbon- eller naturtap).

5.5 Risiko, usikkerhet, flernivå-koordinering insentivenes varighet

Langsiktige investeringer i skogbruk er i sin natur utsatt for risiko og usikkerhet (jf. seksjon 2.4.2), fra klimatiske endringer og naturpåvirkninger til svingninger i markedspriser og politiske rammevilkår. Effektiv politikk for klimasmart skogbruk må derfor være både robust (gi stabilitet og trygghet) og fleksibel (kan tilpasses uforutsette endringer). Flere hensyn er viktige:

Risikohåndtering og usikkerhet

Som beskrevet i seksjon 2.4.2, må beslutninger i skogbruk ofte tas under såkalt Knightiansk usikkerhet, altså der sannsynlighetene for framtidige utfall, eller endog utfallet i seg sjøl, er ukjente. Trær som plantes i dag skal vokse i mange tiår, og i løpet av denne perioden kan både klima og økonomiske forhold endres betydelig. Dette tilsier at politikken må legge til rette for adaptiv forvaltning. Ett mulig grep er å innføre fleksible, langsiktige finansielle virkemidler som tar høyde for usikkerhet i kapitalavkastningskrav (diskonteringsrenter) og kan justeres når ny informasjon foreligger. For eksempel kunne staten tilby forsikrings- eller garantimekanismer for karbonlagring: hvis en storm eller insektsangrep reverserer karbonopptaket, kan politikken fordele risikoen ved å unngå sanksjoner eller tilby midler til gjenoppretting. På samme måte kunne karbonfond eller klimabaserte obligasjoner struktureres med justerbare betingelser dersom forventet karbonpris eller tilvekst endrer seg. Hovedpoenget er å finne en balanse mellom stabilitet og tilpasningsevne. Skogeiere må ha tillit til at hvis de investerer i klimasmarte tiltak (som høyere hogstalter eller ny skjøtsel), så vil støtten og insentivene bestå, men politikken må også kunne endres når ny kunnskap foreligger. Ett eksempel er bruk av tidsbegrensning (sunset clauses) eller periodiske evalueringer av tilskuddsordninger, dette sørger for at virkemidlene forblir relevante og ikke virker mot sin hensikt under endrede forhold. Oppsummert handler risikohåndtering i klimasmart skogbruk om å gi verktøy som reduserer nedsiderisiko (f.eks. forsikring mot tap ved skogbrann eller skadedyr, jf. seksjon 2.4.2) samtidig som man opprettholder evnen til å justere strategien etter hvert som klima og markeder utvikler seg.

Stabile, men fleksible insentiver

I forlengelsen av dette må insentiver være troverdige over tid, men ikke så langvarige at de fremmer passivitet. Hvis et tilskudd eller karbonbetaling forventes å vare evig, kan noen eiere utsette tiltak for å «vente og se» eller spekulere i høyere betalinger senere. Omvendt, hvis ordningen er for kortvarig eller usikker, vil eierne kunne la være å investere i det hele tatt, av frykt for at støtten forsvinner før gevinsten realiseres. En måte å håndtere dette på er å kommunisere tydelig varighet og forventet utvikling i støtteordninger. Én strategi er nedtrappende insentiver: for eksempel karbonbetalinger som reduseres gradvis over 20 år, kan stimulere til tidlig innsats (for å få høyere betalinger i starten) samtidig som de gir noe støtte på lang sikt. En annen strategi er bruk av «siste frist»-insentiver: når et program har en fast sluttdato, kan dette utløse økt pågang rett før fristen. Slike mekanismer kan brukes til å få fart på tiltak som ellers innføres sakte. Til syvende og sist er troverdighet, at lovede insentiver faktisk gjennomføres og ikke trekkes tilbake uten forvarsel, like viktig som insentivets størrelse. Fordi skogbruk krever planlegging over mange tiår, er det viktig at programmer for klimasmart skogbruk har bred politisk støtte (slik at de overlever regjeringsskifter) og forankres i lovverket (slik at aktørene stoler på at ordningene vil bestå).

Flernivå-koordinering

Risikohåndtering i skogbruk krever tiltak på flere forvaltningsnivåer. Ingen enkelt skogeier kan alene håndtere systemiske risikoer som klimaendringer eller landskapsomfattende forstyrrelser. Politikk må derfor tilrettelegge for, og i noen tilfeller kreve, koordinering på tvers av geografiske og administrative skalaer: bestand, landskap, region og nasjon. For å oppnå dette bør virkemidlene fremme samarbeid mellom private og offentlige eiere samt mellom skogeierandelslag. For eksempel kan regionale skogbruksplaner brukes til å koordinere tynninger med brannforebyggende effekt på tvers av eiendommer, noe som er langt mer effektivt enn isolerte tiltak. På tilsvarende vis kan vassdragsbasert planlegging sikre at hogst og restaurering tilpasses for å unngå negative effekter på vannføring og -kvalitet.

I Norge har kommuner og fylker viktige roller i arealplanlegging, og disse nivåene kan være sentrale for å integrere skogrelatert klimarisiko i bredere arealstrategier. For at lokal skogsdrift skal støtte nasjonale klimatilpasningsmål, må planverktøyene eksplisitt ta høyde for landskapsbaserte risikoer og synergier.

Tilnærmingen til klimasmart skogbruk fremmer bruk av samarbeidsmodeller som landskapspartnerskap eller klyngebaserte initiativer (jf. kapittel 3), der grupper av skogeiere jobber sammen om felles klimamål. Slike tiltak bør støttes av offentlige programmer med teknisk veiledning og økonomiske insentiver for kollektiv innsats. Slik bidrar politikken ikke bare til å anerkjenne begrensningene til enkeltaktører, men også til å bygge institusjonelle forutsetninger for koordinert håndtering av systemiske skogsrisikoer.

5.6 Institusjonelle rammer og praktiske begrensninger

Selv om virkemidler skal stimulere til klimasmart skogbruk, er den praktiske skogsdriften i Norge også underlagt et sammensatt institusjonelt rammeverk av lover og regler. Disse setter viktige begrensninger på hvordan, når og hvor skogsdrift kan foregå, ofte for å ivareta miljømessige og samfunnsmessige hensyn. Under følger en oversikt over sentrale myndigheter og juridiske rammer for norsk skogbruk, og hvilke implikasjoner disse har for daglig praksis:

Landbruksdirektoratet

Hjemmelsgrunnlag: Skogloven. Rolle: Nasjonal koordinering og overordnet tilsyn med skogpolitikk. Praktiske begrensninger: Direktoratet utsteder detaljerte forskrifter og veiledere under skogloven. For

eksempel skal det håndheve plikten til foryngelse etter hogst: skogeieren må sikre ny skog innen tre år, ellers kan det ilegges pålegg eller sanksjoner. Direktoratet fastsetter også tekniske normer (som godkjente driftsformer, standarder for veibygging og skogbruksplanlegging) og sikrer ensartet praksis på tvers av kommuner. Dersom en skogeier driver uforsvarlig (for eksempel overhogst uten foryngelse), kan direktoratet stanse virksomheten. I sum representerer Landbruksdirektoratet den overordnede forvaltningsmyndigheten for bærekraftig skogbruk, som igjen støtter det langsiktige karbonopptaket.

Kommunale skogmyndigheter

Hjemmelsgrunnlag: Skogloven. Rolle: Lokal håndheving av skoglovgivning. Praktiske begrensninger: Kommunene har, enten alene, eller i samarbeid med andre kommuner kompetanse på skog som fører tilsyn med hogst i felt. Kommunen kontrollerer områder etter hogst for å verifisere at foryngelse gjennomføres, hvis eieren ikke handler, kan det utstedes pålegg, eller kommunen kan iverksette planting på eiers regning. Kommunen godkjenner også skogsbilveier og vurderer f.eks. erosjonsfare og effekter på sårbare naturtyper. Lokale myndigheter sikrer dermed at skogbruk skjer i tråd med lov og lokale arealhensyn. For skogeieren innebærer dette ekstra steg og mulige begrensninger, en nødvendig balanse mellom privat ressursutnyttelse og offentlige miljøinteresser.

Miljødirektoratet

Hjemmelsgrunnlag: Naturmangfoldloven. Rolle: Nasjonal myndighet for naturmangfold og miljøvern. Praktiske begrensninger: Direktoratet (ofte gjennom fylkesmannens miljøvernavdeling) kan legge begrensninger på hogst for å beskytte arter, habitater og økosystemer. Hvis et planlagt hogstfelt omfatter for eksempel en kjent hekkebiotop for en truet fugleart eller registrert nøkkelbiotop (regulert via sertifisering), kan hogsten utsettes eller forbys. Naturmangfoldlovens føre-var-prinsipp innebærer at ved usikkerhet om mulig alvorlig skade, ligger bevisbyrden på tiltakshaver. Enkelte naturtyper (som myr, gammelskog eller raviner) kan få krav om særskilt hensyn, og i praksis stenge for hogst eller veibygging. Aktivitet som kan endre økosystemet vesentlig kan også utløse krav om miljøvurdering. Dette sikrer at Norges satsing på tømmer og karbonopptak ikke skjer på bekostning av sårbar natur, men det øker samtidig kompleksiteten i skogforvaltningen, miljøvurderinger kreves ofte, og deler av eiendommer kan bli utilgjengelige for hogst for å ivareta naturverdier. Under den nye naturhandlingsplanen kan vi forvente skjerpet bruk av disse virkemidlene, som mer systematisk kartlegging før hogst og utvidet vern av nøkkelbiotoper.

En pågående høring fra Miljødirektoratet foreslår nye regler i plan- og bygningsloven som vil kunne begrense/forby utbygging på myrarealer; dersom dette vedtas, kan det påvirke etablering av skogsbilveier, velteplasser og annen skogbruksinfrastruktur.

Riksantikvaren

Hjemmelsgrunnlag: Kulturminneloven. Rolle: Vern av arkeologiske og historiske kulturminner. Praktiske begrensninger: Norske skoger skjuler ofte kulturminner (steinalderbosettinger, samiske tufter, kullmiler osv.). Loven forbyr inngrep i fredete kulturminner, og dette gjelder også ved skogsdrift. Hvis en skogeier planlegger en ny vei eller et hogstfelt, må det sjekkes at ingen kjente kulturminner blir berørt, dette gjøres vanligvis via nasjonale databaser. Oppdages ukjente kulturminner under arbeidet, skal hogsten stanses umiddelbart inntil funnet er vurdert. Brudd kan føre til høye bøter. For skogeieren betyr dette at kulturminnehensyn må innarbeides i planleggingen, og at driftslinjer eller veitraseer noen ganger må endres. Selv om disse begrensningene ikke er direkte relatert til klima, er de del av helheten i norsk skogforvaltning, samfunnet forventer at skogbruket respekterer både natur og kulturarv.

Statens kartverk

Hjemmelsgrunnlag: Matrikkeloven. Rolle: Ivaretar eiendomsgrenser og fører oversikt over arealbruk. Praktiske begrensninger: Klare eiendomsgrenser er viktig for å kunne planlegge og overvåke skogsdrift. Kartverket sikrer informasjon slik at skoglige aktiviteter skjer innenfor egen eiendom og ikke griper inn på andres grunn eller vernet offentlig areal. Selv om dette sjelden skaper konflikt, kan uklare grenser i enkelte skogsområder føre til tvister eller utilsiktet hogst over eiendomsgrensa. Det er krav om å merke og i noen tilfeller oppmåle grenser før større tiltak iverksettes. I tillegg må enhver endring i arealbruk (for eksempel omdisponering fra skog til annen bruk) registreres. Dette i hovedsak administrative rammeverket støtter opp om håndhevingen av øvrige regelverk ved å klargjøre hvor disse gjelder.

Statsforvalteren

Hjemmelsgrunnlag: Flere, blant annet skogloven, naturmangfoldloven og plan- og bygningsloven. Rolle: Regional myndighet som ofte fungerer som bindeledd mellom nasjonal politikk og lokal iverksetting. Praktiske begrensninger: Statsforvalteren vurderer ofte store eller kontroversielle saker innen skogbruk (for eksempel der det er konflikt mellom verneinteresser og tømmerhogst), og kan overprøve kommunale vedtak. De påser at nasjonale mål (klimamål, naturmangfoldforpliktelser) blir hensyntatt lokalt. Statsforvalteren kan også koordinere mellomkommunale skogtiltak og behandle klagesaker. For en skogeier er statsforvalteren gjerne klageinstans dersom man er uenig i et kommunalt vedtak. At dette forvaltningsnivået finnes, betyr at viktige beslutninger, som etablering av nye verneområder i private skoger, behandles grundig og etter nasjonale retningslinjer.

PEFC Norge (Programme for the Endorsement of Forest Certification)

Hjemmelsgrunnlag: Frivillig sertifiseringsordning, men i praksis nesten universelt brukt i Norge. Hovedrolle: Fastsetter standarder for bærekraftig skogforvaltning i sertifiserte skoger. Praktiske begrensninger:

- Innfører strengere miljøkrav enn skogloven alene, som for eksempel:
 - Minstekrav til avsatte arealer for naturhensyn (5 %).
 - Begrensning av størrelsen på flatehogster, ofte lavere enn lovens maksgrenser.
 - Buffersoner langs vassdrag og kulturminner.
 - Detaljerte retningslinjer for jordvern, hjulspor og skogsbilveier.
 - Minstealder for sluttavvirkning
- Forbyr visse kjemikalier og praksiser (f.eks. GMO-trær, restriksjoner på bruk av plantevernmidler).
- Krever dokumentasjon og revisjon: skogeiere må føre logg over planlegging, hogst og miljøtiltak.
- Gruppesertifisering: De fleste skogeiere er sertifisert gjennom skogeierandelslag og må følge regelverket for å forbli i ordningen.

Selv om sertifiseringen er frivillig i juridisk forstand, er den i praksis nødvendig for skogeiere som ønsker å:

- Selge tømmer til de store foredlings- og eksportbedriftene.
- Delta i sertifiserte tømmermarkeder.
- Være medlem i skogeierandelslag.

FSC Norge (Forest Stewardship Council)

Hjemmelsgrunnlag: Frivillig, global sertifiseringsordning, implementert i Norge gjennom nasjonal standard. Hovedrolle: Setter ti globale prinsipper og 56 kriterier for ansvarlig skogforvaltning, med

sterk vekt på miljøhensyn, urfolks- og lokalsamfunnsrettigheter og sporbarhet. Praktiske begrensninger:

- Krever identifisering og vern av skog med særlig høy verneverdi (HCVF), og forbyr konvertering av naturskog.
- Påbud om fritt, forutgående og informert samtykke (FPIC) fra urfolk, samt robuste konsultasjonsprosesser.
- Full dokumentasjon fra stubbe til sluttprodukt og tredjeparts revisjoner.
- Strenge sosiale kriterier for arbeidsforhold, helse, sikkerhet og samfunnsansvar.
- Forbedringsplikt: avvik krever korrigerende tiltak og oppfølgingsrevisjoner.
- Deltakelsesmodell: Åpen for både enkeltsertifikater og grupper (inkludert eget opplegg (SLIMF) for små/lavintensive skogeiere).
- FSC-merkene ("FSC 100 %", "FSC Mix", "FSC Recycled") gir tilgang til høykvalitetsmarkeder og nullavskogingsforpliktelser.

Som med PEFC, må skogeiere med FSC-sertifisering dokumentere planlegging, hogst og miljø-/sosialhensyn, og gjennomføre periodiske kontroll- og resertifiseringsrevisjoner. Selv om PEFC dominerer sertifiseringen i Norge, gir FSC et alternativ med sterkere miljø- og samfunnskriterier, som ofte foretrekkes i eksport- og nisjemarkeder. I denne rapporten antar vi at begge ordningene gir et solid bærekraftsgrunnlag som tiltak for klimasmartskogbruk kan bygge videre på.

Sertifisering gjennom PEFC og FSC former derfor i stor grad den daglige skogsdriften og sporbarheten, i mange tilfeller mer enn offentlig regulering.

6 Politikknarrativer

I dette kapitlet introduserer vi syv stiliserte politikk-narrativer. Hvert narrativ fremhever bevisst ett politisk mål (eller et sett av nært beslektede mål). Ingen av narrativene er i seg selv egnet til å dominere skogpolitikken alene, men ved å sette dem opp mot hverandre får vi fram mange av avveiningene og synergiene som kjennetegner klimasmart skogbruk. På den måten fungerer hvert narrativ som et analytisk perspektiv som gjør det lettere å vurdere hvordan ulike tiltak, enten på bestands-, eiendoms- eller landskapsnivå (jf. seksjonene 3.1–3.3), kan fremme eller hemme bestemte mål. Ingen narrativ er «best» i absolutt forstand; hvert av dem representerer ulike aktørpreferanser, risikoholdninger, virkemiddelvalg og markedsforhold.

En oversikt over narrativene gis i tabell 8. Denne er først strukturert etter de tre klassiske dimensjonene i bærekraftig utvikling (økonomisk, miljømessig og sosial), etterfulgt av helhetlig forvaltning av skogøkosystemtjenester, klimatilpasning, klimatiltak og til slutt avkarbonisering av økonomien. Alle disse dimensjonene er relevante for klimasmart skogbruk.

Tabell 8. Stiliserte politikknarrativer.

Narrativ	Prioritet	Synergier	Avveininger
Økonomisk forvaltning	Optimalisere hogstalter, treslag og hogsttidspunkt for lønnsomhet (nåverdi, NPV)	Kan gi noe karbonsubstitusjon dersom markedsinsentivene er riktige	Lav hogstalter og intensiv drift reduserer ofte karbonlagring i skogen og svekker naturmangfoldsverdier
Miljømessig forvaltning	Bevare og styrke økologisk integritet og biologisk mangfold samtidig som økosystemprosesser opprettholdes	Fremmer naturlig robusthet og øker karbonlagring i skogen gjennom restaurering og vern	Reduserer NPV og krever avveining mellom vern, virkeproduksjon og karbonfangst
Sosial forvaltning	Prioritere lokalsamfunnets velferd, rettferdig tilgang til skogens goder og bevaring av kulturelle verdier	Øker deltakelse og bygger sosial bærekraft gjennom lokalt forankrede skogtiltak	Sterkt fokus på sosiale hensyn vil ofte gå på bekostning av NPV, men kan i noen tilfeller gi inntekter
Bærekraftig forvaltning av skogøkosystemtjenester	Balanserer økonomiske, miljømessige og sosiale mål for langsiktig skoghelse	Sammenholder flere mål for å bygge robuste og multifunksjonelle skogsystemer	Balansering av ulike mål kan føre til kompromisser på kort sikt, for eksempel lavere NPV eller redusert karbonlagring
Maksimere klimatiltak	Øke skogens karbonopptak og -	Økt karbonopptak og -lagring styrker	Aggressive strategier kan redusere

Narrativ	Prioritet	Synergier	Avveininger
	lagring gjennom forvaltning som øker hogstalter, fremmer høytstående biomassetreslag og styrker bruk av treprodukter	markedsbaserte klimainsentiver og bidrar til nasjonale klimamål	treslagsmangfold og økologisk motstandskraft, og dermed øke sårbarhet og redusere NPV. Hogstalter som maksimerer biomasseproduksjon, reduserer også NPV.
Maksimere klimatilpasning	Bygge tilpasningskapasitet ved å velge robuste treslag, variere aldersstrukturen og bruke tilpasset skogbehandling for å møte klimaendringer	Bedre tilpasning kan øke skogens stabilitet og sikre skogøkosystemtjenester under endrede klimaforhold	Tilpasning kan føre til lavere maksimal biomasse og krever mer kompleks og kostnadskrevenne forvaltning, reduserer samlet sett NPV
Avkarbonisere økonomien (sirkulær bioøkonomi)	Erstatte fossilbaserte materialer med varige treprodukter	I tråd med industriell etterspørsel; varige treprodukter forlenger karbonlagring	Overavvirkning kan (på kort sikt) svekke skogens karbonlager og komme i konflikt med naturmangfold dersom det ikke forvaltes nøye

6.1 Økonomisk forvaltning

Hovedmål: Maksimere økonomisk avkastning fra skogbruk (nåverdi, NPV) ved å tilpasse driftspraksis til markedsforhold, driftskostnader og risikobetraktninger. Et slikt økonomisk drevet perspektiv bygger på intensiv skogbehandling (se seksjon 3.1 for åpne hogstformer med mål om å maksimere NPV).



Figur 11. Illustrasjon av et stilisert politisk narrativ for økonomisk forvaltning.

Hovedtilnærming:

- **Optimalisere treslag og stedsvalg:** Foretrekke høytytende og verdifulle treslag tilpasset voksested (f.eks. plante gran på næringsrik mark, furu på tørrere eller magrere jord) for å utnytte vekstpotensial og markedsetterpørsel.
- **Økonomisk rasjonell hogstaldere:** Velge hogstaldere som maksimerer netto nåverdi (venteverdi), som innebærer hogst ved en økonomisk optimal hogstaldere, kortere enn den biologiske maksimumsalderen for produksjon av biomasse (seksjon 3.1.1.4).
- **Lønnsom tynning:** Gjennomføre tynning kun dersom det er økonomisk lønnsomt (seksjon 3.1.1.3). Tynning kan i noen tilfeller forbedre lønnsomheten i bestandet totalt sett ved at verdien av småvirke utnyttes og ved at tilveksten og kvaliteten på gjenværende trær bedres.
- **Rask avvirkning ved skade:** Ved forstyrrelser (vindfall, insektsangrep) iverksettes hurtig avvirkning eller sanitærhogst (seksjon 3.2.2) for å berge salgbart tømmer og forhindre videre tap (f.eks. fjerning av billeangrepet virke før spredning).
- **Risikohåndtering:** Inkludere risiko og usikkerhet i planleggingen (seksjon 2.4.2). På risikoutsatte steder justeres treslagsfordeling eller hogstaldere for å redusere tap; alternativt benyttes forsikringsordninger eller samarbeidsløsninger for risikospredning mellom eiere eller over større områder. Dette sikrer at profittmaksimering ikke skjer på bekostning av uakseptabel individuell risiko.

Synergier:

- **Risikojustert robusthet:** Et økonomisk motivert regime kan likevel styrke robusthet dersom risiko inngår i vurderingen. For eksempel vil eiere som fokuserer på maksimal NPV hogge tidligere eller variere treslag i områder utsatt for storm eller skadeinsekter (seksjonene 3.1.1.5, 3.3.2). Økt variasjon gir bedre motstandsdyktighet samtidig som lønnsomheten opprettholdes.
- **Samsvar med bioøkonomien:** God økonomisk ytelse i skogbruket understøtter bioøkonomien. Lønnsomme drifter sikrer jevn tilgang på virke til industrien og forsyner markeder med verdifulle treprodukter (kapittel 4). Eksempelvis kan kvalitetssagtømmer brukes i bygninger, som gir både høy pris og langvarig karbonlagring. Dermed kan økonomisk optimalisering samsvare med klimamål, forutsatt riktige insentiver (som for eksempel karbonkreditter for varige treprodukter).

Avveininger:

- **Karbonlager:** Hogst ved økonomisk optimal hogstalder betyr ofte at trær felles yngre og oftere enn ved strategier som maksimerer karbonopptak og -lagring. Dette reduserer det gjennomsnittlige karbonlageret i skogen, fordi bestandet ikke når maksimal biomasse (jf. seksjon 3.1.1.4 og Tabellene 4–5 om avveining mellom volum og karbon). Noe karbonfangst ofres til fordel for økonomisk gevinst.
- **Naturmangfold og struktur:** Intensiv lønnsomhetsbasert drift vil i de fleste tilfeller føre til en forenklet skogstruktur. Monokulturer eller jevnaldrende bestand av det mest lønnsomme treslaget (ofte gran) kan fortrenge løvtrær og redusere mengden død ved, noe som svekker artsmangfold. Arter knyttet til blandingsskog eller gammel naturskog kan gå tapt (jf. seksjon 3.2.5 om tiltak for naturmangfold som kan måtte vike). Dette narrativet utfordrer også sertifiseringsregler.
- **Politiske begrensninger:** Nasjonale klimaforpliktelser (som Norges LULUCF-forpliktelser; kapittel 5) kan begrense profittdrevet hogst. Dersom mange skogeiere reduserer hogstalder samtidig, og dermed intensiverer hogsten, kan samlet reduksjon i karbonopptak komme i konflikt med nasjonale mål. Dette kan utløse behov for regulering eller økonomiske virkemidler (karbonskatt, subsidier, jf. seksjon 5.3) for å balansere private profittmål med offentlige klimaambisjoner.

6.2 Miljømessig forvaltning

Hovedmål: Bevare og styrke skogens økologiske integritet og biologiske mangfold, samtidig som essensielle økosystemprosesser og funksjoner opprettholdes over tid. Denne tilnærmingen, med vekt på økologiske resultater, samsvarer med adaptiv forvaltning for biologisk mangfold (se seksjon 3.2.5 for tiltak som prioriterer habitatvern innen skogforvaltning).



Figur 12. Illustrasjon av et stilisert politisk narrativ for økologi og biomangfold.

Hovedtilnærming:

- **Utvid vern og sett av økologisk verdifulle skoger:** Etablere landskapssonering (seksjon 3.3.1) for å verne biologiske «hotspots» og la naturlige prosesser skje med minst mulig forstyrrelser, for eksempel ved å sette av gammelskog og nøkkelbiotoper.
- **Høyere hogstaldere og naturlig foryngelse:** Forlenge omløpstidene, fremme naturlig foryngelse og variere treslagsblanding (inkludert mer løvskog) for å etterligne naturlig skogstruktur og dynamikk (seksjon 3.1.1.4).
- **Aktiv restaurering:** Øke habitatkvalitet gjennom tiltak som å bevare død ved og gamle trær, restaurere tidligere grøftede myrer og beskytte kantsoner langs vassdrag. Disse tiltakene støtter artsmangfold, næringsomløp og vannhusholdning (seksjonene 3.2.5–3.2.6).
- **Redusere inngrep:** Unngå store flatehogster, redusere markskader ved vinterdrift eller drift på stabile jordsmonn, og ingen bruk av kjemiske innsatsmidler. Nødvendige tiltak (tynning, slutthogst) gjennomføres på økologisk skånsomt vis.

Synergier:

- **Robuste økosystemer:** Forvaltning rettet mot biologisk mangfold bygger naturlig robusthet. Mangfoldige og strukturelt komplekse skoger kan være bedre rustet mot skadedyr, sykdom og ekstremvær, og sikre fortsatt levering av skogøkosystemtjenester under klimaendringer (jf. seksjon 3.1.1.5).
- **Karbon-samvirkeeffekter:** Bevaring og restaurering (f.eks. fremme gammelskog, vern av jordkarbon) bidrar til økte karbonlagre i biomasse og jord. Selv om karbon ikke er primærmålet, er nettoeffekten en betydelig lagring.
- **Politisk og offentlig støtte:** Sterk miljøinnsats harmonerer med internasjonale naturmål og nasjonal miljøpolitikk. Det har ofte bred folkelig støtte, noe som kan gi finansiering eller insentivordninger (seksjon 5.4), for eksempel betaling for skogøkosystemtjenester eller vern med kompensasjon.

Avveininger:

- **Redusert tømmeruttak:** Prioritering av økologiske hensyn betyr lavere hogstnivå. Store verneområder og ekstensiv drift gir redusert råvaretilgang og inntekter. Skogeiere får lavere NPV, og trebasert industri kan oppleve knapphet på virke.
- **Alternative kostnader:** Å prioritere vern fremfor produksjon innebærer økonomiske kostnader. Skogeiere trenger ofte kompensasjon eller støtteordninger (seksjon 5.4) for å oppveie tapt inntekt. Uten slik støtte skapes spenning mellom bevaringsmål og økonomien i tradisjonelt skogbruk.
- **Begrenset substitusjon:** Med lav hogstintensitet blir bidraget til erstatning av fossile materialer via treprodukter begrenset. Klimanytten ligger da mer i lagring i skog enn i produktbruk. Dette kan gi lavere bidrag til bioøkonomien.

6.3 Sosial forvaltning

Hovedmål: Prioritere lokalsamfunnets velferd i skogforvaltningen, sikre lik tilgang til skogens ressurser og goder, og ivareta kulturelle verdier og tradisjoner knyttet til skogen. Denne sosialt orienterte tilnærmingen fremhever betydningen av kulturelle økosystemtjenester (se seksjon 2.4.1.2 om friluftsliv og turisme som sentrale tjenester i norske skoger).



Figur 13. Illustrasjon av et stilisert politisk narrativ for sosial forvaltning.

Hovedtilnærming:

- **Deltakende styring:** Involvere lokalsamfunn og interessenter i beslutninger og planlegging. For eksempel styrke samarbeidet med slike interessenter i skogbruksplanprosessen slik at planene (hogsttidspunkt, vernesoner, stitilrettelegging) gjenspeiler lokal kunnskap og preferanser.
- **Rettferdig fordeling:** Sikre at fordelene fra skogen kommer flere til gode. Dette kan inkludere felles skogbruk der lokalbefolkningen får hente ved eller jaktrettigheter. Allemannsretten og lokale jaktordninger er praktiske eksempler på deling og likeverdighet.
- **Kulturelt vern:** Identifisere og beskytte områder med kulturell, historisk eller åndelig betydning. Skogbruksplaner skal ivareta tradisjonelle bruksformer og kulturlandskap. Driftstiltak tilpasses eller begrenses for å bevare estetiske og historiske kvaliteter.
- **Flerbruk og formidling:** Tilrettelegge for skogbruk som gagnar hele lokalsamfunnet, f.eks. friluftsliv, undervisning og turisme. Vedlikehold av turstier, samlingsplasser og informasjonsoppslag gjør skogen mer tilgjengelig og verdifull for allmennheten.

Synergier:

- **Styrkede lokalsamfunn:** Når befolkningen ser reelle fordeler og blir hørt, øker støtten til bærekraftig skogbruk. Lokale initiativ, som bygdelag som forvalter skog eller frivillige som overvåker naturmangfold, skaper engasjement og lokal forankring.
- **Sosial robusthet:** Skogbruk som støtter lokale jobber, produkter og tradisjoner bidrar til økonomisk og kulturell aksept. Slike samfunn har større evne og vilje til å restaurere skog etter naturhendelser.
- **Bredere støtte til tiltak:** Vekt på sosial velferd kan øke oppslutning om klimatiltak. Tiltak som kombineres med lokal nytte og kulturelle verdier møter ofte mindre motstand. Det gir lettere implementering av mål også innen klima og naturmangfold.
- **Folkehelse og rekreasjon:** Særlig urbane og periurbane skoger gir tilgjengelige grøntområder som fremmer fysisk og psykisk velvære. Økt tredekke i byer er knyttet til lavere stressnivå, redusert luftforurensning og bedre muligheter for mosjon og sosialt samvær.

Avveininger:

- **Lavere økonomisk effektivitet:** Forvaltning med primært sosialt formål kan gå på bekostning av økonomisk optimalisering. Avsetning av områder til friluftsliv eller tradisjonsbruk reduserer tilgjengelig areal for tømmerproduksjon. Småskala drift for å skape lokale jobber er mindre effektivt enn mekanisert stordrift. NPV reduseres, og det kan være behov for tilskudd.
- **Økt kompleksitet:** Mange og ulike sosiale forventninger (kulturvern, rekreasjon) gjør planlegging og beslutninger mer krevende. Konsensus krever tid, og konflikter kan oppstå, for eksempel mellom jegere og allmennhet. Det krever god tilrettelegging og ofte kompromisser.
- **Uforutsigbar karbon- og produksjonseffekt:** Et sterkt sosialt fokus i forvaltningen gir ikke nødvendigvis optimale resultater for karbonbinding eller tømmerproduksjon. I noen tilfeller kan sosiale eller estetiske hensyn føre til økt karbonlager, for eksempel dersom hogst begrenses av landskaps- eller friluftshensyn. I andre tilfeller kan tradisjonelle driftsformer og praksiser hindre etablering av mer produktive treslag eller forsinke nødvendig foryngelse. Resultatet kan være redusert tilvekst og lavere samlet karbonbinding, slik at både klimamål og forsyning av industrivirke må støttes med kompenserende tiltak.

6.4 Bærekraftig forvaltning av skogøkosystemtjenester

Hovedmål: Oppnå en balansert integrasjon av økonomiske, miljømessige og sosiale mål i skogforvaltningen for å sikre skogens langsiktige helse, produktivitet og mangfold. Dette scenariet representerer en helhetlig forvaltningsfilosofi (se seksjon 2.4.3 om balansering av klimatilpasning, klimatiltak og andre økosystemtjenester).

Hovedtilnærming:

- **Integrert planlegging:** Utarbeide forvaltningsplaner som gir balansert vekt til tømmerproduksjon, biologisk mangfold og sosiale verdier (som friluftsliv). Dette innebærer ofte romlig og tidsmessig detaljert planlegging, for eksempel gjennom Triade-tilnærmingen (seksjon 3.3.1), der noen områder forvaltes intensivt for tømmer, noen vernes, og andre brukes moderat. Planlegging på landskapsnivå gjør det mulig å effektivt utnytte synergier.
- **Best praksis i skogbruket:** Bruke en kombinasjon av skogbehandlingsteknikker i tråd med bærekraftskriterier. Produktive områder forvaltes med åpne hogstformer og miljøhensyn

(f.eks. kantsoner, selektiv tynning), mens sårbare områder forvaltes naturnært. Bevaring av jordhelse, vannkvalitet og foryngelsessuksess er viktig. Tiltak som for eksempel kontrollert kjøring for å unngå jordpakking og vern av myrer (seksjon 3.2.6) kombineres rutinemessig med tømmerproduksjon.

- **Adaptiv forvaltning og overvåking:** Bærekraftig skogforvaltning og forvaltning av skogøkosystemtjenester krever kontinuerlig læring og justering. Forvaltere implementerer indikatorer for økonomisk ytelse, biologisk mangfold og tjenesteproduksjon (MoniFun-indikatorene i seksjon 3.2 er ett eksempel). Overvåking av karbonlagre, treslagsfordeling og inntektsstrømmer gir grunnlag for justeringer, som å utforske nye inntektsmuligheter (som karbonkreditter, seksjon 5.6) ved økonomisk svikt.
- **Diversifiserte inntekter:** Støtte ulike inntektskilder fra skog. I praksis betyr det å supplere tømmerinntekter med andre produkter (f.eks. jakt), friluftsliv og turisme (turstier, guiding), og betaling for økosystemtjenester, som karbonkreditter og mulige kommende naturmangfoldskreditter. En diversifisert portefølje gjør det mulig for skogeieren å opprettholde bevaringstiltak og sosiale tiltak fordi inntekt også kommer fra annet enn tømmer, en «trippel bunnlinje»-tilnærming.

Synergier:

- **Robuste og motstandsdyktige systemer:** Balansering av miljømessige, økonomiske og sosiale faktorer gir iboende robusthet. En skog med mangfold i arter og bruk er mindre sårbar for enkelthendelser, f.eks. kan et fall i tømmermarkedet kompenseres av turismeinntekter, og insektsangrep kan ha mindre virkning i en variert skog.
- **Multifunksjonalitet:** Bærekraftig forvaltning gir skoger som samtidig leverer flere tjenester med forsterkende effekt. For eksempel forbedrer god vannkvalitet (miljømål) både lokalsamfunn (drikkevann, flomreduksjon) og tømmerets merkeververdi (markedsført som bærekraftig). Ved integrering av mål kan tiltak som blidningshogst eller lengre omløp gagne både produksjon og bevaring, og øke systemeffektiviteten (jf. seksjon 2.4.3 om samproduksjon).
- **Interessenttilpasning:** En skogøkosystem-tilnærming har høyere sjanse for bred støtte og for å tilfredsstille sertifisering og regelverk. Dette kan gi tilgang til nye markeder og finansiering. Balanse mellom interesser reduserer konflikt: industrien får stabil (om enn moderert) råvarestrøm, vernemyndigheter ser artsmål ivaretatt, og lokalsamfunn får anerkjent sine verdier.

Avveininger:

- **Intet maksimum, "poteten i midten":** Ved å forsøke å oppnå alt, maksimeres ikke ett enkelt mål. Tømmerproduksjonen blir lavere enn i et rent økonomisk regime, naturmangfold ikke like høyt som ved fullt vern, og karbonopptak og -lagring ofte midt imellom. Dette er en innebygd kompromissmodell.
- **Kompleks planlegging og kostnader:** Balansering av ulike mål krever mer sofistikert forvaltning og kan ha høyere kostnader. Det trengs flerfaglige vurderinger, medvirkning og investeringer i sertifisering og overvåking. På små eiendommer kan det være vanskelig å implementere dette alene, slik at disse kan trenge støtte, samarbeid eller rådgivning.

- **Spenninger og forhandlinger:** Selv i balansert forvaltning kan spenninger oppstå, som mellom å hogge et verdifullt bestand for inntekt eller bevare det for karbon og habitat. Slike avveininger krever kontinuerlig dialog og langsiktig forpliktelse, som kan utfordres av kortsiktige behov eller politiske skift.

6.5 Maksimering av klimatiltak

Hovedmål: Forsterke og utnytte skogens evne til å dempe klimaendringer ved å maksimere karbonopptak og -lagring i levende biomasse og jord, samt karbonlagring i treprodukter med lang levetid (treprodukter). Prioritering av karbonopptak innebærer ofte skogbehandlingstilpasninger (som forlenget hogstalder, se seksjon 3.1.1.4 om hvordan hogstalder påvirker karbonlagring i skog).

Hovedtilnærming:

- **Forlenget hogstalder:** La trærne vokse lenger og bli større enn ved konvensjonelle økonomiske hogstaldere (seksjon 3.1.1.4). Ved å utsette slutthogst akkumuleres mer biomasse, noe som gir økt karbonlagring på stedet. Gammel volumrik skog fungerer som betydelig karbonlager.
- **Høyt biomassepotensiale:** Velg treslag eller provenienser med høy veksthastighet og tretetthet som er godt egnet for voksestedet (seksjon 3.1.1.1). På høyproduktive arealer betyr dette ofte å prioritere gran. Sørg for høy tetthet ved planting og i foryngelsesfasen for å utnytte stedets potensial. Vurder skogbrukstiltak som genetisk forbedring eller gjødsling (hvor miljømessig forsvarlig) for å øke veksten. Målet er å maksimere netto primærproduksjon i skogen.
- **Volumorientert skogbruk:** Forvalt bestand for å optimalisere karbonakkumulering. Eventuelle tynninger må være lette og kun gjennomføres dersom de øker tilvekst eller forebygger naturlig avgang (seksjon 3.1.1.3). Alternativt kan en «ingen tynning»-strategi brukes for å opprettholde maksimalt karbonlager frem til slutthogst. Skogen beskyttes mot skader: gjennomfør overvåking og forebygging mot skadegjørere (stubbebehandling mot rotråte, barkbilleovervåking), og foreta rask hogst etter forstyrrelser (seksjon 3.2.2) for å unngå utslipp fra nedbrytning.
- **Karbonorientert hogst:** Flytt hogstfokuset mot produksjon av treprodukter med lang levetid. Dette betyr å prioritere sagtømmer og finér (store dimensjoner og høy kvalitet) fremfor masse- og energivirke. Det kan kreve justering av hogstteknikker (for eksempel hogst ved alder/størrelse som gir optimal andel konstruksjonsvirke). Koordinering med industrien (kapittel 4) kan være viktig: sørg for at virke havner i verdikjeder (byggevarer, møbler) som binder karbon i tiår. Fremme kaskadebruk slik at også brukte materialer går til produkter eller (potensielt) bioenergi med karbonfangst og lagring, og reduser avfall.
- **Skogreising og nyplanting:** Øk skogarealet der det er mulig for å øke det totale karbonopptaket. Etabler ny skog på tidligere marginale arealer med arter som har høyt karbonopptakspotensial. Selv om dette er tiltak som går utover vanlig bestandsvis skogbehandling, er det en sentral del av å maksimere strategiske klimatiltak (knyttet til arealpolitikk, jf. kapittel 5). Unngå også avskoging og arealendring, kontinuerlig skogdekke bevarer det opparbeidede karbonlageret.

Synergier:

- **Klimapolitiske insentiver:** En karbonmaksimerende strategi samsvarer sterkt med klimapolitikken. Skogeiere som følger dette narrativet kan få tilgang til karbonprising eller tilskudd for fjerning av drivhusgasser (seksjon 5.4). Karbonkreditter kan gi en ekstra inntektsstrøm dersom opptak utover business-as-usual (addisjonalitet) anerkjennes. På nasjonalt nivå kan dette bidra betydelig til å nå LULUCF-mål og Paris-avtalens forpliktelser.
- **Bioøkonomisk tilknytning:** Ved å fremheve treprodukter med lang levetid støtter dette narrativet den bredere bioøkonomien og sirkulær økonomi. Høy volumvekst kombinert med målrettet hogst til varige produkter gir mer fornybart materiale som kan erstatte stål, betong eller plast. Økt vekst i skogen bidrar dermed til klimatiltak utenfor skogen (via substitusjon). Skoger som forvaltes for maksimale klimatiltak blir ryggraden i klimasmarte næringer (bygningvirke, konstruksjonsvirke), og forener økologisk karbonlagring med økonomisk verdi.
- **Langsiktig produksjon:** Sunn og vital skog for karbonforvaltning overlapper ofte med praksiser som opprettholder produksjonspotensialet på lang sikt. Jordverntiltak som beskytter karbon (minimal forstyrrelse, bakkedekke) bevarer også jordens fruktbarhet og vannbalanse, noe som kan sikre tømmerproduksjon i kommende omløp. Selv om tømmeruttak tones ned på kort sikt, opprettholdes eller forbedres skogens biomasseproduksjon, og sikrer vedvarende klimatiltak.

Avveininger:

- **Konflikter med naturmangfold:** Å forvalte skog som høy-densitet karbonlager kan gå på bekostning av naturmangfold. Monokulturer av hurtigvoksende treslag eller tette enaldrede bestand med lite lys til skogbunnen gir lite heterogene habitater. Arter som krever åpne forhold, dødt virke eller strukturell variasjon kan svekkes. Økologisk robusthet kan reduseres, og karbonoptimalisert skog (ofte enaldret og ensartet) kan være mer sårbar for skadedyr og storm (seksjon 3.1.1.5), noe som ironisk nok kan sette karbonlageret i fare. Dette krever nøye risikostyring (f.eks. blanding av treslag eller strategisk tynning), selv i et karbonfokusert regime.
- **Økonomisk risiko og utsatt inntekt:** Å forlenge hogstalderen betyr å utsette inntekten. Skogeiere bærer risikoen for at forstyrrelser ødelegger tiår med akkumulert verdi. Dersom karbonpriser eller tilskudd ikke er høye nok til å dekke denne risikoen og den utsatte kontantstrømmen, kan strategien være økonomisk lite bærekraftig.
- **Begrensninger på voksested og drift:** Ikke alle arealer egner seg som karbonlager; hardt klima, dårlig jord eller bratt terreng kan gjøre at høyere hogstalder ikke gir mye mer vekst. Noen intensive tiltak (som gjødsling eller innføring av eksotiske treslag) kan også gi nye miljøproblemer (næringsutvasking, spredningsfare) og møte motstand. Det er dessuten en grense for hvor mye karbon som kan lagres før veksten flater ut, og ytterligere utsettelse av hogst gir lavere merutbytte, men høyere risiko. I narrativet må det derfor vurderes hvorvidt marginal karbongevinst er verdt innsatsen, og supplere med klimatilpasning for å sikre det akkumulerte karbonet. Dessuten kan hyppigere inngrep ved bruk av bledningshogst påvirke jordsmonn og bunnvegetasjon negativt. Skogsbilveier bør derfor planlegges for å balansere tilgang og økologisk bevaring.

6.6 Maksimering av klimatilpasning

Hovedmål: Proaktivt tilpasse og utvikle skogøkosystemer for å tåle og trives under fremtidige klimaforhold, slik at risikoen for og konsekvensene av langvarige klimaendringer på skogens helse, produktivitet og økosystemtjenester minimeres. Denne motstandsdyktige strategien bygger på prinsipper for adaptiv forvaltning (se seksjon 2.4.2.1 om fleksibilitet og tilpasning i møte med klimautfordringer).

Hovedtilnærming:

- **Klimasmart treslagsvalg:** Ved foryngelse og planting bør man velge treslag og provenienser som forventes å prestere godt under fremtidig klima (seksjon 3.1.1.1). Dette inkluderer mer tørketolerante, varmetolerante eller sykdomsresistente arter/varianter. I Norge kan dette for eksempel innebære å blande inn mer furu eller lauvtrær på steder som forventes å bli tørrere.
- **Variasjon i treslag og aldersstruktur:** Øk mangfoldet både i arter og aldersklasser (hogstklasser) som en forsikring mot usikkerhet (seksjonene 3.1.1.1 og 3.1.2). I stedet for store, enaldrede bestand bør en i større grad etablere blandingsskog. Tiltak inkluderer planting eller naturlig foryngelse med en blanding av bartrær og lauvtrær, bevaring av enkelte evighetstrær ved hogst, og bruk av bledningshogst eller skjermtrestillingshogst fremfor flatehogst. Variasjon i alder på landskapsnivå gjør at ikke alle bestand rammes like hardt av en gitt forstyrrelse; yngre trær kan overleve skadedyr som angriper eldre trær, og omvendt.
- **Redusert tetthet og brensellager:** I områder hvor tørke er ventet å øke, bør tettheten i bestand justeres for å gi trærne bedre tilgang på vann og næring. Dette kan oppnås gjennom hyppigere, men svakere tynninger for å begrense konkurranse (seksjon 3.1.1.3). I brannutsatte områder reduseres brensellageret ved å bruke kontrollert brenning, eller plante mindre brennbare treslag. Disse tiltakene øker vitaliteten hos enkelttrær og reduserer faren for katastrofale tap, og styrker dermed den samlede tilpasningen.
- **Styrking av økologiske beskyttelsesfunksjoner:** Gjennomfør tiltak som styrker skogens naturlige forsvar mot klimastress. For eksempel: vedlikehold og restaurering av myrer og kantsoner sikrer vannforsyning under tørke og modererer mikroklima (seksjon 3.2.6). Sørg for genetisk variasjon i foryngelsen (blanding av frøkilder eller plantemateriale) for å øke sjansen for at noen trær klarer nye forhold. Bevar jordsmonnet (unngå erosjon for å beholde organisk materiale) slik at skogbunnen forblir stabil til tross for endrede værmønstre. I skadeutsatte områder benyttes treslagsblanding og forebyggende tiltak (f.eks. fjerning av syke trær) for å hindre klimainduserte utbrudd (seksjon 3.2.2).
- **Tilpasset planlegging og overvåking:** Inkluder modeller som tar hensyn til klima i skogbruksplanlegging (seksjon 3.3.2). Etabler langtidsflater for overvåking av vekst, helse og foryngelse under endrede forhold. Tilpasning er en løpende prosess: når ny informasjon dukker opp (f.eks. ny skadegjører eller flere tørkeår), revideres praksis. Dette kan innebære justering av hogstalter, hogstplaner (f.eks. tidligere hogst ved økende mortalitet), eller planting med nye arter, i en kontinuerlig læringsløype der en forsøker å få til at skogen alltid ligger ett skritt foran belastningene som kommer med klimaendringene.

Synergier:

- **Langsiktig stabilitet:** En skog med maksimal klimatilpasning har lavere risiko for omfattende avgang. Ved å redusere risikoen for fremtidige skader (storm, skadedyr, tørkeindusert

svekkelse) sikrer dette narrativet et kontinuerlig karbonopptak og en jevn flyt av tømmer og tjenester. Selv om veksten på kort sikt kan være noe lavere (fordi man unngår et rendyrket fokus på høy produksjon), kan den kumulative produksjonen over tid bli høyere enn i en ikke-tilpasset skog som opplever alvorlige hendelser. Tilpasning støtter dermed indirekte både klimamål og økonomiske mål.

- **Bevaring av økosystemtjenester:** Mange tilpasningstiltak (økt treslagsvariasjon, beskyttelse av vannmiljø, opprettholdt vegetasjonsdekke) støtter også andre skogøkosystemtjenester. For eksempel gir variert og stabil skog gode forhold for biologisk mangfold og rekreasjon. Dette narrativet bidrar til å sikre naturopplevelser og estetiske verdier (færre flatehogde områder), og det beskytter vannbalansen ved å forhindre store forstyrrelser.
- **Kostnadsbesparelser og robusthet:** Selv om tilpasning kan være kostbart i starten, kan det over tid spares store summer ved å unngå store kalamiteter. En motstandsdyktig skog reduserer utgifter til nyplanting etter barkbilleangrep eller vindfelling. Videre betyr stabile skoger at lokalsamfunn og næringer (turisme, treindustri, jakt m.m.) unngår forstyrrelser. Dette styrker sosial og økonomisk robusthet i regionen under klimaendringer. Narrativet kombineres ofte med forsikringsordninger eller offentlige programmer som belønner risikoreduksjon.

Avveininger:

- **Lavere maksimalavkastning:** Blandingsskog vokser ofte saktere enn én hurtigvoksende art valgt kun for volumproduksjon. Å holde lavere tetthet eller lavere hogstalter i risikoområder reduserer direkte det virket som kunne blitt produsert i en mer «optimistisk» strategi. Over et omløp blir den høstede biomassen dermed lavere. Man bytter altså bort noe produksjonspotensial mot stabilitet.
- **Tap av kortsiktig karbon:** Enkelte tilpasningstiltak, som tynning for å redusere risiko eller tidlig hogst før bestandet blir «overmodent» og utsatt, kan redusere karbonlagringen på kort sikt sammenlignet med en karbonmaksimerende tilnærming. Intensjonen er å forhindre katastrofalt karbonutslipp senere, men det påløper et midlertidig tap nå, for eksempel ved å holde bestandet mer åpent eller ikke strekke omløpet til det biologiske maksimum. Dette kan gjøre det vanskelig å samtidig nå kortsiktige klimamål. Politikken må anerkjenne at en litt lavere karbonfangst nå kan gi en mer robust fangst i fremtiden, et «timingproblem» som krever tilpasning i karbonregnskapet.
- **Økt styringsbehov:** En tilpasningsorientert tilnærming krever hyppigere inngrep, nøye planlegging og ofte ny praksis, noe som øker kompleksiteten og kostnadene i forvaltningen. Regelmessige tynninger, anskaffelse og planting av variert plantemateriale, overvåking og fleksibilitet i planene stiller store krav. Skogeiere må påregne høyere kostnader til planting, pleie og plantevern, og trenger oftere rådgivning. Uten insentiver eller støtteordninger (for eksempel kostnadsdeling) kan enkelte eiere vegre seg mot investeringene, som ofte først gir gevinst gjennom unngåtte tap langt frem i tid, og derfor er vanskelig å «selge inn» uten tydelig politisk eller markedsmessig støtte.

6.7 Avkarbonisering av økonomien

Hovedmål: Maksimere skogsektorens bidrag til en samfunnsomfattende overgang bort fra fossile brensler og materialer ved å tilby fornybare, trebaserte alternativer. Dette scenariet prioriterer produksjon av høyverdige og varige treprodukter (og bærekraftig bioenergi) for å støtte en sirkulær og lavkarbonøkonomi. Å oppnå avkarbonisering i hele økonomien forutsetter effektiv utnyttelse av trevirke (se seksjon 4.2 for en gjennomgang av hvordan treprodukter erstatter mer karbonintensive materialer).

Hovedtilnærming:

- **Styrke verdikjeder for trebaserte produkter:** Invester i og styrk nasjonale foredlingsindustrier for å sikre at en større andel av hvert hogde tre går til varige, karbonlagrende produkter. Eksempler er utvidelse av kapasitet for limtre, massivtre (CLT) til byggeformål, trefiber-isolasjon, bioplast og andre innovative biomaterialer. En jevn tilgang av kvalitetstømmer fra skog til industri sikres, slik at tre kan erstatte stål, betong, plast og annet der det er mulig.
- **Fremme trinnvis utnyttelse av biomasse:** Oppmuntre til et brukshierarki der trevirke først anvendes til de mest verdifulle og varige formål, deretter gjenbrukes eller nedgraderes, og først til slutt brukes til energi. En slik trinnvis bruk forlenger karbonlagring i produkter og maksimerer fortrengningen av fossilintensive materialer (kapittel 4). Et eksempel: en tømmerstokk sages til konstruksjonsvirke; senere kan avkapp eller trevirke ved slutten av livsløpet bli til sponplater eller masse; før det til slutt brennes til energi (helst med karbonfangst).
- **Integrering med karbonfangstteknologi:** Tilrettelegg for samspill mellom skogbruk og (potensielt) nye karbonfangst- og lagringsteknologier. Dette kan inkludere å dedikere deler av avvirkningen (som ikke har annen anvendelse) til bioenergi med karbonfangst og -lagring. Hogstavfall eller energiplantinger kan forsyne anlegg som produserer varme eller drivstoff mens CO₂ fanges. Dette kobler bærekraftig skogbruk med teknologier for negative utslipp, slik at selv når trevirke brukes til energi, slippes ikke karbon ut i atmosfæren.
- **Koordinert hogstforvaltning:** For å forsyne en voksende bioøkonomi uten å forringe skogen, kan samarbeid mellom eiere være gunstig. Forvaltningsplaner kan sikre «riktige» hogstaldere, lange nok til å bygge volum og kvalitet, men korte nok til å møte industriens behov. Skogkulturteknikker (som målrettet tynning og kunstig kvisting) bør ha som mål å produsere høykvalitets sagtømmer til varige produkter, samtidig som tilstrekkelig biomasse og død ved etterlates for å opprettholde skogens helse og karbonlager.

Synergier:

- **Klimatiltak:** Økt bruk av tre som erstatning for fossilbaserte materialer og brensel har en dobbel klimaeffekt. For det første lagrer treprodukter karbon utenfor skogen, f.eks. i bygninger eller møbler, ofte i tiår, dette regnes med i karbonregnskapet (seksjon 4.1). For det andre forhindrer hvert tonn tre som erstatter sement, stål eller kull, de store utslippene som produksjon av disse produktene ville medført. Dette narrative knytter dermed skogbruk til et bredere utslippskutt: skogen leverer råstoffet til utslippsreduksjoner i andre sektorer, og forsterker dermed klimaeffekten utenfor skogens grenser.
- **Økonomi og distriktsutvikling:** En sirkulær bioøkonomisk tilnærming kan stimulere innovasjon, sysselsetting og inntekter i distriktene og i industriell sektor. Ved å diversifisere

produktene (fra tømmer og papir til tekstiler, plastalternativer, energi mm), blir skognæringen mer robust mot markedssvingninger. Nye verdikjeder (som biokjemikalier, tekstiler, trefiberisolasjon eller trekonstruksjonsteknologi) skaper arbeidsplasser og kompetanseutvikling i skogsektoren. Dette betyr at klimapositiv innsats i skognæringen også støtter levekår og regionale utviklingsmål, og dermed får bredere politisk støtte.

Avveininger:

- **Intensivt skogbruk og høyere kostnader:** Produksjon av store mengder høykvalitets-, og varige treprodukter kan kreve mer intensiv forvaltning enn vanlig virkeproduksjon. Tiltak som tett planting, hyppig tynning og kunstig kvisting, samt forlengede omløp for å produsere grove stokker, kan øke kostnadene og kompleksiteten. Slike praksiser er ikke alltid i tråd med maksimal økonomisk avkastning (NPV), særlig dersom politiske insentiver for lavkarbonprodukter (som støtte til sagtømmer eller karbonbetaling for lagret karbon i produkter) er utilstrekkelige. Forvaltere må balansere kvalitet og volum mot risiko (f.eks. at høy alder på skogen gir høyere stormrisiko) og sikre økonomisk levedyktighet.
- **Press på naturmangfold:** Et sterkt fokus på industriell virke- og biomasseproduksjon kan føre til mer homogene skoger (færre arter, mindre gammel skog og større andel enaldrede bestand) om det ikke balanseres. Elementer som ikke direkte bidrar til produksjon, som stående død ved, gammel skog eller arter med nøkkelfunksjoner, kan bli nedprioritert. Uten bevisste tiltak (f.eks. avsetning av verneområder eller integrering av artsvennlig skogbruk i henhold til seksjon 3.2.5), kan satsingen på en trebasert økonomi komme i konflikt med naturmangfold. Det er derfor viktig å sikre at enkelte arealer eller strukturer tas vare på for å unngå langsiktig økologisk forringelse.
- **Bærekraftige avvirkningsgrenser:** En vellykket bioøkonomi øker etterspørselen etter tre, noe som kan friste til overavvirkning. Dersom skogene hogges raskere enn de vokser til (over bærekraftig avvirkning), kan karbonopptaket og lagrene svekkes. Det vil redusere klimaeffektene som klimasmart skogbruk søker å oppnå. Sterk styring og sertifisering (seksjon 5.2 omhandler regulering av hogstnivåer) er nødvendig for å sikre at «avkarbonisering gjennom skog» faktisk blir bærekraftig på lang sikt.

7 Råd og anbefalinger i samfunnsperspektiv

I samfunnsperspektiv handler klimasmart skogbruk om å forvalte landets skoger på en måte som bidrar til oppnåelse av klimamålene og samtidig ivaretar skogens øvrige økosystemtjenester. Stortinget (som lovgivende makt) og myndighetene (departementer, direktorater, statsforvaltere og kommuner som utøvende makt) representerer samfunnet, og legger rammen for skogforvaltningen. Den må utformes slik at den balanserer klimatiltak og -tilpasninger, økonomisk verdiskaping og naturmangfold. Nedenfor presenteres anbefalinger sett i et slikt samfunnsperspektiv. De vektlegger langsiktighet, klimatiltak, klimatilpasning og motivasjon for skogeierne. Forutsigbare rammevilkår og respekt for eiendomsretten er sentralt for å motivere langsiktige investeringer i klimatiltak og -tilpasning.

Det eksisterer et bredt sett av retningslinjer og virkemidler (juridiske, økonomiske og informative) allerede, innrettet for regulering av et bærekraftig skogbruk. I tillegg finnes det noen virkemidler for klimasmart skogbruk (gjødsling og tettere planting). Den videre fremstillingen bør leses med dette som utgangspunkt, da formatet ikke tillater at den kan gå i detalj om det enkelte virkemiddel

7.1 Politikk og internasjonale rammer

Anbefalinger for klimasmart skogbruk må være tilpasset både nasjonale forhold og internasjonale forpliktelser. Norge er forpliktet gjennom FNs klimakonvensjon (UNFCCC) og Parisavtalen til å rapportere og redusere klimagassutslipp i alle sektorer, inkludert arealbruk, arealbruksendringer og skog (LULUCF-sektoren: Land Use, Land Use Change and Forestry). Retningslinjer for klimasmart skogbruk må derfor være utformet i samsvar med både disse overordnede internasjonale forpliktelsene og nasjonale mål. Norges deltakelse i EUs LULUCF-regelverk innebærer at endringer i skogens karbonlager inngår i det nasjonale klimaregnskapet. Systemet skal stimulere til økt karbonopptak og redusert utslipp fra arealbruksendringer, men rammene kan samtidig gi utilsiktede konsekvenser for et land som Norge, der skog de siste ti-årene har bidratt med store netto-opptak av karbon.

LULUCF-regelverket måler endringer i karbonopptak relativt til et fastsatt referansenivå (FRL/NFRL) for en kort rapporteringsperiode. Dette betyr at selv et høyt netto opptak av CO₂ kan framstå som et "underskudd" dersom opptaket faller under hva referansen tilsier. Dermed kan Norge måtte kjøpe kvoter selv om skogen i absolutt forstand binder langt mer karbon enn i de fleste europeiske land. For klimasmart skogbruk gir dette uklare insentiver: Skogbrukstiltak som øker opptaket på lang sikt, men som ikke passer inn i rapporteringsvinduet, får liten effekt i klimaregnskapet. Problemet er altså at regelverket er tidsmessig kortsiktig, mens skogbruket opererer på tidshorisonter på 50–150 år. Mange klimatiltak, som treslagsendringer eller forbedret foryngelse, gir størst effekt langt utover LULUCF-perioden. Når slike tiltak ikke belønnes innenfor systemets tidsskala, svekkes motivasjonen til å prioritere dem.

Et annet forhold er risikoen for karbonlekkasje. Dersom for eksempel nasjonale restriksjoner på hogst reduserer tilgangen på virke i Norge, kan produksjon og tilhørende utslipp flyttes til andre land med svakere miljøkrav. Nettoeffekten globalt kan da bli negativ, selv om nasjonale klimaregnskap viser forbedring.

For at klimasmart skogbruk skal fungere etter hensikten, anbefaler vi derfor følgende:

- Vektlegge tiltak som har dokumentert langsiktig klimanytte, selv om de faller utenfor kortsiktige rapporteringsperioder.
- Fremme datadrevne og transparente beregningsmetoder slik at karbonopptak og -lagring måles mer presist og over lengre tid.

- Bidra til politikkutforming som minimerer karbonlekkasje, ved å kombinere klimahensyn med fortsatt bærekraftig produksjon av trevirke.
- Sikre at nasjonale strategier for skogbruk og klima ikke reduseres til kun rapportering, men understøtter aktiv og helhetlig forvaltning som styrker både karbonlagring, substitusjon, verdiskaping og naturmangfold.

7.2 Styrket oppfølging av lov- og sertifiseringskrav

Et grunnleggende tiltak er å sikre bedre etterlevelse av de krav som allerede er fastsatt i lovverket og gjennom skogbrukets sertifiseringsordninger. Skogbruksloven stiller blant annet krav om bærekraftig forvaltning og foryngelsesplikt etter hogst, og sertifiseringsstandarder (PEFC Norsk Skogstandard eller FSC) krever ivaretagelse av naturmangfold gjennom et bredt spekter av spesifiserte tiltak.

Det er en kjensgjerning at brudd på skoglovens foryngelseskrav er ganske utbredt (se f.eks. rapporten «Kartlegging av foryngelse og miljøhensyn ved hogst og skogkulturtiltak» utgitt av Landbruksdirektoratet i 2024), og ofte ikke får konsekvenser i praksis, med blant annet redusert karbonopptak og -lagring som resultat. Myndighetene bør derfor etablere et mer effektivt oppfølgingssystem. Dette kan inkludere økt ressurstilførsel til skogoppsyn og kommunal skogforvaltning, slik at flere hogstfelt inspiseres. Ved kontroll bør det sikres at hver hogstflate oppfyller minstekrav til foryngelse innen fristen og at miljøhensyn som for eksempel kantsoner, livsløpstrær og nøkkelbiotoper er ivarettatt.

Et annet konkret virkemiddel som kan vurderes, er meldeplikt for hogst i utvalgte tilfeller. Per i dag kan skogeiere i stor grad starte hogst uten å melde fra til kommunen, noe som vanskeliggjør forhåndskontroll. Myndighetene kan vurdere å innføre en begrenset meldeplikt, for eksempel i områder med sårbar natur eller der det er avdekket gjentatte lovbrudd. En slik meldeordning vil gi forvaltningen mulighet til å vurdere planlagt hogst på forhånd og sikre at hensyn til foryngelse og miljø blir planlagt inn før tiltaket gjennomføres. For at meldeplikt skal ha ønsket effekt, må den kombineres med tydelige retningslinjer for saksbehandling og tilstrekkelige ressurser til kommunene.

7.3 Balanse mellom klima, markedsorientert verdiskaping og naturmangfold

Klimasmart skogbruk krever at tre hovedhensyn balanseres: klima, markedsorientert verdiskaping og naturmangfold. En helhetlig tilnærming er nødvendig.

Klimahensynet innebærer at skogen forvaltes slik at den i stor grad bidrar i klimasammenheng. Dette skjer ved at skogen tar opp karbon gjennom vekst, lagrer karbon i økosystemet og ved å levere trevirke som kan erstatte fossilbaserte materialer. Vi anbefaler å fremheve tiltak som øker karbonopptak, -lagring og substitusjon, gjør skogen mer robust mot skader forårsaket av klimaendringene, og samtidig ivaretar andre hensyn i tilstrekkelig grad.

Markedsorientert verdiskaping tilsier at skogbruket skal være lønnsomt for skogeierne og bidra til arbeidsplasser og verdiskaping i samfunnet. Vi anbefaler å støtte opp under et aktivt skogbruk som leverer råstoff til industri og energi, samtidig som klima- og miljøkrav oppfylles. Dette krever klare prioriteringer, med rom for fleksibilitet: Skogeierne må kunne levere tømmer til markedene for industriell foredling og forvalte skogen for inntekt, men innenfor rammer som sikrer bærekraft.

Naturmangfoldet utgjør den tredje pilaren. Et rikt biologisk mangfold i skogen er en verdi i seg selv og sikrer økosystemenes motstandskraft. Imidlertid kan enkelte klimatiltak og -tilpasninger, og intensivt skogbruk komme i konflikt med arts mangfold og økologisk balanse.

7.4 Nærmere om klimatilpasning

Vi anbefaler at det legges stor vekt på klimatilpasning som gjør skogene mer robuste mot virkningene av klimaendringene. Klimatilpasning er også et samfunnsansvar og -gode fordi robuste skoger beskytter både naturverdier og samfunnsinteresser (som ras- og flomsikring, rekreasjon, tømmerproduksjon).

Noen sentrale strategier for klimatilpasning i skogbruket som bør vektlegges er:

- **Treslags- og proveniensvalg:** Ved foryngelse må det legges vekt på å bruke treslag og plantemateriale som er tilpasset voksestedet og som vil trives under fremtidens klimaforhold. Gi føringer om hvilke treslag som er klimatilpasset ulike regioner, basert på forskning og klimaframskrivninger.
- **Skogskjøtsel for stabilitet:** Det anbefales skjøtselstiltak som gjør skogen mindre utsatt for storm, snøbrekk, tørkestress og skadedyr. Myndighetene kan utarbeide konkrete anbefalinger for tetthet og skjøtelsregimer som balanserer produksjon og stabilitet under ulike klimascenarier.
- **Overvåking og tidlig varslings:** Som del av klimatilpasningen bør det etableres systemer for bedre overvåking av skoghelse, for eksempel insektsangrep, sykdommer og tørkeskader, slik at tiltak kan iverksettes raskt. Myndighetene kan videre legge til rette for at skogeiere får tilgang til oppdatert informasjon (for eksempel via digitale løsninger) om risiko for skadegjørere eller skader fra ekstremvær, samt råd om hva de bør gjøre når slikt inntreffer. Ansvarsfordelingen og beredskapstiltak ved slike hendelser bør beskrives.
- **Tilpasning av infrastrukturen:** Vi anbefaler at det legges føringer for hvordan skogsbilveier, driftsmetoder og logistikk planlegges i et endret klima. Økt nedbør og hyppigere styrtregn krever at veier og grøfter dimensjoneres for å tåle økende vannmengder og unngå erosjon.
- **Skogreising:** Dette kan gi økt karbonopptak og -lagring på lang sikt, særlig på egnede arealer som ikke har høye naturverdier. Samtidig kan skogreising på enkelte åpne områder, kulturlandskap eller myr gi betydelige naturtap og redusert samfunnsaksept. Vi anbefaler derfor at skogreising støttes der klimaeffekten er tydelig positiv, miljøkonfliktene er små, og tiltaket inngår i langsiktige regionale arealplaner. Retningslinjer for arealprioritering og økologisk vurdering bør styrkes.
- **Nedbygging av skog:** Dette representerer et permanent tap av karbonlager, redusert framtidig karbonopptak og svekkede økosystemtjenester. Vi anbefaler redusert netto nedbygging av skog, særlig av produktiv skog med høy bonitet, og sikre at konsekvenser for karbon, natur og hydrologi vurderes systematisk i arealplanleggingen. Alternativer til nedbygging bør prioriteres, inkludert fortetting og bruk av allerede omdisponerte arealer.

7.5 Motivasjon og virkemidler for skogeierne

For at klimasmarte føringer, råd og virkemidler skal få gjennomslag, må skogeierne motiveres til å følge dem. De bør derfor utformes og iverksettes med tanke på hva som driver skogeierne til handling. For eksempel bør balansen mellom "gulrot og pisk" i virkemiddelbruken vurderes. Tydelige minimumskrav med reell risiko for sanksjoner ved lovbrudd synes nødvendige.

Skogeierne bør ta hensyn til aktuelle og forventede effekter av klima i sin egen forvaltning for å ivareta skog og inntekter derfra. Klimatilpasning for å unngå skogskader er derfor i stor grad et anliggende for eierne. Så kan det være at samfunnet ønsker for eksempel klimatiltak for økt karbonopptak og -lagring, noe som, isolert sett, vil kunne redusere den enkelte skogeiers lønnsomhet. I slike tilfeller, og sett i et

samfunnsmessig perspektiv, bør skogeieren kompenseres for endret forvaltning, for eksempel via tilskuddsordninger eller skattesubsidier som skogfond.

Informasjon og kunnskap er et annet nøkkelpunkt. Mange skogeiere vil gjøre kloke og bærekraftige valg dersom de forstår effektene av ulike tiltak og ser nytteverdien. Skogbruksplanleggingen bygger på et etablert system der statlige og kommunale aktører, skogeierorganisasjoner og profesjonelle takstmiljøer samarbeider. Fjernmåling, feltregistreringer og miljøkartlegging etter gjeldende standarder sikrer høy datakvalitet. Planene oppdateres vanligvis hvert 10.–15. år og kan utvides med funksjonalitet som beslutningsstøtte, prognoser og tiltaksvurderinger knyttet til klimaendringer.

Vi anbefaler at skogbruksplanen brukes som det sentrale verktøyet for å integrere klimasmart skogbruk i praktisk forvaltning på eiendomsnivå. En oppdatert skogbruksplan gir et samlet og detaljert bilde av skogressursene, inkludert treslag, alder, volum, bonitet, miljøverdier og relevante restriksjoner. Dette gir et solid kunnskapsgrunnlag for å ta beslutninger der hensyn til klima, økonomi og naturmangfold veies opp mot hverandre.

Det anbefales at myndighetene tar initiativ til å utvikle skogbruksplanen slik at den kan brukes som et enda mer aktivt beslutningsstøtteverktøy i klima-arbeidet. En slik plan bør muliggjøre vurderinger av karbonopptak og lagring, identifisering av risikoutsatte bestand (for eksempel områder med økt risiko for vindfall, tørke eller skadedyr), planlegging av treslagsvalg og tilpasning av hogststrategier. Den kan også integrere tiltak for naturmangfold og hydrologi og kobles til digitale databaser for løpende oppdateringer.

Det er også viktig at retningslinjer og virkemidler oppleves som praktisk enkle å gjennomføre. Hvis det innføres nye krav eller rutiner (for eksempel meldeplikt eller økte dokumentasjonskrav), bør myndighetene altså bidra til at dette gjøres så enkelt som mulig.

7.6 Punktlister

Klimatiltak

- Prioriter håndheving av gjeldende reglement: styrk tilsyn og reaksjoner der lov- og sertifiseringskrav allerede gjelder, men mangler oppfølging i praksis.
- Vurder å etablere enkel, risikobasert forhåndsmelding for større hogster i sårbare områder for å kvalitetssikre klima- og miljøhensyn før drift.
- Forsterk bruken av skogfond/tilskudd til tiltak med dokumentert CO₂-nytte (foryngelse, ungsogpleie, målrettet gjødsling på egnet mark).
- Sikre datatilgang: nasjonale, åpne og operative kart for miljøverdier, hogstaktivitet og foryngelsesstatus som gjør etterlevelse og læring mulig.

Klimatilpasning

- Integrer klimatilpasning som et eksplisitt krav i planer og virkemidler (uten å duplisere sertifikatkrav): etterspør dokumenterte grep for robusthet.
- Bygg et nasjonalt tidligvarslingssystem for skoghelse (insekter, sykdommer, tørkestress, brannfare), gjerne koblet til operative råd og beredskapsmidler.
- Styrk tilskudd/erstatningsordninger for rask gjenoppbygging etter skade (sanitærhogst, planting, suppleringsplanting), slik at karbonopptak og verdiskaping kommer raskt i gang.
- Tilpass infrastrukturkrav (veier, driftssesong, maskinbruk) til våtere vintre og mer ekstremnedbør for å redusere skader og kostnader.
- Vurder å støtte tiltak på tvers av eiendommer (landskapsnivå) for å unngå landskapsmessig sårbarhet (flatestørrelse, vind, snø, skadedyr mm).

8 Råd og anbefalinger i skogeierperspektiv

Dette kapitlet presenterer råd og anbefalinger for klimasmart skogbruk orientert mot private skogeiere og skogeierlag. Målet er at skogeiere skal kunne integrere klimatiltak og klimatilpasning i skogforvaltningen, samtidig som økonomisk avkastning og naturmangfold ivaretas. Langsiktig perspektiv vektlegges spesielt. Skogbehandling i dag må planlegges for et klima og samfunn i endring, med et langt tidsperspektiv. Anbefalingene forutsetter at skogeierne følger gjeldende lover og skogsertifiseringsstandarder, som allerede setter rammer for bærekraftig skogbruk. Mange av forslagene – kanskje de fleste – reflekterer dermed eksisterende krav. Vi understreker derfor betydningen av bedre oppfølging i praksis der slike krav ofte forsømmes. På den måten kan skogeierne demonstrere ansvarlighet og unngå behov for strengere reguleringer fra myndighetenes side.

8.1 Langsiktig og klimatilpasset planlegging

insektsangrep

En oppdatert skogbruksplan er det mest effektive verktøyet skogeiere har for å integrere klimasmart skogbruk i praksis. Skogbruksplanen gir et faktabasert, systematisk og stedfestet bilde av skogressursene på eiendommen, inkludert informasjon om treslag, alder, volum, bonitet, hogstklasser og miljøverdier. Dette gir skogeieren et grunnlag for å vurdere tiltak som ivaretar både klima, økonomi og naturmangfold. Skogbruksplanlegging i Norge bygger på et etablert forvaltningssystem, der statlige og kommunale myndigheter, skogeierorganisasjoner og profesjonelle takstmiljøer samarbeider om datainnsamling og planproduksjon. Planen utarbeides normalt hvert 10.–15. år, og det gis offentlige tilskudd som gjør dette økonomisk gjennomførbart for den enkelte.

Dagens skogbruksplan inneholder få elementer som kan knyttes direkte til klimaendringene. En mer klima-rettet skogbruksplan kan derfor gi et bedre grunnlag for klimatilpasning og risikostyring ved å synliggjøre bestand som er særlig utsatt for vind, snøbrekk, tørke eller skadegjørere, og gjøre det mulig å planlegge tiltak som treslagsmiks, tilpasning av hogstalter, valg av hogstformer, og prioritering av robuste foryngelsesstrategier. For skogeiere og skogeierlag som ønsker målrettet klimainnsats, vil en slik plan gi en struktur for å identifisere hvilke tiltak som gir størst effekt.

Skogbruksplanen kan i tillegg fungere som et felles styringsverktøy for skogeierandelslagene. Når flere eiendommer har planer som følger samme metodikk og datagrunnlag, blir det enklere å koordinere drift, planlegge veiprosjekter, håndtere forstyrrelser og sikre at miljøregistreringer følges opp i tråd med sertifiseringskravene.

Vi anbefaler derfor at skogeiere og skogeierandelslag bruker skogbruksplanen aktivt som utgangspunkt for klimatilpasset og bærekraftig drift. En klima-rettet og godt utnyttet skogbruksplan vil styrke både tilvekst og robusthet, samtidig som den dokumenterer ansvarlig forvaltning overfor myndigheter, marked og sertifiseringssystemer.

På generelt grunnlag for skogbehandling bør langsiktighet, robusthet og risikostyring prioriteres. Identifiser hvilke bestand som er mest utsatt for klimaendringenes effekter, for eksempel grunt jordsmonn med vindutsatt skog, monokulturer som kan rammes hardt av insekter og andre skadedyr, eller områder med høy brannrisiko. Legg en strategi for disse: Det kan innebære å spre risiko ved å variere treslag og alder (unngå at all skog blir hogstmoden samtidig), eller ved i noen bestand å satse på lav tetthet i foryngelsen og/eller unngå kraftige tynninger seint i omløpet for å redusere faren for vindfall og snøbrekk. I planleggingen bør skogeier også ha beredskap for naturlige forstyrrelser: hvordan håndtere et plutselig barkbilleangrep eller konsekvensene av et ekstremvær? En god plan

inkluderer prosedyrer for rask opprydding og foryngelse etter skader, slik at ikke verdiene går tapt eller skadene forverres (f.eks. ved at vindfall blir yngleplass for skadeinsekter).

8.2 Klimatiltak: Økt karbonlagring og fornybare produkter

Et hovedprinsipp i klimasmart skogbruk er å øke skogens opptak og lagring av karbon. Skogeieren bør derfor tilstrebe å holde skogen produktiv gjennom kontinuerlig foryngelse og god skogskjøtsel. Foryngelsesplikten krever etablert tilfredsstillende foryngelse senest innen tre år (helst umiddelbart) etter hovedhogst. Dessverre er det mange som ikke overholder denne, noe som undergraver både skogens langsiktige produksjonsnivå og karbonopptak og -lagring. Skogeier må sikre planting eller naturlig foryngelse raskt etter hogst, og gjerne følge opp med suppleringsplanting ved behov. Benytt kvalitetsfrø eller plantemateriale tilpasset stedlige forhold, og vurder også forventede endringer i klima når du velger treslag eller proveniens.

Øk tilveksten med bærekraftige skogkulturtiltak. Skog som vokser godt, tar opp mer CO₂. Derfor kan det være aktuelt med tiltak for å øke produktiviteten. I noen tilfeller kan gjødsling av skog være et klimatiltak. Det finnes tilskuddsordning for begrenset gjødsling på passende arealer, der dette gir økt netto CO₂-opptak. Slike tiltak må gjennomføres med fornuft: unngå overgjødsling eller bruk i kantsoner mot vann (for å unngå avrenning til vassdrag). Skogsertifisering stiller også krav om at gjødsling skjer miljømessig forsvarlig.

Prioriter produksjon av varige og substituerende treprodukter. Klimamessig er det ønskelig at mest mulig av det avvirkede tømmeret går til varige treprodukter som konstruksjonsvirke, møbler eller andre materialer som erstatter stål, betong eller plast. Disse produktene lagrer karbon over lang tid og erstatter mer utslippsintensive materialer. Skogeieren kan bidra ved å produsere kvalitetsvirke, for eksempel ved å la de beste bestandene stå litt lenger (der risikoen for råte/storm tillater det), samt utføre tynning det det kan passe slik at tømmerkvaliteten ved sluttavvirkning øker. Resultatet blir større andel sagtømmer av høy verdi og lengre levetid. Mindre verdifulle sortimenter (massevirke, energivirke) vil alltid komme ut som biprodukter. Også disse har en klimafunksjon ved at de kan brukes til biobaserte produkter eller bioenergi. Samtidig kan det være lurt å følge med på nye muligheter: Muligens vil det åpne seg markeder for biomasse til negative utslippsteknologier (f.eks. bioenergi med karbonfangst og lagring). I så fall kan det være at markedene vil endre relative priser slik at også kvalitetsvirke vil gå til bioenergi.

Husk også at noe karbon bør bli igjen på hogstflata i form av død ved og røtter som kan brytes ned sakte. Å la hogstavfall ligge igjen (i rimelig mengde) bidrar til karbonlager i jorda og gir viktige habitat for insekter og sopp. Dette er i tråd med sertifiseringskrav. Samtidig må balansen være riktig: for store mengder GROT (greiner og topper) kan hemme foryngelsen og øke brannrisiko.

8.3 Klimatilpasning: Økt robusthet og redusert risiko

Diversifiser skogen for å spre risiko. Klimatilpasning handler om å gjøre skogen mer motstandsdyktig mot ekstremvær (tørke, vind, styrtregn, våt snø med påfølgende skogskader) og endringer i nedbørmengde og temperatur. En nøkkelstrategi er diversifisering. Unngå å ha kun én treslagstype eller ensaldrede monokulturer over store arealer. Treslagsblanding (f.eks. furu og gran sammen, eller lauvinnslag i barskog) kan gjøre skogen mindre sårbar for artsspesifikke skader som insektsangrep og sykdommer. Ved slutthogst av granbestand på typisk furumark bør det vurderes nøye (furuas sårbarhet for beiteskader mot granas sårbarhet for barkbiller og tørke) om en skal skifte til furu når arealet forynges. Ulike treslag og genetisk variasjon øker sannsynligheten for at noe klarer seg under nytt klimastress. Tenk også aldersfordeling: En eiendom der all skog er jevn gammel vil gi økt klimarisiko, f.eks. kan en storm ramme ekstra hardt om mange bestand er gamle samtidig.

Tilpass hogstformer og skjøtsel til terreng og klima. I utsatte områder kan skogeier vurdere alternative hogstmetoder fremfor snauftehogst. Lukkede hogstformer (bledning, gruppehogst eller skjermtestilling) vil etterlate mer stående skog som vindskjerm og frøtrær, noe som kan være fordelaktig på vindutsatte steder eller der jorda er utsatt for erosjon. I bratte lier eller nær vassdrag kan mer skånsomme uttak redusere risikoen for skred og avrenning, samtidig som skogen lettere etablerer seg på ny. I kjøligere høydelag kan lukkede former også hjelpe unge trær ved å moderere mikroklimaet. Samtidig må man avveie de potensielt positive effektene av lukkede hogster mot lavere uttak og produksjon på kort sikt sammenlignet med åpne hogster.

Styrk skogens helsetilstand gjennom skjøtselsrutiner. God, hyppig skjøtsel bidrar til mer motstandsdyktig skog. For eksempel: utfør avstandsregulering i tett ungskog for å styrke utviklingen av stammene; trær som har vokst opp med passe avstand utvikler sterkere rot- og stammestruktur, og tåler vind og snø bedre. Ved tynning kan man også fjerne syke eller skadde trær og således øke motstandsdyktigheten mot skadedyr. Vurder bruk av Rotstop (biologisk stubbehandling mot rotkjuke) ved hogst i utsatte områder. Dette kan forebygge framtidig råte og dermed bevare karbonlagringsevnen i stående skog. Forsøk å fremme treslagsblanding der det er mulig under ungskogpleie og tynning (for eksempel spar enkelte lauvtrær i granbestandet). Dette gir både biodiversitetsgevinst og klimatilpasning, da lauvtrær ofte er mer stormfaste.

Planlegg for rask gjenoppbygging etter forstyrrelser. Til tross for forebyggende tiltak vil skader kunne inntreffe. Da er det viktig med effektive rutiner for gjenoppbygging av skogen. Dersom stormen feller trær eller insekter tar knekken på bestand, må skogeier raskt vurdere sanitærhogst for å berge verdien og hindre videre skade. Påfølgende foryngelse bør ikke vente. Benytt gjerne anledningen til å introdusere en mer klimatilpasset skog dersom det gamle bestandet viste seg sårbart. For eksempel, etter store stormfelling av gran kan det være aktuelt å plante en blanding av gran og furu. Sørg for å bruke skogfondmidler og søk tilskudd der det finnes (enkelte steder gis det støtte til gjenplantning etter naturskade).

8.4 Balanser klimahensyn, økonomi og naturmangfold

For skogeiere gjelder det å finne en balanse der klimahensyn og økonomisk drift går hånd i hånd, samtidig som naturmangfold ivaretas. Et rikt naturmangfold er en støttende faktor som bidrar til skogens langsiktige helse og robusthet. Nøkkelen er å integrere hensyn til naturmangfold på en måte som styrker klimamål og økonomi. Noen anbefalinger:

Ungskogpleie: Gi ungskogen nødvendig stell (avstandsregulering/rydding) tidlig. Dette øker tilveksten og karbonopptaket. Ungskogpleie er et kostnadseffektivt klimatiltak. Samtidig bedres rotutvikling og stabilitet, som gjør skogen mer robust mot storm, snø, tørke og skadedyr.

Tilpass treslag og foryngelse: Velg (eventuelt flere) treslag og foryngelsesmetode ut fra voksested, klima og forventet marked. Riktige treslag på riktig bonitet gir høy vekst og karbonopptak og -lagring.

Aktiv skogskjøtsel og valg av tidspunkt for hogst: Følg opp bestandene gjennom hele omløpet. Tynn skogen når det trengs for å fremme stabile, vekstkraftige trær. Dette kan bedre samlet volum og verdi på sikt. Unngå både for tette bestand, som øker risiko for insektsangrep og stormskader, og for tidlig slutthogst som gir lave volumer og mindre karbonopptak og -lagring. Planlegg hogst når trærne har oppnådd god dimensjon og verdi, men før tilveksten dabber for mye av eller skaderisikoen blir for høy. For lave hogstaldre og svært intensiv drift kan redusere karbonlageret i skogen unødvendig og samtidig svekke biologisk mangfold. På den annen side kan sen hogst øke risikoen for råte og stormfelling.

Forebygging og håndtering av skogskader: Klimaendringer medfører økt fare for skogskader fra vind, insekter og sykdom. Inkluder derfor risikovurderinger i planleggingen. På utsatte steder kan det være

aktuelt å spre risiko ved å variere treslag eller redusere bestandstettheten. Overvåk skogen jevnlig, og iverksett tiltak raskt ved skade. For eksempel bør vindfall og billeangrep ryddes opp så snart som mulig. Hurtig sanitærhogst etter storm eller insektsangrep berger verdier og hindrer videre spredning av skade. Dette forhindrer også at karbon frigjøres ved at skadet virke blir liggende og råtne. Sørg for rask foryngelse (naturlig eller planting) etter rydding av skadet skog, slik at den fortsetter å ta opp karbon og produsere tømmer.

Utnytt økonomiske virkemidler: Ta i bruk tilgjengelige støtteordninger og finansielle mekanismer for å gjennomføre klimatiltak uten å svekke lønnsomheten unødig. Offentlige tilskudd kan dekke deler av kostnaden ved f.eks. tettere planting, bruk av forbedret plantemateriale eller markberedning. Benytt også skogfondsmidler der det er mulig, slik at investeringer i klimavennlige tiltak (ungskogpleie, suppleringsplanting, osv.) får skattefordeler. Å investere i dag i klimatilpasning og økt vekst vil betale seg over tid gjennom høyere kvalitet og volum på tømmeret, samtidig som man reduserer framtidige kostnader ved skogskader.

Målrettet arealbruk og bevaring: Planlegg arealbruken på eiendommen slik at både produksjon og biologisk mangfold vektlegges. Identifiser områder med høy naturverdi eller lav produksjonsevne (f.eks. nøkkelbiotoper, bratte lier, våtmark) og la disse enten stå urørt eller forvalta dem skånsomt. Slike avgrensede vern/hensynsområder utgjør ofte en liten del av arealet og påvirker ikke totalavvirkningen nevneverdig. Til gjengjeld bevares viktige arter og økosystemer, og disse områdene fungerer som karbonlagre over lang tid. På resten av arealet kan man da drive mer intensivt og effektivt. Husk at sertifiseringen allerede krever at man tar hensyn til nøkkelbiotoper og setter av livsløpstrær; ved å følge opp dette fullt ut sikrer man biologisk mangfold uten store kostnader, samtidig som gamle og døde trær bidrar noe til karbonlagring.

Variert skogstruktur og treslagsblanding: Tilstreb variasjon i skogen for å gjøre den mer robust og øke naturmangfoldet. Blandingsskog med flere treslag og ulike aldre kan både redusere risikoen for skogskader og gi leveområder for et større mangfold av arter. For eksempel vil innblanding av løvtrær i barskog kunne begrense spredning av enkelte skadelige insekter og gi alternative inntekter (energivirke, spesialvirke) uten at produksjonen av gran/furu hindres. En variert skog vil ofte tåle klimaendringer bedre og fortsette å levere både tømmer og karbonlagring under stress, noe som homogene skoger kanskje ikke tåler. Dersom forholdene ligger til rette, kan også lukkede hogstformer brukes for å beholde kontinuerlig skogdekke.

Skånsom drift: Velge driftsmetoder som begrenser unødige skader på mark og vannressurser. Unngå kjøreskader, erosjon og avrenning ved å legge kjørespor der grunnen tåler det best og unngå drift under svært bløte forhold. Skånsom terrengtransport og god vegplanlegging beskytter ikke bare miljøet, men sikrer også at jordsmonnet forblir godt egnet for fremtidig skogproduksjon. Dette er viktig for kontinuerlig karbonopptak og -lagring og økonomi på lang sikt. Generelt vil en drift som tar hensyn til miljøverdiene samtidig bygge goodwill og omdømme for skogeieren.

8.5 Økonomiske virkemidler og støtteordninger for klimasmart skogbruk

Bruk skogfond og tilskudd aktivt for å finansiere klimatiltak. Skogfundsordningen er en unik mulighet for skogeiere til å sette av midler fra tømmersalg skattefritt (85% av innskutt beløp) til reinvestering i skogen. Ved å sette av en andel av tømmeroppkjøret på skogfondskonto, bygger du kapital for fremtidige tiltak innenfor skogskjøtsel, miljø og klima. For eksempel kan kostnader til suppleringsplanting, markberedning, ungsogpleie, vedlikehold av driftsveier og en rekke andre tiltak dekkes helt eller delvis av skogfond med skattefordel. Også andre klimatilpasningstiltak vil kunne finansieres via skogfond dersom de inngår i skogskjøtselen.

Søk offentlig tilskudd. Myndighetene tilbyr noen tilskuddsordninger for å stimulere bærekraftig og klimasmart skogbruk. Dette inkluderer f.eks. tilskudd til tettere planting som klimatiltak, hvor man får støtte per dekar for å plante litt tettere enn normalt på godt egnet mark for å øke CO₂-opptaket. Et annet eksempel er tilskudd til gjødsling av skog, rettet mot klimanytte. Det finnes også ordninger for miljøtiltak og for skogbruksplanlegging med miljøregistrering (der staten betaler en andel av kostnaden for å utarbeide eller oppdatere skogbruksplanen din). Hold deg informert via Landbruksdirektoratet eller Statsforvalteren i ditt fylke om hvilke ordninger som er aktive, og søk i tide.

Skogeiere kan i dag få betaling for å binde karbon utover det vanlige i det frivillige karbonkredittmarkedet. Vær oppmerksom på at også slike ordninger kan innebære risiko. Søk gjerne uavhengig rådgivning før du inngår avtaler om karbonkompensasjon eller lignende.

De aller fleste aktive skogeiere i Norge er i dag tilknyttet en skogsertifiseringsordning (PEFC eller FSC gjennom sitt skogeierandelslag eller egen sertifisering). Følg opp kravpunktene aktivt, ikke bare «på papiret». Sertifiseringen dekker alt fra planlegging, biologisk mangfold, kulturminner, til krav om kompetanse hos dem som utfører arbeid i skogen.

8.6 Kompetanse, samarbeid og ansvarlighet i praksis

Hold deg oppdatert på forskning og praktisk kunnskap. Klimasmart skogbruk er tverrfaglig og dynamisk, og skogeieren gjør klokt i å søke kunnskap fortløpende. Delta på kurs (f.eks. via Skogkurs eller lokale skogeierlag), les fagblader og følg med på råd fra Landbruksdirektoratet og andre. Nye eller økte forekomster av sykdommer eller skadedyr (for eksempel granbarkbiller) eller nye teknikker (som droner for skogovervåking) kan dukke opp. En lærevillig skogeier vil lettere kunne tilpasse seg slike endringer. Det kan også være nyttig å oppsøke erfaringsutveksling med andre skogeiere: hva gjør de for å tilpasse skogen sin til endret klima?

Samarbeid med andre skogeiere og aktører i landskapet. Klimautfordringene stopper ikke ved eiendomsgrensen. Ofte kan samarbeid mellom naboeiendommer øke effekten av tiltak og effektiviteten i driften. Et konkret eksempel er koordinert hogstplanlegging: Ved å snakke med naboskogeierne eller via andelslaget, kan man planlegge hogster i et større område slik at man kan unngå for eksempel store sammenhengende hogstflater. Koordinering kan også gjelde biologiske hensyn, for eksempel viltkorridorer som går på tvers av eiendommer, der man etter tur hogger og foryrer slik at det alltid er dekning i alle deler av korridoren. I møte med insektsangrep er samarbeid viktig: Skadeinsekter bryr seg ikke om eiendomsgrenser, så bekjempelse bør skje samordnet over større områder. Organiser dere gjennom skogeierlag eller med naboer for å utveksle informasjon raskt og iverksette felles tiltak når det trengs. Samarbeid vil også kunne dra nytte av stordriftsfordeler i skogsdriftene, blant annet via reduserte flyttekostnader for driftsapparat.

Kommuniser og vær åpen om større hogster og tiltak. En kilde til konflikt mellom skogeiere og samfunnet er ofte mangel på informasjon. I dag er det som regel ingen meldeplikt før hogst (unntatt i vernskog eller der kommunen har fastsatt lokal forskrift), men det er likevel god praksis å varsle ved store inngrep. Vurder å informere kommunen og eventuelt berørte naboer i forkant av en planlagt flatehogst av betydelig størrelse, særlig i områder med mye bruk eller sårbar natur.

Styrk dokumentasjon og egenkontroll. Den norske modellen for skogbruk baserer seg på at skogeierne har frihet under ansvar, snarere enn detaljstyring fra myndighetene. For at denne modellen skal bestå, må skogeierne i praksis levere på ansvaret. Det betyr at du som skogeier bør dokumentere at du følger opp lovpålagte krav og sertifiseringsforpliktelser.

8.7 Punktliste

Klimatiltak

- Sikre rask og god foryngelse etter hogst (planting/naturlig foryngelse, suppler ved behov), bruk skogfond aktivt for å finansiere.
- Velg plantemateriale/treslag med blick for framtidens klima; prioriter god tetthet på egnet mark og aktiv ungsogpleie for høy tilvekst og CO₂-opptak.
- Skjøtsel for kvalitet: tynn og stell for å øke andelen sagtømmer og levere varige produkter som lagrer karbon og erstatter mer utslippsintensive materialer.
- La noe død ved og livsløpstrær ligge igjen (dette ivaretas allerede i sertifisering, men følges i enkelte tilfeller svakt opp i felt).
- Følg med på støtteordninger som gjør klimainvesteringer rimeligere.

Klimatilpasning

- Diversifiser risiko: bland treslag der det er mulig, unngå gran på furumark, sørg for at det til enhver tid er god spredning i aldersklasser i skogen, unngå store, enaldrede monokulturer som er sårbare for vind/barkbiller.
- Tilpass hogstform til voksested/risiko: vurder lukkede hogstformer der forholdene tilsier det; åpne hogstformer på de mest egnede arealene.
- Tynn til riktig tid for stabilitet (rot/stamme), fjern svake/syke trær.
- Planlegg beredskap: ved storm, brann eller insektsangrep: handle raskt (sanitærhogst, opprydding) og foryng skogen umiddelbart med en mer robust treslagsmiks.
- Tilpass drift til mildere vintre: unngå kjøreskader ved å velge bærende dekker eller lettere maskiner der nødvendig.
- Samarbeid med naboer/andelslag om veier, logistikk og felles tiltak mot skadedyr.
- Praktiser åpenhet ved større hogster: frivillig forhåndsvarsling til kommune/naboer kan avdekke lokale hensyn som bør tas før drift og forebygge konflikter.
- Egenkontroll og dokumentasjon: sjekkliste før/under/etter hogst (foryngelse, hensynssoner og nøkkelbiotoper) – vis at "frihet under ansvar" fungerer i praksis.

9. Referanser

- Ahtikoski, A., Gong, P., Rørstad, P.K., Viitala, E.-J. & Repola, J. (2025). Financial Performance. Pp 135-148 in P. Rautio et al. (eds.), Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries, Managing Forest Ecosystems 45. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0_2
- Alfredsen, G., Sandland, K. M., Gjølshøj, S., Ross Gobakken, L., & Bergseng, E. (2018). Sekundærråstoff fra trebaserte verdikjeder i Norge (NIBIO Rapport 4/93). <https://www.nibio.no/rapporter/2018/4-93>
- Allen, M. G., Antón-Fernández, 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. <https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1773525>
- Andreassen, K. (2017). Tynning og skogproduksjon. NIBIO. <https://www.nibio.no/tema/skog/skogbehandling-og-skogskjotsel/tynning/tynning-og-skogproduksjon>
- Arrow, K. J., Cropper, M. L., Gollier, C., Groom, B., Heal, G. M., Newell, R. G., Nordhaus, W. D., Pindyck, R. S., Pizer, W. A., Portney, P. R., Sterner, T., Tol, R. S. J., & Weitzman, M. L. (2014). Should governments use a declining discount rate in project analysis? *Review of Environmental Economics and Policy*, 8(2), 145–163. <https://doi.org/10.1093/reep/reu008>
- Aza, A., Kangas, A., Gobakken, T., & Kallio, A. M. I. (2021). Effect of root and butt rot uncertainty on optimal harvest schedules and expected incomes at the stand level. *Annals of Forest Science*, 78(3). <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01072-1>
- Aza, A., Kangas, A., & Kallio, A. M. I. (2022). Value of Information on Root and Butt Rot Presence When Choosing Tree Species for a Previously Spruce-Dominated Stand in Norway. *Forests*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/f13101562>
- Bashir, A., Sjølie, H.K. & Solberg, B. (2020). Determinants of nonindustrial private forest owners' willingness to harvest timber in Norway. *Forests*, 11(1), 60. <https://doi.org/10.3390/f11010060>
- Baskent, E. Z., Guilherme Borges, J. & Kašpar, J. (2024). An Updated Review of Spatial Forest Planning: Approaches, Techniques, Challenges, and Future Directions. *Current Forestry Reports* (2024) 10:299–321. <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00222-8>
- Beach, R.H., Pattanayak, S.K., Yang, J.-C., Murray, B.C. & Abt, R.C. (2005). Econometric studies of non-industrial private forest management: a review and synthesis. *Forest Policy and Economics*, 7(3), 261–281. [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(03\)00065-0](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(03)00065-0)
- Berglund, H., & Kuuluvainen, T. (2021). Representative boreal forest habitats in northern Europe, and a revised model for ecosystem management and biodiversity conservation. *Ambio*, 50(5), 1003–1017. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01444-3>
- Bianchi, S., Brunner, A., Hanssen, K.H., Hökkä, H., Nilsson, U., Fahlvik, N., & Hynynen, J. (2025). Growth and Yield. Pp 73-92 in P. Rautio et al. (eds.), Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries, Managing Forest Ecosystems 45. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0_2
- Blattert, C., Eyvindson, K., Mönkkönen, M., Raatikainen, K. J., Triviño, M., & Dufplot, R. (2023). Enhancing multifunctionality in European boreal forests: The potential role of Triade landscape functional zoning. *Journal of Environmental Management*, 348, 119250. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119250>

- BloombergNEF (2024). EU ETS II Market Outlook: Carbon pricing to 2030. Bloomberg New Energy Finance. <https://about.bnef.com/blog/europes-new-emissions-trading-system-expected-to-have-worlds-highest-carbon-price-in-2030-at-e149-bloombergnef-forecast-reveals/>
- Bolkesjø, T. F., & Baardsen, S. (2002). Roundwood supply in Norway: Micro-level analysis of self-employed forest owners. *Forest Policy and Economics*, 4(1), 55–64. [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(01\)00079-7](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(01)00079-7)
- Bowditch, E., Santopuoli, G., Binder, F., del Río, M., La Porta, N., Kluvankova, T., Lesinski, J., Motta, R., Pach, M., Panzacchi, P., Pretzsch, H., Temperli, C., Tonon, G., Smith, M., Velikova, V., Weatherall, A., & Tognetti, R. (2020). What is Climate-Smart Forestry? A definition from a multinational collaborative process focused on mountain regions of Europe. *Ecosystem Services*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101113>
- Braathe, P. (1988). Utviklingen av gjenvekst med ulike blandingsforhold mellom bartrær og løvtrær - II. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning 8/88: 50 s.
- Brang, P. (2001). Resistance and elasticity: promising concepts for the management of protection forests in the European Alps. *Forest Ecology and Management*, 145(1–2), 107–119. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00578-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00578-8)
- Breidenbach, J., Snoksrud, O. M., Sjøgaard, G., Granhus, A., Svensson, A., Eriksen, R., & Astrup, R. (2024). Store endringer i utviklingstrenden for norsk granskog. NIBIO. <https://nibio.no/tema/skog/skog-og-miljoinformasjon-fra-landsskogtakseringen/store-endringer-i-utviklingstrenden-for-norsk-granskog?locationfilter=true>
- Bright, R. M., & Astrup, R. (2019). Combining MODIS and national land resource products to model land cover-dependent surface albedo for Norway. *Remote Sensing*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/RS11070871>
- Bright, R. M., Cattaneo, N., Antón-Fernández, C., Eisner, S., & Astrup, R. (2024). Relevance of surface albedo to forestry policy in high latitude and altitude regions may be overvalued. *Environmental Research Letters*, 19(9). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad657e>
- Brunner, A. (2024). Variable-density thinning designs for harvester based operations in Northern Europe. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 39:5, 248-256. <https://doi.org/10.1080/02827581.2024.2388054>
- Brunner, A., Hanssen, K.H., & Granhus, A. (2023). Selektive hogster - en kunnskapssammenstilling. MINA Fagrapport 88, 51 pp. https://static02.nmbu.no/mina/publikasjoner/mina_fagrapport/pdf/mif88.pdf
- Brunner, A., Valkonen, S., Goude, M., Hanssen, K. H., & Erefur, C. (2025). Definitions and Terminology: What Is Continuous Cover Forestry in Fennoscandia? Pp 11-43 in P. Rautio et al. (eds.), *Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries*, Managing Forest Ecosystems 45. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0_2
- Butler, B.J., Ma, Z., Majumdar, I., Snyder, S.A., Langer, J. & Greene, J.L. (2022). Family forest owner research 2000–2019: A systematic review. General Technical Report NRS-203. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-203>

- Bull, G. Q., Boedhihartono, A. K., Bueno, G., Cashore, B., Elliott, C., Langston, J. D., Riggs, R. A., & Sayer, J. (2018). Global forest discourses must connect with local forest realities. Source: The International Forestry Review, 20(2), 160–166. <https://doi.org/10.2307/26501072>
- Cedergren, J., Holmström, E., Routa, J., Huuskonen, S., Kühne, C., & Rautio, P. (2025). Introduction. Pp 1–9 in P. Rautio et al. (eds.), Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries, Managing Forest Ecosystems 45. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0_2
- Chiti, T., Rey, A., Abildtrup, J., Böttcher, H., Diaci, J., Frings, O., Lehtonen, A., Schindlbacher, A., & Zavala, M.A. (2024). Carbon farming in the European forestry sector. From Science to Policy 17, European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs17>
- Convention on Biological Diversity 2022. Decision 15/4: Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework (CBD/COP/DEC/15/4). Montreal: Secretariat of the CBD. Available at <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf>
- Costanza, R., d’Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... Belt, M. (1997). The value of the world’s ecosystem services and natural capital. Nature, 387, 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Crowley, M. A., Hartter, J., Congalton, R. G., Hamilton, L. C., & Christoffersen, N. D. (2019). Characterizing non-industrial private forest landowners’ forest management engagement and advice sources. Society & Natural Resources, 32(2), 204–221. <https://doi.org/10.1080/08941920.2018.1505013>
- Dalen, L. S. (2018). Ny kunnskap skal redde skogen fra råte. NIBIO. <https://www.nibio.no/nyheter/ny-kunnskap-skal-redde-skog-fra-rate>
- Dalen, L. S. (2021). Sterkere skog mot snølast og stormkast. NIBIO. <https://www.nibio.no/nyheter/sterkere-skog-mot-snolast-og-stormkast?locationfilter=true>
- Dalsgaard, L., Granhus, A., Sjøgaard, G., Andreassen, K., Børja, I., Clarke, N., Kjønaas, O. J., & Stokland, J. (2015). Karbondynamikk ved ulike hogstformer og avvirkningsstrategier: En litteraturstudie med fokus på Oslo kommuneskog. Oppdragsrapport 04/2015 fra Skog og landskap. <http://hdl.handle.net/11250/2436847>
- Díaz-Yáñez, O., Mola-Yudego, B., Eriksen, R., & González-Olabarria, J. R. (2016). Assessment of the main natural disturbances on Norwegian forest based on 20 years of national inventory. PLoS ONE, 11(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161361>
- Díaz-Yáñez, O., Arias-Rodil, M., Mola-Yudego, B., González-Olabarria, J. R., & Pukkala, T. (2019). Simulating the effects of wind and snow damage on the optimal management of Norwegian spruce forests. Forestry, 92, 406–416. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz031>
- Ekholm, A., Lundqvist, L., Axelsson, E. P., Egnell, G., Hjältén, J., Lundmark, T., & Sjögren, J. (2023). Long-term yield and biodiversity in stands managed with the selection system and the rotation forestry system: A qualitative review. Forest Ecology and Management, 537 (2023), 120920. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120920>
- EU (2018). Regulation (EU) 2018/841 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework and amending Regulation (EU) No 525/2013 and Decision No 529/2013/EU (Text with EEA relevance). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/841/oj/eng>

EU (2023). Regulation (EU) 2023/839 of the European Parliament and of the Council of 19 April 2023 amending Regulation (EU) 2018/841 as regards the scope, simplifying the reporting and compliance rules, and setting out the targets of the Member States for 2030, and Regulation (EU) 2018/1999 as regards improvement in monitoring, reporting, tracking of progress and review (Text with EEA relevance). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/839/oj/eng>

Eyvindson, K. & Kangas, A. (2018). Guidelines for risk management in forest planning - what is risk and when is risk management useful? *Canadian Journal of Forest Research*, 48: 309–316 (2018). <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0251>

Eyvindson, K., Launiainen, S., Leppä, K., Repo, A., Salmivaara, A., & Lehtonen, A. (2023). Trade-offs between greenhouse gas mitigation and economic objectives with drained peatlands in Finnish landscapes. *Canadian Journal of Forest Research*, 53 (6), June 2023. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2022-0101>

Eyvindson, K., Kangas, A., Nahorna, O., Hunault-Fontbonne, J., & Potterf, M. (2024). Integrating wind disturbances into forest planning: a stochastic programming approach. *Silva Fennica*, 58(4), Article 23044. <https://doi.org/10.14214/sf.23044>

FAO. (2005). *Forest Resources Assessment 2005: Global Forest Resources Assessment 2005*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://www.fao.org/4/a0400e/a0400e00.htm>

FAO. (2017). B3 Climate-smart forestry. In *Climate-Smart Agriculture Sourcebook*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/production-resources/module-b3-forestry>

Felton, A., Belyazid, S., Eggers, J. (2024). Climate change adaptation and mitigation strategies for production forests: Trade-offs, synergies, and uncertainties in biodiversity and ecosystem services delivery in Northern Europe. *Ambio* **53**, 1–16 (2024). <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01909-1>

Fernandez-Carrillo, A., Patočka, Z., Dobrovolný, L., Franco-Nieto, A., & Revilla-Romero, B. (2020). Monitoring bark beetle forest damage in central europe. A remote sensing approach validated with field data. *Remote Sensing*, 12(21), 1–19. <https://doi.org/10.3390/rs12213634>

Finansdepartementet (2021). Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser (Rundskriv R-109/2021). <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/rundskriv-r-109-2021/id2872639/>

Finstad, G. M. (2025). Meldeplikt som skogpolitisk virkemiddel. Masteroppgave, Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Ås. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/3212549>

Flisberg, P., Rönqvist, M., Willén, E., Forsmark, V., & Davidsson, A. (2021). Optimized locations of landings in forest operations. *Canadian Journal of Forest Research*, 52(1), 59–69. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2021-0032>

Frivold, L.H. 2011. Skogbrukshistorie: Tendenser i skogbehandlingen. Notat til undervisningsemnet Skog302, NMBU.

Garvik, E., & Kallio, A.M.I. (2025) The EU forest carbon sink policy revisited. Manuscript submitted for publication.

Girona, M. M., Morin, H., Gauthier, S., & Bergeron, Y. (2023). Boreal Forests in the Face of Climate Change (Vol. 74). <https://doi.org/10.1007/978-3-031-15988-6>

- Gizachew, B., Brunner, A., & Øyen, B. H. (2012). Stand responses to initial spacing in Norway spruce plantations in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(7), 637–648. <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.693191>
- Gobakken, T., Lexerød, N., & Eid, T. (2008). T – A forest simulator for bioeconomic analyses based on models for individual trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23:250-265. <https://doi.org/10.1080/02827580802050722>
- Gohli, J., Krokene, P., Flo Heggem, E. S., & Økland, B. (2024). Climatic and management-related drivers of endemic European spruce bark beetle populations in boreal forests. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14606>
- Granhus, A. (n.d.). Ungskogpleie. NIBIO. Retrieved January 29, 2025, from <https://www.nibio.no/tema/skog/skogbehandling-og-skogskjotsel/ungskogpleie?locationfilter=true>
- Granhus, A., Antón-Fernández, C., de Wit, H., Hanssen, K.H., Schei, F., Jacobsen, R., Jansson, U., Korpunen, H., Mohr, C.W., Nordén, J., Rolstad, J., Sevillano, I., Solberg, S., Storaunet, K.O. & Vergarechea, M. (2024). Effekter på karbondynamikk, miljø, og næring ved økt bruk av lukkede hogstformer. NIBIO Rapport 10(48). <https://hdl.handle.net/11250/3125340>
- Grøndahl, G. (2025). Hvordan fungerer dagens formidling av forskning og offentlig skogpolitikk til skogeiere? Masteroppgave, Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, NMBU. <https://hdl.handle.net/11250/3185440>
- Gundersen, V., Köhler, B., & Myrvold, K. M. (2019). Seeing the forest for the trees: A review-based framework for better harmonization of timber production, biodiversity, and recreation in boreal urban forests. *Urban Science*, 3(4), 113. <https://doi.org/10.3390/urbansci3040113>
- Gundersen, V., Vistad, O. I. Public Opinions and Use of Various Types of Recreational Infrastructure in Boreal Forest Settings. *Forests* 2016, 7, 113. <https://doi.org/10.3390/f7060113>
- Hagenbo, A., Antón-Fernández, C., Bright, R. M., Rasse, D., & Astrup, R. (2022). Climate change mitigation potential of biochar from forestry residues under boreal conditions. *Science of the Total Environment*, 807, 151044. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151044>
- Halim, A. M., Chen, H. Y. H., & Thomas, S. C. (2019). Stand age and species composition effects on surface albedo in a mixedwood boreal forest. *Biogeosciences*, 16(22), 4357–4375. <https://doi.org/10.5194/bg-16-4357-2019>
- Han, H.-S., Page-Dumroese, D., Han, S.-K., & Tirocke, J. (2006). Effects of slash, machine passes, and soil moisture on penetration resistance in a cut-to-length harvesting. *International Journal of Forest Engineering*, 17(2), 11–24. <https://doi.org/10.1080/14942119.2006.10702524>
- Hansen, L., Hoffman, J., Drews, C., & Mielbrecht, E. (2010). Designing climate-smart conservation: Guidance and case studies: Special section. *Conservation Biology*, 24(1), 63–69. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01404.x>
- Hanssen, K. H. (n.d.-a). Blandingsskog. NIBIO. Retrieved January 28, 2025, from <https://www.nibio.no/tema/skog/skogbehandling-og-skogskjotsel/blandingsskog?locationfilter=true>
- Hanssen, K. H. (n.d.-b). Gjødsling av skog. Retrieved January 30, 2025, from <https://www.nibio.no/tema/skog/skogbehandling-og-skogskjotsel/gj%C3%B8dsling-av-skog>
- Hanssen, K. H. (2017a). Markberedning. NIBIO. <https://www.nibio.no/tema/skog/skogbehandling-og-skogskjotsel/foryngelse-av-skog/markberedning>

- Hanssen, K. H. (2017b, September 29). Gransnutebiller. NIBIO.
<https://www.nibio.no/tema/skog/skogbehandling-og-skogskjotsel/foryngelse-av-skog/gransnutebiller>
- Hanssen, K. H., Fløistad, I. S., Granhus, A., & Sjøgaard, G. (2018). Harvesting of logging residues affects diameter growth and pine weevil attacks on Norway spruce seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(1), 40–49. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1315957>
- Hanssen, K. H., Solberg, S., Hietala, A., Krokene, P., Rolstad, J., Solheim, H., & Økland, B. (2019). Skogskader - en kunnskapssammenstilling. NIBIO-rapport 5, 143.
<http://hdl.handle.net/11250/2632291>
- Hanssen, K. H., Asplund, J., Clarke, N., Selmer, R., & Nybakken, L. (2020). Fertilisation of Norway spruce forest with wood ash and nitrogen affected both tree growth and composition of chemical defence. *Forestry*, 93(5), 589–600. <https://doi.org/10.1093/FORESTRY/CPZ078>
- Hantula, J., Elfstrand, M., Hekkala, A-M., Hietala, A., Honkaniemi, J., Klapwijk, M., Koivula, M., Matala, J., Rönnerberg, J., Siitonen, J. & Widemo, F. (2025). Forest Damage. Pp 221-241 in P. Rautio et al. (eds.), *Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries, Managing Forest Ecosystems* 45. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0_2
- Hartikainen, H. K., Kangas, J., & Kurttila, M. (2016). Risk aversion and risk seeking in multicriteria forest management: a certainty equivalent and value-at-risk approach. *Canadian Journal of Forest Research*, 46 (10), 1225–1236. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0502>
- Henttonen, H.M., Nöjd, P., & Mäkinen, H. (2024). Environment-induced growth changes in forests of Finland revisited - a follow-up using an extended data set from the 1960s to the 2020s. *Forest Ecology and Management*, Volume 551, 2024, 121515.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121515>.
- Hetemäki, L., Kangas, J., & Peltola, H. (Eds.) (2022). *Forest Bioeconomy and Climate Change. Managing Forest Ecosystems*, Vol. 42. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-99206-4>
- Hetemäki, L., D’Amato, D., Giurca, A., & Hurmekoski, E. (2024). Synergies and trade-offs in the European forest bioeconomy research: State of the art and the way forward. In *Forest Policy and Economics* (Vol. 163). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103204>
- Hoen, H.F. (2025). Tabeller for verddivurdering av skogbestand. MINA Fagrapport 107. 17 s. + Vedlegg
- Hoen, H.F., Eid, T., & Økseter, P. (2006). Efficiency gains of cooperation under varying target levels of old forest area coverage. *Forest Policy and Economics* 8:135-148.
<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2004.06.003>
- Hu, J., Jåstad, E. O., Bolkesjø, T. F., & Rørstad, P. K. (2023). Impacts of large-scale Bio-CCS deployment on forest biomass competition and forest industry production in the Nordic countries. *Biomass and Bioenergy*, 175, 106896. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106896>
- Hu, J., Jåstad, E. O., Bolkesjø, T. F., & Rørstad, P. K. (2024). The quantification and tracing of leakage in the forest sector in Nordic countries. *Forests*, 15(2), 254. <https://doi.org/10.3390/f15020254>
- Hunault-Fontbonne, J., & Eyvindson, K. (2023). Bridging the gap between forest planning and ecology in biodiversity forecasts: A review. *Ecological Indicators*, 154, 110620.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110620>

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*, 33:7, 657–667. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1487074>

Högbom, L., Lehtonen, A., Nybakken, L., Repo, A., Sarkkola, S., & Strömberg, M. (2025). Carbon Exchange, Storage and Sequestration. Pp 243–260 in P. Rautio et al. (eds.), *Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries, Managing Forest Ecosystems* 45. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0_2

Ibáñez, T. S., Wardle, D. A., Gundale, M. J., & Nilsson, M.-C. (2022). Effects of soil abiotic and biotic factors on tree seedling regeneration following a boreal forest wildfire. *Ecosystems*, 25, 471–487. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00666-0>

IPBES. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services. (S. Diaz, J. Settele, E. S. Brondizio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, & et al., Eds.). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>

IPCC. (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, ... J. Malley, Eds.). <https://www.ipcc.ch/srccl/>

IPCC. (2022). Summary for Policymakers: Climate Change 2022_ Impacts, Adaptation and Vulnerability_ Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Issue August). <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>

Joshi, S. (2007). Nonindustrial private forest owner's characteristics and their forest management decisions (Master's thesis). West Virginia University, Morgantown, WV. <https://researchrepository.wvu.edu/etd/4309>

Jåstad, E. O., & Bolkesjø, T. (2023). Modelling emission and land-use impacts of altered bioenergy use in the future energy system. *Energy*, 265, 126349. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126349>

Johannesson, C.-F., Ilvesniemi, H., Kjønaas, O.J., Larsen, K.S., Lehtonen, A., Nordén, J., Paré, D., Silvennoinen, H., Stendahl, J., Stupak, I., Vesterdal, L., & Dalsgaard, L. (2025). Decadal decline in forest floor soil organic carbon after clear-cutting in Nordic and Canadian forests. *Forest Ecology and Management*, 586, 122668. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122668>

Kärvemo, S., Huo, L., Öhrn, P., Lindberg, E., & Persson, H. J. (2023). Different triggers, different stories: Bark-beetle infestation patterns after storm and drought-induced outbreaks. *Forest Ecology and Management*, 545. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121255>

Kallio, A. M. I., & Solberg, B. (2018). Leakage of forest harvest changes in a small open economy: Case Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(5), 502–510. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1427787>

Kallio, A. M. I., Houtmeyers, S., & Aza, A. (2023). On carbon substitution and storage factors for harvested wood products in the context of climate change mitigation in the Norwegian forest sector. *Environmental and Climate Technologies*, 27(1), 254–270. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2023-0020>

- Kallio, A.M.I. & Rannestad M.M. (2025). Potential impacts of the EU's biodiversity strategy on the EU and global forest sector and biodiversity. Manuscript submitted for publication.
- Kallio, A. M. I., Strimbu, V. F., Gobakken, H., & Gobakken, T. (2025). Climate change mitigation through alternative uses of Norwegian forest resources. *Silva Fennica*, 59(1), Article 23066. <https://doi.org/10.14214/sf.23066>
- Kauppi, P., Hanewinkel, M., Lundmark, T., Nabuurs, G.-J., Peltola, H., Trasobares, A., & Hetemäki, L. (2018). *Climate Smart Forestry in Europe*. European Forest Institute. ISBN 978-952-5980-68-4 (print), ISBN 978-952-5980-67-7 (pdf). https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/Climate_Smart_Forestry_in_Europe.pdf
- Kauppi, P. E., Stål, G., Arnesson-Ceder, L., Hallberg Sramek, I., Hoen, H. F., Svensson, A., Wernick, I. K., Högborg, P., Lundmark, T., & Nordin, A. (2022). Managing existing forests can mitigate climate change. *Forest Ecology and Management*, 513, 120186. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120186>
- Kim, Y.-S., & Johnson, R. L. (2002). The impact of forests and forest management on neighboring property values. *Society & Natural Resources*, 15(10), 887–901. <https://doi.org/10.1080/08941920290107639>
- Kløve, B., Berglund, K., Berglund, Ö., Weldon, S., & Maljanen, M. (2017). Future options for cultivated Nordic peat soils: Can land management and rewetting control greenhouse gas emissions? *Environmental Science & Policy*, 69, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.017>
- Knoke, T., Gosling, E., Thom, D., Chreptun, C., Rammig, A., & Seidl, R. (2021). Economic losses from natural disturbances in Norway spruce forests – A quantification using Monte-Carlo simulations. *Ecological Economics*, 185(January), 107046. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107046>
- Koivula, M., Felton, A., Jönsson, M., Löfroth, T., Schei, F., Siitonen, J., & Sjögren, J. (2025). Biodiversity. Pp 195 -220 in P. Rautio et al. (eds.), *Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries, Managing Forest Ecosystems* 45. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0_2
- Korosuo, A., Pilli, R., Abad Viñas, R., Blujdea, V. N. B., Colditz, R. R., Fiorese, G., Rossi, S., Vizzarri, M., & Grassi, G. (2023). The role of forests in the EU climate policy: Are we on the right track? *Carbon Balance and Management*, 18, 15. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00234-0>
- Krokene, P., Gohli, J., Økland, B., Justad, A., & Fajardo, M. B. (2025). Spruce bark beetle. Population monitoring in Norway in 2024. NIBIO-rapport 11, 8. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/3174094>
- Krutilla, J. V. (1967). Conservation reconsidered. *American Economic Review*, 57(4), 777–786.
- Kühne, C., McLean, J. P., 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(1). <https://doi.org/10.14214/sf.10627>
- Kühne, C., McLean, P., & Hanssen, K. (2023). Oppdaterte produksjonstabeller og bonitetskurver for gran og furu i Norge. NIBIO-rapport 9, 106. <https://hdl.handle.net/11250/3085214>
- Landbruksdirektoratet. (2021). Vurdering av tilskuddsordning for gjødsling av skog. Rapport nr. 36/2021. <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/nyhetsrom/rapporter/vurdering-av-tilskuddsordning-for-gjodsling-av-skog>
- Landbruksdirektoratet. (2023). Skogskjøtsel. <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/skogbruk/skogskjotsel>

- Landbruksdirektoratet. (2024a). Kartlegging av foryngelse og miljøhensyn ved hogst og skogkulturtiltak. Rapport 2023. Rapport nr. 24/3-44.
<https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/nyhetsrom/rapporter/kartlegging-av-foryngelse-og-miljohensyn-ved-hogst-2023>
- Landbruksdirektoratet. (2024b). Faglig beredskapsplan for stor granbarkbille.
<https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/skogbruk/barkbilleberedskap/faglig-beredskapsplan-for-stor-granbarkbille>
- Landbruksdirektoratet (2025). Skogbruksplanlegging med miljøregistreringer – prosess og metode.
<https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/skogbruk/skogbruksplanlegging-med-miljoregistreringer--prosess-og-metode>
- Laudon, H., Maher Hasselquist, E. Hydrological and Ecosystem-Service Trade-Offs of Continuous Cover Forestry in Drained Peatland Forests. *Trees, Forests and People* 2023, 11, 100363.
<https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100363>
- Laudon, H., Lidberg, W., Sponseller, R. A., Maher Hasselquist, E., Westphal, F., Östlund, L., Sandström, C., Järveoja, J., Peichl, M., Ågren, A. M. Emerging Technology Can Guide Ecosystem Restoration for Future Water Security. *Hydrological Processes* 2022, 36, e14729. <https://doi.org/10.1002/hyp.14729>
- Laudon, H., Mensah, A. A., Fridman, J., Näsholm, T., & Jämtgård, S. (2024). Swedish forest growth decline: A consequence of climate warming? *Forest Ecology and Management*, 565, 122052.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122052>
- Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Gregow, H., Venäläinen, A., & Peltola, H. (2016). Heavy snow loads in Finnish forests respond regionally asymmetrically to projected climate change. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(10), 2259–2271. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2259-2016>
- Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., Smyth, C., Stern, T., & Verkerk, P. J. (2018). *Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation*. From Science to Policy 7. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs07>
- Leverkus, A. B., Buma, B., Wagenbrenner, J., Burton, P. J., Lingua, E., Marzano, R., & Thorn, S. (2021). Tamm review: Does salvage logging mitigate subsequent forest disturbances? *Forest Ecology and Management*, 489, 119041. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119041>
- Lindenmayer, D. B., & Noss, R. F. (2006). Salvage logging, ecosystem processes, and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 20(4), 949–958. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00497.x>
- Lindner, M., Nikinmaa, L., Brang, P., Cantarello, E., & Seidl, R. (2020). Enhancing resilience to address challenges in forest management. In H. Kraus, J. Schuck, & P. B. Bärlund (Eds.), *How to balance forestry and biodiversity conservation – A view across Europe* (pp. 146–153). European Forest Institute, Joensuu.
- Locatelli, B., Pavageau, C., Pramova, E., & Di Gregorio, M. (2015). Integrating climate change mitigation and adaptation in agriculture and forestry: Opportunities and trade-offs. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(6), 585–598. <https://doi.org/10.1002/wcc.357>
- Londo, A. J., & Grebner, D. L. (2004). Economies of scale and forest management in Mississippi. In K. F. Connor (Ed.), *Proceedings of the 12th Biennial Southern Silvicultural Research Conference* (Gen. Tech. Rep. SRS-71, pp. 89–93). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. <https://research.fs.usda.gov/treearch/6613>

- López, L. N., Sjølie, H. K., Nabhani, A., & Aguilar, F. X. (2024). Impacts of biodiversity and carbon policies on the management of Norwegian forest and its ecosystem services. *Silva Fennica*, 58(4), Article 23067. <https://doi.org/10.14214/sf.23067>
- Lowood, H.E. (1990). "The Calculating Forester: Quantification, Cameral Science, and the Emergence of Scientific Forestry Management in Germany." *The Quantifying Spirit in the 18th Century*, 315–342. <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1525/9780520321595-013/html>
- Løken, Ø., Eriksen, R., Astrup, R., & Eid, T. (2012). Den totale biomassen av trær i Norge. En tabellsamling. Ressursoversikt fra Skog og landskap, 1/2012. <http://hdl.handle.net/11250/2453888>
- Luyssaert, S., Marie, G., Valade, A., Chen, Y. Y., Njakou Djomo, S., Ryder, J., Otto, J., Naudts, K., Lansø, A. S., Ghattas, J., & McGrath, M. J. (2018). Trade-offs in using European forests to meet climate objectives. *Nature*, 562(7726), 259–262. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0577-1>
- Madsen, R.L., Asplund, J., Nybakken, L., Biong, R., & Kjønås, O.J. (2025). Harvesting history affects soil respiration and litterfall but not overall carbon balance in boreal Norway spruce forests. *Forest Ecology and Management*, 578, 122485. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122485>
- Maljanen, M., Sigurdsson, B. D., Guðmundsson, J., Óskarsson, H., Huttunen, J. T., & Martikainen, P. J. (2010). Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. *Biogeosciences*, 7(9), 2711–2738. <https://doi.org/10.5194/bg-7-2711-2010>
- Markowitz, H. M. (1959). Portfolio selection: Efficient diversification of investments. Cowles Foundation Monograph No. 16. Yale University Press.
- Martins, A., Novais, A., Santos, J. L., & Canadas, M. J. (2021). Promoting landscape-level forest management in fire-prone areas: Delegate management to a multi-owner collaborative, rent the land, or just sell it? *Forests*, 13(1), 22. <https://doi.org/10.3390/f13010022>
- Mayer, M., Prescott, C. E., Abaker, W. E. A., Augusto, L., Cécillon, L., Ferreira, G. W. D., James, J., Jandl, R., Katzensteiner, K., Laclau, J.-P., et al. (2020). Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management*, 466. doi: 10.1016/j.foreco.2020.118127.
- MCPFE (Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe). (1993). Resolution H1 on General Guidelines for the Sustainable Management of Forests in Europe. https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2022/01/MC_helsinki_resolutionH1.pdf
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Meilby, H., Nord-Larsen, T., & Vesterdal, L. (2001). Modelling the potential of afforestation for carbon sequestration in Denmark: Effects of changes in soil carbon. *Forest Ecology and Management*, 149(1–3), 151–162. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00542-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00542-9)
- Meld. St. 13 2020–2021 (2021). Klimaplan for 2021–2030. Oslo: Ministry of Climate and Environment. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-13-20202021/id2827405/>
- Meld. St. 27 2023–2024 (2024). Tryggare framtid – førebudd på flaum og skred. Oslo: Energidepartementet. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-27-20232024/id3041181/>
- Meld. St. 25 2024–2025 (2025). Klimamelding 2035 – på vei mot lavutslippssamfunnet. Oslo: Ministry of Climate and Environment. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-25-20242025/id3095592/>

Merlin, M., Hysten, G., Vergarechea, M., Bright, R. M., Eisner, S., & Solberg, S. (2024). Climate-growth relationships for Norway spruce and Scots pine remained relatively stable in Norway over the past 60 years despite significant warming trends. *Forest Ecology and Management*, 569. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122180>

Miljødirektoratet (2015). Klimatiltak og utslippsbaner mot 2030 - Kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling. Rapport M-386. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m386/m386.pdf>

Miljødirektoratet (2021). Plan for restaurering av våtmark i Norge (2021–2025). M-1903. Norwegian Environment Agency, Oslo. 70 p. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2021/april-2021/plan-for-restaurering-av-vatmark-i-norge-2021-2025/>

Miljødirektoratet (2023). Norske utslipp og opptak av klimagasser. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/klimagasser-utslippstall-regnskap/norske-utslipp-og-opptak-av-klimagasser/>

Muñoz, R., Oliveira, N., Alberdi, I., Filipek, S., Kelly, N., van Brusselen, J., Orfanidou, T., Wiersma, H., Bastrup-Birk, A., Rätty, M., Mehtälä, L., & Nabuurs, G.-J. (2024). Towards a European Forest Multifunctionality Monitoring System: How are stakeholder information needs met by existing indicators? Co-creating a blueprint of a harmonised European Forest Multifunctionality Monitoring System (MoniFun D1.1). Horizon Europe Research and Innovation Action 2023–2024. Retrieved from <https://www.monifun.eu/>

Myllyviita, T., Soimakallio, S., Judl, J., & Seppälä, J. (2021). Wood substitution potential in greenhouse gas emission reduction – review on current state and application of displacement factors. *Forest Ecosystems*, 8, 42. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00326-8>

Mäkipää, R. et al. (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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120637>

Nabuurs, G.-J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Lindner, M., Nesbit, M., Ollikainen, M., & Savaresi, A. (2015). A new role for forests and the forest sector in the EU post-2020 climate targets (From Science to Policy). European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs02>

Nabuurs, G.-J., Delacote, P., Ellison, D., Hanewinkel, M., Hetemäki, L., & Lindner, M. (2017). By 2050 the mitigation effects of EU forests could nearly double through Climate Smart Forestry. *Forests*, 8(12), 484. <https://doi.org/10.3390/f8120484>

NIBIO. (2025). OakBreed: Motorveien til genetisk forbedret eikefrø. <https://www.nibio.no/prosjekter/oakbreed-motorveien-til-genetisk-forbedret-eikefro>

Nordic Council of Ministers. (2017). Mitigation & Adaptation Synergies in the NDCs. Nordic Council of Ministers. <https://doi.org/10.6027/TN2017-524>

Nordrum, Ø., Svalheim, L., Lersveen, T., Kristensen, K., & Hygen, H. O. (2020). Skog som vern mot naturfarer – steinsprang, snøskred, jordskred og flomskred. NVE Rapport nr. 35/2020. Norges vassdrags- og energidirektorat. <https://www.nve.no/Media/11525/rapport-35-2020-skog-som-vern.pdf>

Nybakken, L., Lie, M. H., Julkunen-Tiitto, R., Asplund, J., & Ohlson, M. (2018). Fertilisation changes chemical defense in needles of mature Norway spruce (*Picea abies*). *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00770>

- Ortiz, C. A., Alejano, R., Fernández, J. A., Fernández-Alonso, J. M., & Fernández, M. P. (2013). Influence of environmental and stand variables on site index of *Pinus pinea* L. stands in the Northern Plateau of Spain. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 6, 12–18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.12.017>
- Patacca, M., Lindner, M., Lucas-Borja, M. E., Cordonnier, T., Fidej, G., Gardiner, B., Hauf, Y., Jasinevičius, G., Labonne, S., Linkevičius, E., Mahnken, M., Milanovic, S., Nabuurs, G. J., Nagel, T. A., Nikinmaa, L., Panyatov, M., Bercak, R., Seidl, R., Ostrogović Sever, M. Z., ... Schelhaas, M. J. (2023). Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global Change Biology*, 29(5), 1359–1376. <https://doi.org/10.1111/gcb.16531>
- PEFC. (2022). Norwegian PEFC Forest standard. PEFC N 02:2022. 46 pp. <https://pefc.no/vare-standarder/norsk-pefc-skog-standard>
- Perold, A. F. (2004). The Capital Asset Pricing Model. *Journal of Economic Perspectives*, 18(3), 3–24. <https://doi.org/10.1257/0895330042162430>
- Petucco, C., Cauria, S., Delacote, P. & Lecocq, F. (2015). Influences of non-industrial private forest owners' management priorities on the harvest decision. *Journal of Forest Economics*, 21(3), 152–166. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2015.07.001>
- Puliti, S. & Astrup, R. (2022) Automatic detection of snow breakage at single tree level using YOLOv5 applied to UAV imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 112: 102946. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102946>.
- Päivinen, R., Kallio, A. M. I., Solberg, B., & Kääriä, L. (2022). EU Forest reference levels: The compatible harvest volumes compiled and assessed in terms of forest sector market development. *Forest Policy and Economics*, 140, 102748. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102748>
- Räty, J., Kukkonen, M., Melin, M., Maltamo, M., & Packalen, P. (2024). Detection of snow disturbances in boreal forests using unitemporal airborne lidar data and aerial images. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2024, 1–13. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpae057>
- Rautio, P. et al. (eds.). (2025). *Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries*, Managing Forest Ecosystems 45, Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0_2
- Ramtvedt, E. N., Ørka, H. O., Bollandsås, O. M., Næsset, E., & Gobakken, T. (2024). Effect of albedo footprint size on relationships between measured albedo and forest attributes for small forest plots. *Remote Sensing*, 16(16), 3085. <https://doi.org/10.3390/rs16163085>
- Reuters. (2024). EU carbon prices set to top €100 by 2030, analysts say. <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/france-demands-eu-restricts-co2-emissions-price-document-shows-2025-03-27/?>
- Romeiro, J., Eid, T., Antón Fernández, C., Kangas, A., & Trømborg, E. (2022). Natural disturbances risks in European Boreal and Temperate forests and their links to climate change – A review of modelling approaches. *Forest Ecology and Management* 509 (2022) 120071. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120071>
- Romeiro, J., Gohli, J., Krokene, P., Eid, T., & Antón Fernández, C. (2024). Bark beetle damage in Norwegian forests: a study of model suitability and projected impact under climate change. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 39(1), 30–43. <https://doi.org/10.1080/02827581.2023.2289648>

- Romeiro, J., Strîmbu, V., Eid, T., & Kangas, A. (2025). Optimising forest management in the face of bark beetle risk. *Ecological Modelling*, 507, 2025, 111160. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111160>
- Röder, M., & Thornley, P. (2018). Waste wood as bioenergy feedstock: Climate change impacts and related emission uncertainties from waste wood-based energy systems in the UK. *Waste Management*, 74, 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.042>
- Rørstad, P. K. (2022a). Payment for CO₂ sequestration affects the Faustmann rotation period in Norway more than albedo payment does. *Ecological Economics*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107492>
- Rørstad, P. K. (2022b). Tømmerproduksjon, karbonfangst eller begge deler? Hva er samfunnsøkonomisk optimal forvaltning av Norges skoger? *Samfunnsøkonomen*, 3, 16–18. <https://www.samfunnsokonomen.no/aktuell-analyse/tommerproduksjon-karbonfangst-eller-begge-deler-hva-er-samfunnsokonomisk-optimal-forvaltning-av-norges-skoger/>
- Rørstad, P.K., Bolkesjø, T.F., Sjølie, H.K. & Solberg, B. (2022). Regional differences in timber supply elasticities in Norway. *Silva Fennica*, 56(2), article 10566. <https://doi.org/10.14214/sf.10566>
- Sathre, R., & O'Connor, J. (2010). Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy*, 13(2), 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.12.005>
- Schoene, D. H. F., & Bernier, P. Y. (2012). Adapting forestry and forests to climate change: A challenge to change the paradigm. *Forest Policy and Economics*, 24, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.04.007>
- Schütz, J.P. (1999). Close-to-nature silviculture: Is this concept compatible with species diversity? *Forestry*, 72(4), 359–366. <https://doi.org/10.1093/forestry/72.4.359>
- Seidl, R., Baier, P., Rammer, W., Schopf, A., & Lexer, M. J. (2007). Modelling tree mortality by bark beetle infestation in Norway spruce forests. *Ecological Modelling*, 206(3–4), 383–399. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.04.002>
- Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Di Luca, A., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J., Lewis, S., Otto, F., Pinto, I., Satoh, M., Vicente-Serrano, S. M., Wehner, M., & Zhou, B. (2023). Weather and climate extreme events in a changing climate. In Masson-Delmotte et al. (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1513–1766). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>
- Sevillano, I., Antón-Fernández, C., Sjøgaard, G., & Astrup, R. (2025). Improved forest management for increased carbon sequestration: An assessment of the most prominent approaches in Norway. *Journal of Environmental Management*, 375, 124333. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124333>
- Sharma, R. P., Brunner, A., & Eid, T. (2012). Site index prediction from site and climate variables for Norway spruce and Scots pine in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(7), 619–636. <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.685749>
- Shephard, N., & Maggard, A. (2023). Guidelines for effective climate smart forestry. *Environmental Research Letters*, 18(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd653>

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), article id 10172. <https://doi.org/10.14214/sf.10172>

Skogbrand. (n.d.). Snøskader. Retrieved January 28, 2025, from <https://www.skogbrand.no/snoskader/>

Skogfrøverket. (2024). Tre nøtter til Askepott, tre millioner nøtter til skogbruket. <https://www.skogfroverket.no/tre-notter-til-askepott-tre-millioner-notter-til-skogbruket/>

Skogkurs. (2013a). Planting. Skogkurs resymé nr. 4. <https://skogkurs.no/wp-content/uploads/planting.pdf>

Skogkurs. (2013b). Tynning. Skogkurs resymé nr. 6. <https://skogkurs.no/wp-content/uploads/tynning-resyme.pdf>

Skogkurs. (2017). Ungskogpleie. Skogkurs resymé nr. 2. <https://butikk.skogkurs.no/products/ungskogpleie-skogkurs-resyme---nr-02>

Skogkurs. (2021). Planting og såing av furu – Skogkurs veileder 1. Utgave januar 2021. 19 pp. <https://skogkurs.no/kunnskapsskogen/skogskjotsel/naturlig-foryngelse/>

Solberg, S., Andreassen, K., & Clarke, N. (2018). Snøskader på trær langs kraftledninger. *NIBIO POP*, 4(19), 1–4. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2503097>

Solberg, S., Mcinnes, H., & Blennow, K. (2019). Årsaksfaktorer for vind-og snøskader i Sør-Norge. NIBIO-rapport 5, 85. <http://hdl.handle.net/11250/2601753>

Solberg, S., Granhus, A., Zubkov, P., Merlin, M., & Løge, K. (2022). Hvordan forebygge vind- og snøskader på skog? Norsk Skogbruk nr 1, 2022. <https://norsk-skogbruk.no/forskning/hvordan-forebygge-vind-og-snoskader-pa-skog/>

Solheim, H. (2010). Råtesopper – i levende trær. Skog og Landskap. 26 pp. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2469366>

SSB. (2024a). Idrett og friluftsliv, levekårsundersøkelsen. <https://www.ssb.no/kultur-og-fritid/idrett-og-friluftsliv/statistikk/idrett-og-friluftsliv-levekarsundersokelsen>

SSB. (2024b). The National Forest Inventory. <https://www.ssb.no/en/jord-skog-jakt-og-fiskeri/skogbruk/statistikk/landsskogtakseringen>

SSB. (2025). Gjødsling av skog etter år og areal. Statistisk Sentralbyrå. Tabell 05543. <https://www.ssb.no/statbank/table/05543/tableViewLayout1/>

Statistisches Bundesamt. (2021). Forest damage: logging of timber damaged by insect infestation grew more than tenfold within five years. Press Release 050. https://www.destatis.de/EN/Press/2021/08/PE21_N050_41.html

Stokland, J., Eriksen, R., & Granhus, A. (2020). Tilstand og utvikling i skog 2002-2017 for noen utvalgte miljøegenskaper. NIBIO-rapport 6,133. <https://hdl.handle.net/11250/2721804>

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. <https://hdl.handle.net/11250/2650496>

Strîmbu, V.F., Eid, T. & Gobakken, T. (2023). A stand level scenario model for the Norwegian forestry – a case study on forest management under climate change. *Silva Fennica* 57, article id 23019. <https://doi.org/10.14214/sf.23019>

Strîmbu, V. F., Merlin, M., Solberg, S., & Eid, T. (2025). A long-term scenario analysis of snow damage risk: effects of reduced stand density management. *Ecological Modelling*, 510, 2025, 111280. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111280>

Størdal, S., Lien, G. & Baardsen, S. (2008). Analyzing determinants of forest owners' decision-making using a sample selection framework. *Journal of Forest Economics*, 14(3), 159–176. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2007.07.001>

Suter, F., Steubing, B., & Hellweg, S. (2017). Life cycle impacts and benefits of wood along the value chain: The case of Switzerland. *Journal of Industrial Ecology*, 21(4), 874–886. <https://doi.org/10.1111/jiec.12486>

Suvanto, S., Peltoniemi, M., Tuominen, S., Strandström, M. & Lehtonen, A. (2019). High-resolution mapping of forest vulnerability to wind for disturbance-aware forestry. *Forest Ecology and Management*, 453, 117619. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117619>

Søgaard, G., Astrup, R., Allen, M., Andreassen, K., Fløistad, S., Granhus, A., Hanssen, K. H., Hietala, A., Kvaalen, H., Solberg, S., Solheim, H., Steffenrem, A., Stokland, J., & Økland, B. (2017). Skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring. NIBIO-rapport 3, 99. <http://hdl.handle.net/11250/2451870>

Søgaard, G., Allen, M., Astrup, R., Belbo, H., Bergseng, E., Blom, H.H., Bright, R., Dalsgaard, L., Fernandez, C.A., Gjerde, I., Granhus, A., Hanssen, K.H., Kjønås, J., Nygaard, P.H., Stokland, J., & Sætersdal, M. (2019). Effekter av planting av skog på nye arealer Betydning for klima, miljø og næring. NIBIO-rapport 5, 3. <http://hdl.handle.net/11250/2585217>

Søgaard, G., Alfredsen, G., Antón-Fernández, C., Astrup, R., Blom, H.H., Clarke, N., Eriksen, R., Granhus, A., Hanssen, K. H., Hietala, A. M., Mohr, C. W., Nygaard, P.H., Solberg, S., & Steffenrem, A. (2020). Klimakur 2030 – beskrivelse av utvalgte klimatiltak knyttet til skog. NIBIO-rapport 6, 9. <http://hdl.handle.net/11250/2639345>

Søgaard, G., Clarke, N., Fløistad, I. S., Granhus, A., Hagenbo, A., Hanssen, K. H., Hietala, A., Kjønås, O. J., Kühne, C., Solberg, J., Steffenrem, S., & Storaunet, J. (2023). Oppdatering av kunnskapsgrunnlag for klimatiltak i skog: Gjennomgang av 11 utvalgte tiltak i bestandsskogbruket. NIBIO-rapport 9, 22. <https://hdl.handle.net/11250/3069701>

The Observatory of Economic Complexity. (2024). Polyethylene terephthalate. Available at: <https://oec.world/en/profile/hs/polyethylene-terephthalate>

Triviño, M., Potterf, M., Tijerín, J., Ruiz-Benito, P., Burgas, D., Eyvindson, K., Blattert, C., Mönkkönen, M., & Duflot, R. (2023). Enhancing resilience of boreal forests through management under global change: a review. *Current Landscape Ecology Reports*, 8, 233–251. <https://doi.org/10.1007/s40823-023-00088-9>

Venäläinen, A., Lehtonen, I., Laapas, M., Ruosteenoja, K., Tikkanen, O. P., Viiri, H., Ikonen, V. P., & Peltola, H. (2020). Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Global Change Biology*, 26(8), 4178–4196. <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>

Verkerk, P. J., Costanza, R., Hetemäki, L., Kubiszewski, I., Leskinen, P., Nabuurs, G. J., Potočník, J., & Palahí, M. (2020). Climate-Smart Forestry: the missing link. *Forest Policy and Economics*, 115 (2020, 102164. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102164>

- Verkerk, P. J., Delacote, P., Hurmekoski, E., Kunttu, J., Matthews, R., Mäkipää, R., Mosley, F., Perugini, L., Reyer, C. P. O., Roe, S., & Trømborg, E. (2022). Forest-based climate change mitigation and adaptation in Europe (From Science to Policy). European Forest Institute.
<https://doi.org/10.36333/fs14>
- von Carlowitz, H. C. (1713). *Sylvicultura Oeconomica*.
- Walsh, J. E., Ballinger, T. J., Euskirchen, E. S., Hanna, E., Mård, J., Overland, J. E., Tangen, H., & Vihma, T. (2020). Extreme weather and climate events in northern areas: A review. *Earth-Science Reviews*, 209, 103324. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103324>
- Wang, G. G., Lu, D., Gao, T., Zhang, J., Sun, Y., Teng, D., Yu, F., & Zhu, J. (2025). Climate-smart forestry: An AI-enabled sustainable forest management solution for climate change adaptation and mitigation. *Journal of Forestry Research*, 36, 7. <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01802-x>
- WCED (World Commission on Environment and Development). (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- Williamson, J. R., & Neilsen, W. A. (2000). The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid trails during ground-based harvesting. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(8), 1196–1205. <https://doi.org/10.1139/x00-041>
- World Cement Association. (2024). Global Cement Industry Outlook: Trends and Forecast. Available at: <https://www.worldcementassociation.org/blog/news/global-cement-industry-outlook-trends-and-forecasts>
- World Steel Association. (2024). Top 10 steel-producing countries. Available at: <https://worldsteel.org/media/press-releases/2024/december-2023-crude-steel-production-and-2023-global-totals/>
- Yousefpour, R., Augustynczyk, A. L. D., Reyer, C. P. O., Lasch-Born, P., Suckow, F., & Hanewinkel, M. (2018). Realizing Mitigation Efficiency of European Commercial Forests by Climate Smart Forestry. *Scientific Reports*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18778-w>
- Zubkov, P., Gardiner, B., Nygaard, B. E., Guttu, S., Solberg, S., & Eid, T. (2024). Predicting snow damage in conifer forests using a mechanistic snow damage model and high-resolution snow accumulation data. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 39(1), 59–75.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2023.2289660>

10. Supplerende materiale

10.1. Behandlingsprogrammer gjennom et omløp

Behandlingsprogrammene gjelder for grandominerte skogområder på middels til høy bonitet ($H_{40} = 11-26$ m) og er et supplement til og en detaljering av analysen som er gjort i seksjon 3.1.1.5.

Maksimer karbonopptak og -lagring

Foryngelsesfase: plant gran med «anbefalt» tetthet i henhold til volumproduksjon.

Ungskogfase: oppretthold «anbefalt» tetthet i henhold til volumproduksjon.

Produksjonsskogfase: ingen tynning, men bruk gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved optimal biologisk hogstalder.

Maksimer albedo

Foryngelsesfase: plant bjørk med lavere tetthet enn for maksimal volumproduksjon.

Ungskogfase: oppretthold lav tetthet.

Produksjonsskogfase: gjennomfør tynning, men ikke gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved redusert økonomisk hogstalder.

Minimer barkbilleangrep

Foryngelsesfase: plant blandingsbestand (gran og furu) med «anbefalt» tetthet for maksimal volumproduksjon.

Ungskogfase: oppretthold «anbefalt» tetthet for maksimal volumproduksjon.

Produksjonsskogfase: ingen tynning eller gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved redusert økonomisk hogstalder.

Minimer rotråte

Foryngelsesfase: plant blandingsbestand (gran og furu) med «anbefalt» tetthet for maksimal volumproduksjon.

Ungskogfase: oppretthold «anbefalt» tetthet for maksimal volumproduksjon.

Produksjonsskogfase: ingen tynning eller gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved redusert økonomisk hogstalder.

Minimer vindskader

Foryngelsesfase: plant blandingsbestand (gran, furu) med lavere tetthet enn «anbefalt» i henhold til maksimal volumproduksjon.

Ungskogfase: oppretthold lavere tetthet enn «anbefalt» i henhold til maksimal volumproduksjon.

Produksjonsskogfase: ingen tynning eller gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved økonomisk hogstalder.

Minimer snøskader

Foryngelsesfase: plant én treslagstype (gran) med lavere tetthet enn «anbefalt» i henhold til maksimal volumproduksjon.

Ungskogfase: oppretthold lavere tetthet enn «anbefalt» i henhold til maksimal volumproduksjon.

Produksjonsskogfase: ingen tynning eller gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved økonomisk hogstalder.

Minimer tørkeskader

Foryngelsesfase: plant blandingsbestand (gran, furu og bjørk) med «anbefalt» tetthet i henhold til volumproduksjon.

Ungskogfase: oppretthold «anbefalt» tetthet i henhold til maksimal volumproduksjon.

Produksjonsskogfase: gjennomfør tynning (for å redusere konkurranse), men ingen gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved redusert økonomisk hogstalder.

Minimer alle forstyrrelser samlet sett

Foryngelsesfase: plant blandingsbestand (gran, furu, bjørk) med lavere tetthet enn «anbefalt» i henhold til volumproduksjon.

Ungskogfase: oppretthold lavere tetthet enn «anbefalt» i henhold til maksimal volumproduksjon.

Produksjonsskogfase: ingen tynning eller gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved redusert økonomisk hogstalder.

Maksimer lønnsomhet

Foryngelsesfase: plant gran med «anbefalt» tetthet i henhold til volumproduksjon.

Ungskogfase: oppretthold «anbefalt» tetthet i henhold til volumproduksjon.

Produksjonsskogfase: gjennomfør tynning og gjødsling.

Hogstmodenhetsfase: flatehogst ved optimal økonomisk hogstalder.