



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Naturskogkart – første versjon

Bakgrunn og metodikk

NIBIO RAPPORT | VOL. 11 | NR. 129 | 2025



Rapport

TITTEL:	Naturskogkart – første versjon. Bakgrunn og metodikk		
DATO:	24.10.2025	REVIDERT DATO:	-
ANTALL SIDER:	50	ANTALL VEDLEGG:	-

FORFATTER(E):	
NAVN:	DIVISJON/ STASJON/ANNET:
Marius Hauglin	Divisjon for skog og utmark, Landsskogtakseringen
Ulrika Jansson Asplund	Norsk institutt for naturforskning
Marie-Claude Jutras-Perreault	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Olav Skarpaas	Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo
Victor Strimbul	Divisjon for skog og utmark, Landsskogtakseringen
Ken Olaf Storaunet	Divisjon for skog og utmark, Biomangfold i skog
Anne Sverdrup-Thygeson	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Julius Wold	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Hans Ole Ørka	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
KONTAKTPERSON NIBIO: Marius Hauglin, marius.hauglin@nibio.no	

RAPPORTNUMMER: 11(129)2025	PROSJEKTNUMMER:	ARKIVNUMMER:
Miljødirektoratet: M-3042 2025.	54027, 54047	24/01413 , 24/00328
TILGJENGELIGHET: Åpen	ISBN: 978-82-17-03843-6	ISSN: 2464-1162

OPPDRAUGSGIVER: Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet	OPPDRAUGSGIVERS KONTAKTPERSON: Idunn Elisabeth Borgen Skjetne, Turid Asklund Trötscher
---	---

PROSJEKTLEDER: Marius Hauglin	KVALITETSSIKRET/GODKJENT: Bjørn Håvard Evjen
---	--

STIKKORD: Naturskog, Landsskogtakseringen, fjernmåling	FAGOMRÅDE: Skogkartlegging, biomangfold
---	--

SAMMENDRAG: Første versjon av tre nasjonale kartlag over naturskog, og metodikken for disse kartlagene er dokumentert i denne rapporten. Prosjektet har også vurdert hvordan NiN3.0-variablene fra skogdynamikkprosjektet kan utledes ved hjelp av heldekkende kart som allerede eksisterer eller som kan utvikles innen rimelig tid. Tilgjengelige datasett, som fjernmålingsdata, SR16 og feltdata fra Landsskogtakseringen ble brukt sammen med maskinlæringsmodeller for å lage følgende tre landsdekkende rasterkartlag: 1) Et binært naturskogkart som viser skog med predikert alder >84 år, 2) et kart med predikert sannsynlighet for naturskog, og 3) et kart som viser predikert grad av naturskogsnerhet. En evaluering av det binære naturskogkartet mot feltflatene i Landsskogtakseringen hadde en samlet nøyaktighet på 76 %. Validering av modellen for naturskogsannsynlighet viste en samlet nøyaktighet på 78 %. Validering av modell for naturskogsnerhet ga samlet nøyaktighet på 54 %. Validering av modeller for prediksjon av naturskogsannsynlighet og naturskogsnerhet viser begge at disse gir best prediksjoner i grandominert skog. Prosjektet ble gjennomført med knappe tidsrammer, og de produserte kartene må betraktes som førsteversjoner. En anbefaling fra prosjektet var at metodikken og kartene bør utvikles videre, og en videreføring er allerede i gang.
--

Rapportens referanse: Hauglin, M., Asplund, U. J., Jutras-Perreault, M-C., Skarpaas, O., Strimbul, V., Storaunet, K. O., Sverdrup-Thygeson, A., Wold, J. & Ørka, H. O. (2025). *Naturskogkart – første versjon. Bakgrunn og metodikk* (NIBIO RAPPORT, 11/129). Norsk institutt for bioøkonomi.

Sammendrag

En prosjektgruppe bestående av forskere fra NIBIO, NMBU, NINA og UiO/NHM ble forespurt om å bistå direktoratene med å etablere et offentlig tilgjengelig kart over naturskog, med utgangspunkt i et oppdrag beskrevet i notat fra Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet 27. juni 2024. Prosjektet resulterte i første versjon av tre nasjonale kartlag over naturskog, og metodikken for disse kartlagene er dokumentert i denne rapporten. Prosjektets målsetning har vært todelt: 1) Lage et kart etter definisjonen *“Skog i Norge som har en bestandsalder som tilsier at den er etablert før 1940, og som ikke er flatehogd”*, og 2) synliggjøre grad av naturskogs nærhet for all skog, med utgangspunkt i skogdynamikk-prosjektets resultater.

Prosjektet har vurdert hvordan NiN3.0-variablene fra skogdynamikkprosjektet kan utledes ved hjelp av heldekkende kart som allerede eksisterer eller som kan utvikles innen rimelig tid. Også andre heldekkende tilgjengelige variabler som kan si noe om naturskogs nærhet har blitt vurdert.

Tilgjengelige datasett, som fjernmålingsdata, SR16 og feltdata fra Landsskogtakseringen ble brukt sammen med maskinlæringsmodeller for å lage følgende tre landsdekkende rasterkartlag:

1) Et **binært naturskogkart** som viser skog med predikert alder >84 år, fratrasket hogstflater og andre former for inngrep (kraftgater o.l.), 2) et kart med predikert **sannsynlighet for naturskog**, og 3) et kart som viser predikert grad av **naturskogs nærhet**.

En evaluering av det binære naturskogkartet mot feltflatene i Landsskogtakseringen hadde en samlet nøyaktighet på 76 %¹. Validering av modellen for naturskogs sannsynlighet viste en samlet nøyaktighet på 78 %. Validering av modell for naturskogs nærhet ga samlet nøyaktighet på 54 %. Validering av modeller for prediksjon av naturskogs sannsynlighet og naturskogs nærhet viser at disse gir best prediksjoner i grandominert skog.

Sammenligninger av modellresultatene med kartdata over vernet skog, et kuratert datasett fra NARIN-skogdatabase, samt et datasett med data fra lavereliggende furuskoger viste en moderat sammenheng mellom predikert naturskogs sannsynlighet og naturskogs nærhet og registreringer fra feltdatasettene. I visse tilfeller, som for eksempel i naturnær furuskog, var det svakere sammenheng mellom prediksjonene i de tre naturskogkartlagene og registreringer gjort i felt.

Prosjektet ble gjennomført med knappe tidsrammer, og de produserte kartene må betraktes som førsteversjoner. En anbefaling fra prosjektet var at metodikken og kartene bør utvikles videre, og en videreføring er allerede i gang.

¹ Feltflatene i Landsskogtakseringen er brukt som del av modellgrunnlaget og dette kan påvirke nøyaktigheten. Se avsnitt om binært naturskogkart i resultatkapitlet.

Forord

Klima- og miljødepartementet ga 15. februar 2024 Miljødirektoratet i oppdrag å

«etablere et offentlig tilgjengelig kart over naturskog, i betydningen skog som ikke har vært flatehogd etter ca. 1940. Kartet kan være basert på fjernmåling og eksisterende data fra eksisterende kartlag og datakilder mv. Vi ber direktoratet etablere og publisere en første versjon av kartet så snart som mulig og senest innen utløpet av 2024, samt samtidig med leveransen klargjøre hvilket presisjonsnivåkartet har og gi departementet en anbefaling om ev. videre arbeid med kartet.»

Noe senere kom Klima- og miljødepartementet og Landbruks- og matdepartementet fram til at Landbruksdirektoratet burde delta i samarbeid om oppdraget, og et felles oppdrag ble etablert, med Miljødirektoratet som leder for arbeidet. Departementene ba videre om at *«ledende forskningsmiljøer på feltet involveres i arbeidet. Det bør også vurderes dialog med skogeierorganisasjoner og miljøorganisasjoner.»*

En prosjektgruppe bestående av forskere fra NIBIO, NMBU, NINA og UiO/NHM ble forespurt om å bistå direktoratene i arbeidet, med utgangspunkt i oppdraget slik det er beskrevet i notat fra Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet 27. juni 2024. Prosjektgruppen leverte sitt prosjektforslag i september 2024, og kontrakt ble signert 31. oktober 2024.

Denne rapporten gir en bakgrunn for prosjektet og diskuterer definisjoner av «naturskog», spesielt knyttet til bruk i fjernmålingsbasert kartlegging. Videre dokumenteres metodikken benyttet for de tre kartlagene som ble publisert i januar 2025.

Vi vil understreke at prosjektet ble gjennomført med svært kort tid til rådighet, og at de tre publiserte kartlagene må betraktes som førsteversjoner.

Ås, oktober 2025

Marius Hauglin

Ulrika Jansson Asplund

Olav Skarpaas

Ken Olaf Storaunet

Anne Sverdrup-Thygeson

Hans Ole Ørka

Innhold

Sammendrag	3
Forord	4
1 Introduksjon	7
2 Økologisk bakgrunn	8
2.1 Definisjoner av naturskog og bakgrunn for oppdraget	8
2.2 Naturskogs nærhet og NiN 3.0	9
2.3 Utfordringer med forenkling av økologiske sammenhenger til kart	12
Treslagssammensetning – den vanskelige furunaturskogen	12
Alder – bestandsalder versus alder på dominerende trær	12
Mengde og variasjon av død ved – effekter av treslag, bonitet og måleskala	13
3 Metodeutvikling	14
3.1 Feltdata: Referansedata fra Landsskogtakseringen	14
3.2 Heldekkende data fra fjernmåling og andre kilder	14
Flybåren laserskanning	15
Satellittbilder	15
Terrenginformasjon	15
Historiske flybilder	15
Andre data	15
3.3 Om bruk av NiN-variablene relevante for naturskogs nærhet	16
Dødvedandel	17
Dødvedvariasjon	17
Suksesjon på tresatt mark	19
Naturskogs nærhet - samlet gradering	22
3.4 Overordnet om metodikk for modellering	24
3.5 Deteksjon av flatehogd areal	24
Satellittbasert hogstdeteksjon	25
Flybildebaset hogstdeteksjon	25
3.6 Oppsummert om metode for hvert av de tre leverte kartene	26
Binært naturskogskart	26
Naturskogs sannsynlighet	27
Naturskogs nærhet	28
3.7 Valideringsdatasett	29
NARIN (Naturområder i Norge)	29
Naturnær furuskog	29
4 Resultater og diskusjon	30
4.1 Binært naturskogskart	31
4.2 Naturskogs sannsynlighet	33
4.3 Naturskogs nærhet	37
4.4 Deteksjon av flatehogd areal	42
Satellittbasert hogstdeteksjon	42
Flybildebaset hogstdeteksjon	42
5 Konklusjon og publiserte kartlag	44

5.1 Karteksempler	44
5.2 Formidling	46
Litteraturliste.....	47

1 Introduksjon

Den norske skogens strukturer, arts mangfold og økosystemprosesser har blitt utviklet og formet gjennom tusenvis av år med dynamikk og suksesser som følge av naturlige påvirkningsfaktorer, klimaendringer og arters innvandringshistorie. Naturlige forstyrrelser har virket med varierende intensitet over forskjellige skalaer i både tid og rom. Det har gitt opphav til et stort mangfold av habitater og en rekke forskjellige økologiske nisjer, som igjen er grunnlaget for det rike hjemmehørende arts mangfoldet i norsk skog (Framstad m. fl., 2021).

Parallelt med de naturlige påvirkningsfaktorene kommer etter hvert menneskenes påvirkning på skogen. Norsk skog har vært brukt og utnyttet i lang tid, både til lokale formål og til eksport. Eksport av tømmer ble en viktig næring utover 1500-tallet, og opp gjennom hundreårene resulterte selektive hogster av de største trærne (dimensjonshogst) i stadig minkende tømmer volum og stadig mindre dimensjoner og lavere alder på trærne og skogen som stod igjen. Siste del av 1800-tallet ble det hogd hardt i skogene, både til trelast og til den nye treforedlingsindustrien (Framstad m.fl., 2021).

I overgangen til 1900-tallet peker beskrivelser og foto på et spenn i skogbildet: Fra nesten treløse arealer der hogsten hadde vært spesielt hard, via betydelige arealer på Østlandet med glisne og uthogde skoger, til områder langt fra folk og fløtningsveier der skogen fremdeles hadde urskogens strukturer i behold (Nygaard & Øyen 2020, Hagem 1916). I gjennomsnitt var volumet, slik det er dokumentert i den første landskogstaksten på 1920-tallet, langt lavere enn i dagens hogstklasse V.

På mange måter kan en si at dagens naturskog har sitt opphav i de gamle avvirkningsregimene. I de delene av skogen som ikke har blitt avvirket med åpne hogstformer etter krigen, vil sporene etter og den økologiske effekten av tidligere tiders hogst variere, og også avta med tiden som har gått siden inngrepene. Det er altså en gradvis overgang fra plantet produksjonsskog over i skog med økende naturskogspreg.

2 Økologisk bakgrunn

2.1 Definisjoner av naturskog og bakgrunn for oppdraget

Det finnes flere definisjoner av begrepet 'naturskog'. En prinsipiell definisjon stammer fra rapporten Naturskog i Norge (Rolstad m.fl., 2002) og lyder: «*Naturskog er skog framkommet ved naturlig foryngelse av stedegent genmateriale. Menneskelig påvirkning har funnet sted i så liten utstrekning, for så lang tid tilbake, eller er utført på en slik måte, at skogens naturlige struktur, sammensetning, og økologiske prosesser ikke er endret i vesentlig grad*».

Definisjonen beskriver opphav, påvirkning over tid og resulterende struktur i prinsipielle termer, og kan ikke i seg selv benyttes til å avgjøre om et skogareal er naturskog eller ikke. I en konkret kartlegging trengs en presisering av hva «liten utstrekning», «lang tid» og «naturlig struktur og sammensetning» betyr i praksis, og hvordan det skal måles.

En mye brukt slik presisering er hentet fra Storaunet & Rolstad (2020), og er basert på to enkle kriterier: 1) en bestandsalder som tilsier at skogen er etablert før 1940 (dvs. i hovedsak fra tidligere tiders selektive hogstformer), og 2) at det ikke er registrert noen form for inngrep eller behandling i skogen etter ca. 1965 (fordi det er så langt tilbake vi har relevant informasjon i Landsskogtakseringens prøveflater). Dette ble gjort med bakgrunn i de endringene i skogbruket som skjedde etter andre verdenskrig; fra tidligere tiders dimensjons- og plukkhogst, til bestandsskogbruk og flatehogster. Etter denne definisjonen er cirka 30 prosent av det produktive skogarealet naturskog. Dette arealet reduseres nå relativt sett med litt over 1 prosent i året (Storaunet m.fl., 2024).

Landsskogtakseringen benytter en strengere definisjon av naturskog i sine feltregistreringer. I tillegg til høy alder, stor variasjon i forekomst av død ved og/eller sjiktet skog, skal det heller ikke være synlige spor av menneskelige inngrep. Slik skog utgjør ca. 2 prosent av skogarealet, og det øker relativt sett med 3–4 prosent i året.

Et forskeroppdrag² i februar 2024 ba Regjeringen gjennomføre registrering og kartfesting av de siste naturskogene, definert i henhold til Storaunet & Rolstad (2020), innen utgangen av 2025. Bakgrunnen var en bred bekymring blant forskere for at manglende dokumentasjon kombinert med betydelig årlig hogst i naturskoger kunne medføre irreversible tap av naturverdier i norsk skog om ikke en arealdekkende kartfesting kom raskt på plass.

Oppropet førte til et oppdrag fra KLD til Miljødirektoratet, senere utvidet til et oppdrag fra KLD og LMD til Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet. Disse har igjen tildelt et oppdrag til prosjektgruppen. I oppdragsbeskrivelsen prosjektgruppen fikk fra oppdragsgiverne, med leveringsfrist 1. desember 2024, ble det brukt en litt avkortet definisjon av naturskog, og målsetningen er delt i to:

1. Lage et kart over skog som ikke har vært flatehogd etter ca. 1940.
2. Synliggjøre grad av naturskogs nærhet for all skog, med utgangspunkt i skogdynamikk-prosjektets konklusjoner (Skarpaas & Halvorsen, 2022).

² <https://www.nmbu.no/nyheter/bredt-forskeroppdrag-kartlegging-av-naturskog>

2.2 Naturskogsnerhet og NiN 3.0

Vi har god generell kunnskap om hvilke økologiske egenskaper som karakteriserer en skog formet av naturlige prosesser, selv om det naturlig nok er forskjeller avhengig av dominerende treslag, bonitet osv. Det handler først og fremst om mengde og variasjon i død ved (ofte også brent ved). Deretter vil ofte høy alder eller seint suksesjonsstadium være viktig, selv om de naturlige prosessene åpenbart også resulterer i yngre skog. Men heterogenitet i både vertikal og horisontal struktur er egenskaper som gir livsgrunnlag for naturskogens rike mangfold av arter.

Dette er variabler som har vært benyttet i feltregistreringer, og som i takt med teknologisk utvikling i økende grad også kan beskrives ved hjelp av fjernmåling. En studie fra Sørøst-Norge bekrefter sammenhengen mellom skoghistorisk dokumentasjon av naturskogsnerhet på den ene siden, og fjernmålte variable på den andre (Sverdrup-Thygeson m.fl., 2016).

I nyeste versjon av beskrivelsessystemet for natur, NiN 3.0, har man gått bort fra todelingen av skogsmark i 'normalskog' og 'naturskog' (der 'naturskog'-kategorien fulgte Landsskogtakseringens 'streng' definisjon) som ble benyttet i NiN2. I stedet beskrives graden av naturskogsnerhet som den gradvise overgangen den vitterlig er: Fra en urskogsner skog – via økende påvirkning fra hogst og andre inngrep – til en plantet og intensivt drevet produksjonsskog. Dette er grundig beskrevet i rapporten fra 'Skogdynamikk-prosjektet' (Halvorsen m.fl., 2022).

Tre sentrale variable benyttes i [NiN 3.0](#) for å beskrive skogens dynamikk og grad av naturnærhet mer presist:

- [Døddvedandel \(KM-DA\)](#) – mengde død ved som andel av total mengde levende, dødt og avvirket volum
- [Døddvedvariasjon \(KM DV\)](#) – hvor mange av kategoriene Stående død ved, Grov død ved, og mye Nedbrutt død ved som forekommer med en andel > 1/6, av total mengde døddved
- [Suksesjon på tresatt mark \(AD ST\)](#) – overgangen fra treløs fase via aldersutviklingen som følger de tradisjonelle hogstklassene I – V samt to nye trinn: Fleraldret skog med kohordtynamikk (f) og Skog med småskaladynamikk (y)

I tillegg kan flere andre variabler som beskriver påvirkning/inngrep være relevante å inkludere: [Naturgitt bestandsreduksjon på tresatt areal](#), [Ikke gjennomgripende naturgitt forstyrrelse](#), [Lukket gradvis foryngelseshogst](#), [Intermediær hogst](#), [Lukket selektiv hogst](#), [Åpen foryngelseshogst](#) eller [Hogststubbeandel](#).

NiN 3.0 er ment å være et verdinøytralt system, og det er viktig å understreke at grad av naturskogsnerhet ikke er synonymt med grad av naturverdi eller verneverdi. Naturkvaliteten i visse verneverdige skoger kan for eksempel være sterkere knyttet til feltsjiktet (f.eks. trua kalk-krevende planter eller markboende sopp) enn til trærnes egenskaper. Dersom målsetningen er å peke på skoger med høy naturverdi, for eksempel med tanke på å sikre et representativt skogvern, må man også inkludere andre betraktninger enn naturskogsnerhet, evt. inkludert et tydeligere restaureringsperspektiv. Eksempelvis har avvirkningen i skog på

middels og høy bonitet i lavereliggende deler av Østlandet vært omfattende. Dette vil ha betydning for vurderinger rundt naturverdi/ vernekvalitet.

Definisjoner av naturskog

Prinsipiell definisjon

Naturskog er skog framkommet ved naturlig foryngelse av stedegent genmateriale. Menneskelig påvirkning har funnet sted i så liten utstrekning, for så lang tid tilbake, eller er utført på en slik måte, at skogens naturlige struktur, sammensetning, og økologiske prosesser ikke er endret i vesentlig grad.

Kilde: Rolstad m.fl. (2002).

Naturskog i henhold til Landsskogtakseringen

Klassifikasjonen gjelder skog eller annet tresatt areal som viser en naturlig dynamikk, slik som treslagssammensetning, forekomst av død ved, aldersstruktur og foryngelsesprosesser. Arealet må være stort nok til å ivareta det naturlige særpreget (> 5 daa). Arealet skal være inngrepsfritt etter definisjonen under, og i tillegg tilfredstille minst to av de tre kravene for dødt virke, høy alder og sjiktning.

Alltid: Inngrepsfritt

Det må ikke være synlige menneskelige inngrep av noen betydning, eller de siste betydelige inngrepene må ha skjedd for så lang tid siden at sporene etter dette er borte og den naturlige treslagssammensetningen og de biologiske prosessene er blitt gjenopprettet. Arealet skal ikke være påvirket av omkringliggende tekniske inngrep, som veier, bygninger, grøfting etc. Vi regner at slike inngrep påvirker omkringliggende areal i en radius av 25 meter. Inngrep nærmere enn 25 meter fra flatesentrum, medfører at naturskog ikke kan registreres selv om de andre kriteriene er tilstede. Sluttavvirkning i nyere tid (hkl I-II) vil også påvirke omkringliggende areal med samme radius. Stubber etter hogst skal normalt ikke forkomme i områder med naturskogskarakter. Merker etter tilfeldige enkeltstående trær som er fjernet (f.eks. i forbindelse med kaffekoking) bør likevel ikke diskvalifisere et areal fra å kunne føres til denne kategorien.

I tillegg minst 2 av disse 3:

1. Dødt virke: Aktuelle arealer skal ha dødt virke av ulike nedbrytningsgrader noenlunde jevnt fordelt over hele minimumsarealet på 5 daa. I produktiv skog benyttes samme definisjon som for MIS figurer når det gjelder mengde og fordeling (minst 4 trær pr daa), men det er her andre krav til dimensjoner og strengere krav til forekomst av ulike nedbrytningsgrader. I uproduktiv skog og på annet tresatt areal kan det godtas at mengde og fordeling av dødt virke er mindre enn inngangsverdiene i MIS – definisjonen. I produktiv barskog skal det forekomme døde trær med diameter > 25 cm. I lauvskog og uproduktiv skog gjelder ikke kravet om 25 cm, men det må finnes døde trær av relativt sett store dimensjoner (utvokste trær). Kravet til dødt virke er større på høy bonitet enn på lav. Et bestand med naturskogskarakter kan ha brutt sammen av naturlige årsaker og derfor mangle (levende) gamle trær. I slike tilfeller stilles det større krav til mengden død ved.
2. Høy alder: Kriterier for høy alder er en bestandsalder eller forekomst av trær med en alder som tilfredstiller kravene for gamle trær i MIS - instruksen. Dvs Gran 150 år, furu 200 år. For lauvtrær benyttes diametergrensene på samme måte som i MIS instruksen.
3. Sjiktning: Skog med naturskogskarakter er oftest fleretasjet med stor alder- og diameterspredning.

Kilde: Landsskogtakseringens feltinstruks (Viken 2021).

Naturskog i henhold til Storaunet og Rolstad 2020

Skog med bestandsalder som tilsier at skogen var etablert før 1940, og der det heller ikke er registrert noen tidligere inngrep eller behandling av skogen tilbake til ca. 1965.

Kilde: Storaunet & Rolstad (2020).

2.3 Utfordringer med forenkling av økologiske sammenhenger til kart

Økologisk kunnskap om artsmangfold, elementer og strukturer som er typisk i skogøkosystemer som preges av naturlige prosesser og i liten grad er påvirket av menneskelig aktivitet, lar seg ikke enkelt oversette til målbare variabler for ulike typer naturskog. For å kunne benytte fjernmålingsvariable til modellering trenger vi stedfestet referansedata over egenskaper som beskriver om en skog er mer eller mindre naturskogsner, på en relevant romlig skala.

Treslagssammensetning – den vanskelige furunaturskogen

En naturskog vil kunne variere i utseende avhengig av dominerende treslag, samtidig som det kan være forskjeller langs geografiske gradienter og gradienter i produksjonsevne, med mer glissen lavproduktiv skog og tettere høyproduktiv skog. Det er ofte også store forskjeller langs disse gradientene når det gjelder mengde død ved og hvordan levende trær og døde trær ville fordelt seg i et område, med hensyn på tetthet, størrelsesvariasjon og aldersvariasjon.

Den naturlige dynamikken i grandominert skog skaper ofte et skogbilde med variasjon i både trærnes høyde og diameterspredning og med kontinuerlig, og på gode boniteter nokså rask, dannelselse av død ved. Dette gir et skogbilde som lar seg relatere til de fjernmålte variablene. Den naturlige dynamikken i furudominert skog er derimot i større grad preget av kohortdynamikk, som kan gi et mer ensjiktet skogbilde, også i en fleraldret skog. Mange furuskoger har dessuten veldig lang leveransetid på gamle trær og død ved. Til sammen gjør dette at det kan være utfordrende å finne igjen furunaturskogene basert på strukturvariable, tildels i felldata men især i fjernmålingsdata.

Alder – bestandsalder versus alder på dominerende trær

Alderen til en skog kan beskrives på flere måter avhengig av formålet med vurderingen. I et ensaldret bestand (f.eks. etter en avvirkning med påfølgende planting) vil dette være enkelt, mens det ofte er utfordrende i den fleraldrede skogen. Bestandsalder, slik den f.eks. uttrykkes i Landsskogtakseringens data er i prinsippet en såkalt grunnflateveid bestandsalder (dvs. store trær vektet mer enn mindre trær, samtidig som alderen på borede trær er korrigert for eventuell undertrykt periode tidlig i treets liv, såkalt husholdningsalder).

Mye av den eldre skogen i Norge er nettopp fleraldret. Bestandsalder (og hogstklasse som mål på suksesjonstrinn) er derfor ikke aldersmål som nødvendigvis gjenspeiler trærnes eller skogens faktiske alder eller fanger opp variasjonen i trealder innen et bestand. I en nylig publisert studie fra Landsskogtakseringens prøveflater viser forfatterne at bestandsalder og faktisk alder av dominerende enkeltrær sammenfaller godt for skog med bestandsalder opp til ca. hundre år, mens det for skog med bestandsalder over hundre år ofte er store avvik både for gran- og furutrær (Smith m.fl., 2024). I enkelte tilfeller kan forskjellen være flere hundre år. Det er derfor viktig å ha et bevisst forhold til hvilken type aldersdata som legges til grunn for modellerte kart, for å forstå og kunne tolke resultatene.

‘Biologisk gammelskog’ er et begrep som tar hensyn til at en høyproduktiv skog eldes raskere enn en lavproduktiv skog, og at ulike treslag har ulik maksimal alder (Tabell 1). I praksis vil da ‘biologisk gammelskog’ være den eldre delen av hogstklasse 5.

Tabell 1. Biologisk gammelskog: Nedre grense for bestandsalder for ulike boniteter og treslag. Etter tabell 3 i Hysten m.fl. (2018).

Bestandstreslag	Bestandsalder (nedre grense)			
	Uproduktiv skog	Bonitet 6-8	Bonitet 11-17	Bonitet 20-26
Gran	>135	>135	>120	>105
Furu	>155	>155	>140	>105
Lauv	>120	>120	>100	>80

Mengde og variasjon av død ved – effekter av treslag, bonitet og måleskala

Det er store forskjeller i mengde død ved i ulike naturskogssystemer, og både treslagssammensetning og bonitet spiller inn. Mens det i høyproduktiv skog kan dannes grov død ved relativt raskt, som kan brytes ned relativt raskt, vil det i lavproduktive skoger ofte være langsom produksjon og nedbrytning av den døde veden. I en litteraturgjennomgang av naturnære skoger i Fennoskandia (Storaunet & Skarpaas, 2022) ble det konkludert med at dødvedandel (andel død ved av all ved, der all ved inkluderer både levende, døde og avvirkede trær) var et bedre mål på naturskogs nærhet enn mengde død ved (volum pr arealenhet), fordi et slikt relativt mål også tar opp i seg endel av variasjonen som skyldes produktivitet og dominerende treslag.

Dødvedvariasjon er en annen aktuell variabel for å beskrive grad av naturskogs nærhet for et skogområde. I en skog med nær naturlig dynamikk utgjør død ved omtrent en tredel av all ved i skogen (levende + dødt + eventuelt avvirket). Av dette er ca. en tredel av dødvedvolumet stående og resten liggende, en drøy tredel er store dimensjoner (> 30 cm), og omtrent en tredel er sterkt nedbrutt. Dødvedvariasjon gir uttrykk for hvorvidt disse ulike tre kategoriene av død ved (stående, store dimensjoner og sterkt nedbrutt) – er representert i nær forventet mengde innenfor en arealenhet. Død ved forekommer imidlertid ofte spredt i landskapet og gjerne også i så lave mengder at det kan være utfordrende å detektere med fjernmålingsteknikker. Dette kan særlig gjelde furuskoger som oftere har lave volumer av død ved i dag, som et resultat av tidligere hogst. Det er også langt mer krevende å detektere *liggende* enn *stående* død ved med fjernmåling, og jo tettere skogen er, jo vanskeligere.

3 Metodeutvikling

Et sentralt prinsipp i utviklingen av kartene har vært modeller som beskriver sammenhengen mellom fjernmålte data og stedfestede registreringer fra felt. Dette har direkte inngått som del av metoden for modellering av naturskogsannsynlighet og naturskogs nærhet. I det binære naturskogskartet kommer dette prinsippet indirekte med som del av metoden for de underliggende kartlagene (som f.eks. bruker predikert bestandsalder fra SR16). Bruk av Landsskogtakseringens data som grunnlag for modellene har krevd en ny inndeling basert på tilgjengelige feltregistreringer.

3.1 Felldata: Referansedata fra Landsskogtakseringen

Landsskogtakseringen ble i sin tid startet for å kartlegge skogressursene. Fra 1990-tallet har fokuset på økologiske og miljøtilknyttede egenskaper økt, og det registreres nå også informasjon om f.eks. død ved, gamle trær og andre livsmiljøer. I tillegg har man økt tettheten av prøveflater i verneområder, for å bedre kunne følge utviklingen der. Data fra Landsskogtakseringen er foreløpig i mindre grad blitt brukt til å lage prognoser for naturmangfold, økologisk tilstand eller naturskogs nærhet, men det finnes stort potensial for å utnytte datasettet mer til dette formålet.

Landsskogtakseringen gjennomføres som en systematisk prøveflatetakst, der hver prøveflate er på 250 m² og ligger i et rutenett på 3 x 3 km (det benyttes annet rutenett over barskogsgrensen og i Finnmark). Prøveflatene er permanente, og hver flate oppsøkes i felt hvert femte år. Ca. 12 000 prøveflater ligger i skog. I vår sammenheng kan de små prøveflatene by på utfordringer, siden flere av de egenskapene som karakteriserer naturskogen (relatert til f.eks. strukturell heterogenitet eller dødved-karakteristika) ikke nødvendigvis opptrer på så liten skala, et poeng som også understrekes i 'Skogdynamikkrapporten' (Skarpaas & Halvorsen, 2022). En stor andel av landskogstakseringens flater i skog mangler helt forekomst av død ved (se Tabell 3). I tillegg kan det være utfordrende med arealkategorier som opptrer spredt i landskapet og er sjeldent forekommende, enten fra naturens side eller som et resultat av tidligere hogst, eksempelvis edellauvskog eller eldre furuskog med mye død ved.

For å forsøke å modellere noen av de aktuelle variablene som sammen beskriver graden av naturskogs nærhet, har vi gjort et uttrekk av 11 167 prøveflater basert på følgende kriterier:

- Tilgjengelig lidar-data
- Kun hele flater
- Produktiv og uproduktiv skog
- Arealanvendelse skog/utmark (kode 1), reservat/verneområde (kode 5) eller friluftsområde (kode 9)

3.2 Heldekkende data fra fjernmåling og andre kilder

Vi har brukt datasett med nasjonal dekning i modelleringsarbeidet. I hovedsak er dette data fra fjernmåling, men også andre nasjonale datasett som kan tenkes å bidra i modellene har blitt testet. Her følger en oversikt over hvilke datasett som har blitt brukt i arbeidet med modellene. En oversikt over variabler som er testet i modellene er gitt i Tabell 2.

Flybåren laserskanning

Punktsky fra skanning med flybåren laser (lidar) inneholder informasjon om den romlige strukturen i skog og vegetasjon. En rekke variabler kan avledes fra laserdata, og i prosjektet har vi benyttet et sett med variabler som allerede var beregnet på nasjonalt nivå, nærmere beskrevet i Hauglin m.fl. (2021).

Satellittbilder

Spektral informasjon (farger) i satellittbilder kan komplementere informasjonen om struktur fra laserskanning. I prosjektet har vi inkludert alle bånd (B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B8A,B11,B12) fra en skyfri mosaikk av Sentinel2 bilder, samt en vegetasjonsindeks (NDVI) beregnet fra kombinasjonen av kanalene for rødt og nærinfrarødt lys (B8 og N4).

I deteksjonen av flatehogst er det i tillegg brukt satellittbilder fra Landsat-satellittene fra perioden 1985-2024.

Terrenginformasjon

Terrenget kan påvirke vanntilgang, solinnstråling og mikroklimatiske forhold. Dette kan igjen påvirker trær og vegetasjon. Terrengforhold kan også si noe om driftsforhold og dermed indirekte si noe om egnethet for hogst. I prosjektet har vi benyttet variablene hellingsgrad, høyde over havet og avstand til kyst.

Historiske flybilder

Historiske flybilder er i prosjektet benyttet i deteksjon av flatehogst i perioden 1950 –1989 for en del av Sør-Norge (se Figur 2).

Andre data

Andre heldekkende kartlag kan inneholde informasjon som – direkte eller indirekte – kan ha en sammenheng med naturskog og naturskognærhet. Vi har i prosjektet testet variabler fra AR5 (Ahlstrøm m.fl., 2014), kart over løsmassetyper, og klimavariabler (Lussana m.fl., 2019). Klimavariablene er ikke forutsatt å ha noen direkte effekt på naturskog, men kan indirekte beskrive egenskaper som ikke fanges opp av de andre variablene.

Tabell 2. Oversikt over variabler og heldekkende datasett som er brukt som mulige forklaringsvariabler i modellene.

Datakilde	Variabelnavn	Beskrivelse
Flybåren laserskanning	hmax_first,hmean_first,hvar_first,hcv_first,hskew_first,prop_abmean_first,prop_ab2m_first,h10_first,h25_first,h50_first,h75_first,h90_first,h95_first,d0_first,d2_first,d4_first,d6_first,d8_first,h10_last,h50_last,hskew_last,n_all,hmean_all,hvar_all,h50_all,h75_all,h90_all,h95_all,d2_all,d4_all,igratio_all	Høydepercentiler, tetthestvariabler, laserprosjekt
AR5	ar5tresl, ar5skogbon,ar5type,ar5grunn	Treslag, bonitet
SR16	Predikert treslag	
Satelittbilder (Sentinel2)	B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B8A,B11,B12,N DVI.	Spektralverdier bånd B1-B12. Vegetasjonsindeks NDVI.
Løsmassekart	parmat, parmat4, parmat9	Inndeling i løsmassetyper, tre ulike inndelinger i klasser.
Terrenginformasjon		Helling, høyde over havet, avstand til kyst
Klimavariabler		Gjennomsnitt temperatur og nedbør (30-år snitt, månedssvis)

3.3 Om bruk av NiN-variablene relevante for naturskogsnerhet

I skogdynamikkprosjektet (Skarpaas & Halvorsen, 2022) ble det anbefalt å beskrive naturskogsnerhet med hjelp av variablene dødvedandel, dødvedvariasjon og suksesjon på tresatt mark. Vi har tatt utgangspunkt i dette og undersøkt hvilke feltbaserte referansedatasett som er tilgjengelige og som kan egne seg til formålet. Som utgangspunkt for modelleringsarbeidet i prosjektet har vi etablert et datasett basert på Landsskogtakseringens feltflater og de tre egenskapene nevnt over. Vi har videre jobbet med ulike tilnærminger til modellering og kartlegging av naturskog og naturskogsnerhet med bruk av dette datasettet sammen med andre tilgjengelige data fra fjernmåling og eksisterende kartdata.

Basert på registreringene som er gjort i felt på Landsskogtakseringens flater har vi avledet egenskaper som er relatert til naturskog og naturskogsnerhet. Mer spesifikt har vi klassifisert flatene etter naturskogsdefinisjonen i Storaunet & Rolstad (2020) og beregnet verdier for de tre egenskapene beskrevet i skogdynamikkprosjektet (beskrevet i avsnitt om økologisk bakgrunn over). Ingen av disse fire størrelsene blir direkte målt eller registrert på flatene. Det er imidlertid mulig å avlede slike egenskaper fra data som *blir* registrert i Landsskogtakseringen. I denne prosessen må det tas flere metodiske valg, og hvordan dette er løst i prosjektet er beskrevet for hver av egenskapene under. Vi har videre beskrevet hvordan de tre egenskapene dødved, dødvedvariasjon og suksesjon kan kombineres for å gi en samlet klassifisering av *naturskogsnerhet*. Merk at dette må betraktes som et første utkast, og denne metodikken må utvikles og forbedres i en videreføring av prosjektet. Merk også at vi har måttet gjøre enkelte valg i etableringen av datasettet av hensyn til tidsbruk, for eksempel er det gjort lite manuell kontroll av mulig uegnede enkeltobservasjoner.

Dødvedandel

Definisjon av [variabelen dødvedandel i NiN 3](#) lyder: «... volumandel død ved av totalt vedvolum, der det totale vedvolumet også inkluderer [i tillegg til død og levende ved] volumet av trær som er hogd i så nær fortid at hogststubbene fortsatt er synlige.»

I Landsskogtakseringen måles død ved og levende ved direkte. 'Avvirket ved' estimeres basert på variabelen avvirket volum [siden forrige omdrev], kumulert for alle omdrev siden de permanente flatene ble etablert (6. takst). Dette innebærer at vi potensielt inkluderer avvirket ved tilbake til ca. 1965. Imidlertid vet vi at denne variabelen kan være mangelfull, blant annet fordi enkelte prøveflater kan være oppført med lav hogstklasse uten at det er angitt en relevant mengde avvirket ved. Slike flater er foreløpig ikke filtrert ut fra referansedataene.

Dødvedandel estimeres basert på tilgjengelig data:

$$\frac{\text{volum død ved}}{\text{volum død ved} + \text{levende ved} + \text{avvirket ved}}$$

Deretter ble prøveflatene tilordnet verdier for trinninndelingen (en ordnet faktorvariabel) slik som beskrevet i NiN (Tabell 3).

Tabell 3. Prosentvis fordeling av produktivt og uproduktivt skogareal i Norge for trinn-inndelingen av variabelen dødvedandel (data fra 2019-2023).

Trinn	Beskrivelse	Andel av all ved	Produktiv skog	Uproduktiv skog
0	Ingen død ved	0	41 %	66 %
01	Ubetydelig andel død ved	0 - 3.125 %	15 %	2.4 %
02	Svært liten andel død ved, mye mindre enn forventet i skog med naturlig dynamikk	3.125 - 6.25 %	11 %	4.6 %
03	Liten andel død ved, mindre enn forventet i skog med naturlig dynamikk	6.25 - 12.5 %	13 %	6.6 %
04	Middels andel død ved, noe mindre enn forventet i skog med naturlig dynamikk	12.5 - 25 %	11 %	7.5 %
05	Stor andel død ved, omtrent som forventet (1/3) i skog med naturlig dynamikk	25 - 50 %	6.6 %	7.3 %
06	Svært stor andel død ved, forventet kun i nylig naturlig forstyrret skog	50 - 100%	2.3 %	5.4 %
			100 %	100 %

Dødvedvariasjon

I NiN beskrives [variabelen dødvedvariasjon](#) som følger: “... hvordan den totale mengden av død ved innenfor et areal fordeler seg på ulike kategorier”. Trinnene for dødvedvariasjon i NiN er gitt i Tabell 4. Tre ulike kategorier tas i betraktning: Andel stående død ved (S), andel mye nedbrutt ved (N) og andel store dimensjoner av død ved (D), av all død ved.

Tabell 4. Trinnene for NiN-variabelen dødvedvariasjon inndeles etter hvor mange av kategoriene stående død ved (S), mye nedbrutt ved (N) og store dimensjoner av død ved (D) som forekommer med en andel > 1/6 av all dødved.

Trinn	Beskrivelse			
0	Ingen/liten forekomst av S, N, D død ved			
01	Liten dødvedvariasjon; bare én av S, N og D representert med andel > 1/6			
02	Middels dødvedvariasjon; to av S, N og D representert med andel > 1/6			
y	Stor dødvedvariasjon; hver av S, N og D representert med andel > 1/6			

For å tilordne prøveflatene i Landsskogtakseringen trinnverdier for dødvedvariasjon tok vi i bruk følgende variable som måles i Landsskogtakseringen:

S: stående/liggende død ved måles direkte i Landsskogtakseringen.

N: nedbrytning registreres for både stående og liggende død ved og måles i Landsskogtakseringen på en 5-delt skala (Tabell 5). Vi inkluderte som “mye nedbrutt ved” nedbrytning i grad 3, 4 og 5 (gjennområtten i ytre lag, veden løs tvers igjennom, og helt nedbrutt) .

En utfordring med datasettet er at det er svært få prøveflater i datasettet hvor det er registrert både stor dimensjon og mye nedbrutt død ved, og for mange av disse er det det samme døde treet som har stor dimensjon og er mye nedbrutt. Se også Skarpaas m.fl. (2022).

Tabell 5. Kode og beskrivelse av nedbrytingsgrad for læger og gadd slik det benyttes i Landsskogtakseringens registreringer (Viken, 2021).

Kode	Nedbrytingsgrad	Beskrivelse
1	Nylig dødt (0-3 år)	Nylig dødt virke (0-3 år), barken fremdeles fast eller nylig løs etter intensive barkbilleangrep
2	Løs bark, begynnende råte	Løs bark med begynnende til velutviklet soppmycel mellom bark og ved. Veden begynner å mykne i ytre partier pga. råte (0-3 cm inn i veden)
3	Gjennområtten i ytre lag	Veden mer eller mindre gjennområtten i de ytre lag, kan plukkes helt fra hverandre med kniv. Kjerne er fortsatt hard
4	Veden løs tvers igjennom	Veden løs tvers igjennom og flyter stedvis ut på bakken. Ingen indre hard kjerne. Ofte noe overgrodd
5	Helt nedbrutt	Fragmenter, konturer under vegetasjon av helt nedbrutt stokk

D: dimensjon av den døde veden måles i Landsskogtakseringen.

Vi estimerte andelen for hver av disse kategoriene på prøveflatene, og tilordnet deretter flatene i henhold til trinn-inndelingen i tabell 2. Fordelingen av Landsskogflatene på trinnene for dødvedvariasjon er gitt i Tabell 6.

Tabell 6. Prosentvis fordeling av produktivt og uproduktivt skogareal i Norge for trinn-inndelingen av variabelen dødvedvariasjon (data fra 2019-2023).

		N = nedbr. 3, 4 og 5	
Trinn	Beskrivelse	Produktiv skog	Uproduktiv skog
0	Ingen/liten forekomst av S, N eller D	49 %	69 %
1	liten dødvedvariasjon	33 %	22 %
2	middels dødvedvariasjon	17 %	8.5 %
y	stor dødvedvariasjon	1.9 %	0.5 %
		100 %	100 %

Suksesjon på tresatt mark

Alder på skogen er i Landsskogtakseringen angitt som bestandsalder. Sammen med treslag, bonitet og volummål benyttes alderen for å angi hogstklassen for et bestand. Dette er i utgangspunktet et mål på skogens utviklingsfaser i et produksjonsperspektiv. I [NiN-variabelen suksesjon på tresatt mark](#) kombineres slike utviklingsfaser uavhengig av om det er hogst eller en naturlig forstyrrelse som er årsak til trærnes død. I tillegg til utviklingstrinnene som representeres av hogstklassene inkluderer variabelen to trinn som beskriver eldre skog med naturlig dynamikk; f) fleraldret skog med kohordynamikk og y) skog med småskaladynamikk. Beskrivelse av trinn for suksesjon på tresatt mark er gitt i Tabell 7.

Tabell 7. Trinninndelingen brukt for å tilegne landskogtakseringens prøveflater trinn langs gradienten suksesjon på tresatt, og dens relasjon til hogstklasser. (Tab. 6.3 i Skarpaas & Halvorsen (2022)).

Trinn	Trinn-betegnelse	Beskrivelse	Relasjon til hogstklasser etc.
0	Tre- og buskløs fase	Mark uten yngre trær eller busker	Hogstklasse I; hogstflate; brannflate, stormfelling
a	Foryngelse s-skog	Bestand dominert av busker i aktiv vekst, som ennå ikke tilfredsstiller definisjonen av tresatt areal (arealandel innenfor kroneperiferien av trær < 10 %); kort tid siden forrige forstyrrelse (f.eks. hogst, brann, insektutbrudd); kan ha forekomst av (gjenstående) eldre trær som følge av at forstyrrelsen medførte at ikke alle trærne ble tatt ut/døde	Hogstklasse I/II
b	Ungskog	Skogareal som er antallsmessig dominert av unge trær i aktiv vekst, som tilfredsstiller definisjonen av tresatt areal (arealandel innenfor kroneperiferien av trær > 10 %); kortere tid siden forrige forstyrrelse (f.eks. hogst, brann, insektutbrudd) enn nedre grense for hogstklasse III (gitt av tabell for ulike treslag og boniteter); kan ha forekomst av (gjenstående) eldre trær som følge av at forstyrrelsen medførte at ikke alle trærne ble tatt ut/døde	Hogstklasse II
c	Yngre skog	Skogareal dominert av trær i aktiv vekst og med betydelig levende biomasse; bestanden/den yngre kohorten eldre enn en minstegrense gitt av tabell for ulike treslag og boniteter (hogstklasse III); kan ha forekomst av (gjenstående) eldre trær som følge av at forstyrrelsen (f.eks. hogst, brann, insektutbrudd) medførte at ikke alle trærne ble tatt ut/døde	Hogstklasse III

d	Eldre skog	skogareal med stor levende biomasse; bestandet/den yngre kohorten eldre enn en minstegrense gitt av tabell for ulike treslag og boniteter (hogstklasse IV); kan ha forekomst av (gjenstående) eldre trær som følge av at tidligere forstyrrelse (f.eks. hogst, brann, insektutbrudd) medførte at ikke alle trærne ble tatt ut/døde	Hogstklasse IV
e	Gammel skog	skogareal med stor levende biomasse; bestandet/den dominerende kohorten eldre enn en minstegrense gitt av tabell for ulike treslag og boniteter (hogstklasse V); dominerende trær kan vise tegn på redusert vitalitet (pga. f.eks. insektangrep, råte) og kan (a) ha mindre åpninger i tresjiktet, (b) ha forekomst av trær eldre enn den dominerende kohorten og som kan være vanskelig å skille fra denne, eller (c) tilfredsstillende definisjonen av et bestand; ved ny forstyrrelse der ikke alle trærne blir tatt ut/dør, vil skogarealet kunne plasseres i trinn 0 eller a; ved økende forekomst av småskala-/enkelttre-forstyrrelse vil det være en glidende overgang til trinn f eller y	Hogstklasse V
f	Fleraldret skog med kohort-dynamikk	Fleraldret skog med to eller flere sjikt eller uten tydelig sjiktning, enten (a) med kohorter i ulike aldersklasser og en dominerende kohort som er eldre enn en minstegrense gitt av tabell for ulike treslag og boniteter (hogstklasse V); eller (b) en mer spredt aldersfordeling som gjør at aldersfordelingen, eventuelt også treslagssammensetningen, ikke er stabil i et lengre tidsrom etter at en forstyrrelse som medførte etablering av en ung/ny kohort fant sted	-
y	Skog med småskala-dynamikk	Fleraldret og flersjiktet skog med gamle trær (som gammelt tre regnes gran > 150 år og furu > 200 år; for lauvtrær artsspesifikke grenseverdier; se Halvorsen m.fl. 2019b), stabil treslagssammensetning og stabil aldersfordeling	-

I prinsippet kan ikke skog der de naturlige forstyrrelsesprosessene dominerer mangle død ved. Men siden det aller meste av skogarealet har vært påvirket av hogst i lang tid vil dette likevel være situasjonen mange steder. Den tidligere dimensjons- og plukkhogde skogen som nå er blitt eldre/gammel tilordnes gjerne i trinn d og e, men dersom det har skjedd naturlige forstyrrelser de siste tiårene (uten at dødeligheten for de dominerende trærne har vært for stor) kan den tilordnes trinn f eller y, og da vil det i praksis alltid være forekomst av visse mengder død ved. Ved tilordning av Landsskogtakseringens prøveflater til trinnene i tabellen over kunne en derfor tenke at trinn f og y må ha død ved til stede. Av to grunner har vi valgt å ikke inkludere noe krav til død ved her; 1) for å rendyrke utviklingstrinnene/suksesjonsstadiet og 2) fordi dødveden 'ivaretas' av dødvedandel og dødvedvariasjon. I praksis er det således treslag, bestandsalder, diameter og struktur for de levende trærne som utgjør kriteriene for å tilordne prøveflatene til trinnene i suksesjonsvariabelen.

Det er prinsipielle skillelinjer mellom trinn f og y. Endetrinnet y er såkalt eldre fleraldret skog med småskaladynamikk, dvs. at forstyrrelsene skjer mer eller mindre kontinuerlig, og som enkelttre-dødelighet eller i små grupper. I trinn f skjer forstyrrelsene (eller har skjedd) med en større dødelighet for trærne slik at en kan få etablering av nye trær i pulser (kohort). Dette siste resulterer i at skogen vil endre seg noenlunde forutsigbart framover (gjennomsnittsalderen øker, dimensjonene øker, mm), dvs. at det pågår en såkalt 'rettet utvikling'.

Naturlig utvikling i grandominert skog vil ofte kunne utvikle seg fra trinn e til trinn y, og deretter forbli der inntil en ny storskala forstyrrelse skjer og arealet kan settes til trinn 0/a. Siden større furutrær ofte kan overleve skogbrann (med midlere dødelighet for trærne) kan furudominert skog forbli i trinn f, inntil det enten skjer en storskala forstyrrelse med høy dødelighet slik at en havner i trinn 0/a, eller at det ikke skjer større forstyrrelser på så lang tid at furuskog på lavere/tørrere boniteter kan plasseres i endetrinnet (y). I boreale barskoger som har en viss grad av lauvinnblanding eller er barblandingskog (gran og furu) vil det oftest også pågå en slik form for 'rettet utvikling', der lauvinnblandingen (og furuandelen i barblandingskog) er avtakende mens granandelen øker. Dette er årsaken til at vi nedenfor har benyttet høy grad av gran- eller furudominans for å skille trinnene f og y.

For å tilordne Landsskogsprøveflatene en trinnverdi for suksesjon på tresatt mark, brukte vi følgende kriterier for å avgjøre hvilke prøveflater som tilordnes trinnene f og y:

- *Prøveflater med forekomst av trær i fire ulike diameterklasser (5-15 cm, 15-25 cm, 25-35 cm og >35 cm), og at det er avtakende antall trær fra hver diameterklasse til den neste høyere klassen (jfr. Brunner m.fl., 2023; Granhus m.fl., 2024), samtidig som gjennomsnittlig H/D-forhold for de høydemålte trærne er mindre enn 0,7 (høyde i dm delt på diameter i mm).*
- *Prøveflater som tilfredsstiller kriteriene for 'biologisk gammel skog', og der gjennomsnittlig H/D-forhold for de høydemålte trærne er mindre enn 0,7.*
- *I tillegg hentet vi inn prøveflater kategorisert som 'naturskog' etter Landsskogtakseringens strenge definisjon (se ovenfor).*

For å skille mellom trinn f og y benyttet vi treslagsdominans (jfr. diskusjonen ovenfor med hensyn til potensialet for såkalt 'rettet utvikling'), der prøveflater med høy grad (> 70%) av gran- eller furudominans tilordnes trinn y, mens øvrige sammensetninger av treslag tilordnes trinn f.

De øvrige trinnene følger hogstklassene, men med sammenslått trinn 0 og a.

Uproduktiv skog er inkludert i disse inndelingene ved at hogstklasser og 'biologisk gammel skog' er kategorisert i henhold til tabeller for laveste bonitet (Svensson m.fl., 2021).

Det har ikke vært nok tid i prosjektet til å undersøke andre varianter av tilordning av prøveflatene til suksesjonstrinnskalaen, men dette er det stort behov for å jobbe videre med, for å sikre at referanseflatene har de egenskaper som vi prøver å modellere. En fordeling av skogarealet etter tilnærmingen beskrevet over er gitt i Tabell 8.

Tabell 8. Prosentvis fordeling av uproduktivt og produktivt skogareal (og samlet), for trinn-inndelingen for variabelen suksesjon på tresatt mark (der trinninndelingen følger kriteriene i teksten ovenfor). Første kolonne viser fordelingen i hogstklassene som suksesjonstrinnene relateres til (men merk at andelene her inkludere både produktiv og uproduktiv skog, der hogstklasse i den uproduktive skogen er satt ihht. grensene for laveste bonitetsklasse). (Datagrunnlag fra Landsskogtakseringen 2019-2023.)

Trinn	Beskrivelse, suksesjons-trinn	Hogstklasse-fordeling	Tilordnet ihht kriteriene, uproduktiv skog	Tilordnet ihht kriteriene, produktiv skog	Tilordnet ihht kriteriene, samlet (uprod. + prod. skog)
0/a	Foryngsesskog	1.5 %	0.0 %	2.1 %	1.5 %
b	Ungskog	10.6 %	1.2 %	14.3 %	10.5 %
c	Yngre skog	17.8 %	14.3 %	19.1 %	17.7 %
d	Eldre skog	23.2 %	32.1 %	19.0 %	22.8 %
e	Gammel skog	46.9 %	33.8 %	31.9 %	32.5 %
f	Fleraldret, kohortdynamikk		3.6 %	5.7 %	5.1 %
y	Småskaladynamikk		15.0 %	7.8 %	9.9 %
		100 %	100 %	100 %	100 %

Naturskogsnærhet - samlet gradering

Vi lagde et første utkast til en gradert inndeling i naturskogsnærhet med utgangspunkt i de tre NiN-variablene fra skogdynamikkprosjektet (Tabell 9). Først kombinerte vi dødvedandel og dødvedvariasjon.

Tabell 9. Samlet verdi for død ved basert på kombinasjonen dødvedandel og dødvedariasjon.

dødvedandel	dødvedvariasjon			
	0	01	02	y
0	1	1	1	1
01	1	2	2	2
02	2	2	3	3
03	3	3	4	4
04	3	4	4	5
05	4	5	5	5
06	5	5	6	6

Deretter kombinerte vi disse verdiene med trinnene i variabelen suksesjon på tresatt mark, for å anslå en samlet naturskogsgradering, slik at høyere verdi for både død ved og suksesjonstrinn gir en høyere grad av naturskogsnærhet (Tabell 10).

Tabell 10. Samlet grad av naturskogsnerhet basert på en kombinasjon av variabelen suksesjon på tresatt mark og dødvedvariablene.

suksesjon på tresatt mark	kombinasjon av dødvedandel og dødvedvariasjon					
	1	2	3	4	5	6
0	1	1	2	3	5	7
a	1	1	2	3	5	7
b	1	2	3	4	6	7
c	1	2	3	4	6	7
d	2	3	4	5	6	7
e	2	3	4	5	6	7
f	3	4	5	5	7	7
y	3	4	5	5	7	7

Naturskogsnerhet	
1	↑ mindre
2	
3	
4	naturskogs- nerhet
5	
6	
7	↓ større

Til slutt gjorde vi en korreksjon/nedjustering av verdiene i henhold til noen andre variable fra Landsskogtakseringen:

- Forekomst av grøfting eller fremmede treslag gir verdi 1 på den sjudelte skalaen
- Forekomst av en eller annen grad av systematisk skjøtsel ('tidligere behandling') i prøveflate: nedjustering av verdien med tre trinn
- Dersom 'tidligere behandling' kun har skjedd i form av 'diverse hogst': nedjustering av verdien med ett trinn

Prøveflatene i datasettet fra Landsskogtakseringen ble tilordnet de korrigererte verdiene, og disse verdiene er benyttet i modelleringen av kartet over naturskogsnerhet. Fordelingen av skogarealet på klassene gitt av tilnærmingen beskrevet over er gitt i Tabell 11.

Tabell 11. Prosentvis fordeling av produktivt og uproduktivt skogareal, for den graderte inndelingen i syv klasser av naturskogsnerhet.

	Prod. skog	Uprod. skog	Totalt
1	49 %	17 %	39 %
2	18 %	53 %	28 %
3	11 %	13 %	11 %
4	7,3 %	4,9 %	6,6 %
5	9,7 %	6,7 %	8,8 %
6	2,9 %	3,1 %	3,0 %
7	2,2 %	2,8 %	2,4 %
	100 %	100 %	100 %

Inndelingen i de syv klassene ovenfor ble gjennomført som en forsøksvis første tilnærming. Det har ikke vært tid og rom innenfor rammene i prosjektet å evaluere tilnærmingen, bl.a. med hensyn på enkle oppsummeringer av samvariasjon mellom ulike variabler, hvordan inndelingen slår ut i ulike regioner, bestandstreslag, boniteter osv., eller eventuelle behov for justeringer av de ulike grenseverdiene.

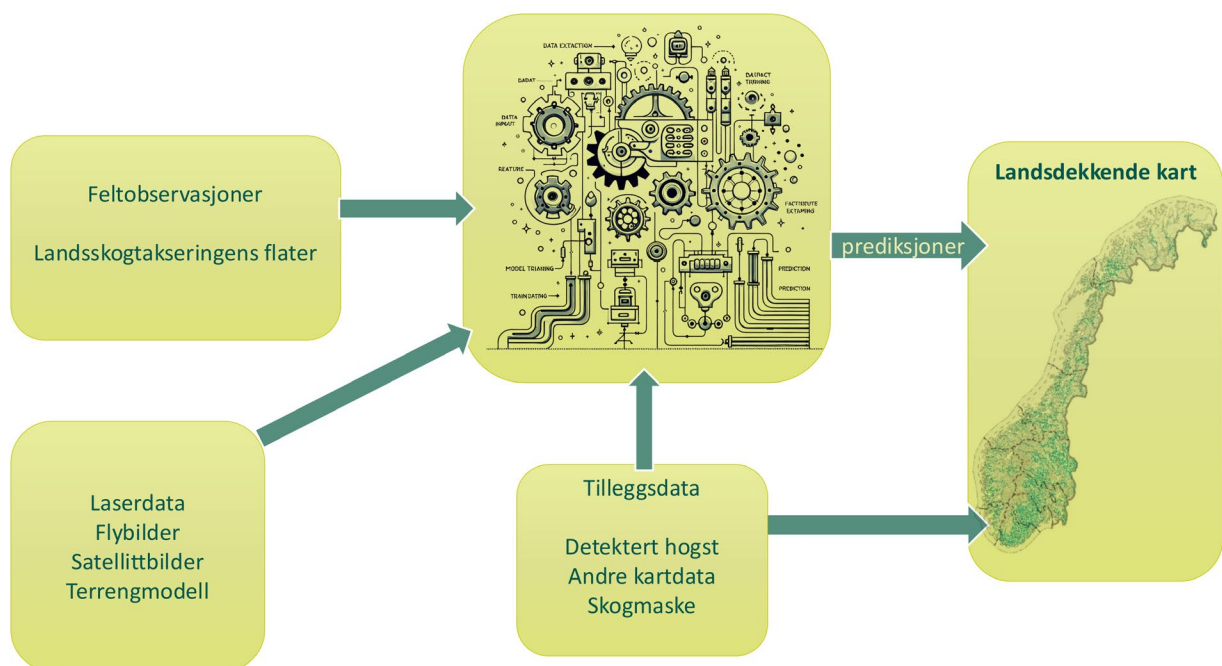
3.4 Overordnet om metodikk for modellering

Prediksjonene som ligger til grunn for kartlagene i prosjektet er generert av maskinlæringsmodeller. Modellene beskriver sammenheng mellom responsvariabelen (egenskapen som modelleres) og prediktorvariabler som det finnes heldekkende data for (Figur 1). Typisk vil responsvariabelen være representert med referansedata i form av feltregistreringer, og prediktorvariablene med heldekkende data fra fjernmåling. Koblingen mellom responsvariabelen og prediktorvariablene etableres ved at modellen trenes på et datasett der både referansedata og data for prediktorvariabler inngår. Modellen kan deretter brukes til å predikere på nasjonalt nivå med heldekkende data for prediktorvariablene.

I prosjektet har vi brukt feltregistreringer fra Landsskogtakseringens prøveflater som referansedata. Dette er et datasett med god geografisk spredning, og er slik sett egnet for trening av modeller for prediksjoner på nasjonalt nivå.

Det binære naturskogkartet er ikke direkte basert på modeller, men er en kombinasjon av eksisterende kartlag. Et av kartlagene som inngår (bestandsalder fra SR16) er imidlertid laget med Landsskogtakseringens data og etter metodikken skissert over.

Deteksjon av flatehogst følger en litt annen metodikk, og dette er beskrevet mer inngående under.



Figur 1. Prinsippkisse for produksjon av landsdekkende kartlag med bruk av fjernmålingsdata og maskinlærning.

3.5 Deteksjon av flatehogd areal

For å identifisere områder som har vært flatehogd tidligere ble det gjennomført en satellittbasert hogstdeteksjon for de siste 40 årene, tidligere benyttet i Skogøkologisk grunnkart (Ørka m.fl., 2022). Videre ble det gjort en deteksjon i historiske flybilder for å fange opp flatehogd areal tilbake til ca. 1940-tallet. Metodene er nærmere beskrevet under.

Satellittbasert hogstdeteksjon

Satellittdata fra Landsat-programmet er en god datakilde for å kartlegge påvirkningsfaktorer med høy romlig oppløsning over en lang periode. Den lange tidsserien med Landsatdata gjør det mulig med årlige deteksjon av endring helt tilbake til 1984 med høy nøyaktighet (Jutras-Perreault m.fl., 2021; Ørka m.fl., 2019).

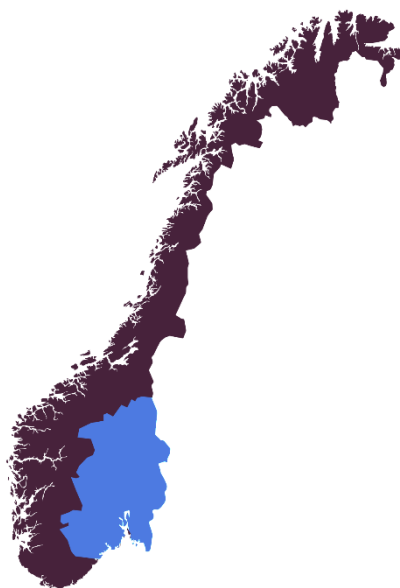
I dette prosjektet er endringer i skoglandskapet identifisert ved bruk av LandTrendr, en algoritme utviklet for Landsat-basert deteksjon av både kortvarige og permanente endringer (Kennedy m.fl., 2010). Endringskartet er produsert fra satellittbilder i tidsrommet 1984 til 2024 fra Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+ og Landsat-8 OLI, tatt i vekstsesong, fra og med juni til og med september. Alle bilder ble maskert for skyer, skyskygger og snø, og Landsat-8 OLI og Landsat-5 TM bilder ble harmonisert til Landsat-7 ETM+ (Roy m.fl. 2016) før endringsdeteksjonen. LandTrendr-algoritmen benytter en tidsserie av en vegetasjonsindeks for å finne endringer. Tidligere studier har vist at Normalized Burnt Ratio (NBR) er bedre for endringsdeteksjon enn Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) og Tasseled Cap Wetness Index (TCW) (Cohen m.fl., 2010; Kennedy m.fl., 2010) og årlige NBR kompositter ble derfor benyttet. LandTrendr krever en rekke kontrollparametere og terskelbasert filtrering for å redusere over- og undersegmentering (Cohen m.fl., 2010). Standardparameterverdiene definert i Kennedy m.fl. (2018) ble benyttet. Disse har tidligere vist seg å passe i et testområde på Østlandet (Jutras-Perreault m.fl., 2021) og er benyttet for landsdekkende endringsdeteksjon i forbindelse med skogøkologisk grunnkart (Ørka m.fl., 2022).

Endringsdeteksjon ble resamlet til 16 m x 16 m og endringer kartlagt utenfor SR16-skogmaske ble fjernet. Et *sieve* filter ble brukt for å fjerne endringer mindre enn 2.3 dekar og kartet ble filtrert med et 3 x 3 majoritetsfilter. Til slutt ble endringer mindre enn 4.1 dekar og områder omgitt av celler med NA-verdier fjernet.

Flybildebasert hogstdeteksjon

Kartlegging av flatehogd areal før 1984 er ikke mulig med satellittdata, men ved å benytte arkivet av historiske flyfoto kan vi kartlegge hogstflater så langt tilbake som det finnes slike bilder. Ved å benytte dyplæringsmetoder kan vi effektivt kartlegge hogstflater fra gamle flyfoto (Wold m.fl. upub). Metoden er utviklet og testet på et mindre område på eiendommen til Mathiesen Eidsvoll Værk og ikke tidligere utprøvd for storskala kartlegging.

I prosjektet ble metoden brukt på en del av Sør-Norge (Figur 2). Innenfor tidsrammen av dette prosjektet var det ikke mulig å etablere et landsdekkende kart.



Figur 2. Området med deteksjon av hogst i historiske flyfoto.

Flybilder fra tidsperioden 1950 til 1989 ble benyttet. Et systematisk utvalg av 2048 m x 2048 m ruter ble gjort for Østlandet. I hver rute ble bilder fra alle overlappende bildeprosjekter (fra ulike tidspunkt) hentet ut. For hvert enkelt bilde ble hogstflater og hogstflater med ungskog (hogstklasse II) manuelt digitalisert. En U-Net dyplæringsmodell ble trent på dette datagrunnlaget for å segmentere hogstflater og ungskog fra flybilder i svart-hvitt. Den ferdig trent modellen ble separat benyttet på bildeprosjektene som var hentet inn til prosjektet. Hvert bildeprosjekt ble delt inn i ruter på 4096 m x 4096 m med en overlapp på 256 m mellom hver rute. Modellen ble brukt for å predikere for hver 4096 m rute. Bildene ble resamplet til 8 m x 8 m oppløsning og overlapp fjernet. Rutene for hvert bildeprosjekt ble så sydd sammen.

Østlandet ble delt inn i ruter på 32 km x 32 km for videre prosessering. For hver rute ble prediksjonene fra alle overlappende bildeprosjekter hentet inn og sortert kronologisk. En binær hogstmaske ble framstilt ved å sette piksler med deteksjon av enten hogstflate eller ungskog på et av tidspunktet til flatehogd (1), mens det resterende arealet ble satt til uten hogst (0). Hogsttidspunkt ble bestemt fra første tidspunkt av deteksjon av hogstflate for hver piksel, hvis kun ungskog var detektert ble hogsttidspunktet satt til første deteksjon av ungskog. Rutevise resultater ble sydd sammen for å skape heldekkende kart over Østlandet som ble resamplet til SR16 rutenettet.

3.6 Oppsummert om metode for hvert av de tre leverte kartene

Binært naturskogskart

I prosjektet har vi laget et binært naturskogskart som viser skogarealet som følger definisjonen *“skog i Norge som har en bestandsalder som tilsier at den er etablert før 1940, og som ikke er flatehogd”*, slik dette fremkommer av datagrunnlaget. Dette datagrunnlaget er en kombinasjon av disse eksisterende kartlagene:

- Skogmaske fra SR16
- Predikert bestandsalder fra SR16-beta
- Detektert flatehogst fra historiske flybilder 1950 – 1989 (Østlandet)
- Detektert flatehogst fra satellittbilder 1985 – 2024
- SSB arealbruk
- Kraftledninger
- Data fra skogbruksplanleggingen

Skogarealet er i dette kartet delt i to klasser og areal der kriteriene under er oppfylt, er da i klassen naturskog (etter definisjonen gitt over).

Kriterier for klassen naturskog i det binære kartet:

- Predikert bestandsalder fra SR16-beta høyere enn 84 år i 2024
- Ikke detektert flatehogst fra historiske flybilder eller satellittbilder
- Ikke i område med bebyggelse i SSB arealbruk
- Ikke i kraftledningstrasé
- Ikke bestand der bestandsalder i skogbruksplan er lavere enn 84 år i 2024

Naturskogsannsynlighet

Kart som viser sannsynlighet for naturskog har tidligere blitt utviklet både i Norge (Jutras-Perreault m.fl., 2023; Ørka m.fl., 2021, 2022), Sverige (Bubnicki m.fl., 2024) og Finland (Räty m.fl. 2025). I et tidligere prosjekt for Miljødirektoratet ble det utviklet et skogøkologisk grunnkart med modeller for å kartlegge sannsynligheten for naturskog basert på ulike definisjoner (Ørka m.fl., 2021, 2022). Sannsynlighetskartet utviklet i dette prosjektet bygger på metodene fra de tidligere arbeidene, men benytter kriterier for klassen *naturskog* gitt under. Disse kriteriene er basert på en kategorisering av flater i Landsskogtakseringen fra Storaunet & Rolstad (2020):

“med en bestandsalder som tilsier at skogen var etablert før 1940, og der det heller ikke er registrert noen form for tidligere inngrep eller behandling av skogen tilbake til ca. 1965”.

Klassifisering av flatene i Landsskogtakseringen ble gjort med bruk av registreringer fra flatene. Bestandsalder registreres i felt, og ble brukt direkte. Kriteriet om tidligere inngrep eller behandling ble basert på direkte registreringer av inngrep og skogbehandling tilbake til etableringen av de permanente flatene. Dette inkluderer synlige inngrep og behandling registrert ved etablering av flatene, i prinsippet tilbake til ca. 1965. Vi har ikke regnet med inngrep definert som “diverse hogst”, fordi dette kun er mindre inngrep som ikke regnes som del av skogbehandlingen, og som antas i liten grad å påvirke flatens naturskogpreg.

Forskjellen fra metodikken benyttet tidligere var at et større utvalg ALS variabler ble inkludert, og modellene ble tilpasset datastruktur og variabler spesifikke for SR16-prosjektet, inkludert variabler som har vist seg viktige i oppfølgende studier (Jutras-Perreault m.fl., 2023).

Modelltypen som ble brukt var en maskinlæringsmetode av typen “generalized boosted regression” implementert i R (R-core team 2024) i biblioteket *gbm* (Ridgeway m.fl. 2024).

Modellene ble trent på data fra 8 747 prøveflater fra Landsskogstakseringen, og med variablene gitt i Tabell 2 som forklaringsvariabler.

Det ble trent to modeller: en stratifisert modell for skog med gran som dominerende treslag (predikert treslag i SR16) og en modell uten stratifisering. De to modellene ble trent på henholdsvis 3 129 og 8 747 prøveflater. Modellene ble validert med 100-fold kryssvalidering. I kartet er modellen stratifisert for gran benyttet på alle piksler med gran som dominerende treslag etter SR16 og den ikke-stratifiserte modellen ble benyttet i de resterende pikslene. Piksler med manglende data ble ekskludert.

Videre ble sannsynligheten for piksler med detektert flatehogst mellom 1950 og 2024 ble satt til null. Til slutt ble kartet maskert med SSB arealbruk og kraftgater, hvor sannsynligheten ble satt til null i bebygde områder og langs kraftgater.

Naturskognærhet

Feltflatene fra Landsskogstakseringen ble klassifisert i syv klasser, fra lav grad av naturskognærhet (1), til høy grad av naturskognærhet (7). Klassifiseringen ble gjort som beskrevet i kapittel 3.3, og er basert på egenskaper som måles i felt og som kan relateres til naturskognærhet. Med dette som referansedata ble det utviklet modeller for prediksjon av grad av naturskognærhet (1 – 7). Modellen for naturskognærhet ble tilpasset ved bruk av en maskinlæringsmodell basert på “boosted decision trees” implementert i biblioteket *xgboost* (Chen & Guestrin, 2016) i R. Modellen ble tilpasset med 11 109 observasjoner, og evaluering av modellen ble gjort med en 100-fold kryssvalidering.

I kart med predikert grad av naturskognærhet ble det gjort noen justeringer. Der hvor det var detektert flatehogst *etter* opptak av laserdata ble grad av naturskognærhet satt til 1. Videre ble grad av naturskognærhet satt til 1 i skog nær bebyggelse og i kraftgater. Nær bebyggelse ble definert som alt areal som er med i datasettet “SSB arealbruk”. Kraftgater er angitt med en buffer rundt kraftlinjer slik disse er angitt i datasett fra NVE. Bufferavstanden er avhengig av størrelsen på kraftlinjene (5 – 20 m).

I beregning av F1- og kappaverdi som mål for nøyaktighet (se beskrivelse i tekstboks i kapittel 4) ble det tatt hensyn til at graderingen av naturskognærhet følger en ordnet klassifisering. Det kan da være hensiktsmessig å legge mer vekt på en feilklassifisering som er lenger fra den riktige klassen. For eksempel er en forveksling av klassene 1 og 7, en «større feil» enn forveksling av klassene 1 og 2. Vi har tatt hensyn til dette ved at feilklassifiseringer er vektet med avstanden til den riktige klassen. Vektene ble beregnet for alle feilklassifiseringer med

$$v = \frac{|\hat{y}-y|}{n-1},$$

der v er vekt, $\hat{y}$ og y er predikert og observert klasse, og n er antall klasser ($n = 7$ i vårt tilfelle). For beregning av kappaverdier med vektet ble funksjonen *kappa2* fra pakken *irr* i R brukt (Gamer & Lemon 2019).

3.7 Valideringsdatasett

Vi har etablert to datasett for validering og vurdering av modellprediksjoner og rasterkartlagene (Tabell 12). Begge datasett består av områder (polygoner). Under følger en beskrivelse av disse:

NARIN (Naturområder i Norge)

NARIN inneholder stedfestet informasjon om skogarealer registrert i forbindelse med verneprosesser (siden 2004) på Statskogs og privat grunn gjennom ordningen med frivillig vern. I tillegg har databasen stedfestet data for skogområder kartlagt på oppdrag for Miljødirektoratet innenfor temakartlegginger av bekkekløfter, kystfuruskog, kalkskog, fuktskog og edellauvskog. Datasettet har en stor geografisk spredning, men er ikke arealrepresentativt. Det er heller ikke målte data for egenskapene, men klasser (0, *, **, ***). Datasettet omfatter arealer som er store nok til å fange opp mer av variasjonen i struktur og elementer, og testes derfor som valideringsdatasett i arbeidet, til tross for kjente svakheter. Det kan ved en videreføring av prosjektet også vurderes som referansedata for modellene.

Naturnær furuskog

Et datasett over naturnær furuskog ble bestilt fra kartleggingsmiljøene (Biofokus ved Sigve Reiso og Tom Hellik Hofton, og Asplan Viak ved Rein Midteng). Dette datasettet ble oversendt i samme format som NARIN-datasettet og har derfor samme styrker og svakheter som dette. Datasettet ble brukt som valideringsdatasett i arbeidet. Det kan ved en videreføring av prosjektet også testes som referansedata for modellene.

Tabell 12. Valideringsdatasett. Antall områder og gjennomsnittlig størrelse.

	Antall områder	Gjn.snitt areal (da)
NARIN	5144	232
Naturnær furuskog	55	105

4 Resultater og diskusjon

Om uttrykk for nøyaktighet på modellprediksjoner

En modell er en forenklet tilnærming til virkeligheten, og modellprediksjoner vil oftest avvike fra de observerte verdiene. I hvor stor grad prediksjoner fra en modell stemmer med observerte verdier kan uttrykkes på flere måter. I denne rapporten har vi brukt uttrykkene beskrevet under for å si noe om hvor godt prediksjonene treffer.

For å beregne et uttrykk for nøyaktighet må en ofte legge til grunn en inndeling i riktig og feil klassifisering. For inndeling i klasser der klassene representerer en gradient -- som i grad av naturskogsnerhet -- kan det gi mening å differensiere mellom feilklassefiseringer mellom naboklasser og klasser som ligger lengre fra hverandre. Dette har vi gjort ved å inkludere en vektning av feilklassifiseringene i beregningene, se beskrivelse i avsnitt 3.6.

Samlet nøyaktighet

Samlet nøyaktighet er forholdet mellom antall korrekte prediksjoner og totalt antall observasjoner, gjerne angitt i prosent.

Kappa

Kappaverdien varierer mellom 0 og 1 og sier noe om hvordan de predikerte verdiene stemmer overens med de observerte. En høyere kappaverdi indikerer prediksjoner som i større grad stemmer med de observerte verdiene. Store norske leksikon sier at «En kappaverdi $<0,4$ vil vanligvis indikere så lav samstemmighet at [prediksjonene] i liten grad kan brukes. En kappaverdi $>0,7$ regnes som god».

F1-verdi

F1-verdien brukes ofte innen maskinlæring for å angi hvor gode prediksjonene fra en klassifiseringsmodell er. I beregningen av F1-verdien tas det hensyn til feilklassifisering både i form av falske positive og falske negative og hvordan disse står i forhold til den riktige fordelingen på klasser. F1-verdien gir dermed et samlet uttrykk for det som på engelsk kalles «precision» og «recall» (se under). F1-verdien varierer mellom 0 og 1, og en høyere F1-verdi indikerer en bedre klassifisering og en bedre balanse mellom «precision» og «recall».

«Recall» og «precision»

Uttrykkene «recall» og «precision» brukes for å si noe om egenskaper knyttet til riktige klassifiseringer. «Recall» angir andelen riktig klassifiserte av alle observasjoner tilhørende en klasse. «Precision» angir andelen riktig klassifiserte av alle observasjoner klassifisert til å tilhøre denne klassen.

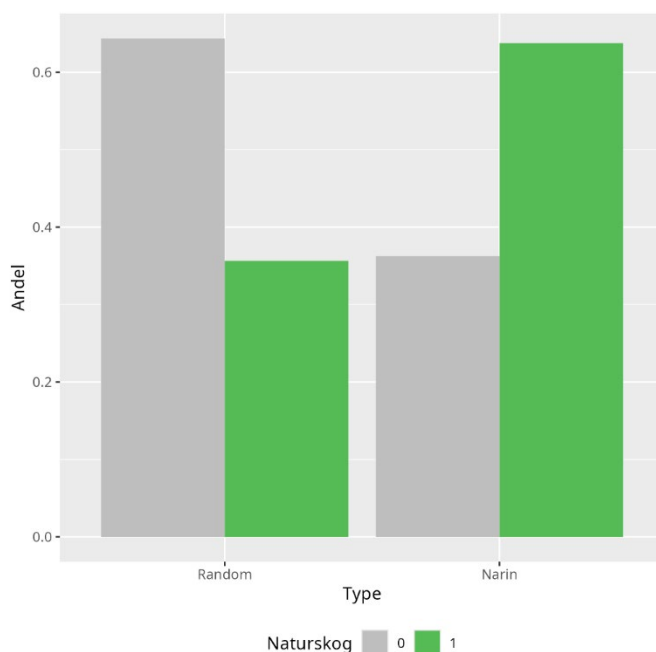
«Intersection over union»

Uttrykk som brukes for å angi nøyaktighet for deteksjon av objekter i bilder. Oppgis gjerne i prosent, der 0 % angir ingen samsvar mellom prediksjon og referansedata, og 100 % er perfekt samsvar.

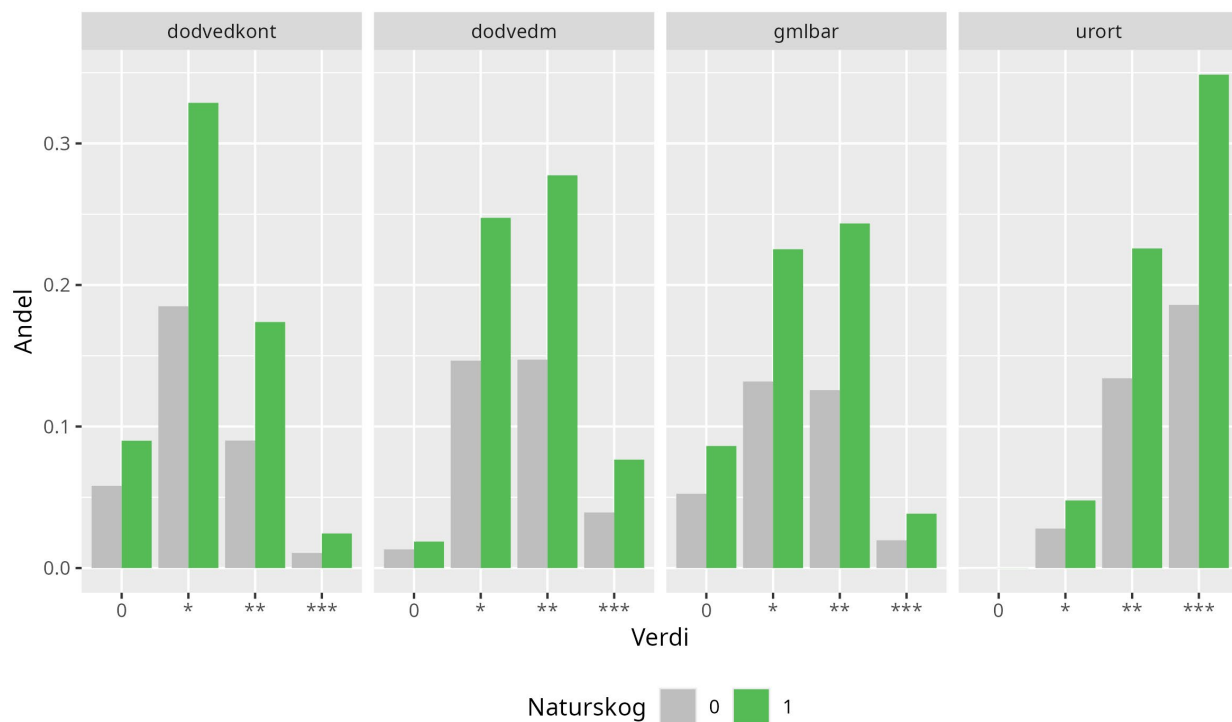
4.1 Binært naturskogskart

Kartet dekker skogarealet i Norge i henhold til skogmasken i SR16, og deler dette inn i to klasser basert på de underliggende kartlagene (se beskrivelse i kapittel 3.6). Kartet dekker skogarealet slik dette er definert i SR16. Av dette arealet er 35 % klassifisert som naturskog etter dette kartets definisjon. Av det produktive skogarealet i kartet er 34 % i klassen naturskog. Det siste er beregnet basert på arealene i kartet, og en predikert inndeling i produktiv/uproduktiv skog. En evaluering av det binære naturskogkartet mot feltflatene i Landsskogtakseringen hadde en samlet nøyaktighet på 76 % og en kappa-verdi på 0,53. Landsskogflatene inngår imidlertid i datasettet som er brukt i modellering av bestandsalder i SR16-beta, slik at dette ikke er en uavhengig validering av kartet. Det gir likevel en indikasjon på nøyaktigheten.

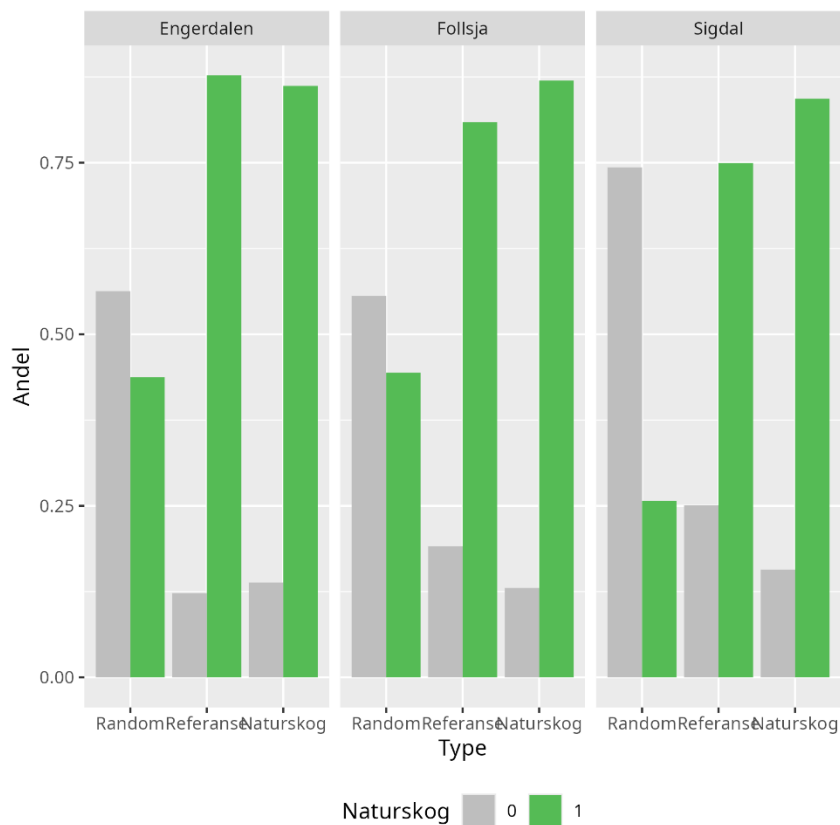
Figur 2 til Figur 5 oppsummerer hva det binære naturskogkartet viser for de to valideringsdatasettene. Vi har gjort en sammenligning med hva kartet viser i skog utenfor valideringsområdene. Sammenligningen ble her gjort med et tilfeldig utvalg innenfor en 10 km radius til de ulike områdene. Generelt er det flere observasjoner (piksler) predikert som naturskog innenfor kjerneområdene registrert i NARIN (Figur 2 og 3). Det er liten forskjell i furuskog med og uten naturskogkvaliteter (Figur 4 og 5).



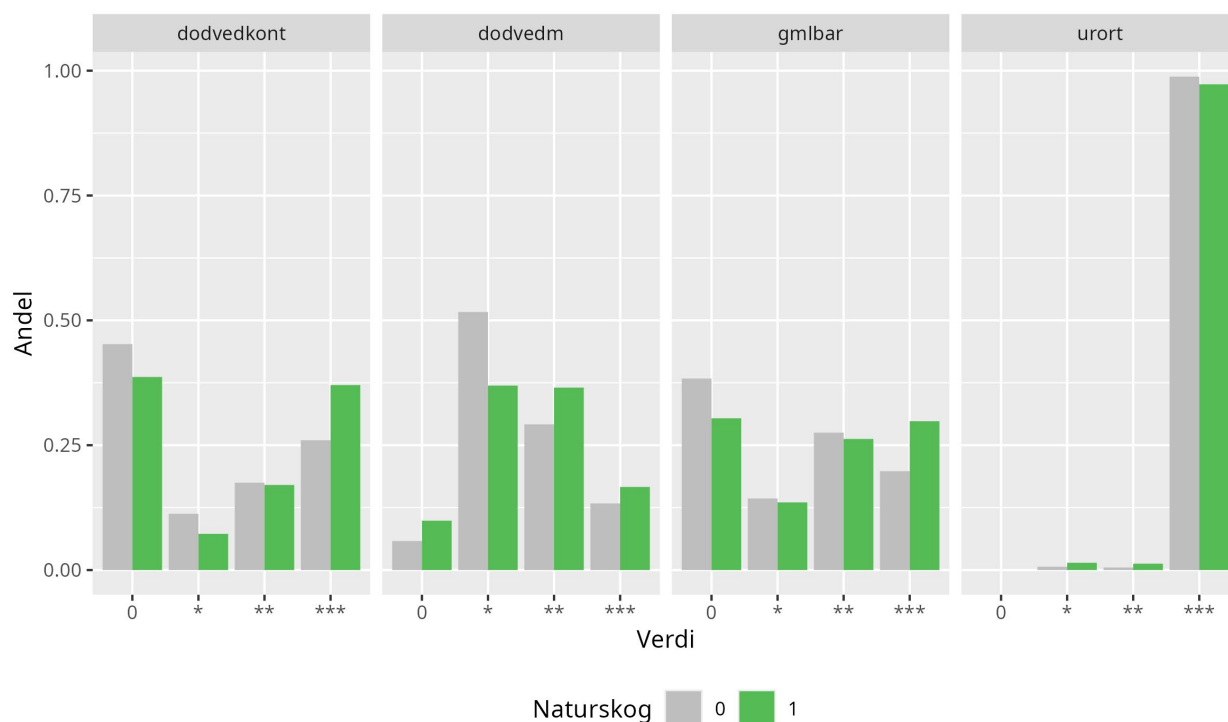
Figur 3. Andel observasjoner av naturskog (grønn) og annen skog (grå) innenfor kjerneområdene i NARIN og et tilfeldig utvalg av områder innen 10 km radius.



Figur 4. Sammenheng mellom stjernesettingen og andel observasjoner av naturskog (grønn) og annen skog (grå) i NARIN kjerneområdene for dødvedkontinuitet (dodvedkont), dødvedmengde (dodvedm), forekomst av gamle bartrær (gmlbar) og urørhetsvurdering (urort).



Figur 5. Andel observasjoner av naturskog (grønn) og annen skog (grå) for skog i Engerdalen, Follsjå og Sigdal fordelt på et tilfeldig utvalgte områder (Random), eldre furuskog med lite naturskogpreg (Referanse) og naturnær furuskog (Naturskog).



Figur 6. Sammenheng mellom stjernesettingen og andel observasjoner av naturskog (grønn) og annen skog (grå) i naturnær furuskog for dødvedkontinuitet (dodvedkont), dødvedmengde (dodvedm), forekomst av gamle bartrær (gmlbar) og urørhetsvurdering (urort).

4.2 Naturskogsannsynlighet

Modellene for prediksjoner av naturskogsannsynlighet ble validert med en 100-fold kryssvalidering, og med en terskelverdi for klassen *naturskog* satt til 0.5. Valideringen viste at nøyaktigheten var høyere for grandominert skog enn for furu- og løvdominert skog, med kappa-verdier på henholdsvis 0,67, 0,51 og 0,43 (Tabell 13 og Tabell 14). Dette stemmer overens med funnene fra Jutras-Perreault m.fl. (2023) for et stort område i Sørøst-Norge. Den lavere nøyaktigheten til furu- og løvskog kan skyldes forskjeller i skogstruktur, spektrale responser eller datatilgjengelighet for disse typene.

Det var noe lavere andel av naturskog i datasettet for furu (36 %) og løv (46 %) enn for gran (62 %). Utfordringer knyttet til furu er diskutert andre steder i rapporten.

Totalt sett er Recall-verdiene noe høyere enn Precision-verdien, noe som indikerer færre falske positive enn falske negative, dvs. at det er færre områder som blir klassifisert som naturskog men som ikke er det, enn motsatt. Eller, sagt på en annen måte: Om et område får høy score for naturskogsannsynlighet, kan man stole mer på det enn om et område får lav score (det 'gjemmer seg' noen områder med reelt høy score blant de som får lav score). Samme skjevhet i feil er funnet i andre studier (Ahlkrona m.fl., 2017; Ørka m.fl., 2022).

Tabell 13. Modell for naturskogsannsynlighet: Evaluering av modellenes nøyaktighet for prediksjon av naturskog, fordelt på treslag og samlet.

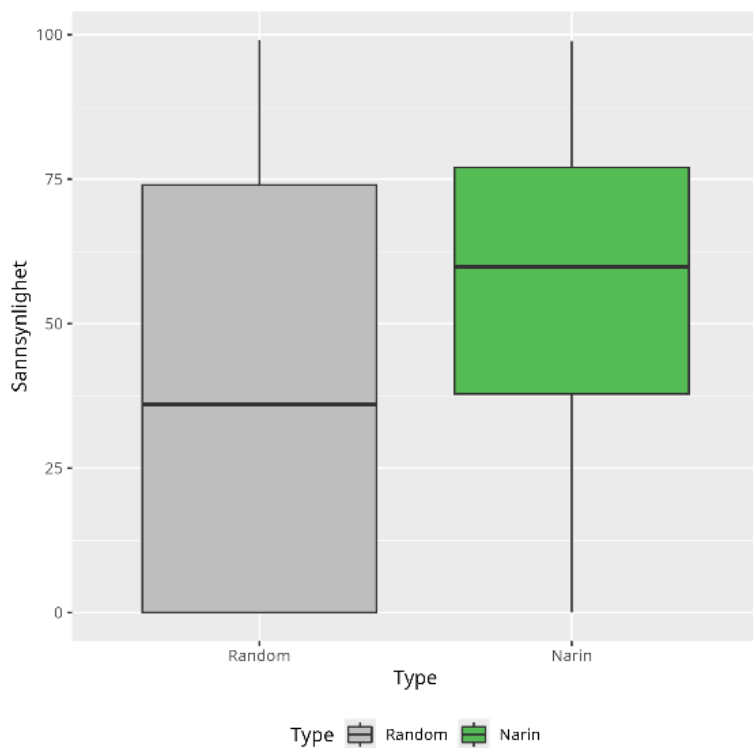
	Kappa	Samlet nøyaktighet	F1	Precision	Recall
Gran	0,672	0,845	0,875	0,882	0,868
Furu	0,512	0,768	0,701	0,665	0,741
Lauv	0,426	0,713	0,699	0,678	0,720
Samlet	0,557	0,778	0,778	0,763	0,793

Tabell 14. Modell for naturskogsannsynlighet: Feilmatriser for prediksjon av naturskog, fordelt på treslag og samlet basert på en terskelverdi på 0,5 for klassifisering av naturskog (NAT) og ikke naturskog (ANN).

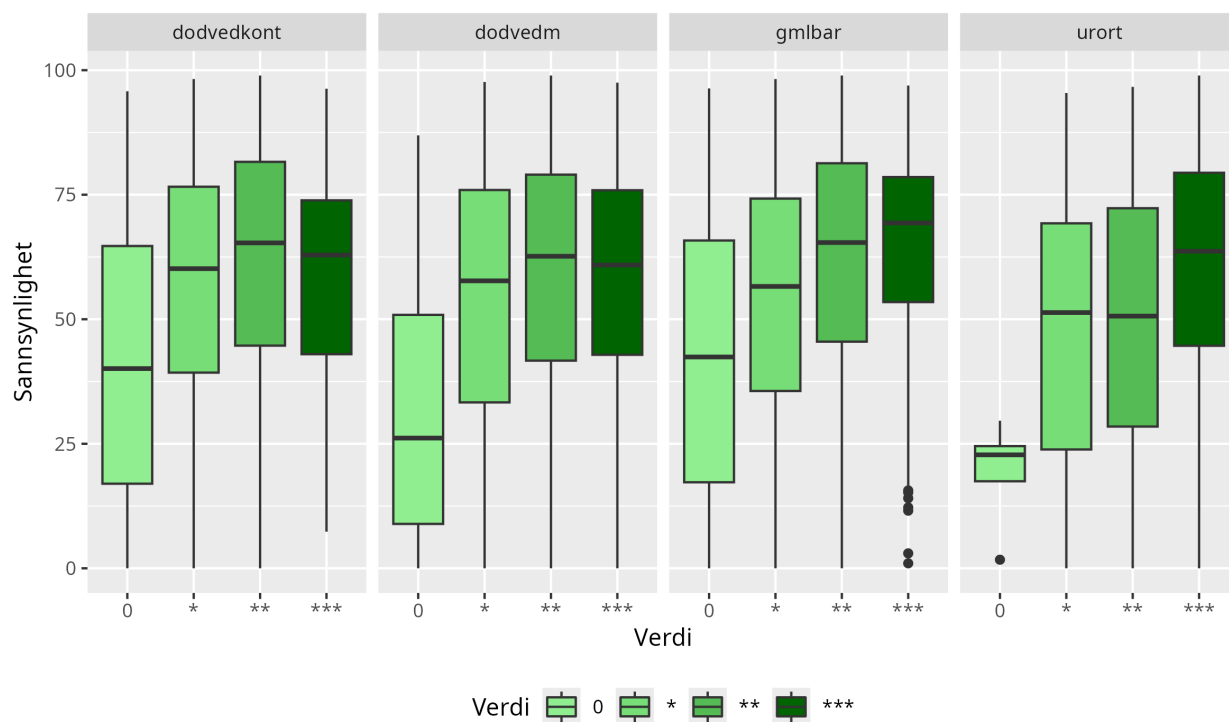
		Referanse							
		Gran		Furu		Løv		Samlet	
		NAT	ANN	NAT	ANN	NAT	ANN	NAT	ANN
Prediksjon	NAT	54,1	7,3	27,2	13,7	33,4	15,7	38,8	12,0
	ANN	8,2	30,4	9,5	49,6	13,0	37,9	10,1	39,0

Viktige variabler inkluderte bonitet (SR16), variasjon i lasermålt høyde, gjennomsnittstemperaturen i juni eller juli og NDVI fra Sentinel-2-bilder. Variabler som beskriver landskap eller terrengform som avstand til kysten og helning var også viktige. Høyde over havet, identifisert som en svært viktig variabel av Jutras-Perreault m.fl. (2023), hadde tilsvarende effekt i denne studien. Variablene som hadde mest innvirkning på modellene var like for gran og ustratifiserte modeller.

Predikert sannsynlighet på endelig kart ble vurdert mot utvalget fra NARIN-databasen, samt tilfeldige utvalgte punkter på samme måte som for det binære naturskogskartet. Sammenligningen viser en høyere sannsynlighet innenfor NARIN sammenlignet med tilfeldige utvalgte punkter (Figur 6). Videre var det sammenheng mellom stjernesettingen og verdsettingen gjort på kjerneområdene for dødvedkontinuitet, dødvedmengde, forekomst av gamle bartrær og urørthetsvurdering (Figur 7).

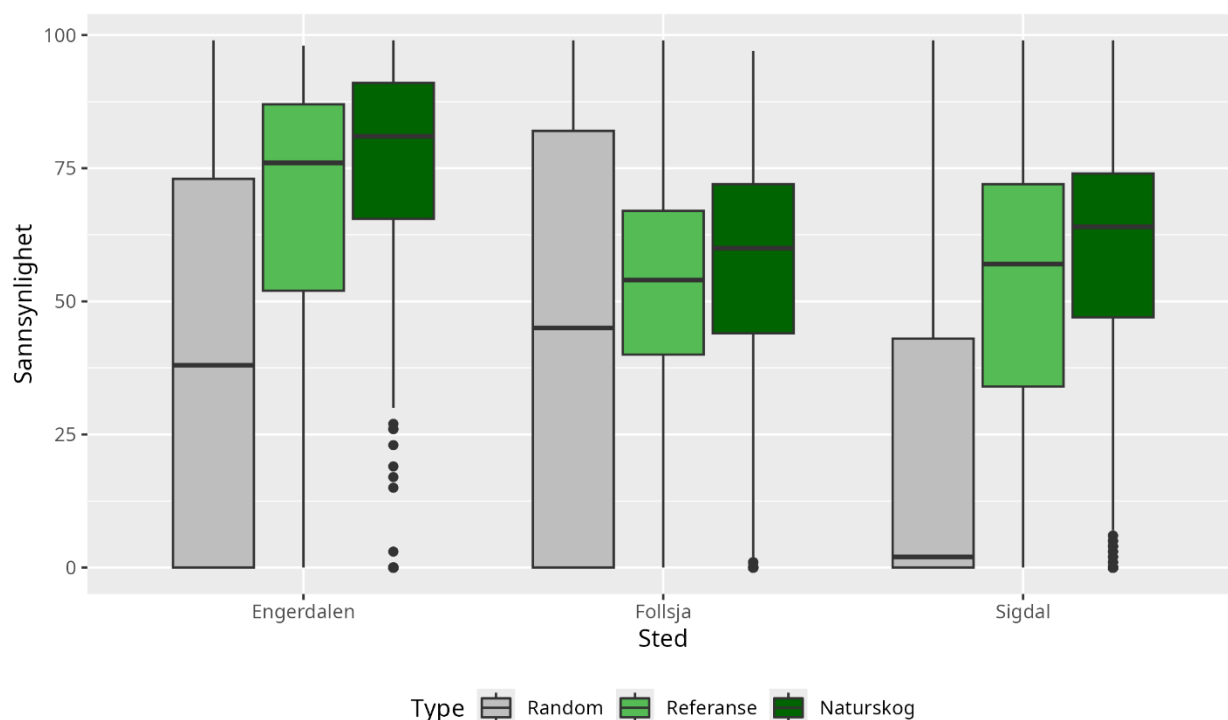


Figur 7. Predikert sannsynlighet for kjerneområdene i NARIN (grønn) og et tilfeldig utvalg av områder (grå).

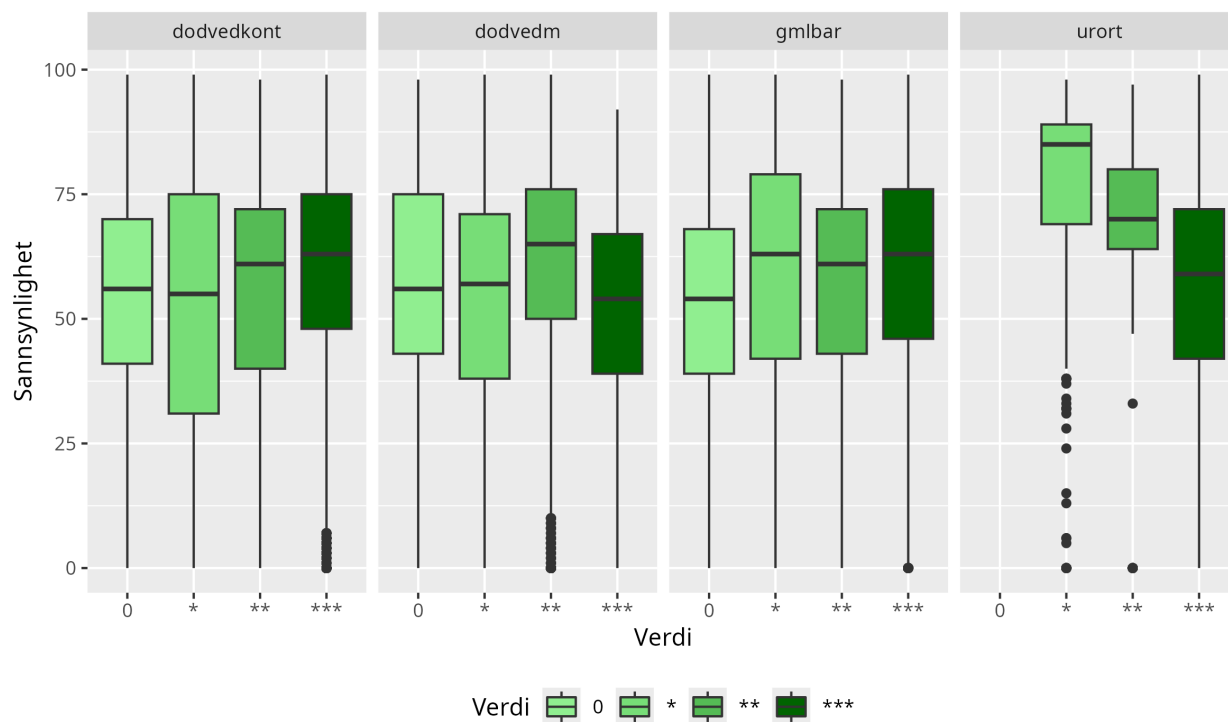


Figur 8. Sammenheng mellom stjernesettingen og predikert sannsynlighet gjort på NARIN kjerneområdene for dødvedkontinuitet (dodvedkont), dødvedmengde (dodvedm), forekomst av gamle bartrær (gmlbar) og urørhetsvurdering (urort).

På samme måte ble predikert sannsynlighet sammenlignet med naturnærfuruskog. Sammenligningen ble også her gjort på samme utvalg som det binære naturskogskartet (se kapittel 4.1) Geografiske forskjeller i trenden fra tilfeldige observasjoner til referansebestand (eldre furuskog med lite naturskogspreg) og naturnærfuruskog viser at det å skille den mer naturnære furuskogen fra annen eldre eller gammel furuskog er utfordrende (Figur 8). Der er heller ingen sammenheng mellom stjernesetting for ulike variabler og predikert sannsynlighet (Figur 9).



Figur 9. Predikert sannsynlighet for naturskog i utvalgte områder i Engerdal, Follsja og Sigdal, fordelt på et tilfeldig utvalg områder (grå, Random), eldre furuskog med lite naturskogspreg (lys grønn, Referanse) og naturnær furuskog (mørk grønn, Naturskog).



Figur 10. Sammenheng mellom stjernesettingen og predikert sannsynlighet for naturskog, gjort på datasettet for naturnærfuruskog for variablene dødvedkontinuitet (dodvedkont), dødvedmengde (dodvedm), forekomst av gamle bartrær (gmlbar) og urørhetsvurdering (urort).

4.3 Naturskogs nærhet

Modellen for prediksjon av naturskogs nærhet ble validert med en 100-fold kryssvalidering. Resultatene fra valideringen viste at modellen ga best resultat for klasser med lav grad av naturskogs nærhet, og lavere nøyaktighet for klassene med større grad av naturskogs nærhet (Tabell 15, Figur 10). Samlet nøyaktighet fra kryssvalidering var 54 %, men merk at i den beregningen er feilklassifiseringer tillagt like mye vekt, uavhengig av avstand til riktig klasse. I beregning av kappa- og F1-verdier er forveksling av klasser som ligger nærmere hverandre tillagt mindre vekt enn forveksling av klasser lengre fra hverandre (Tabell 15 og Tabell 16, se også beskrivelse i kapittel 3.6). Modellen ga best prediksjoner for grandominert skog, og noe lavere nøyaktighet for furu- og lauvdominert skog (Tabell 16).

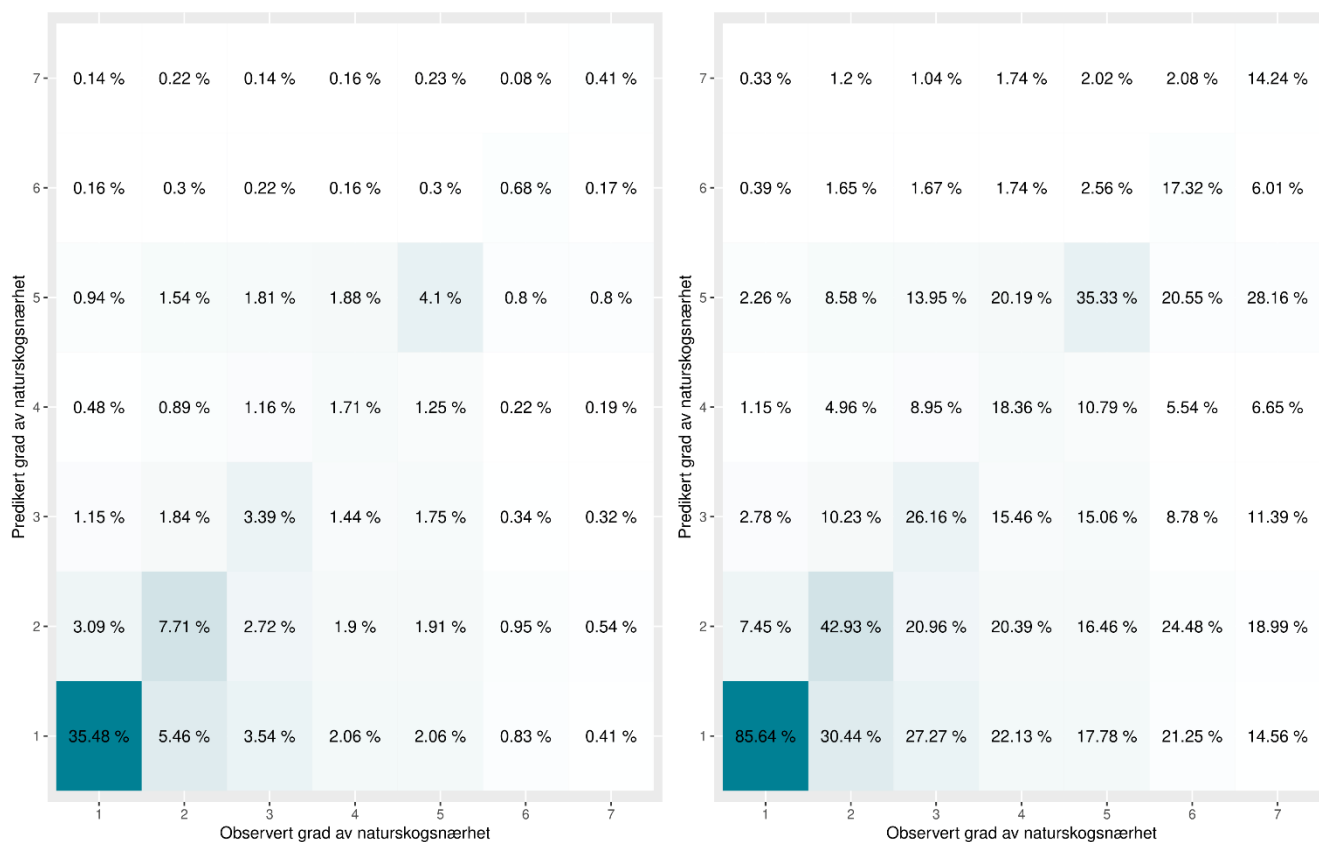
De ti viktigste variablene for naturskognærhetsmodellen var, i rekkefølge: topografiske variabler (høyde over havet, helning og avstand fra kysten), lidar-høydevariabler (maksimum vegetasjonshøyde og høydevariasjon), videre lidar-innsamlingsprosjektet, temperatur i juli, og bånd B1, B8A, og NDVI-indeksen fra Sentinel-2 satellittbilder.

Tabell 15. Resultater fra kryssvalidering av modell for grad av naturskogs nærhet, per klasse 1 – 7. I beregningene er feilklassifiseringer vektet med avstand til riktig klasse (se kapittel 3.6).

	1	2	3	4	5	6	7
F1	0,94	0,85	0,79	0,70	0,71	0,47	0,35
Precision	0,92	0,81	0,82	0,81	0,74	0,66	0,49
Recall	0,97	0,89	0,77	0,61	0,67	0,36	0,28

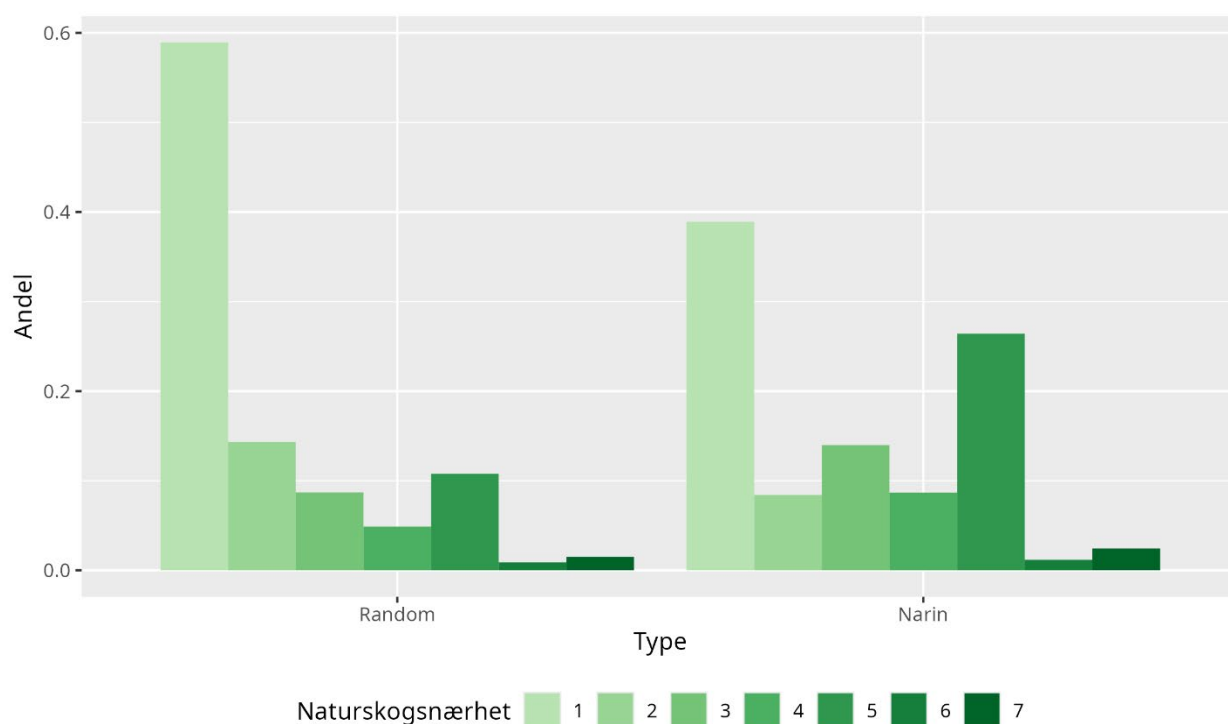
Tabell 16. Evaluering av modell for naturskognærhet (kryssvalidering) fordelt på dominerende treslag og samlet. I beregningene er feilklassifiseringer vektet med avstanden til den riktige klassen. F1, precision og recall er beregnet som et gjennomsnitt av verdiene for de enkelte klassene (1 - 7).

Treslag	kappa	F1	Precision	Recall
Gran	0,53	0,72	0,81	0,67
Furu	0,38	0,62	0,69	0,59
Lauv	0,41	0,66	0,72	0,62
Samlet	0,45	0,69	0,75	0,65

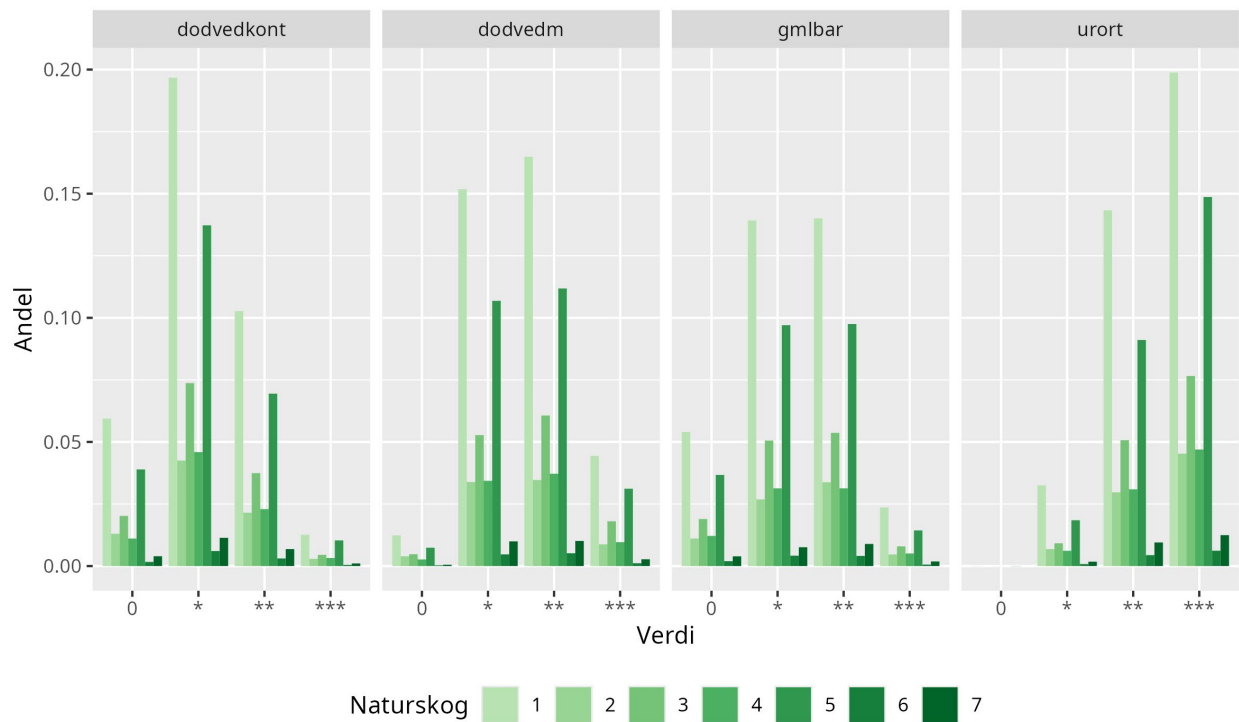


Naturskognærhet ble vurdert mot utvalget fra NARIN-databasen og tilfeldige utvalgte punkter på samme måte som for de andre kartlagene. Sammenligningen viser en lavere andel i klasse 1 – 4, men høyere andel i klasse 5 – 6 innenfor NARIN sammenlignet med tilfeldige utvalgte punkter (Figur 11). Videre var det sammenheng mellom stjernesettingen og verdsettingen gjort på kjerneområdene for dødvedkontinuitet, dødvedmengde, forekomst av gamle bartrær og urørthetsvurdering (Figur 12). Det var ingen tydlige forskjeller basert på naturnærhetsklasse.

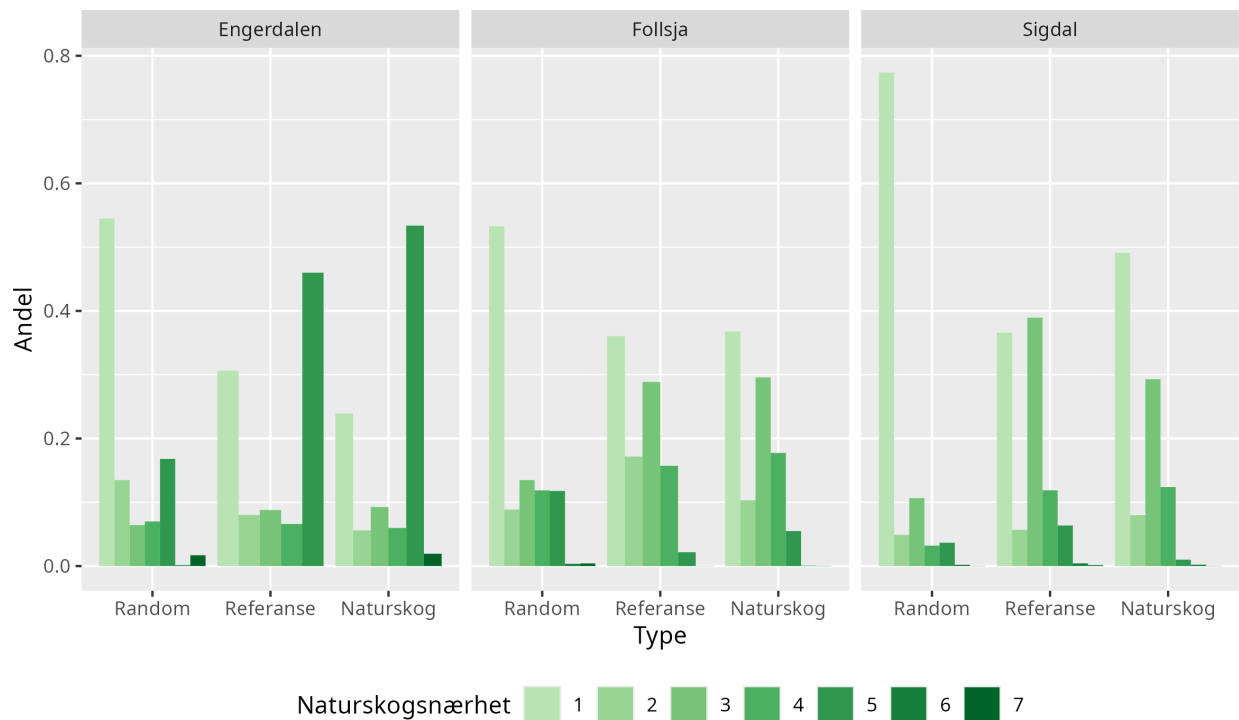
På samme måte ble predikert naturskogsnæret sammenlignet med naturnær furuskog. Sammenligningen ble også her gjort på samme utvalg som det binære naturskogskartet (se kapittel 4.1) med et tilfeldig utvalg innenfor en 10 km radius til de ulike områdene. Geografiske forskjeller i trenden fra tilfeldige observasjoner til referansebestand (eldre furuskog med lite naturskogspreg) og naturnær furuskog viser at det å skille den mest naturnære furuskogen fra annen eldre eller gammel furuskog er utfordrende (Figur 13). Den er en noe større andel av klasse 6 i Engerdalen for *referanse* og *naturskog*, sammenlignet med et tilfeldig utvalg. Der er en sammenheng mellom stjernesetting for forekomst av gamle bartrær, men ellers lite tydelig sammenheng mellom stjernesetting for de andre variablene og predikert naturskogsnærhet (Figur 14).



Figur 12. Andel observasjoner av naturskogsnærhetsklasser innenfor kjerneområdene i NARIN og et tilfeldig utvalg av områder innen 10 km radius.



Figur 13. Sammenheng mellom stjernesettingen i NARIN kjerneområdene for dødvedkontinuitet (dodvedkont), dødvedmengde (dodvedm), forekomst av gamle bartrær (gmlbar) og urørhetsvurdering (urort) og andel observasjoner i ulike naturskogsnerhetsklasser.



Figur 14. Andel observasjoner av naturnærhetsklasser for skog i Engerdalen, Follsja og Sigdal fordelt på et tilfeldig utvalgte områder (Random), eldre furuskog med lite naturskogpreg (Referanse) og naturnær furuskog (Naturskog).



Figur 15. Sammenheng mellom stjernesettingen og grad av naturskogsnerhet, gjort på datasettet for naturnær furuskog for variablene dødvedkontinuitet (dodvedkont), dødvedmengde (dodvedm), forekomst av gamle bartrær (gmlbar) og urørhetsvurdering (urort).

4.4 Deteksjon av flatehogd areal

Satellittbasert hogstdeteksjon

En visuell inspeksjon av kartet viser en god deteksjon av endringer samlet sett, men det er utfordringer i Nord-Norge og i fjellområdene. I Nord-Norge ble det påvist flere endringer i 1985 enn det som faktisk skjedde. Det samme ser vi i fjellområdene i 2024. Disse to tidspunktene samsvarer med begynnelsen og slutten av deteksjonsperioden. Siden spektrale avvik identifiseres ved å sammenligne et gitt års spektralverdier med de foregående og de påfølgende årene, er det flere spektrale avvik identifisert på grunn av værforhold, antall bilder og andre mindre påvirkninger som gir detekterte hogstflater.

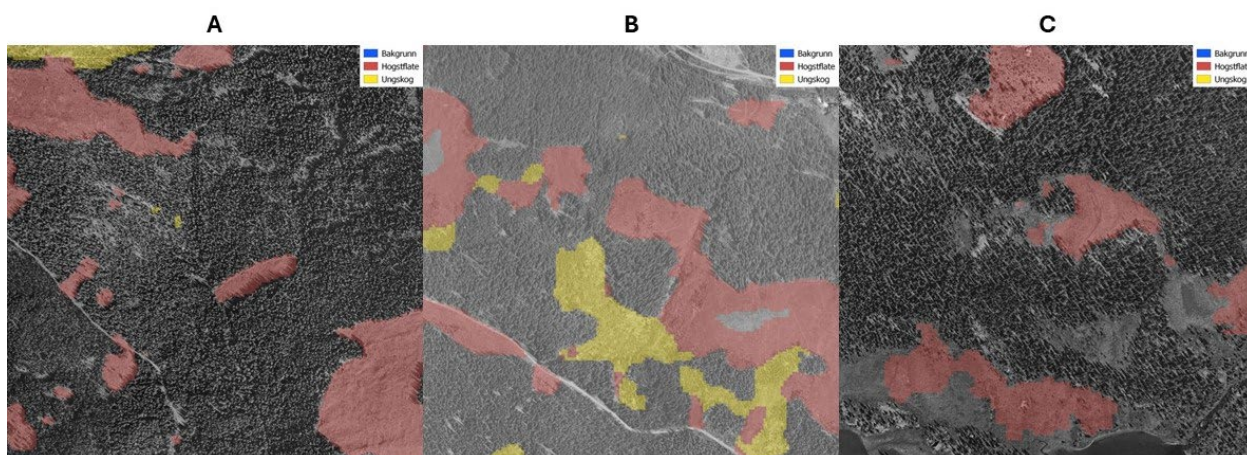
Standardparameterne fungerte bra i testområdet Østlandet, men var ikke spesifikt kalibrert for andre regioner i Norge. Nord-Norge og fjellområdene har unike skogstrukturer og miljøforhold og kan kreve parameterjusteringer (Ørka m.fl., 2022). For eksempel vil parametere knyttet til tilstand før endring og hvordan endringer utvikler seg etter en hendelse (hogst, storm, vindfall og insekter) sannsynligvis kreve andre terskelverdier i bjørkeskogen. I tillegg vil den kortere vegetasjonssesongen på høye breddegrader og høyere til fjells begrense deteksjonen til juni og juli måned. I slike tilfeller kan det også være nødvendig å redusere minimum antall observasjonene per år som kreves for algoritmen.

Flybildebaseret hogstdeteksjon

Deteksjon av flatehogd areal fra historiske flybilder ble validert ved at 20 % av de digitaliserte områdene ble holdt utenfor treningsdatasettet og kun brukt for validering. Nøyaktighet uttrykt som «Intersection over union» mellom modellprediksjoner og valideringsdata var gjennomsnittlig 52 % for de ulike klassene. Visuell inspeksjon av prediksjoner på bildeprosjekter viste at områder med hogstflater i all hovedsak blir klassifisert riktig, men at det er utfordrende for modellene å skille myr fra hogstflater (Figur 15).

I modellene blir myr ofte forvekslet med hogstflater og deler av store hogstflater blir gjerne forvekslet med myr. En mulighet for å redusere effekten av feilklassifisering vil være å benytte eksisterende arealklassekart for å vekte ned områder med myr/uten skog i bildene. Modellen vil da straffes mindre for å feilklassifisere myr og feilklassifisering av hogstflater vil trolig reduseres. Et annet alternativ vil være å legge til myr som en separat klasse som vil kunne forbedre modellens evne til å skille mellom hogstflate og myr.

Bildekvalitet er også en utfordring ved bruk av eldre bilder. Effekten kan redusere ved å benytte augmentering av treningsdata hvor lysstyrke, rotasjon og kontrast av bildene modifiseres, som vil hjelpe med å forbedre modellens evne til å generalisere. Forprosessering av bilde-data kan også benyttes for å redusere effekten av bildekvalitet.



Figur 16. Bilde A og B viser god deteksjon av hogstflater i bilder. I bilde C er feilklassifisering av myr som hogstflate tydelig.

5 Konklusjon og publiserte kartlag

Evaluering av de tre kartlagene mot feltflatene i Landsskogtakseringen viste en samlet nøyaktighet på 54 % - 78 %. Modeller for prediksjon av naturskogsannsynlighet og naturskogs nærhet ga best prediksjoner i grandominert skog, og noe dårligere prediksjoner i lauv- og furudominert skog.

Sammenligninger av modellresultatene med feltregistreringer viste en moderat sammenheng med predikert naturskogsannsynlighet og naturskogs nærhet. I visse tilfeller, som for eksempel i naturnær furuskog, var det delvis svak sammenheng mellom prediksjonene knyttet til naturskog og registreringer gjort i felt.

Prosjektet ble gjennomført med knappe tidsrammer, og de produserte kartene må betraktes som førsteversjoner. En anbefaling fra prosjektet var at både metodikken og kartene bør utvikles videre.

Kartlagene er publisert som landsdekkende rasterkart med 16 m oppløsning. De er tilgjengelige fra Miljødirektoratets nettsider³, og på NIBIOs kartløsning Kilden⁴. Kartene er også tilgjengelige som WMS gjennom Geonorge⁵.

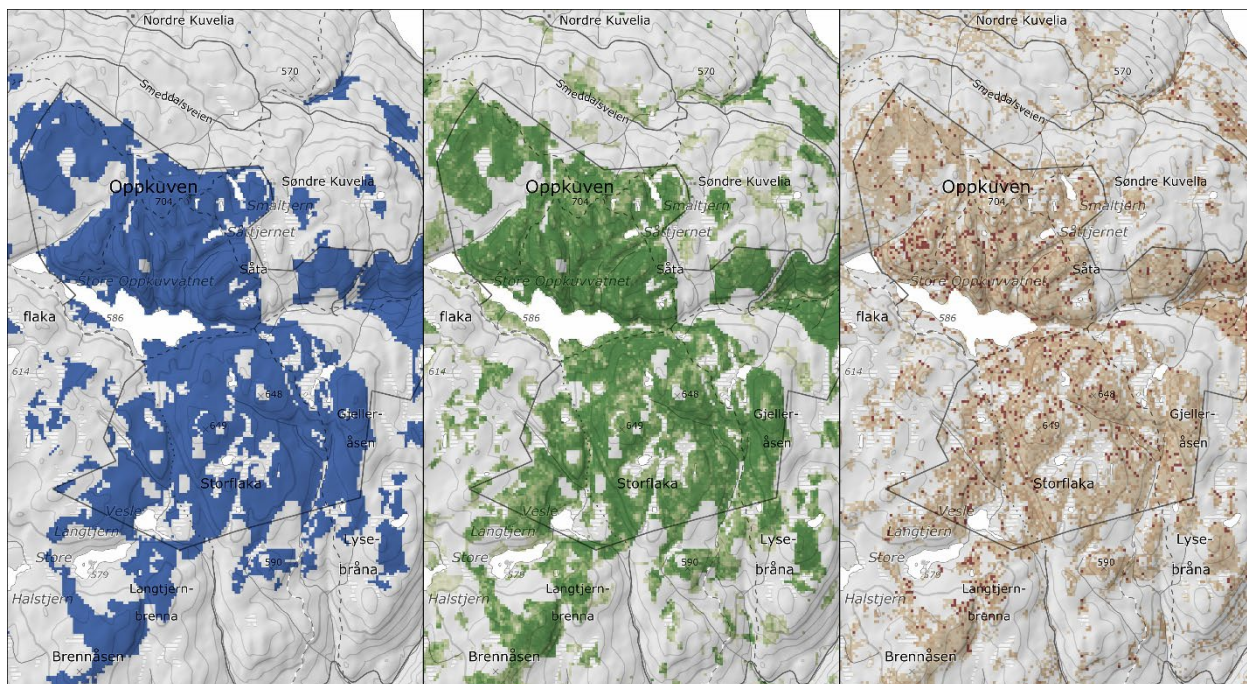
5.1 Karteksempler

I Figur 16 - Figur 18 vises noen eksempler og sammenligning av de tre kartene fra ulike typer skog. I Figur 18 vises også en sammenligning av eldre furuskog med ulik grad av naturskogs nærhet.

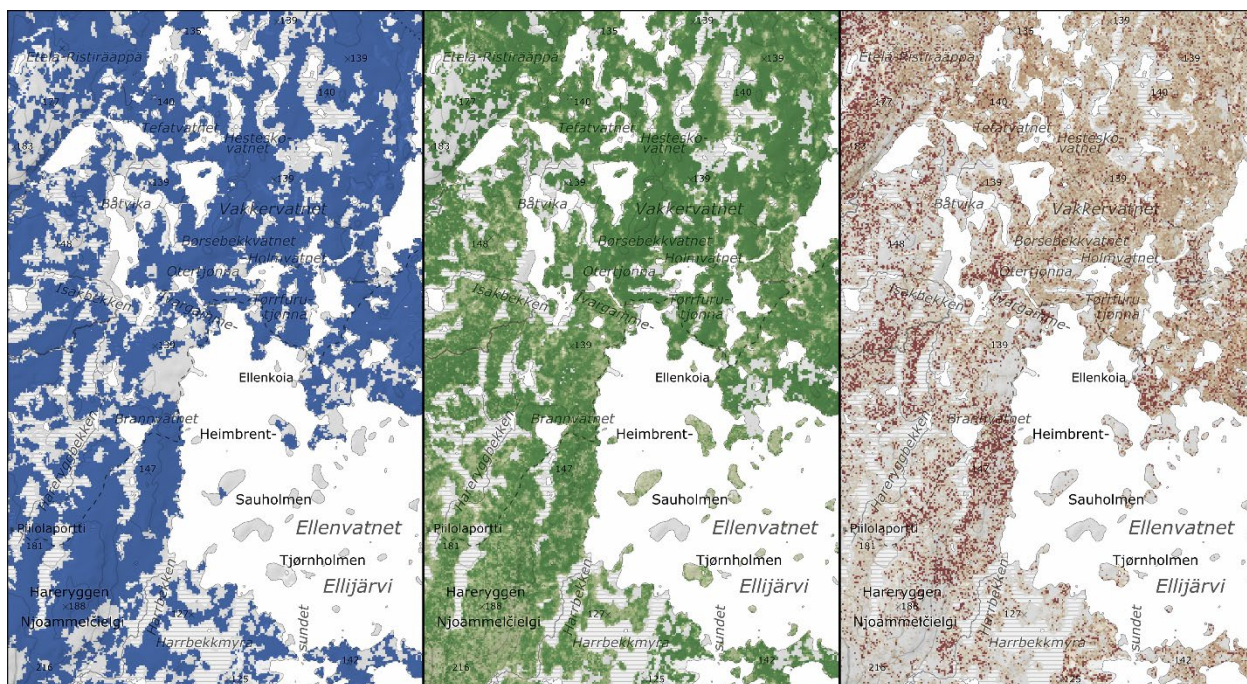
³<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/overvaking-arealplanlegging/arealplanlegging/kart-over-naturskog/>

⁴ <https://kilden.nibio.no>

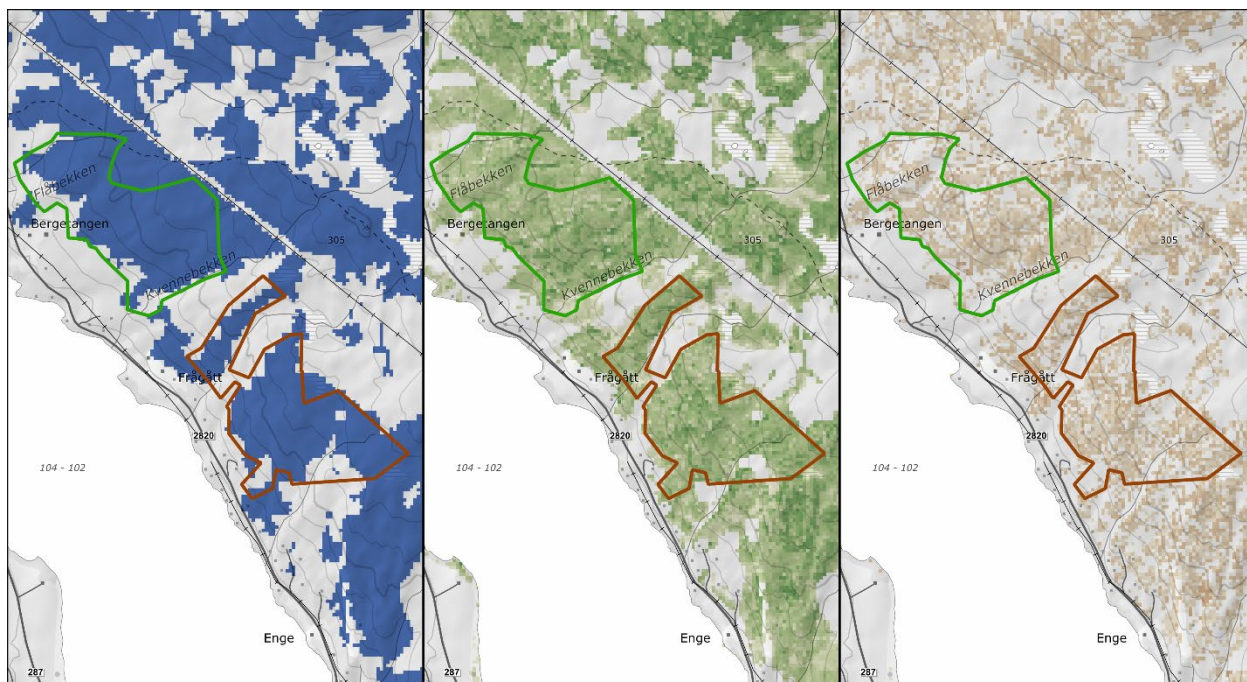
⁵https://image001.miljodirektoratet.no/arcgis/services/naturskog/naturskog_v1/MapServer/WMServer?request=GetCapabilities&service=WMS



Figur 17. Eksempel på de tre kartlagene for Oppkuven naturreservat i Nordmarka, Oslo. Binært naturskogkart (venstre), naturskogsanssynlighet (midten) og naturskogs nærhet (høyre).



Figur 18. Eksempel på de tre kartlagene i Pasvikdalen, Finnmark. Binært naturskogkart (venstre), naturskogsanssynlighet (midten) og naturskogs nærhet (høyre).



Figur 19. Eksempel på de tre kartlagene Sigdal. Binært naturskogkart (venstre), naturskogs sannsynlighet (midten) og naturskogs nærhet (høyre). Eksempelen viser at det er liten forskjell mellom furuskog med naturskogskvaliteter (grønt polygon) og furuskog uten disse kvalitetene (rødblunt polygon).

5.2 Formidling

I tillegg til denne rapporten har forskergruppen formidlet resultatene fra prosjektet i populærvitenskapelig form, blant annet via en tekst som har blitt publisert på forskning.no (Sverdrup-Thygeson m.fl. 2025) og i tidsskriftene Norsk Skogbruk, Biolog og Natur og Miljø. Direktoratene har også laget et notat om prosjektet til Klima- og Miljødepartementet og Landbruks- og Matdepartementet (Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet 2024). En rekke medier har omtalt prosjektet redaksjonelt, blant annet NRK (NRK 2025).

Litteraturliste

- Ahlkrona, E., Giljam, C., Wennberg, S., Jönsson, C., Alvarez, M., Bovin, M., Klein, J., Näsström, R., & Renström, M. (2017). Kartering av kontinuitetsskog i boreal region (Metria AB På Uppdrag Av Naturvårdsverket).
- Ahlstrøm, A., Bjørkelo, K., & Frydenlund, J. (2014). AR5 klassifikasjonssystem—Klassifikasjon av arealressurser. In 38. Norsk institutt for Skog og landskap. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2440173>.
- Brunner, A., Holt Hanssen, K., & Granhus, A. (2023). Selektive hogster—En kunnskapssammenstilling (88; MINA Fagrapport). NMBU.
- Breidenbach, J., Ellison, D., Petersson, H., Korhonen, K. T., Henttonen, H. M., Wallerman, J., Fridman, J., Gobakken, T., Astrup, R., & Næsset, E. (2022). Harvested area did not increase abruptly—How advancements in satellite-based mapping led to erroneous conclusions. *Annals of Forest Science*, 79(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s13595-022-01120-4>
- Bubnicki, J. W., Angelstam, P., Mikusiński, G., Svensson, J., & Jonsson, B. G. (2024). The conservation value of forests can be predicted at the scale of 1 hectare. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01325-7>
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Cohen, W. B., Yang, Z., & Kennedy, R. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 2. TimeSync — Tools for calibration and validation. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2911–2924. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.010>
- Framstad, E., Berglund, H., Jacobsen, R. M., Jakobsson, S., Ohlson, M., Sverdrup-Thygeson, A., & Töpper, J. (2021). Vurdering av økologisk tilstand for skog i Norge i 2020. In 144. Norsk institutt for naturforskning (NINA). <https://brage.nina.no/nina-xmlui/handle/11250/2739886>
- Gamer M, Lemon J, (2019). irr: Various Coefficients of Interrater Reliability and Agreement. R package version 0.84.1. <https://CRAN.R-project.org/package=irr>.
- Granhus, A., Antón-Fernández, C., de Wit, H., Hanssen, K. H., Schei, F. H., Jacobsen, R. M., Jansson, U., Korpunen, H., Mohr, C. W., Nordén, J., Rolstad, J., Sevillano, I., Solberg, S., Storaunet, K. O., & Vergarechea, M. (2024). Effekter på karbondynamikk, miljø og næring ved økt bruk av lukkede hogstformer. NIBIO. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/3125340>
- Hagem, O., 1916. Fredning av urørt furuskog. – *Tidsskrift for skogbruk* 24: 23-28.
- Halvorsen R, Brenn O A, Framstad E, Gaarder G, Gjerde I, Høistad Schei F, Skarpaas O, Storaunet K O og Sverdrup- Thygeson A 2022. Kap. 6. Framlegg til revidert beskrivelse av skogdynamikk i NiN, i Skarpaas, O og Halvorsen, R (red.) 2022. Skogens dynamikk, struktur og arts mangfold - bakgrunnskunnskap for en ny beskrivelse av skogbestandsdynamikk i NiN. NHM Rapport 111, 1–148.
- Hauglin, M., Rahlf, J., Schumacher, J., Astrup, R., & Breidenbach, J. (2021). Large scale mapping of forest attributes using heterogeneous sets of airborne laser scanning and National Forest Inventory data. *Forest Ecosystems*, 8(1), 65. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00338-4>
- Hysten, G., Granhus, A., Eriksen, R. (2018). Arealrepresentativ overvåking av skogvernområder gjennom Landsskogtakseringen [Revidert] - Rapport fra taksering utført i femårsperioden 2012-2016. NIBIO-rapport nr. 170, vol 4, M-921.

- Jutras-Perreault, M.-C., Gobakken, T., Næsset, E., & Ørka, H. O. (2023). Detecting the presence of natural forests using airborne laser scanning data. *Forest Ecosystems*, 10, 100146. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100146>
- Jutras-Perreault, M.-C., Gobakken, T., & Ørka, H. O. (2021). Comparison of two algorithms for estimating stand-level changes and change indicators in a boreal forest in Norway. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 98, 102316. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102316>
- Kennedy, R. E., Yang, Z., & Cohen, W. B. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr — Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2897–2910. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.008>
- Kennedy, R. E., Yang, Z., Gorelick, N., Braaten, J., Cavalcante, L., Cohen, W. B., & Healey, S. (2018). Implementation of the LandTrendr Algorithm on Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/rs10050691>
- Lussana, C., Tveito, O. E., Dobler, A., & Tunheim, K. (2019). seNorge_2018, daily precipitation, and temperature datasets over Norway. *Earth System Science Data*, 11(4), 1531–1551. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1531-2019>
- Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet, 2024. Notat. Svar på oppdrag om å etablere kart over naturskog. - <https://www.regjeringen.no/contentassets/cabc59026ba7431886f7bf03583a8f30/svar-pa-oppdrag-om-a-etablere-kart-over-naturskog.pdf>: 30 sider.
- NRK 2025. <https://www.nrk.no/rogaland/na-kan-du-sjekke-hvor-mye-gammel-skog-som-finnes-der-du-bor-1.17205684>
- Nygaard, P. H. & Øyen, B.-H. 2020. Skoghistorisk tilbakeblikk med vekt på utviklingen av bestandsskogbruket i Norge. NIBIO RAPPORT, VOL. 6, NR. 45.
- R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>.
- Räty, J., Myllymäki, M., Peltoniemi, M., Lehtonen, A., & Packalen, P. (2025). Mapping old-growth forests using airborne lidar data and satellite images: How do plot size and rarity affect accuracy? *Canadian Journal of Forest Research*, 55, 1–14. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2024-0283>
- Ridgeway, G., & Developers, G. B. M. (2024). gbm: Generalized Boosted Regression Models. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.gbm>
- <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108636>
- Rolstad, J., Framstad, E., Gundersen, V., & Storaunet, K. O. (2002). Naturskog i Norge. Definisjoner, økologi og bruk i norsk skog- og miljøforvaltning. 53. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2567761>
- Skarpaas, O., & Halvorsen, R. (2022). Skogens dynamikk, struktur og arts mangfold—Bakgrunnskunnskap for en ny beskrivelse av skogbestandsdynamikk i NiN (111; NHM Rapport).
- Skarpaas O, van Son TC, Halvorsen R, Storaunet KO (2022). Kap. 4. Samvariasjon mellom strukturvariabler i norsk skog – en analyse basert på Landsskogtakseringens data, i Skarpaas, O & Halvorsen, R (red.) 2022. Skogens dynamikk, struktur og arts mangfold -bakgrunnskunnskap for en ny beskrivelse av skogbestandsdynamikk i NiN. NHM Rapport 111, s 58-68.
- Smith, A., Granhus, A., & Astrup, R. (2024). An investigation into the age structure of Norway spruce and Scots pine stands in Norway. *Ecological Indicators*, 167, 112627. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112627>

Storaunet, K. O., & Rolstad, J. (2020). Naturskog i Norge. En arealberegning basert på bestandsalder i Landsskogtakseringens takstomdrev fra 1990 til 2016. In 38. NIBIO. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2650496>

Storaunet, K. O., & Skarpaas, O. (2022). Naturskogsdynamikk, skogstruktur og død ved (Kap. 2). In Skarpaas, O. & Halvorsen, R. (red.): Skogens dynamikk, struktur og arts mangfold—Bakgrunnskunnskap for en ny beskrivelse av skogbestandsdynamikk i NiN (pp. 21–41). <https://www.nhm.uio.no/forskning/ressurser/publikasjoner/nhm-rapporter/nhm-rapport-111-2022.pdf>

Storaunet, K. O., & Sverdrup-Thygeson, A. (2022). Framlegg til revidert beskrivelse av skogdynamikk i NiN (Kap. 6). In Skarpaas, O. & Halvorsen, R. (red.): Skogens dynamikk, struktur og arts mangfold—Bakgrunnskunnskap for en ny beskrivelse av skogbestandsdynamikk i NiN (pp. 85–115). <https://www.nhm.uio.no/forskning/ressurser/publikasjoner/nhm-rapporter/nhm-rapport-111-2022.pdf>

Storaunet, K. O., Sverdrup-Thygeson, A., Halvorsen, R., & Rolstad, J. (2024, April 13). Naturskog og gammelskog: Hva er hva, og hva er ståa? Forskning.No.

Svensson, A., Eriksen, R., Hylén, G., & Granhus, A. (2021). Skogen i Norge. In 54. NIBIO. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2763651>

Sverdrup-Thygeson, A., Hauglin, M., Jansson, U., Skarpaas, O., Storaunet, K. O. & Ørka, H. O. 2025. Hvor kan vi finne naturskogen? - Forskning.no. <https://www.forskersonen.no/biologi-meninger-natur/hvor-kan-vi-finne-naturskogen-1/2487405>.

Sverdrup-Thygeson, A., Ørka, H. O., Gobakken, T., & Næsset, E. (2016). Can airborne laser scanning assist in mapping and monitoring natural forests? *Forest Ecology and Management*, 369, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.035>

Viken, K. O. (2021). Landsskogtakseringens feltinstruks 2021. NIBIO.

Wold, J. , Gobakken, T., Tomic, O., Ørka, H. O. (upubl.) Mapping clear-cut history from historical aerial imagery using deep learning to support natural forest mapping.

Ørka, H. O., Jutras-Perreault, M.-C., Candelas Bielza, J., Gailis, J., & Gobakken, T. (2021). Fjernmålingsbasert kartlegging og overvåkning av økosystemet skog—Et nasjonalt heldekkende skogøkologisk grunnkart versjon 1.0 (Project report 2020—Part I). Norwegian Environment Agency. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10356182>

Ørka, H. O., Jutras-Perreault, M.-C., Næsset, E., & Gobakken, T. (2019). Kartlegging av bartrær ved bruk av fjernmåling—Deteksjon av hogstflater. Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2019/mars-2019/kartlegging-av-bartrar-ved-bruk-av-fjernmaling---deteksjon-av-hogstflater/>

Ørka, H. O., Jutras-Perreault, M.-C., Næsset, E., & Gobakken, T. (2022). A framework for a forest ecological base map – An example from Norway. *Ecological Indicators*, 136, 108636.

NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

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

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