

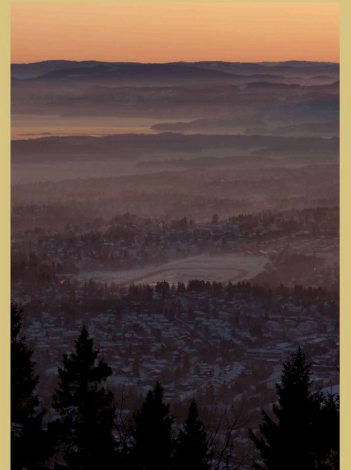
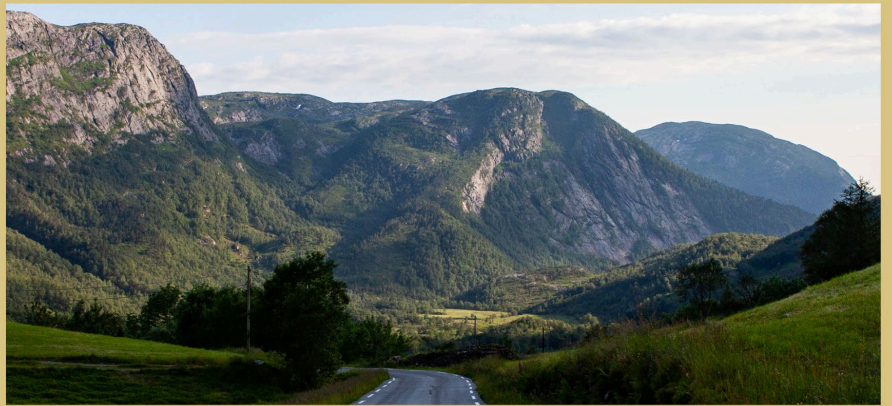


NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Framskrivninger for arealbrukssektoren (LULUCF) under FNs klimakonvensjon: Sensitivitets- og usikkerhetsanalyser

NIBIO RAPPORT | VOL. 9 | NR. 50 | 2023



Christian Wilhelm Mohr, Lise Dalsgaard, Andreas Hagenbo, Katharina Hobrak, Ignacio
Sevillano og Gunnhild Sjøgaard
Divisjon for skog og utmark

TITTEL/TITLE

Framskrivninger for arealbrukssektoren (LULUCF) under FNs klimakonvensjon: Sensitivitets- og usikkerhetsanalyser

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Mohr, C. W., Dalsgaard, L., Hagenbo, A., Hobrak, K., Sevillano, I. og Søgaard, G.

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
30.03.2023	9/50/2023	Åpen	52664	22/00132
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03271-7	2464-1162	36		

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Klima- og miljødepartementet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Frida Linnea Skjæraasen

STIKKORD/KEYWORDS:

Klimagassregnskap, arealbrukssektoren, skog

GHG accounting, Land use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Klimagassregnskap

Greenhouse gas inventory

SAMMENDRAG:

Arealbrukssektoren (engelsk: Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF) omfatter arealbruk og arealbruksendringer, med tilhørende utslipp og opptak av CO₂, CH₄ (metan) og N₂O (lystgass), og er en del av det nasjonale klimagassregnskapet under FNs klimakonvensjon.

I oktober 2022 ble det publisert oppdaterte, nasjonale framskrivninger for sektoren (Mohr mfl. 2022), basert på data og metodikk fra Norges siste rapportering til FNs klimakonvensjon (Miljødirektoratet mfl. 2022).

Som en oppfølging av det arbeidet presenteres her et utvalg sensitivitets- og usikkerhetsanalyser som illustrerer følsomheten og usikkerheten i framskrivningene for noen parametre. Dette er klima (RCP4.5 versus 8.5 og et gjennomsnitt av disse to), to utvalgte typer arealbruksendring (avskoging, og overgang fra myr og skog på organisk jord til annen arealbruk), samt inndata brukt i Yasso07.

LAND/COUNTRY: Norge

FYLKE/COUNTY: Viken

KOMMUNE/MUNICIPALITY: Ås

STED/LOKALITET: Ås

GODKJENT /APPROVED



BJØRN HÅVARD EVJEN

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



CHRISTIAN WILHELM MOHR



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Norge har flere rapporteringsforpliktelser på klimaområdet, både til FN under Klimakonvensjonen og Parisavtalen, til ESA i henhold til klimaavtalen med EU, og til Stortinget etter klimaloven. Klimaloven stiller krav om at Regjeringen skal redegjøre til Stortinget hvert år for status og framgang mot klimamålene. Siden klimaloven ble vedtatt har redegjørelsen etter klimalovens § 6 vært i Klima- og miljødepartementets budsjettproposisjon som blir lagt fram i oktober hvert år. Gjennom FNs klimakonvensjon og Parisavtalen er Norge forpliktet til å rapportere på klimapolitikk og framgang mot målene. I 2022 ble det levert to rapporter til FN (Biennial Report og National Communication). I tråd med klimaavtalen med EU må Norge rapportere på hvordan vi ligger an til å nå forpliktelsene i avtalen, og denne rapporten skal leveres i mars 2023. De fleste av disse rapporteringene skal inneholde noenlunde samme informasjon, men med noen nyanser og med ulike formkrav. Alle Norges klimarapporteringer skal inneholde en status for hvordan vi ligger an til å nå klimamålene, og hvilken politikk som er på plass for å nå målene. Som underlag for å rapportere på status for oppfyllelse av klimamål ligger klimagassregnskapet, informasjon om nasjonal klimapolitikk og virkemidler, framskrivninger av utslipp og opptak av klimagasser med eksisterende politikk og effektberegninger av planlagt politikk.

Klima- og miljødepartementet og Landbruks- og matdepartementet har gitt NIBIO i oppdrag å levere en framskrivning for utslipp og opptak av klimagasser fra arealbrukssektoren, fremstilt med to ulike formater, både iht. FNs klimakonvensjon sitt regelverk og EUs regelverk under LULUCF-forordningen (2018/841). Som en del av det siste er det også utarbeidet en teknisk korrigert versjon av den framoverskuende referansebanen. Dette ble levert høsten 2022, og publisert i NIBIO Rapport 8(124) (Mohr mfl. 2022).

I denne rapporten presenteres et utvalg sensitivitets- og usikkerhetsanalyser knyttet til ulike forutsetninger for framskrivningene. Blant annet illustreres følsomhet for ulike klimascenarier, for ulike inndata i jordkarbonmodellen (Yasso07) og for et utvalg arealbruksendringer.

Andreas Hagenbo og Lise Dalsgaard har vært sentrale i arbeidet med forutsetninger for følsomhetsanalyse for jordkarbon i gjenværende skog, og drøfting av resultater.

Ignacio Sevillano har vært sentral i arbeidet med klimascenarie-sensitivitet og sensitivitetsanalyse for levende biomasse, og har kjørt simuleringer for levende biomasse med SiTree.

Christian Wilhelm Mohr har vært sentral i alle deler av rapporten, og har kjørt Yasso07-modellen, samt framskrivninger av effekter av arealbruksendringer og utslipp/opptak utenom levende biomasse i skog i klimascenarie-sensitivitet.

Gunnhild Sjøgaard har bidratt i utforming av analyser, og skriving av rapporten.

Katharina Hobrak har bidratt i skriving av rapporten.

Prosjektet har vært ledet av Christian Wilhelm Mohr.

Ås, 30.03.23

Gunnhild Sjøgaard

Avdelingsleder

Innhold

1	Innledning.....	5
2	Materiale og metoder	7
2.1	Datagrunnlag og metoder i framskrivning publisert i 2022.....	7
2.2	Metodikk for sensitivitet- og usikkerhetsanalyser	7
2.2.1	Klimascenarie sensitivitet: RCP8.5 vs RCP4.5.....	7
2.2.2	Gjenværende skog levende biomasse sensitivitets analyse	11
2.2.3	Følsomhetsanalyse jordkarbon i gjenværende skog.....	11
2.2.4	Arealbruksendring sensitivitets analyse.....	14
3	Framskrivninger og sensitivitetsanalyse under klimakonvensjonen.....	15
3.1	Framskrivning av arealutvikling	15
3.2	Sensitivitetsanalyse for klimascenariene RCP4.5 vs. RCP8.5.....	15
3.2.1	Gjenværende skog	16
3.2.2	IPCC klimasoner.....	18
3.3	Sensitivitetsanalyse for gjenværende skog under RCP4.5.....	20
3.3.1	Sensitivitetsanalyse for levende biomasse i gjenværende skog	21
3.3.2	Sensitivitetsanalyse for jordkarbon i gjenværende skog	22
3.4	Sensitivitetsanalyse arealbruksendring.....	31
3.4.1	Avskoging	31
3.4.2	Drenering og fjerning av organisk jord i skog og myr.....	32
	Litteraturreferanser.....	33
Vedlegg 1	Oppdragsteksten	34
Vedlegg 2	Bakgrunnstall til figurene	35

1 Innledning

Norge har flere rapporteringsforpliktelser på klimaområdet, både til FN under Klimakonvensjonen og Parisavtalen, til ESA i henhold til klimaavtalen med EU, og til Stortinget etter klimaloven. Klimaloven stiller krav om at Regjeringen skal redegjøre til Stortinget hvert år for status og framgang mot klimamålene. Siden klimaloven ble vedtatt har redegjørelsen etter klimalovens § 6 vært i Klima- og miljødepartementets budsjettproposisjon som blir lagt fram i oktober hvert år. Gjennom FNs klimakonvensjon og Parisavtalen er Norge forpliktet til å rapportere på klimapolitikk og framgang mot målene. I 2022 ble det levert to rapporter til FN (Biennial Report og National Communication). I tråd med klimaavtalen med EU må Norge rapportere på hvordan vi ligger an til å nå forpliktelsene i avtalen, og denne rapporten skal leveres i mars 2023. De fleste av disse rapporteringene skal inneholde noenlunde samme informasjon, men med noen nyanser og med ulike formkrav. Alle Norges klimarapporteringer skal inneholde en status for hvordan vi ligger an til å nå klimamålene, og hvilken politikk som er på plass for å nå målene. Som underlag for å rapportere på status for oppfyllelse av klimamål ligger *klimagassregnskapet*, informasjon om nasjonal klimapolitikk og virkemidler, *framskrivninger av utslipp og opptak av klimagasser med eksisterende politikk* og effektberegninger av planlagt politikk.

Klimagassregnskapet. Norge rapporterer sine menneskeskapte klimagassutslipp og opptak til FNs klimakonvensjon hvert år. Arealbrukssektoren (eng. Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF) omfatter arealbruk og arealbruksendringer, med tilhørende utslipp av CO₂, CH₄ og N₂O, og er en del av det nasjonale klimagassregnskapet under FNs klimakonvensjon (eng. National Inventory Report, NIR¹).

Framskrivninger av utslipp og opptak av klimagasser med eksisterende politikk. Det ble i oktober 2022 publisert nye nasjonale framskrivninger for utslipp og opptak av klimagasser fra arealbrukssektoren basert på dagens situasjon (Mohr mfl. 2022). De nasjonale framskrivningene baseres på det til enhver tid nyeste publiserte klimagassregnskapet, og dermed mest mulig oppdatert metodikk. Framskrivningen publisert i oktober 2022 var basert på klimagassregnskapet levert til FN april 2022 (Miljødirektoratet mfl. 2022). Det ble samtidig utarbeidet en oppdatert versjon av den framoverskuende referansebanen for forvaltet skog (eng. Forest Reference Level, FRL), og gjennomført en beregning av hvordan Norge ligger an i forhold til netto-null målsetningen.

I denne rapporten er formålet å illustrere betydningen av variasjon i et utvalg parametere. Dette er på ingen måte en komplett sensitivitets- eller usikkerhetsanalyse, men det er analysert for et utvalg parametere.

Vi har ikke analysert direkte betydning på måloppnåelse knyttet til netto-null forpliktelsen. Til en slik studie ville det kreves nye beregninger av den framoverskuende referansebanen for forvaltet skog for hver eneste endret parameter og variabel brukt i beregningene av framskrivningene for forvaltet skog. Det var det ikke rom for her.

Det er også et svært komplekst og omfattende sett med variabler som påvirker utviklingen. Endringer i framskrivningene når disse blir oppdatert skyldes dels reelle endringer (faktiske observasjoner), men også i noen grad metodeforbedringer.

Det arbeides kontinuerlig med å forbedre både grunnlagsdata og metoder i det nasjonale klimagassregnskapet. For å kunne beregne endring knyttet til måloppnåelse, så må disse implementeres både i de nye framskrivningene og i oppdatert framoverskuende referansebane for forvaltet skog og oppdaterte referanseverdier for dyrket mark og beite. Det innebærer at de som oftest i mindre grad vil forklare endring i størrelsen på gapet, da endringen vil skje i både framskrivning og referanse.

De siste årene har det vært observert nedgang i årlig netto opptak i skog. Det er observert reduksjon i skogens tilvekst (CO₂-opptak), økt tap av karbon fra trær, og redusert karbonlagring i jord. Dette har sannsynligvis flere årsaker. Det har vært en økning i årlig hogstvolum siden forrige framskrivning, noe som vil påvirke både tilvekst og karbontap fra trær. Hva slags skog som hogges vil også påvirke

tilveksten. Hogst av skog yngre enn det som regnes som hogstmodenhetsalder (h.kl. V), vil gi større tap av tilvekst enn om eldre skog med lavere tilvekst hogges. Høyere hogstnivå de senere årene enn i den framoverskuende referansebanen gir også høyere karbontap fra jord i den første forpliktelsesperioden. Det avskoges hvert år om lag 60 km² skog. Det er mindre enn det arealet som kommer til med ny skog (påskevin). Samtidig har skogen som avskoges høyere gjennomsnittsbonetet enn skogen generelt (Breidenbach mfl. 2017), slik at betydningen er noe større enn arealandelen tilsier. Det tilsier at foruten det direkte utslippet som rapporteres under bokføringskategorien avskoging, vil dette påvirke potensialet for CO₂-opptak i gjenværende skog. Det har vært en langsiktig trend med høyere andel eldre skog². Eldre skog har lavere CO₂-opptak enn yngre skog, og dette er en medvirkende årsak til den generelle nedgangen i CO₂-opptak i norsk skog. I tillegg kan det være faktorer som vi ikke har oversikt over foreløpig, som effekten av tørkesommeren 2018 og annet som påvirker mortalitet.

Det er følgelig et komplekst sett med parametere som påvirker utviklingen, og en kombinasjon av politisk styrte, markedsstyrte og ikke styrte faktorer (biotiske og abiotiske).

Vi har i denne studien gjort et utvalg av parametere som er analysert.

Perioden 2006-2020 var lagt til grunn som referanseperiode i den nasjonale framskrivningen (Mohr mfl. 2022), og framskrivning av arealutvikling og utslipp og opptak var i all hovedsak basert på rapporterte data for denne tidsperioden. Referanseperioden anses til å best representere dagens situasjon («business as usual»).

I den nasjonale framskrivningen (Mohr mfl. 2022) ble utviklingen i gjenværende skog framskrevet med klimascenariet i RCP4.5. I denne rapporten illustreres effekten av et scenario med RCP8.5, og et gjennomsnitt av RCP4.5 og RCP8.5. Både RCP4.5 og 8.5 består av et sett ulike modeller. I tillegg er det derfor gjennomført en sensitivitetsanalyse for variasjonene i de ulike modellene undersøkt for RCP4.5.

Vi har også hatt et spesielt fokus på betydning av inndata for modellering av jordkarbonendringer. Dette er undersøkt ved å utføre en rekke sensitivitetsanalyser for parameter for strøtilførsel og for klimamodellene i RCP4.5.

For øvrige utslippsberegninger (utenom skog) ble utslippsnivå fra perioden 2006-2020 lagt til grunn, uten justering for klimaendringer, i den nasjonale framskrivningen (Mohr mfl. 2022). I denne rapporten illustreres forventet utvikling i klimasoner basert på klimascenarioene RCP4.5 og RCP8.5, og hvordan det vil endre fordelingen mellom klimasoner for ulike arealbrukskategorier.

De nasjonale framskrivningene (Mohr mfl. 2022) representerer et bilde på hvordan utviklingen kan bli gitt dagens situasjon (eksisterende politikk), og tar ikke innover seg ulike scenarier for arealforvaltning. I denne rapporten illustreres usikkerheten i utlippene knyttet til avskoging, noe som samtidig også kan illustrere potensial forandring i utslipp ved endring i aktivitetsnivå. Det illustreres også en potensiell effekt av å stoppe overganger fra myr og skog på organisk jord til annen arealbruk.

² Både areal med skog > 120 år, og areal i h.kl. V, har vært jevnt økende i perioden 1960 – 2018 (Svensson 2021).

2 Materiale og metoder

NIBIO utvikler de nasjonale framskrivningene for arealbrukssektoren (*eng.* Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF) basert på data og metodikk fra Norges siste rapportering til FNs klimakonvensjon, Norges nasjonale klimagassregnskap (*eng.* National Inventory Report, NIR) (Miljødirektoratet mfl. 2022). Arealbrukssektoren omfatter arealbruk og arealbruksendringer, med tilhørende utslipp av CO₂, CH₄ og N₂O og opptak av CO₂. Den omfatter hele Norges landareal, og landarealet er kategorisert i seks ulike arealbrukskategorier: skog, dyrket mark, beite, vann og myr, utbygd areal og annen utmark, basert på IPCCs regelverk.

I oktober 2022 ble det publisert oppdaterte, nasjonale framskrivninger for sektoren (Mohr mfl. 2022). Som en oppfølging av det arbeidet presenteres det her ulike sensitivitetsanalyser som illustrerer følsomheten i framskrivningene for et utvalg av forutsetninger. Forutsetningene er klima (RCP4.5 versus 8.5 og et gjennomsnitt av disse to), to utvalgte typer arealbruksendring (avskoging, og overgang fra myr og skog på organisk jord til annen arealbruk), samt inndata brukt i Yasso07.

I kapittel 2.1 gis en kortfattet beskrivelse av datagrunnlag og metoder for de nasjonale framskrivningene publisert i 2022 (Mohr mfl. 2022). Utførlig beskrivelse finnes i Mohr mfl. (2022).

I kapittel 2.2 gis en beskrivelse av materiale og metoder benyttet i sensitivitetsanalysene, utover det som er beskrevet i Mohr mfl. (2022).

2.1 Datagrunnlag og metoder i framskrivning publisert i 2022

De nasjonale framskrivningene for sektoren er basert på nyeste data og metodikk fra Norges siste rapportering til FNs klimakonvensjon, publisert i Norges nasjonale klimagassregnskap. Nasjonale framskrivninger publisert i 2022 (Mohr mfl. 2022) er basert på det nasjonale klimagassregnskapet publisert i 2022, NIR2022 (Miljødirektoratet mfl. 2022). NIR2022 dekker årene 1990-2020.

I disse framskrivningene ble 2006-2020 lagt til grunn som referanseperiode, og framskrivning av arealutvikling og utslipp var i all hovedsak basert på rapporterte data for denne tidsperioden.

Den mest sentrale datakilden i det nasjonale klimagassregnskapet er Landsskogtakseringen. Landsskogtakseringen er et omfattende og landsdekkende overvåkingssystem basert på utvalgskartlegging, som dekker alle arealbrukskategorier (ikke bare skog). Det totale arealet i de ulike arealbrukskategoriene, og overgangene mellom disse, er basert på data fra Landsskogtakseringen. Landsskogtakseringen er også den mest sentrale datakilden for beregning av utslipp og opptak, basert på registreringer i felt og supplert med kartinformasjon. Det måles trær ikke bare i skog, men også på myr, beitearealer og noen typer utbygd areal.

Utviklingen i arealer og utslipp foruten skog er basert på trender i referanseperioden. Utviklingen i opptak i gjenværende skog er framskrevet ved hjelp av simuleringverktøyet SiTree og Yasso07, med utgangspunkt i Landsskogtakseringens prøveflater i skog. Klimaendringer under klimascenariet i RCP4.5 er lagt til grunn. For øvrige utslippsberegninger er det lagt til grunn utslippsnivå fra perioden 2006-2020 uten justering for klimaendringer.

En mer detaljert beskrivelse av datagrunnlaget, definisjoner av arealbrukskategoriene og kort om utslippsberegning i det nasjonale klimagassregnskapet, samt detaljert beskrivelse av metoder benyttet og forutsetninger lagt til grunn i framskrivningen finnes i Mohr mfl. (2022).

2.2 Metodikk for sensitivitet- og usikkerhetsanalyser

Formålet med sensitivitet- og usikkerhetsanalyse er å undersøke hvordan et utvalg scenarier og usikkerheter variabler påvirker utslipp og opptak for arealbrukssektoren på nasjonalt nivå.

2.2.1 Klimascenarie sensitivitet: RCP8.5 vs RCP4.5

I den siste framskrivningsrapporten (Mohr mfl. 2022) ble det framskrevet utslipp og opptak for arealbrukssektoren etter dagens praksis (Business-As-Usual) fra 2021 til 2100. Der ble klimascenariet RCP4.5 brukt i framskrivning av gjenværende skog, som bruker temperatur, nedbør, og evapotranspirasjon i beregningene (se Mohr mfl. 2022, kap. 2.6.3.). I denne sensitivitetsanalysen undersøker vi hvordan enda varmere klimascenarier slår ut i utslippsberegningene. Vi tar utgangspunkt i klimascenariet RCP8.5. Samme klimamodeller brukt i Mohr mfl. 2022, CNRM-CM5-CCLM, EC-EARTH-CCLM, EC-EARTH-DMI-HIRHAM5, EC-EARTH-KNMI-RACMO og MPI-CCLM,

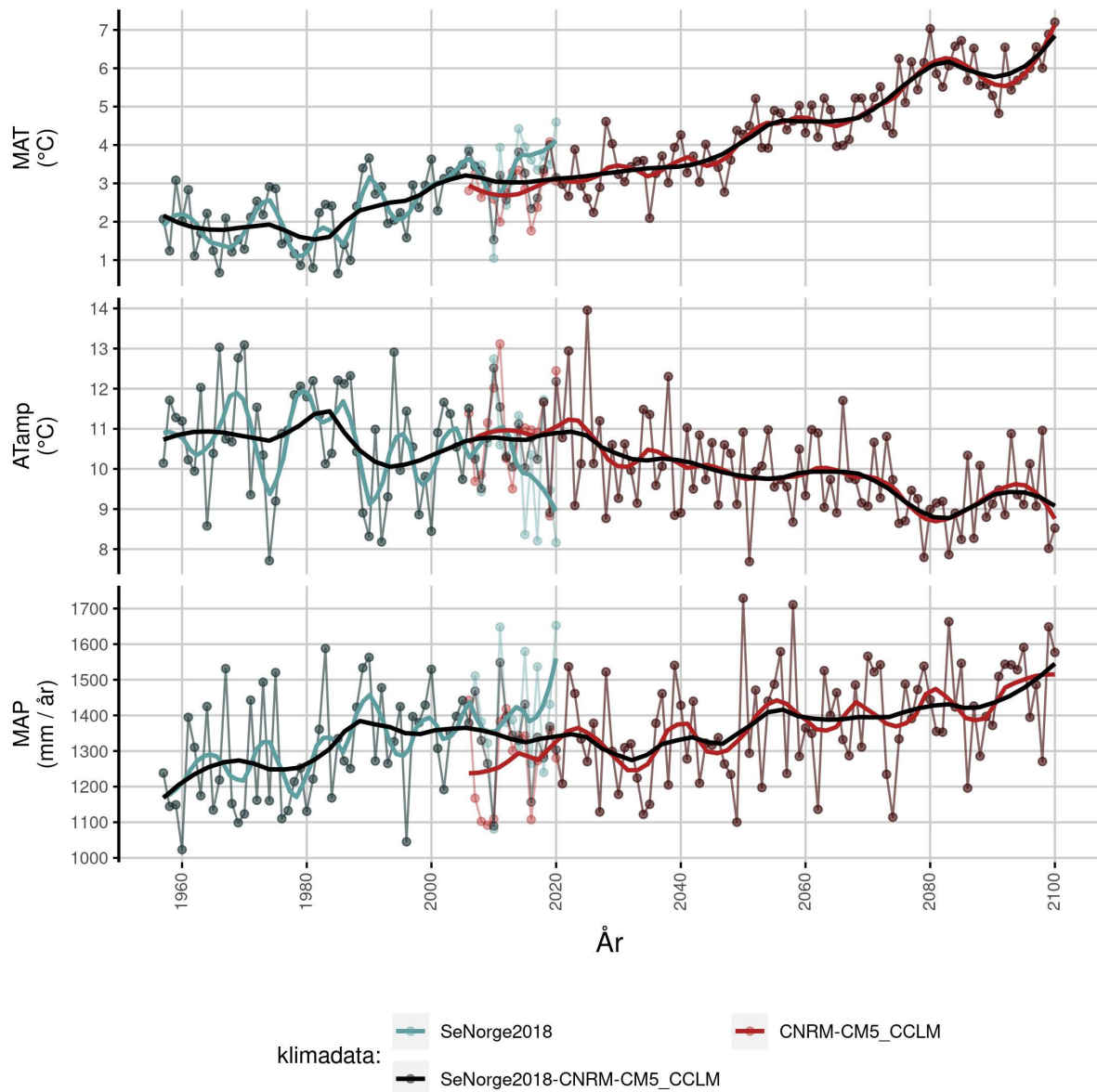
er brukt her for klimascenariet RCP8.5. Gjennomsnitt av alle RCP8.5 klimamodeller er brukt i videre beregninger.

2.2.1.1 Gjenværende skog

I klimagassregnskapet rapporteres endringer i karbonlager i ulike karbonbeholdninger som utslipp og opptak av CO₂. Endringer i karbonlager for levende biomasse, død ved, strø, og mineraljord for gjenværende skog er basert på avanserte beregningsmetodikker (Tier 3³) i klimagassrapporteringen, med omfattende målinger gjennom Landsskogtakseringen for levende biomasse, og modellering av endringer i død ved, strø, og mineraljord med Yasso07 modellen basert på inndata fra Landsskogtakseringen (Miljødirektoratet mfl. 2022). I framskrivningen benyttes simuleringstøyet SiTree for framskrivning av levende biomasse. Jordkarbonmodellen, Yasso07 brukes til estimering av død ved, strø, og mineraljord på samme måte som i klimagassregnskapet, med unntak av at inndata fra strøtilførsel fra levende biomasse er fra SiTree simuleringen, istedenfor Landsskogobservasjoner. Klimadata er fra klimascenariomodeller, istedenfor interpolerte observasjonsdata (SeNorge2018 data: Lussana 2019).

Klimadata brukes både i SiTree simuleringene og i Yasso07 modellen. Men i SiTree brukes klimadata mer indirekte, hvor den brukes for å justere Landsskogflatenes bonitetsverdier i fremtiden. De justerte bonitetsverdiene blir brukt for å justere vekstraten på biomassen. I Yasso07 er den brukt mer direkte, og på lik måte som klimadata fra observasjoner (se Mohr mfl. 2022, kap. 2.6). På samme måte som i framskrivningene under RCP4.5, lages det hybridklimadatasett mellom observasjoner fra SeNorge2018 og klimamodelldatasettene fra RCP8.5 til Yasso07 kjøringene (se Figur 1). I akkurat denne studien ekskluderer vi estimerer etter 2050, fordi SiTree simuleringer ikke er egnet for å ta hensyn til forstyrrelser forårsaket av klimaekstremer.

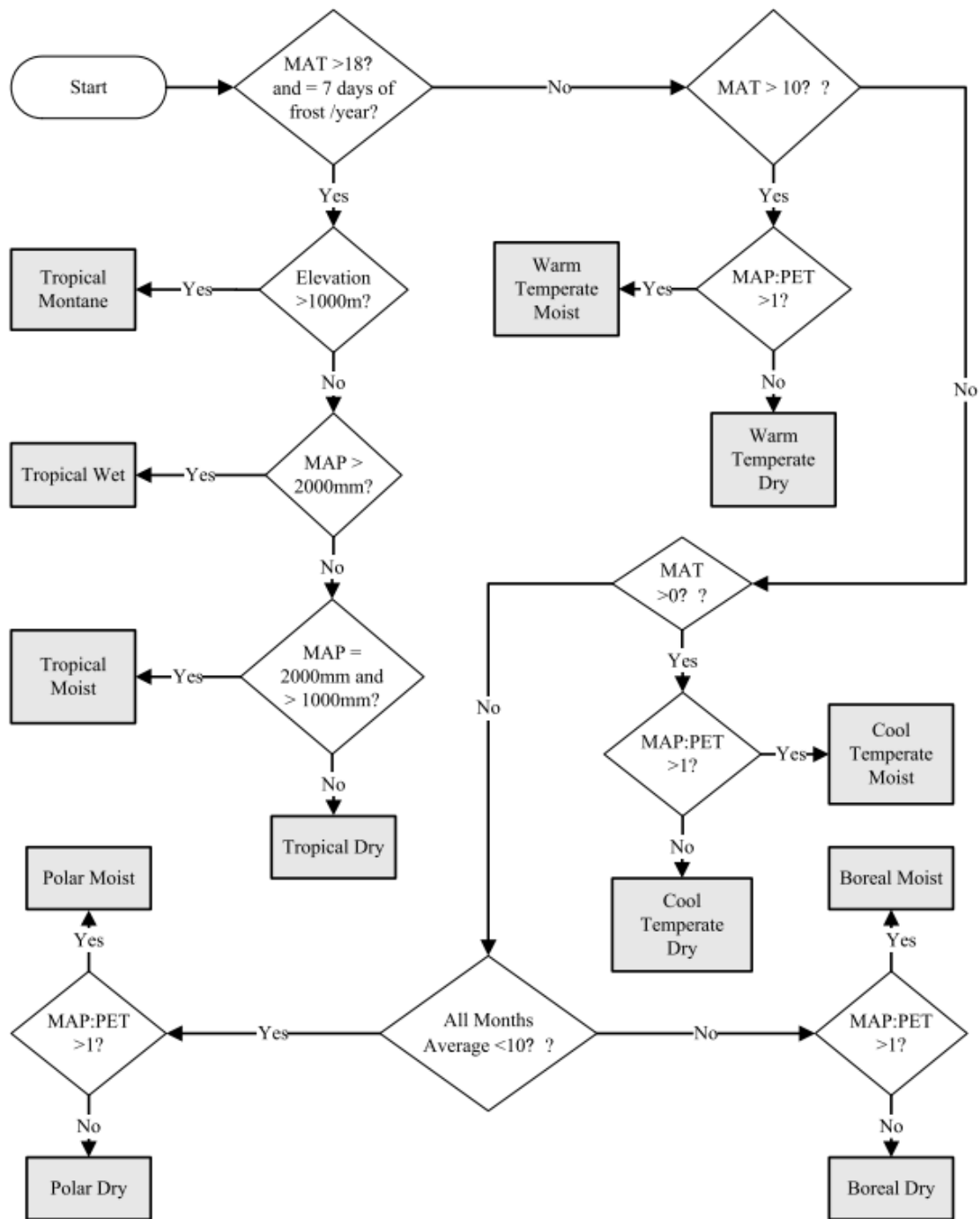
³ Enkelt forklart er Tier 1 standard utslippsfaktorer fra retningslinjene (IPCC, 2006), Tier 2 nasjonale utslippsfaktorer, og Tier 3 nasjonale målinger eller modellering.



Figur 1. Grafen illustrerer gradientsammenslåing av de klimatiske variablene (MAT, ATamp, og MAP) i perioden 2006-2020 for observasjonsdatasetet SeNorge2018 og en tilfeldig RCP8.5 klimamodell (modell CNRM-CM5_CCLM i dette eksemplet). Dette hindrer en skarp overgang mellom årene 2020 og 2021. Den svarte linjen viser det kombinerte observasjonsklimamodelldatasettet (hybriddatasettet).

2.2.1.2 IPCC klimasone

Selv om beregningene for framskrevet utslipp/opptak fra de andre arealbruksklassene bruker mindre avanserte metodikker (se Mohr mfl. 2022, kap. 2.4-2.5), så spiller klima en rolle i utslipps- og opptaksestimatene. For all Tier 1 metodikk ligger det som regel en eller flere utslippsfaktor for en gitt kombinasjon av karbonbeholdning, arealbruksklasse, og klimasone. Disse klimasonene fra IPCC defineres avhengig av de klimatiske variabler presentert i Figur 2.



Figur 2. Flytskjema for klassifisering av klimasoner (Figure 3.A.5.2 fra IPCC, 2006). Klassifiseringen baserer seg på høyde over havet (eng. elevation), årlig gjennomsnittstemperatur (MAT), månedlig gjennomsnittstemperatur (MMT), årlig gjennomsnittsnedbør (MAP), og forholdet mellom gjennomsnittlig årlig nedbør og potensiell evapotranspirasjon (MAP:PET). Årlig gjennomsnitt er bestemt for 30 år.

I klimagassregnskapet brukes det 30 år med klimadata fra 1989-2018 for å lage klimasonene (Miljødirektoratet mfl. 2022). Oversikt over klimasonene i Norge og arealfordelingen finner man i Tabell 1. Klimaet er i endring, og arealfordelingen av klimasonene vil derfor endre seg framover i tid. I denne sensitivitetsanalysen klassifiserer vi klimasonene for klimascenariene RCP4.5 og RCP8.5 for periodene 2041-2060, og 2071-2100. Vi får dermed innblikk i hvordan arealfordelingen mellom klimasonene vil endre seg i framtiden.

Tabell 1. Oversikt over arealfordelingen av klimasoner i Norge for årlig gjennomsnitt for perioden 1989-2018 (datakilde: SeNorge2018). Kha = 1 000 ha.

IPCC klimasoner	Areal (kha)	%
Borealt tørt	862	3
Borealt fuktig	4 805	15
Kjølig temperert tørt	266	1
Kjølig temperat fuktig	22 439	69
Arktisk tørt	5	0
Arktisk fuktig	4 001	12

2.2.2 Gjenværende skog levende biomasse sensitivets analyse

For å fange opp variasjonen og utføre en følsomhetsanalyse for levende biomasse i gjenværende skog brukte vi simuleringsverktøyet SiTree (Antón-Fernández og Astrup 2022) til å estimere karbonlagring og -tap for hver av de 100 simuleringene (stokastisk tilnærming) og for hver av de 5 klimamodellene som ble brukt i framskrivningen (Mohr mfl. 2022).

2.2.2.1 SiTree stokastisitet

Som beskrevet i Mohr mfl. (2022) har en stokastisk tilnærming til hogst blitt brukt i de nasjonale framskrivningene (simuleringene har blitt kjørt 100 ganger). Den stokastiske tilnærmingen til hogst tillater en viss tilfeldighet i utvelgelsen av prøveflater som vil bli gjenstand for hogst. De fleste flater med høy sannsynlighet for hogst blir fortsatt hugget, men det kommer også inn flater med lavere sannsynlighet som blir hugget. Mens det i Mohr mfl. (2022) kun ble vist som et gjennomsnitt av 100 simuleringer, inkluderer vi her også resultatene for hver enkelt simulering. Vi får dermed sett hvordan usikkerheten for levende biomasse utvikler seg i tid relatert til stokastisiteten i hogsten.

2.2.2.2 SiTree og RCP4.5 klimamodeller

For å sjekke effekten og påvirkningen av hver av de fem RCP4.5 klimamodellene brukt for å lage gjennomsnitts RCP4.5 klimamodell benyttet i Mohr mfl. 2022 kjører vi SiTree individuelt for hver klimamodell: CNRM-CM5-CCLM, EC-EARTH-CCLM, EC-EARTH-DMI-HIRHAM5, EC-EARTH-KNMI-RACMO og MPI-CCLM.

2.2.3 Følsomhetsanalyse jordkarbon i gjenværende skog

Usikkerhetene analysert er dels beskrevet ved hjelp av Monte Carlo metodikken. Valgte parametre varieres ut ifra en forventet variasjonsbredde gjennom mange kjøringene av modellen (se kap. 2.2.3.1, pkt. 1-3 under), hvor fokus er karakteristika og mengde av organisk materiale/strø. Det er også dels gjort en vurdering av potensiell bias i mengden av strø fra spesielt finrøtter (pkt. 4 under), som er karakterisert ved en spesiell stor usikkerhet da dataene er sparsomt tilgjengelige. Og så til slutt er det gjort en følsomhetsanalyse hvor fokus er på effekten av variasjon/usikkerhet i fremtidig klima.

Fem ulike elementer er tatt med i beskrivelsen av usikkerheter for endringer i jordkarbonbeholdningen. I denne sammenhengen er endring i jordkarbon summen av endringer i mineraljord og i DOM (dødt organisk materiale, som er summen av død ved og strø) da begge disse estimeres ved hjelp av jord- og nedbrytningsmodellen Yasso07 (Miljødirektoratet mfl. 2022). Fire elementer er relatert til egenskaper ved det organiske materiale som går inn i Yasso07 (2.2.3.1). I tillegg analyseres effekten av variasjon i klimamodeller (2.2.3.2).

2.2.3.1 Jordkarbon modellparameter

1. **Strøstørrelse** (cm) av det organiske materiale som hentes inn i Yasso07-modellen. Monte Carlo (MC) metoden ble benyttet ved å kjøre Yasso07-modellen 100 ganger for perioden 1990-2020 for et utvalg (10%) av Landsskogtakseringens flater i skog på mineraljord (totalt 13 316 flatedeler).

- Standard kjøring som brukes i klimagassregnskapet, er at grove treaktige elementer antas en størrelse på 10 cm (stubber, bult⁴ og topper som etterlates etter hogst), mindre treaktige elementer (greiner, grove røtter) antas en størrelse på 2 cm og bar (nåler, blader), og finrøtter antas en størrelse på 0 cm. De antatte størrelsene påvirker nedbrytningsraten for organisk materiale i Yasso07.
 - Monte Carlo: Størrelsen av ulike typer organisk materiale varieres for hver av 100 kjøringene innen en angitt variasjonsbredde. Det ble antatt en tilfeldig verdi i henhold til en unimodal fordeling av størrelsen ulike typer av organisk materiale. Grove treaktige elementer ble antatt å variere mellom 8,0 og 12,0 cm, mindre treaktige elementer ble antatt å variere mellom 0,2 og 6,0 cm og finrøtter og bar/blader ble antatt å variere mellom 0 og 0,5 cm.
2. **Utskiftningsrate (eng. turnover rate) for organisk materiale** som hentes inn i Yasso07-modellen. Monte Carlo metodikken benyttes med 100 kjøringene i perioden 1990-2020 for et utvalg av Landsskogflater, se ovenfor.
- En rekke inndata av organisk materiale beregnes som standard ved å multiplisere biomassen (for eksempel totalmengden av granbar i et bestand) med en utskiftningsrate (eng. turnover rate). Dette resulterer i et estimat for hvor mye organisk materiale som er produsert årlig som strøtilførsel til Yasso07-modellen. Utskiftningsraten er karakterisert ved en usikkerhet. Gjennom de 100 simuleringene varieres utskiftningsraten i henhold til den variasjonen som er funnet blant publiserte studier, se også Miljødirektoratet mfl. (2022) for hvordan dette er gjort tidligere. Se Tabell 2 for verdier og usikkerhet knyttet til utskiftningsratene.

Tabell 2. Antatt gjennomsnitt og standardavvik for utskiftningsrater i sensitivitetsanalysen.

	Utskiftningsrate (ganger år ⁻¹)	Standardavvik	Fordeling
Furu			
Grener og røtter	0,027	0,005	Normalfordelt
Nåler	0,330	0,050	Normalfordelt
Finrøtter	0,600	1,350	Log-normalfordelt*
Gran			
Grener og røtter	0,013	0,003	Normalfordelt
Nåler	0,143	0,021	Normalfordelt
Finrøtter	0,600	1,350	Log-normalfordelt*
Bjørk			
Grener og røtter	0,025	0,006	Normalfordelt
Blad	0,950		Uniform fordelt (mellom 0,9 – 1,0)
Finrøtter	0,600	1,350	Log-normalfordelt*
Vegetasjon			
Bladmoser	0,330	0,132	Normalfordelt
Lav	0,100	0,040	Normalfordelt
Gress og urter (overjordiske deler)	1,000	0,400	Normalfordelt
Busker (overjordiske deler)	0,250	0,100	Normalfordelt
Gress og urter (underjordiske deler)	0,330	0,132	Normalfordelt
Busker (underjordiske deler)	0,330	0,132	Normalfordelt

*For bruk av log-normale usikkerheter ble naturlig logaritme brukt på gjennomsnittet og standarden avviksverdier for å lage normal fordelingen.

⁴ Bult er en kort, avkappet del av trestammen som er utjenlig som tømmer, oftest i rotenden av treet.

3. Den **kjemiske sammensetningen** av det organiske materialet (strø: bar, greiner, bark, røtter, osv.) som hentes inn i Yasso07-modellen. Monte Carlo metodikken benyttes med 100 kjøringene i perioden 1990-2020 for et utvalg av Landsskogflater, se ovenfor.
- Strø karakteriseres ved det relative innholdet av ulike karbonholdige organiske forbindelser: W (vannløselig), E (etanolløselig), A (syreløselig), N (uløselige). For alle typer strø (bar, røtter, bark, osv.) er de relative mengdene av de ulike karbonholdige forbindelsene forbundet med usikkerhet. Gjennom de 100 Monte Carlo kjøringene blir de relative mengdene av W, E, A og N variert i henhold til usikkerheten funnet i publiserte data (W, E og A varieres og mengden N bestemmes som resten). Det ble antatt en normalfordeling for verdiene til W, E og A (Tabell 3).

Tabell 3. Antatt gjennomsnitt og standardavvik for AWE-verdiene i sensitivitetsanalysen.

	Gjennomsnittlig verdi				Standardavvik			
	A	W	E	N	A	W	E	N
Furu								
Bark, stemmer og stubber	0,670	0,023	0,008	0,285	0,014	0,011	0,011	0,007
Grener	0,474	0,019	0,079	0,431	0,037	0,006	0,029	0,014
Nåler	0,488	0,156	0,121	0,235	0,066	0,057	0,036	0,057
Røtter	0,474	0,019	0,079	0,431	0,037	0,006	0,029	0,014
Finrøtter	0,526	0,061	0,061	0,353	0,044	0,039	0,011	0,080
Gran								
Bark, stemmer og stubber	0,665	0,018	0,003	0,305	0,049	0,018	0,004	0,035
Grener	0,665	0,018	0,003	0,305	0,049	0,018	0,004	0,035
Nåler	0,437	0,190	0,085	0,289	0,059	0,077	0,047	0,064
Røtter	0,665	0,018	0,003	0,305	0,049	0,018	0,004	0,035
Finrøtter	0,422	0,152	0,130	0,296	0,182	0,027	0,089	0,066
Bjørk								
Bark, stemmer og stubber	0,715	0,015	0,000	0,270	0,092	0,021	0,000	0,071
Grener	0,715	0,015	0,000	0,270	0,092	0,021	0,000	0,071
Blad	0,434	0,195	0,098	0,273	0,037	0,004	0,002	0,031
Røtter	0,715	0,015	0,000	0,270	0,092	0,021	0,000	0,071
Finrøtter	0,434	0,195	0,098	0,273	0,037	0,004	0,002	0,031

4. Produksjonsraten av organisk materiale fra finrøtter

- Som beskrevet i pkt. 2 over beregnes flere typer av strøtilførsel til Yasso07-modellen ved en multiplikasjon av biomasse med en utskiftningsrate (*eng.* turnover rate). For beregning av strøtilførsel fra finrøtter er den totale biomassen av finrøtter i et gitt bestand veldig usikker (se for eksempel vurderingen i Bright mfl. 2020, supplerende informasjon), og ikke en del av registreringene eller estimatene som enkelt gjøres basert på treobservasjoner i Landsskogtakseringen som tilfellet er med for eksempel stamme- og barbiomasse. Av tekniske årsaker har det ikke vært mulig – innen tidsrammen for denne rapporten - å bruke Monte Carlo metodikken til å variere finrotbiomassen gjennom mange kjøringene tilsvarende det som er gjort i pkt. 1-3 over for andre parametre. I stedet er det gjort en beskrivelse av den potensielle feilen dagens metodikk for estimering av strøtilførsel fra finrøtter kan være. Det finnes relativt lite data for dynamikken i finrøtter i skog, både fra trær og annen vegetasjon og det er stor variasjon og derfor kan den potensielle feilen være stor. Det er i denne rapporten ikke gjort en uttømmende litteraturstudie, men vi har brukt noen få nordiske og europeiske studier som er vurdert relevante for norske forhold

(Helmisaari mfl. 2007, Hansson mfl. 2013, Neumann mfl. 2016). En tilsvarende analyse for strøtilførsel fra overjordiske deler av urter, busker og mose o.l. annen vegetasjon enn trær også kunne vært relevant, men det var det ikke rom for i denne studien.

Yasso07-modellen er tilpasset ved bruk av en rekke store (globale, nordiske) datasett som beskriver den mikrobielle nedbrytningen av organiske materialer under ulike klimaforhold. Parametre i Yasso07 som beskriver disse nedbrytningsprosessene (nedbrytningsrater) har en usikkerhet tilknyttet til seg (se for eksempel Tuomi mfl. 2011). Disse usikkerheter er ikke inkludert i analysen i denne rapport.

2.2.3.2 Jordkarbon modellen og RCP4.5 klimamodeller

Effekten av variasjonen mellom de ulike klimamodellene illustreres ved hjelp av følsomhetsanalyser. Øverste og nederste 95% konfidensintervall fra Monte Carlo kjøringene beskrevet i pkt. 1-3 i avsnittet over definerer de kombinasjonene av parametre (kjemisk sammensetning, størrelse, utskiftningsrate) som gir et teoretisk gjennomsnittlig veldig høyt hhv. veldig lavt netto opptak for perioden 1990-2020⁵. Disse simuleringer kombineres så med klima fra de ulike klimamodellene.

2.2.4 Arealbruksendring sensitivets analyse

I de nasjonale framskrivningene (Mohr mfl. 2022) er arealbruksendringssratene for alle arealbrukskategoriene basert på lineær regresjon for hver kategori med arealbruksendring. For trendens stigningstall ble det beregnet en usikkerhet. Det er veldig få arealbruksendringer som skjer hvert år. Derfor er usikkerheten relatert til flatenes representasjon av de nasjonale arealbruksendringene viktig å fange. Med andre ord om det er mange flater som endrer seg hvert år for en gitt arealbruksendring, vil usikkerheten i arealrepresentasjonen for arealbruksendringen være lav. Men om det er få flater som endrer seg vil usikkerheten i arealrepresentasjonen være høy. Selv med få flater som endrer seg kan trenden være perfekt lineær (korrelasjon koeffisient $R^2 = 1$), men usikkerheten i trenden relatert til den nasjonale representasjonen vil være høy. Usikkerheten relatert til feil klassifisering fanges ikke opp i denne studien.

Vi ser først på betydningen av usikkerheten i avskogingsraten, relatert til netto utslipp for arealbrukssektoren (2.2.4.1). Så ser vi på hva som skjer om vi umiddelbart slutter å endre myr og skog på organisk jord til andre arealbrukskategorier (2.2.4.2).

2.2.4.1 Avskoging

Avskoging er per definisjon alle overganger fra skog til annen arealbruk. I tabell 2 og tabell 3 i Mohr mfl. (2022) finner man alle arealendringsrater fra skog til annen arealbruk. Summen av all avskoging er ca. 6,1 kha per år, der ca. 55 % av arealbruksendringen skyldes overganger til utbygd areal. Standardfeilen for prøvetaking blir beregnet for endringen av hver arealbrukskategori for hvert Landsskogstakseringspanel over 10 år. Standardfeilprosenten blir så multiplisert med 1,96 for å gi et 95 % konfidensintervall, som så blir anvendt til gjennomsnitts arealbruksendringssrater for å lage nedre og øvre arealbruksendringssrater.

2.2.4.2 Drenering av organisk jord på skog og myr

Netto utslipp for et scenario med full stans på arealbruksendringer fra myr og skog med organisk jord beregnes ved at arealendringsraten for alle arealendringer fra myr og skog med organisk jord til noe annet settes lik null (se Tabell 3 i Mohr mfl. 2022). Dermed vil fremtidige utslipp fra drenert organisk jord kun komme fra arealene som allerede er drenert i 2020, uten at det kommer inn nye drenerte arealer.

⁵ For strø størrelse brukes parameter verdier som gir gjennomsnittlig minimums og maksimums estimater for jord karbon for perioden 1990-2020.

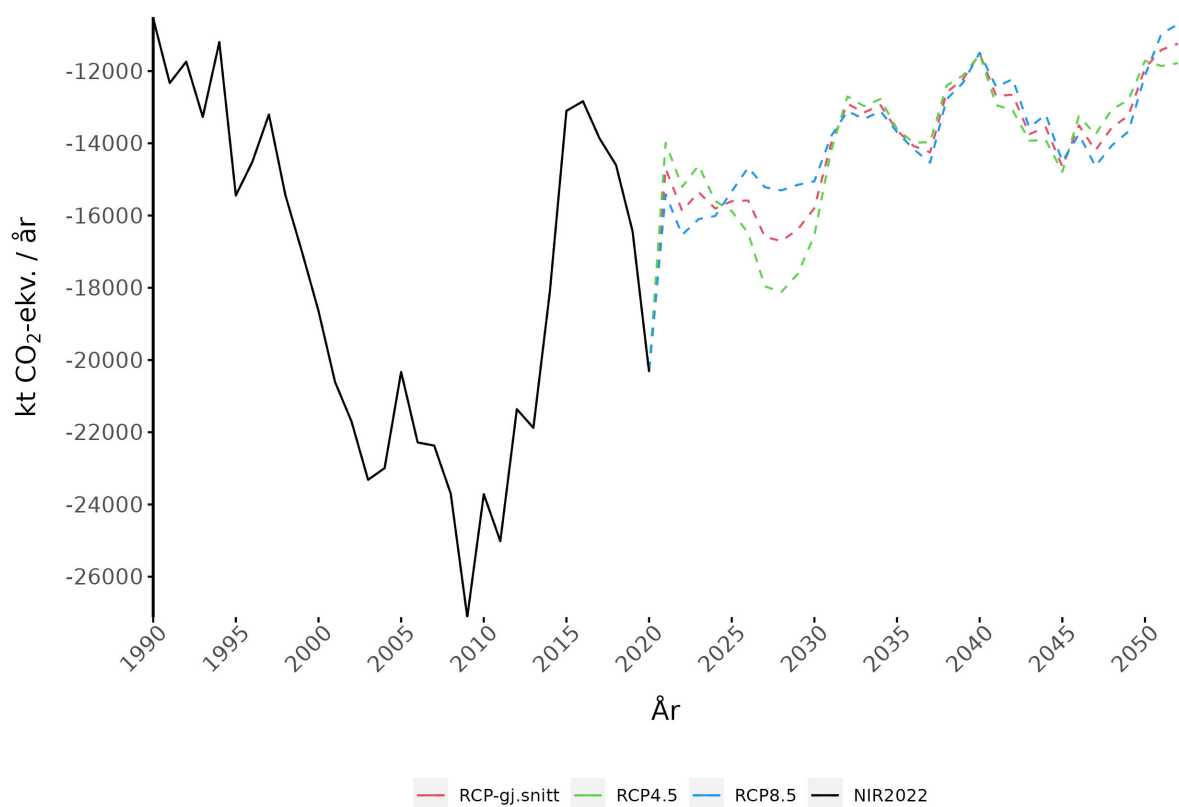
3 Framskrivninger og sensitivitetsanalyse under klimakonvensjonen

3.1 Framskrivning av arealutvikling

Historiske (rapporterte) tall fra klimagassregnskapet publisert i 2022 er gjengitt for perioden 1990-2020, mens tall fra og med 2021 er framskrivninger basert på arealoverganger i referanseperioden 2006-2020.

3.2 Sensitivitetsanalyse for klimascenariene RCP4.5 vs. RCP8.5

Sammenligning av netto utslipp for arealbrukssektoren for RCP8.5 og RCP4.5/8.5 gjennomsnittet (RCP gj.snitt med RCP4.5, viser at nettoopptaket endres relativt lite på kortsikt (fram mot 2050). For RCP8.5 scenariet er nettoopptaket i gjennomsnitt $142 \pm 1\,155$ kt CO₂-ekv. mindre enn RCP4.5 scenariet for perioden 2021-2050. Og 71 ± 578 kt CO₂-ekv. mindre for RCP gj.snitt sammenlignet med RCP4.5 for samme periode. Standardavviket (\pm) i differansene for årene 2021-2050 er betydelig større enn gjennomsnittene av differansene. Dette kan forklares av at de årlige variasjoner i differansene er betydelig større enn gjennomsnittsdifferansen mellom scenariene. Dermed vil differansen i enkeltår være helt tilfeldig.

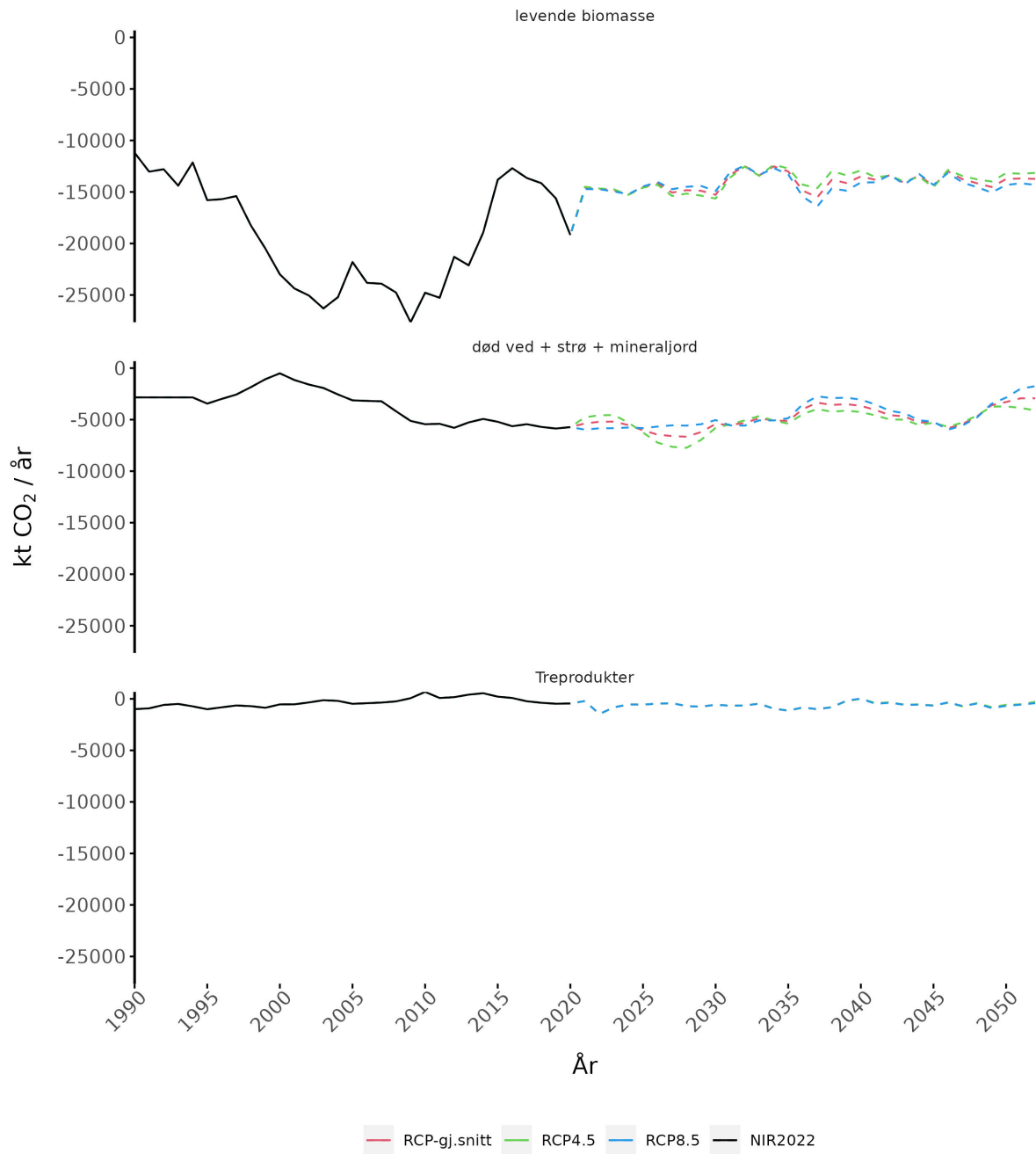


Figur 3. Framskrevet total netto opptak for arealbrukssektoren etter dagens praksis for klimascenariene RCP4.5 (grønn stiplet linje), RCP8.5 (blå stiplet linje), og et gjennomsnitt av resultatene fra RCP4.5 og RCP8.5 (rød stiplet linje). NIR2022 er vist med svart linje.

3.2.1 Gjenværende skog

I denne studien har klimascenariene kun betydning for gjenværende skog. Og kun for karbonbeholdningene i levende biomasse, død ved, strø, mineraljord og treprodukter (*eng.* HWP, harvested wood products) (se Figur 4). Forskjellige klimascenarier påvirker tilveksten av den levende biomassen simulert med SiTree. Dette vil også resultere i endringer i den årlige hogsten bl.a. fordi det blir en endring i det stående volumet. Endringer i den årlige hogsten vil så påvirke treprodukter, da fremtidige treproduktsestimater er koblet til hogstvolumet simulert av SiTree. Jordkarbonendringer (estimert for død ved, strø og mineraljord sammenlagt), som er modellert med Yasso07-modellen, er påvirket av endringer i strøtilførsel, som er koblet til den levende biomassen simulert av SiTree. I tillegg bruker Yasso07-modellen klimadata direkte i sine beregninger for nedbrytning av det organiske materialet. Et varmere klimascenario (RCP8.5) vil i utgangspunktet gi økt vekst i levende biomasse (trærne). Samtidig vil et varmere klima øke nedbrytningen av organisk materiale, som da reduserer karbonlagring i jord. Forårsaket av tilfeldige årlige svingninger i klima og hogst blir det mer opptak i RCP4.5 scenariet enn RCP8.5 i perioden 2026-2030. Framskrivningene for hver av disse klimascenariene viser at det største variansen ligger for endringsestimatene for jordkarbon. Dette skyldes blant annet at det er en kombinert klimaeffekt som først fører til variasjon i levende biomasse som brukes til å beregne estimater for strøtilførsel, og deretter variasjon i nedbrytningen av organisk materiale. I tillegg bruker Yasso07 fem-årlig flytende gjennomsnitt for klimadata, som betyr at den er mer følsom for årlige variasjoner enn SiTree simuleringene som bruker et 30-års flytende gjennomsnitt. Dermed vil årlig variasjon av levende biomasse ikke være like sterkt påvirket av de årlige svingningene i klimavariablene. Derimot er forskjellen i den langsiktige trenden (30 til 100 år) for RCP4.5 og RCP8.5 viktigere for SiTree simuleringene. Men fram til 2050 med et 30-års glidende gjennomsnitt ser ikke forskjellen mellom klimascenariene ut til å være av stor betydning (Figur 3). På sikt vil RCP8.5 som gir et varmere klima, vise større netto opptak for levende biomasse enn RCP4.5. Dette er logisk da bonitetsmodellen, brukt i SiTree, vil gi økt produksjonsevne i et varmere klima.

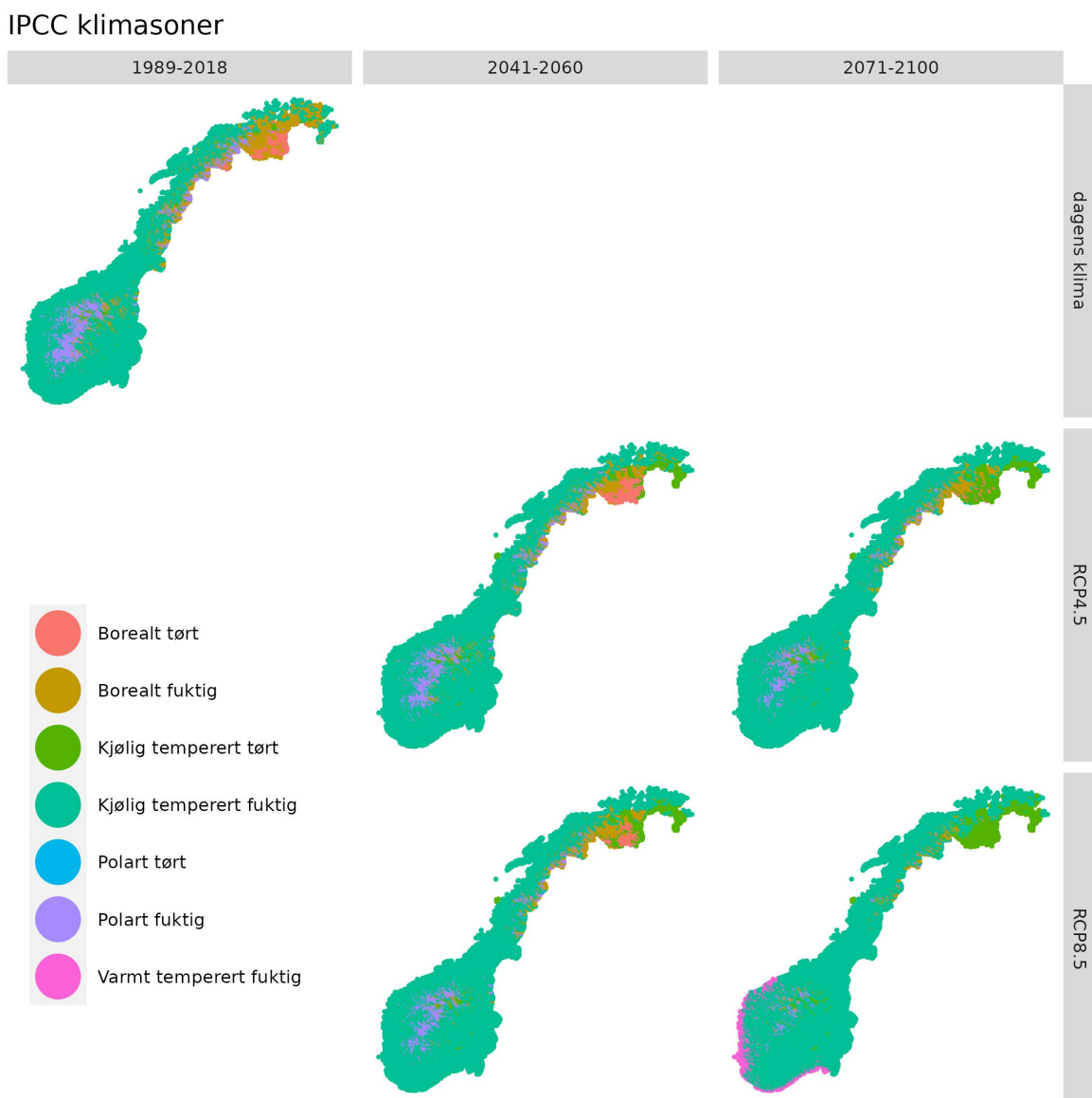
Det er betydelig usikkerhet knyttet til skogens utvikling i et svært endret klima, som særlig vil være tilfelle med et RCP 8.5 scenario i et langt tidsperspektiv (etter 2050). Usikkerhet knyttet til forekomst av skogskader grunnet klimaekstremer øker også, og fanges ikke opp av modellen per i dag.



Figur 4. Påvirkning på endring i karbonbeholdning i levende biomasse, død ved, strø, mineraljord og treprodukter for gjenværende skog av klimascenariene RCP4.5, RCP8.5 og et gjennomsnitt av RCP4.5 og RCP8.5. Død ved, strø, og mineraljord er mest følsomt for forskjellene i temperatur og nedbør mellom klimascenariene. HWP er minst følsomt (overlappende kurver).

3.2.2 IPCC klimasoner

I Figur 5 ser vi hvordan dagens klimasoner vil endre seg geografisk i fremtiden for de to klimascenariene RCP4.5 og RCP8.5. Og i kombinasjon med Tabell 4 ser vi hvordan denne potensielle forandringen fordeler seg på arealbrukskategoriene (basert på hvor arealbrukskategoriene befinner seg per i dag). Hovedtrekkene er at det vil være en nedgang i borealt fuktig klima, som utgjør store deler av Nord-Norge. Mye av den potensielle endringen ser ut til å skje der. Der vil det blant annet være en økning i kjølig temperert tørt klima. Og langt fram i tid (2071-2100) under en RCP8.5 scenario kan det forventes å finne klimasonen varmt temperert fuktig langs kysten på Vestlandet, Sørlandet og Østlandet. De aller fleste arealbrukskategoriene finnes i dag i klimasonen kjølig temperert fuktig, som er arealmessig den største klimasonen. Og relativt sett er det ikke forventet store endringer i arealfordelingen for denne klimasonen. Det betyr at det ikke forventes store endringer i estimatene for opptak/utslipp basert på reklassifisering av klimasoner for fremtidige klimascenarier fram til 2050 (perioden 2041-2060). Noen større endringer forventes på lenger sikt (2071-2100).



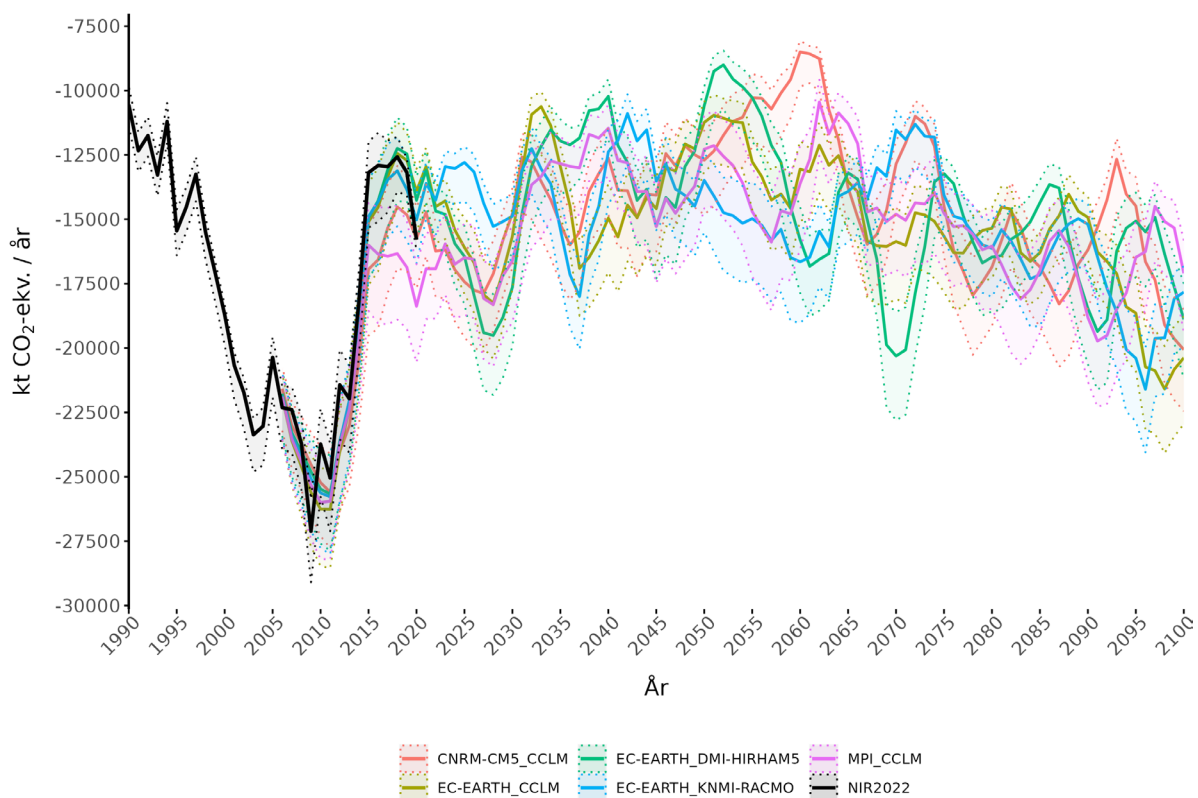
Figur 5. Kartbildene viser hvordan klimasonene vil endre seg geografisk i fremtiden for klimascenariene RCP 4.5 og RCP 8.5.

Tabell 4. Prosentvis fordeling av gjennomsnittsarealene for arealbrukskategoriene i dag (1990-2020) over klimasoner med dagens klima (1989-2018), og fremtidig klima i 2041-2060 og 2071-2100 for klimascenarier RCP4.5 og RCP8.5.

IPCC Klimasoner	Dagens klima	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
	1989-2018	2041-2060		2071-2100	
Skog					
Borealt tørt	1,45	1,39	0,40	0,06	
Borealt fuktig	1,00	0,22	0,14	0,01	
Kjølig temperert tørt	0,46	1,67	2,66	3,10	3,32
Kjølig temperert fuktig	35,54	35,17	35,25	35,28	33,81
Polart tørt					
Polart fuktig	0,01	0,01	0,01	0,01	
Varmt temperert fuktig					1,33
Dyrket mark					
Borealt tørt	0,02				
Borealt fuktig					
Kjølig temperert tørt	0,08	0,15	0,15	0,15	0,15
Kjølig temperert fuktig	2,77	2,73	2,73	2,73	2,27
Polart tørt					
Polart fuktig					
Varmt temperert fuktig					0,45
Beite					
Borealt tørt	0,74	1,70	1,30	0,42	
Borealt fuktig	10,34	6,06	4,76	4,33	1,11
Kjølig temperert tørt	0,10	0,84	1,33	2,35	3,64
Kjølig temperert fuktig	17,34	21,87	24,55	25,57	29,06
Polart tørt	0,01				
Polart fuktig	6,24	4,29	2,83	2,09	0,43
Varmt temperert fuktig					0,52
Vann og myr					
Borealt tørt	0,38	0,59	0,29	0,07	
Borealt fuktig	1,37	0,54	0,35	0,29	0,05
Kjølig temperert tørt	0,12	0,60	0,94	1,17	1,52
Kjølig temperert fuktig	8,95	9,28	9,58	9,66	9,52
Polart tørt					
Polart fuktig	0,60	0,40	0,26	0,22	0,04
Varmt temperert fuktig					0,29
Utbygd areal					
Borealt tørt	0,00				
Borealt fuktig				0,00	
Kjølig temperert tørt	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05
Kjølig temperert fuktig	2,05	2,04	2,04	2,04	1,60
Polart tørt					
Polart fuktig	0,00	0,00	0,00		
Varmt temperert fuktig					0,44
Annen utmark					
Borealt tørt	0,01	0,01	0,01	0,01	
Borealt fuktig	1,87	1,21	1,21	1,43	1,38
Kjølig temperert tørt	0,03	0,15	0,16	0,16	0,21
Kjølig temperert fuktig	3,19	4,26	4,80	4,99	7,15
Polart tørt	0,01	0,01			
Polart fuktig	5,29	4,75	4,21	3,80	1,54
Varmt temperert fuktig					0,11

3.3 Sensitivitetsanalyse for gjenværende skog under RCP4.5

Den kombinert usikkerheten i netto opptak for levende biomasse, død ved, strø og mineraljord i gjenværende skog relatert til bruk av forskjellige RCP4.5 klimamodeller (CNRM-CM5-CCLM, EC-EARTH-CCLM, EC-EARTH-DMI-HIRHAM5, EC-EARTH-KNMI-RACMO og MPI-CCLM) med simuleringsverktøy SiTree og Yasso07 modellen, pluss usikkerhetene relatert til strøtilførsel parametre (kjemisk sammensetning, strødiameter, utskiftningsrate), gir relativt stort utslag for hele arealbrukssektoren. Fra 2021 til 2050 viser simuleringen at netto opptak for arealbrukssektoren kan variere fra 9 561 til 21 820 kt CO₂-ekv. per år, med et gjennomsnitt netto opptak på 14 262 kt CO₂-ekv. per år. Gjennomsnitt netto opptak for det øvre og nedre estimatet for alle årene i perioden 2021-2050 er på henholdsvis 13 178 til 16 259 kt CO₂-ekv. per år (se Figur 6). Klimamodellene gir både direkte og indirekte utslag på estimatene. For levende biomasse gir klimamodellene noe spredning i estimatene (95% konfidensintervall på ±194 kt CO₂ per år og ±622 kt CO₂ per år for årene i hhv. 2030 og 2050, se kap. 2.2.2.2). Men dette er relativt lite sammenlignet med karbonendringen i summen av død ved, strø, og mineraljord (til sammen blir dette betegnet som jordkarbon). Her vil jordkarbonmodellen Yasso07, som brukes til å beregne karbonendring, påvirkes direkte av de forskjellige klimamodellene, da temperatur og nedbør er inndata til modellen. I tillegg er levende biomasseestimatene inndata for estimering av strøtilførsel som går inn i jordkarbonmodellen. Dermed vil klimamodellene ha en indirekte effekt på jordkarbonestimatene via estimatene for levende biomasse. Når dette kombineres med usikkerhetene til strøtilførselparameter, blir den totale usikkerheten for endringene i jordkarbon relativt stor. Jordkarbonendring er med til å gi en spredning på ca. 11 570 kt CO₂-ekv. over perioden 2021-2050. Dette tilsvarer ca. 94 % av spredning for perioden (se detaljer i kap. 2.2.3).

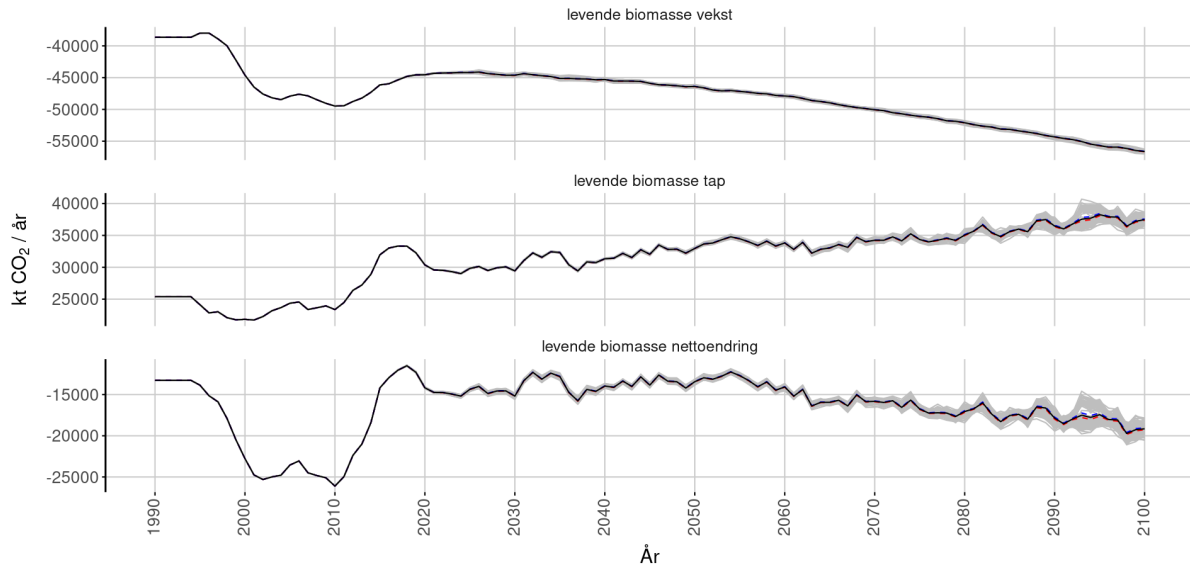


Figur 6. Illustrerte usikkerheter i framskrivningen av netto opptak for arealbrukssektoren under klimascenariet RCP4.5. Usikkerhetene i levende biomasse og jordkarbon i gjenværende skog er forårsaket av varians i klima- og strøtilførsel parametre. De fargete linjene illustrerer endringen som påvirkes av de forskjellige RCP4.5 klimamodellene. I tillegg er usikkerhetene i strøtilførsel fanget for hver klimamodell illustrert med en stiplet linje for øvre og nedre grense. Historisk data (NIR2022) med historisk klima (seNorge) er illustrert i svart farge.

3.3.1 Sensitivitetsanalyse for levende biomasse i gjenværende skog

3.3.1.1 SiTree stokastisitet i valg av flater for hogst

Fra de 100 kjøringene av SiTree ser vi at stokastisitet i valg av flater som hogges ikke skaper noen variasjon av betydning for estimatene for karbonendring i levende biomasse. Videre viser resultatene at stokastisitet for hogsten er av mindre betydning på kort sikt enn det er på lang sikt (Figur 7).



Figur 7. Levende biomasse vekst, tap og netto endring er presentert for de 100 simuleringene fra SiTree. Historiske tall fra Landsskogstakseringen er brukt fra 1990 til 2020. Pga. tilfeldigheter (stokastisk tilnærming) lagt til sannsynligheten for hogst av flater, vil det komme små variasjoner i estimatene for levende biomasse.

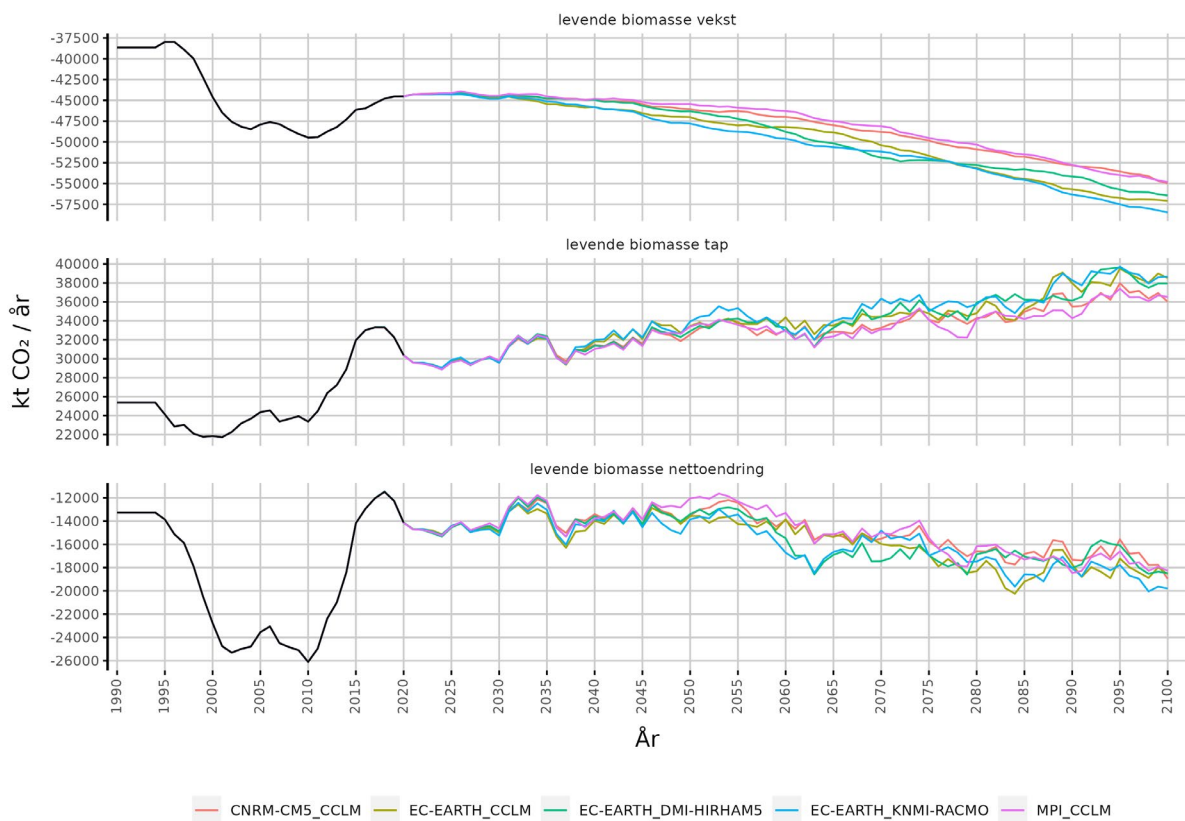
Avviket fra gjennomsnittet for levende biomassevekst er på ± 30 kt CO₂ per år og ± 24 kt CO₂ per år for årene i 2030 og 2050 hhv. Avviket fra gjennomsnittet for levende biomassetap er på ± 10 kt CO₂ per år og ± 21 kt CO₂ per år for årene i 2030 og 2050 hhv. Og avviket fra gjennomsnittet for nettoendring av levende biomasse er på ± 33 kt CO₂ per år og ± 32 kt CO₂ per år for årene i 2030 og 2050 hhv.

3.3.1.2 SiTree og RCP4.5 klimamodeller

SiTree simuleringene ble kjørt med hver av de enkelte klimamodellene, CNRM-CM5-CCLM, EC-EARTH-CCLM, EC-EARTH-DMI-HIRHAM5, EC-EARTH-KNMI-RACMO og MPI-CCLM, for RCP4.5.

Spredningen mellom de forskjellige estimatene for levende biomasse øker med tid.

For levende biomassevekst er 95 % konfidensintervall på ± 133 kt CO₂ per år og ± 794 kt CO₂ per år for årene i hhv. 2030 og 2050. For levende biomassetap er 95 % konfidensintervall på ± 92 kt CO₂ per år og ± 468 kt CO₂ per år for årene i hhv. 2030 og 2050. Og for nettoendring av levende biomasse er 95 % konfidensintervall på ± 194 kt CO₂ per år og ± 622 kt CO₂ per år for årene i hhv. 2030 og 2050.



Figur 8. Levende biomasse vekst, tap og nettoendring er presentert for SiTree. Historiske tall fra Landsskogtakseringen er brukt fra 1990 til 2020. Pga. et lite tilfeldighet (stokastisk tilnærming) lagt til sannsynligheten for hogst av flater, vil det komme små variasjoner i levende biomasse estimater.

3.3.2 Sensitivitetsanalyse for jordkarbon i gjenværende skog

For skog beregnes endringen i karbonlageret i mineraljord, død ved og strø samlet med modellen Yasso07. Endringer i karbonlageret oppstår ved at det ikke er balanse mellom nedbrytning av organisk materiale og tilførsel av organisk materiale. Høyere tilførsel enn nedbrytning gir karbonlagring, og motsatt gir tap. Yasso07 beregner nedbrytningen, og estimerer endring i jordkarbon (samlet for mineraljord, død ved og strø). Beregningene gjøres på hver enkelt Landsskogflate i skog, basert på klimadata for den enkelte flate (viktig for nedbrytningshastighet) og tilførsel av organisk materiale estimert basert på tremålinger (treslag, alder, bonitet, biomasse, osv.) på flaten.

Omregning til inngangsvariablen for tilførsel til bruk i Yasso07-modellen er et område hvor det er behov for mer kunnskap. Både størrelse på strøet og type strø (grovt vedaktig strø, fint vedaktig strø og ikke-vedaktig strø) inngår, og det er begrenset med nasjonal empiri til å estimere dette.

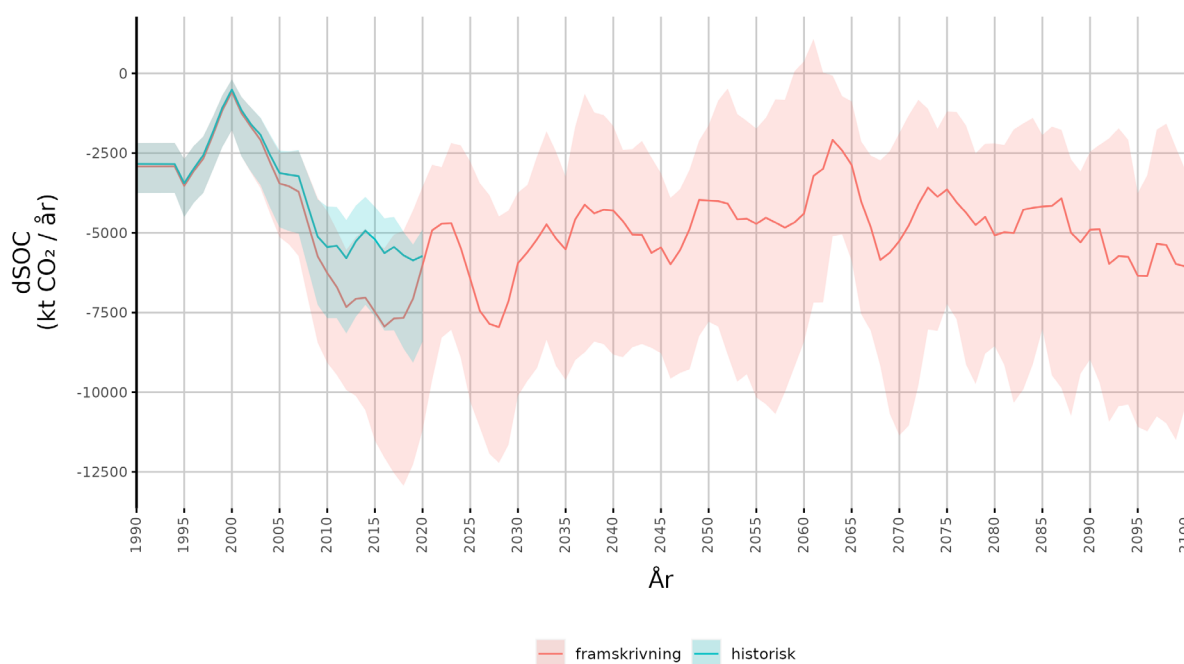
For eksempel, strø i form av døde nåler, blader og finrøtter fra den kontinuerlige produksjonen av dødt organisk materiale fra levende trær og annen type vegetasjon utgjør en betydelig del av mengden organisk materiale som går inn i Yasso07-modellen som inngangsverdier (se Bright mfl. 2020 suppl.). Spesielt er mengden organisk materiale som tilføres jorda (inngangsverdi i Yasso07) gjennom tilførsel av døde finrøtter utfordrende å sette tall på siden målinger er sjeldne og kostbare relativt til målinger som ligger bak biomassemodellene som danner bakgrunnen for mengden nåler og blader.

Vi ser her på betydningen for jordkarbonendringer av usikkerhet i strøtilførsel til Yasso07-modellen, men også på betydningen av usikkerhet relatert til de fem ulike klimamodellene i RCP4.5 scenariet.

I teksten videre vil jordkarbonendringer være referert til som dSOC (*eng. change in Soil Organic Carbon*). dSOC estimatene er summen av endringene for død ved, strø og mineraljord. Alle kjøringene med Yasso07-modellen er gjort på flater med mineraljord i gjenværende skog. Mer detaljert beskrivelse av bruken av Yasso07 i klimagassregnskapet og framskrivningen finner man i henholdsvis Miljødirektoratet mfl. 2022 og Mohr mfl. 2022.

Oppsummert viser dSOC resultatene fra sensitivitetsanalysen at parameteren strøstørrelse er svært viktig for nedbrytningen. Endringer av denne parameteren gir store utslag på dSOC estimatene (se detaljer i kap. 3.3.2.1). For den historiske perioden 1990-2020 viser det seg at det kan forventes et gjennomsnittlig netto opptak fra 2 873 til 5 419 kt CO₂ per år basert på øvre og nedre grense for strøtilførselparameteren. dSOC sitt gjennomsnittlige netto opptak fra NIR2022 for samme periode ligger på 3 650 kt CO₂ per år. Relativt til NIR2022 estimatet tilsvarer intervallet et avvik fra 21 % redusert og til 48 % økt opptak.

I framskrivningene vil usikkerheten for RCP4.5 klimascenariet inkluderes i tillegg usikkerheten til strøtilførsel parameter. For framskrivningsperioden 2021-2050 kan det forventes et gjennomsnitt nettopp opptak på 5 358 kt CO₂ per år, med et øvre og nedre intervall på 2 664 til 9 309 kt CO₂ per år. Dette tilsvarer et avvik på 50 % redusert og 74 % økt opptak relativt til gjennomsnittet. (se kap. 3.3.2.2 for detaljer).

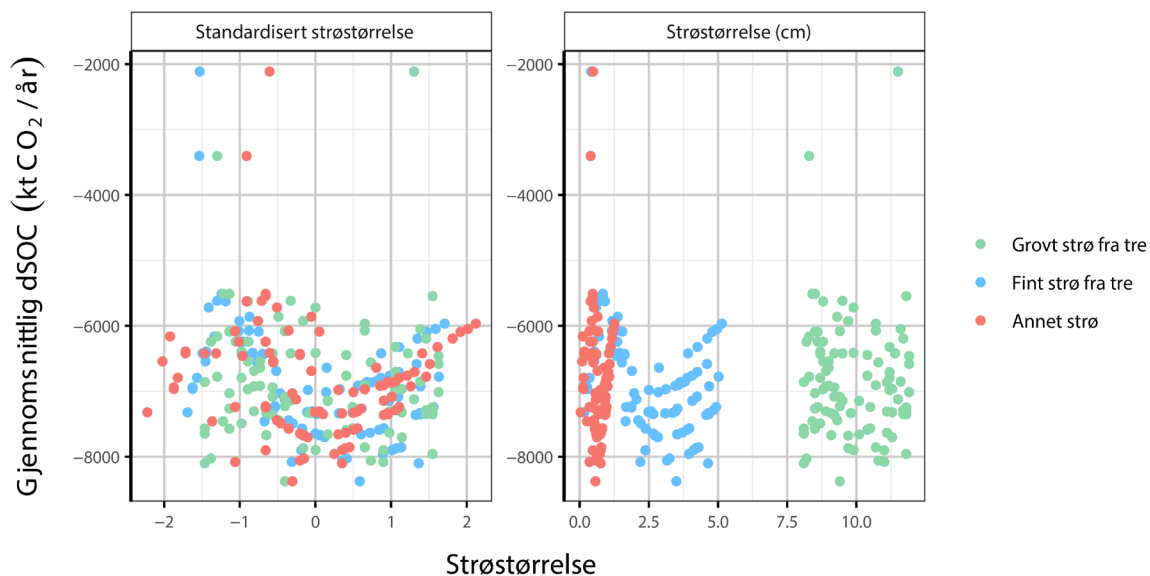


Figur 9. Oppsummerte usikkerheter i endringer i jordkarbon (dSOC) for historiske og framskrevete tall under klimascenariet RCP4.5. Historiske tall tilsvarer rapporterte estimater fra NIR2022 og beregnede usikkerheter basert på det øvre og nedre intervallet for strøtilførselparameterene. Framskrevete tall inkluderer i tillegg usikkerhetene assosiert med bruk av ulike klimamodeller for klimascenariet RCP4.5. Se detaljert oversikt i Figur 15.

3.3.2.1 Modellparametre for estimering av endring i jordkarbon (summen i endring av strø, død ved og mineraljord)

Strøstørrelse

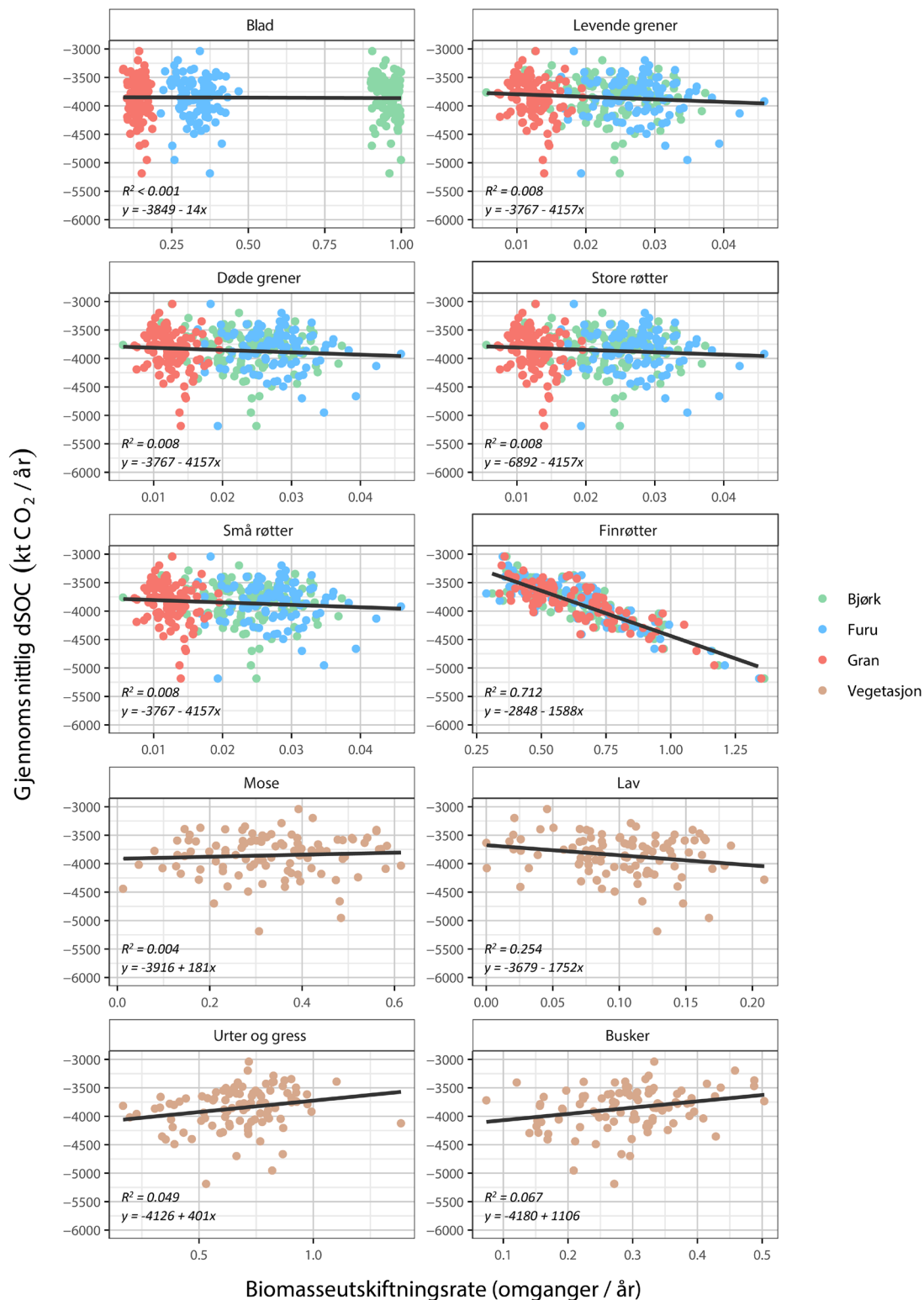
For hver simulering med ulike kombinasjoner av strøstørrelse varierte den gjennomsnittlige endringen i jordkarbon (dSOC, uttrykt som CO₂ per år). Desto mer negative verdier desto høyere akkumulering av karbon i jorda. Variasjon i strøstørrelse resulterte i at det gjennomsnittlige netto opptaket for jordkarbon varierte mellom ca. 6 000 og 8 000 kt CO₂ per år over perioden 1990-2020. Ulike kategorier av strøtyper (dvs. grovt vedaktig strø, fint vedaktig strø, og ikke-vedaktig strø) hadde tilsvarende effekt på karbonlagring med endret strøstørrelse (Figur 10). Forholdet mellom strøstørrelse og den gjennomsnittlige endringen i jordkarbon fulgte en ikke-lineær sammenheng, som kan ha sammenheng med interaksjonseffekter mellom størrelse og de andre parameterne i Yasso07. Effekten av strøstørrelse på endringen i jordkarbon er komplisert og ytterligere studier er nødvendig for å undersøke hvordan individuelle parametre interagerer med hverandre og styrer prediksjonen av jordkarbon under ulike klimatiske forhold.



Figur 10. Effekt av strøstørrelse på prediksjonen av den gjennomsnittlige endringen i jordkarbon (dSOC) simulert over 1990–2020. I venstre panel er strøstørrelsesverdiene standardisert ved å trekke gjennomsnittet fra verdiene og dele på standardavviket. Dette gjøres separat for hver størrelsesgruppe.

Utskiftningsrate

Den antatte variasjonen i utskiftningsraten (*eng.* turnover rate) i biomassen resulterte i at den gjennomsnittlige endringen i jordkarbon over tiden 1990-2020 varierte maksimalt mellom ca. -3 300 og -5 000 kt CO₂ per år (Figur 11). Økt utskiftningsrate av finrøtter resulterte i økende karbonakkumuleringsrater i jord ($R^2 = 0,71$; $y = -2848 - 1588x$). Effekten av endrede utskiftningsrater av andre biomassekomponenter hadde relativt sett en tilsynelatende ubetydelig effekt på den gjennomsnittlige karbonakkumuleringsraten i jord ($R^2 = <0,001-0,254$) (Figur 11).

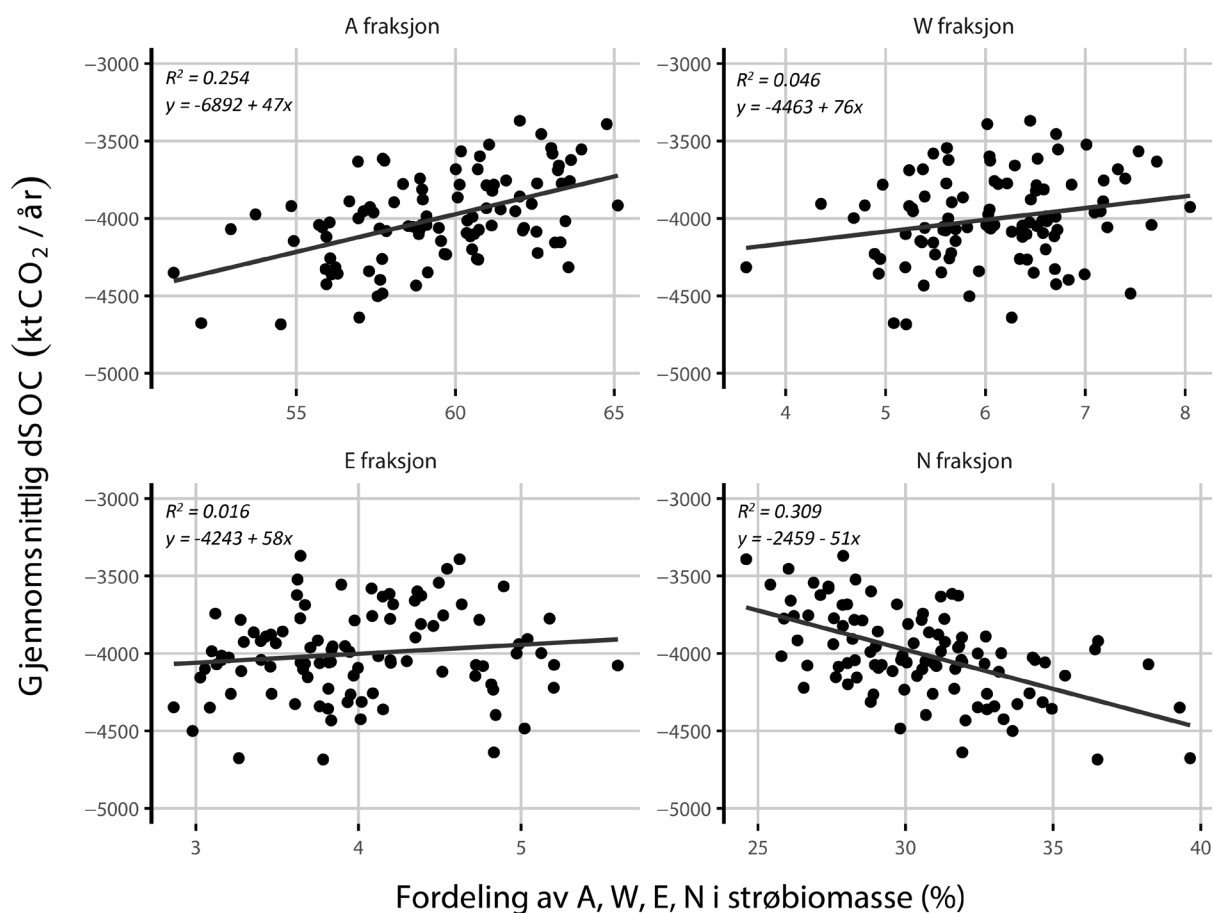


Figur 11. Effekt av biomasseutskiftningsrate (eng. turnover rate) på den gjennomsnittlige endringen i jordkarbon (dSOC) simulert fra 1990 til 2020. Den svarte linjen representerer lineær regresjon mellom utskiftningsraten og den simulerte endringen i jordkarbon.

Kjemisk sammensetning

Usikkerheten knyttet til den kjemiske sammensetningen av strøbiomasse, dvs. fraksjonen C som er løselig i syre (A), vann (W), etanol (E), eller uløselig (N), resulterte i at den gjennomsnittlige endringen i jordkarbon over perioden 1990-2020 varierte mellom ca. -3 700 og -4 500 kt CO₂ per år (Figur 12).

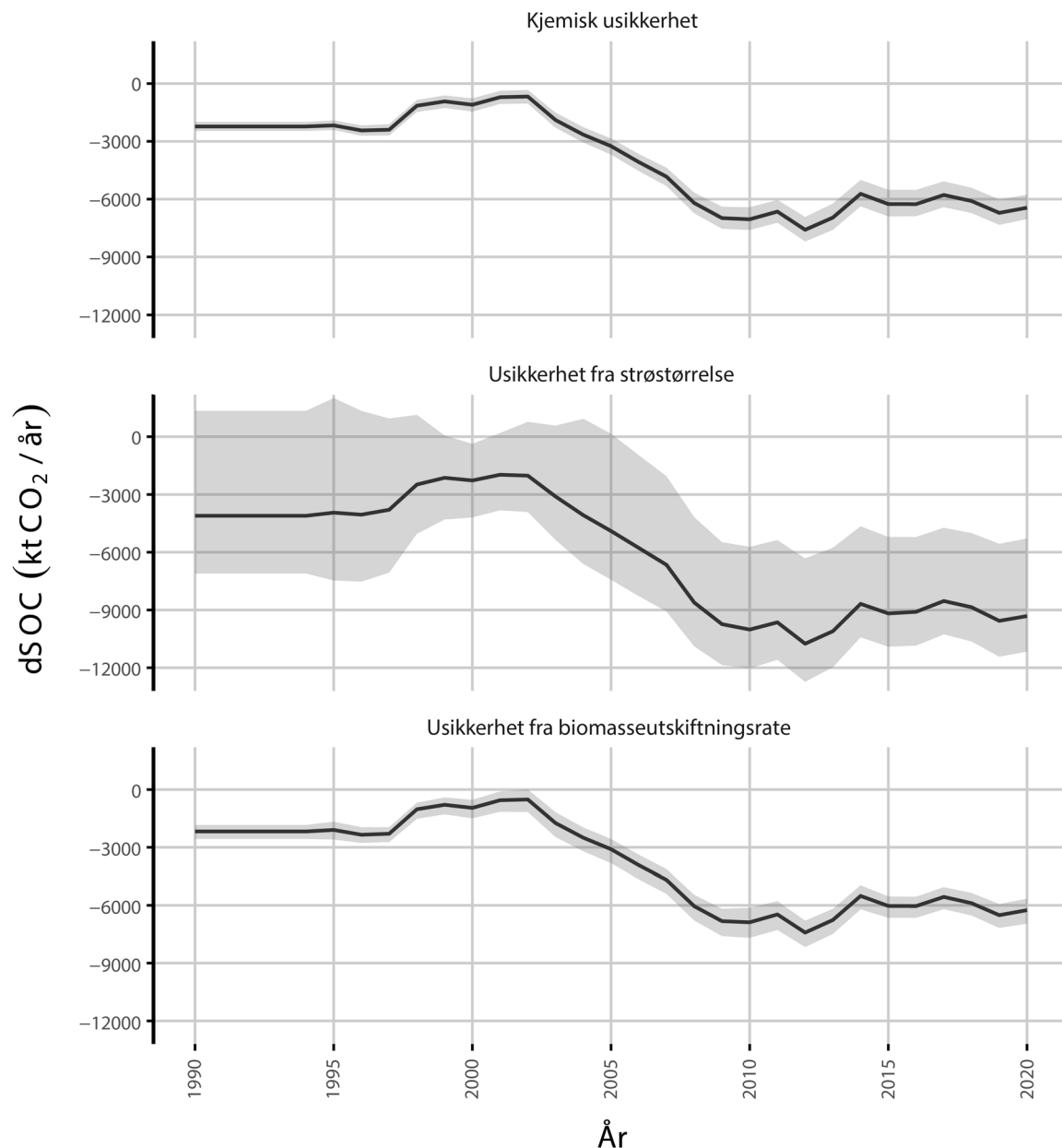
Den årlige endringen i jordkarbon avtok (dvs. mindre negativ dSOC) med økt forekomst av det som er syreløselig (fraksjon A) i strøbiomassen, noe som resulterte i akkumuleringshastigheter av jordkarbon som var positivt korrelert med en økt andel av uløselig (N-fraksjonen) i strøbiomassen (Figur 12).



Figur 12. Effekten av forskjellige kjemiske fraksjoner i biomasse på den gjennomsnittlige endringen i jordkarbon (dSOC) simulert over 1990-2020. Den svarte linjen representerer lineær regresjon mellom forskjellige kjemiske fraksjoner og prediksjon av endringen i jordkarbon.

Sammenligning av usikkerheten

Variasjon i strøstørrelse bidro imidlertid til størst usikkerhet i simuleringen (grafene midt i Figur 13). Usikkerhet knyttet til kjemisk sammensetning av biomasse, og usikkerhet knyttet til utskiftningsraten for biomasse økte med tiden, men var relativt konstant sammenlignet med usikkerheten knyttet til strøstørrelse. Gjennomsnittlig årlig netto opptak fra Monte Carlo (MC) simuleringene (100 kjøring) for den kjemiske usikkerheten varierte mellom ca. -700 til -7 600 kt CO₂ over perioden 1990-2020 (grafene øverst i Figur 13). Gjennomsnittlig årlig netto opptak fra MC-simuleringene for strøstørrelse varierte mellom -2 000 og -11 000 kt CO₂ og i kjøringen for biomasseomsetning varierte gjennomsnittsoptaket mellom -500 og -7 400 kt CO₂ (Figur 13).

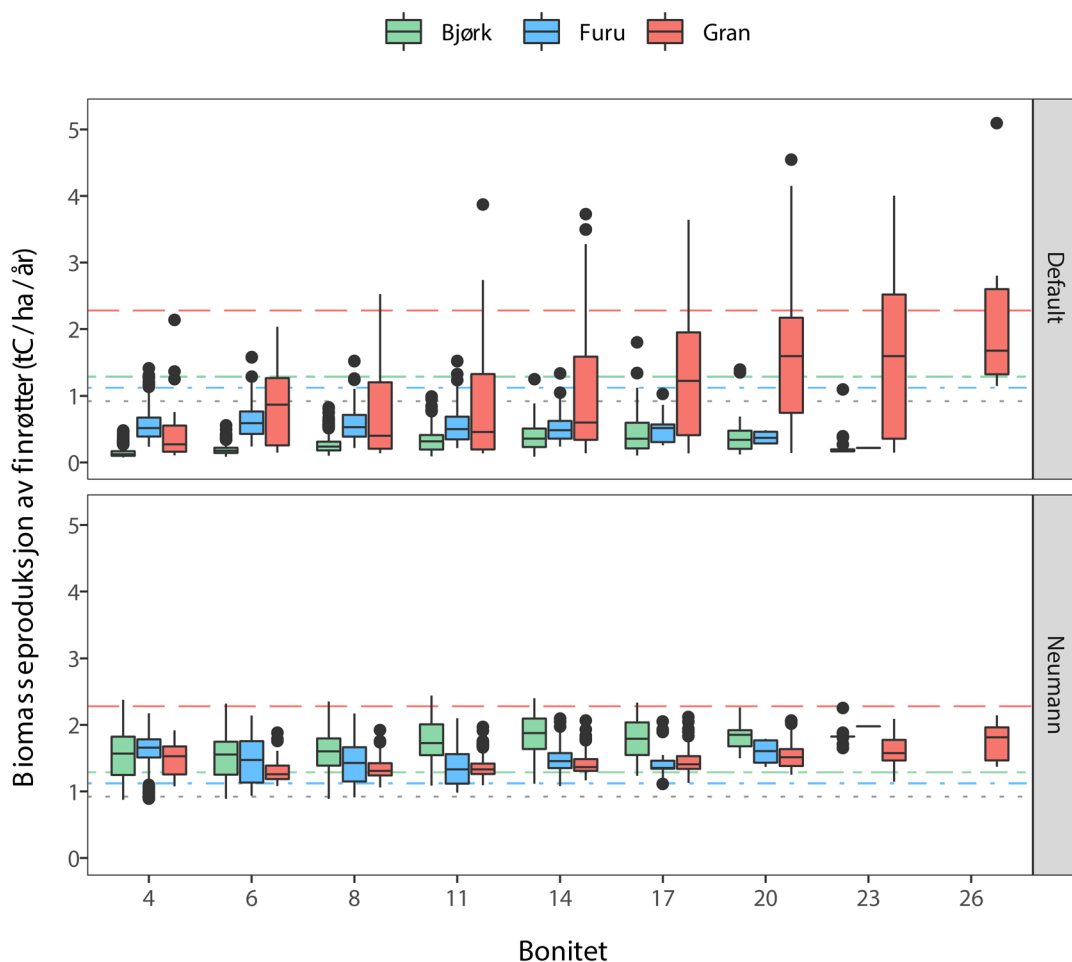


Figur 13. Simulerte årlige endringer i jordkarbon (dSOC) hvor usikkerhet i kjemi, strøstørrelse og biomasseomsetning er representert. Gråfarget område i panelene representerer 95 % konfidensintervall for prediksjonen. I panelet for strøstørrelse representerer det gråfargede området minimums- og maksimumsverdiene for prediksjonen. De svarte linjene i figurene representerer gjennomsnittsverdier fra Monte Carlo kjøringene.

Metodisk usikkerhet i produksjonsraten av organisk materiale fra finrøtter

Strø i form av døde nåler, blader og finrøtter fra den kontinuerlige produksjonen av dødt organisk materiale fra levende trær og annen type vegetasjon utgjør en betydelig del av den mengden organisk materiale som går inn i Yasso07-modellen som inngangsverdier (strøtilførsel, se ev. Bright mfl. 2020 suppl.). Spesielt er den mengden organisk materiale som tilføres jorda (strøtilførsel i Yasso07) gjennom tilførsel av døde finrøtter utfordrende å sette tall på gitt at målinger er sjeldne og kostbare relativt til målinger som ligger bak de biomassemodeller som danner bakgrunnen for mengden av nåler og blader. Basert på en norsk studie (på gran) er standardmetodikken i det norske klimagassregnskapet for årlig tilførsel av organisk materiale fra finrøtter fra trær estimert som 0,6 x (0,3 x barmasse), se tabell 6.15 og 6.16 i NIR2022. Biomassen og den årlige tilførselen fra finrøtter fra annen type vegetasjon enn trær (urter, busker) er som standard basert på data og biomassemodeller

fra Finland (treslags- og aldersavhengig, men ikke bonitetsavhengig), se side 6.52 – 6.53 i NIR2022; generelt med en antakelse om at det for urter og busker er dobbelt så mye biomasse i røtter som over jorden og at det hvert år dør 33 % av rotbiomassen (utskiftningsraten er 0,33). Felles for disse standardmetodikkene er at det estimeres en biomasse for finrøtter (t C/ha) og at en vis andel (utskiftningsraten/år) av denne biomassen dør hvert år og derved tilføres jorda. Dette er en veldig grov representasjon av det uhyre komplekse miljøet i jorda hvor også overføring av karbon mellom trær og mykorrhiza er en viktig del av virkeligheten, men ikke en eksplisitt del av beregningsmetoden (dvs. denne overføringen må sees som inkludert i den totale overføringen av karbon fra levende planter til jord, både gjennom røtter og mykorrhiza). For Landsskogflater med renbestand av lauv, gran eller furu med Landsskogregistreringer gjennomført i årene 2016-2020, er standard beregning av strø fra finrøtter (trær og annen vegetasjon) illustrert i den øverste del av Figur 14 for de ulike treslagene (renbestand) og bonitet, for eksempel er medianen for finrot inndata til Yasso07 for høy bonitet gran omtrent 1,5 t C/ha år) og mye lavere for dårlig bonitet. For både furu og lauv ligger standardestimatet for finrot inndata til Yasso07 langt under 1 t C/ha år uansett bonitet og spesielt for lauv er standard verdiene mye lavere enn for gran.



Figur 14. Produksjon av finrøtter og finrotstrø for ulike bonitetsklasser (H40) av gran, furu og bjørk/lauv. Øverst: standard estimert produksjon av strø fra finrøtter for renbestand av gran, furu og lauv (vises med box-plot og med variasjon for ulike bonitet) sammenliknet med noen få nordiske studier (vist med linjer, se teksten for flere detaljer om disse studiene). Stiplet grå linje er resultat for bruk av data fra Helmisaari mfl. (2007). Fargede linjer for finrotproduksjon er hentet fra resultatet fra Hansson mfl. (2013) av bjørk (grønn linje), furu (blå linje) og gran (rød linje). Nederst: finrotproduksjon (se tekst for detaljer, Neumann mfl. 2016) sammenliknet med samme nordiske studier som i øverste panel. (Bare i tilfeller der biomassen antas å være konstant vil finrotproduksjon være lik produksjonen av finrotstrø).

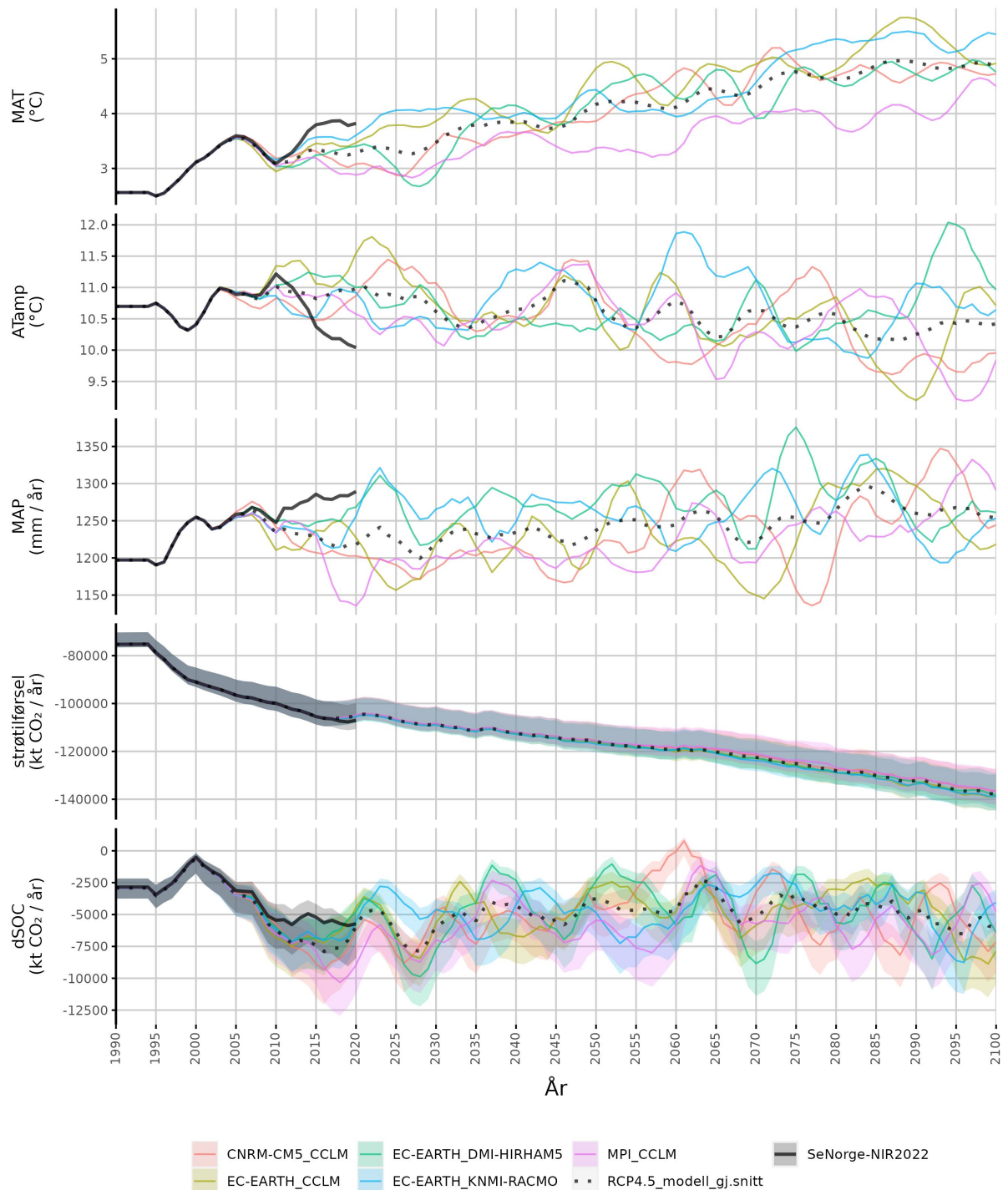
Feltstudier i Sverige (gran, furu og bjørk; alder ca. 50 år) og i Finland (furu og gran fordelt over hele Finland i ulike aldre og boniteter) gir anledning til å illustrere hvordan bruken av finrotbiomasser fra disse feltstudiene (i kombinasjon med en utskiftningsrate som tilsvarer våre standardverdier) vil gi utslag på mengden av tilførte finrøtter. Disse er illustrert i Figur 14 hvor bruk av data fra studien av Hansson mfl. 2013 resulterer i litt over 2 t C/ha år for gran og litt lavere (>1 t C/ha år) for bjørk og furu (stiplet linje rød, grønn og blå representerer tall fra studien av Hansson mfl. 2013. For hhv. Gran, bjørk og furu). Ved bruk av data fra studiet av Helmissaari mfl. 2007 (svart stiplet linje i Figur 14) er resultatet i underkant av 1 t C/ha år. Øverste panel i Figur 14 viser en sammenlikning mellom standard beregning av finrotstrøtilførsel til Yasso07 og estimatet som det ville blitt om man la studiene (finrotbiomasser) fra Sverige og Finland til grunn.

En Europeisk sammenlikning mellom total økosystemproduksjon estimert med terrestriske data (overvåkingsnettverk som den norske landsskogtakseringen) og satellittbaserte estimater (Neumann mfl. 2016) la til grunn en finrotproduksjon på økosystemnivå estimert fra middelklima (nedbør, temperatur) basert på en rekke studier. En slik klimabasert tilnærming vil for norske forhold gi et estimat på en finrotproduksjon som ligger en god del over vår standardmetode (Figur 14, nederst) og i en størrelsesorden som tilsvarer de grove estimatene beskrevet over (dvs. feltstudier på få steder i Sverige og Finland).

Målinger av finrot dynamikk i skog er innsatskrevende og vanskelig, og få tall eksisterer til å bygge modeller og robuste sammenhenger. Dertil er bruken av data (finrotproduksjon vs. biomasse x utskiftningsrate) viktig for å tilpasse den relevante skalaen. Den grove sammenlikningen vist her (over, Figur 14) av standardestimater til Yasso07 med andre mulige estimater viser at det potensielt er et betydelig sprik i for det første; nivået av finrotstrøtilførsel: standardverdien er generelt lav bortsett fra høy bonitets gran (se også for eksempel Bright mfl. 2020 suppl.) og for det andre viser standardmetoden en betydelig avhengighet av bonitet i gran som ikke nødvendigvis er reel og/eller for det tredje at standard finrotstrøtilførsel fra annen vegetasjon enn trær som standard kan være underestimert spesielt for lav bonitet og for bjørk og furu. Det har ikke innen rammene av denne rapport vært mulig å gjøre en systematisk gjennomgang av litteraturen for å identifisere de studiene globalt som vil være best å velge til å gjøre en eventuell oppdatering i standardmetoden, men sammenlikningene gjort her viser til at det potensielt kan være store usikkerheter knyttet til estimatene for finrotstrøtilførsel til Yasso07. En usikkerhet som kan påvirke både det nasjonale endringsestimatet (og jordkarbonlagrene som disse kommer av) og fordelingen av endringer til ulike skogstyper (bonitet, treslag). Det har ikke vært mulig å gjøre disse beregninger innen rammene av Monte Carlo kjøringene som er gjort for usikkerheter i andre elementer av Yasso07 modellmetoden (strøkjemi, strøstørrelse og utskiftningsrater). Dette kan gjøres i senere beregninger. Det understrekes at denne usikkerheten ikke er fullt representert i resultatet fra Monte Carlo-kjøringene som er vist over og i avsnitt 3.1.3.2.

3.3.2.2 Jordkarbonmodellen og RCP4.5 klimamodeller

De framskrevne usikkerhetene for jordkarbonendringer (dSOC) er presentert i Figur 15. Figuren viser tydelig at klima har størst betydning for de årlige svingningene. Strøtilførsel har en relativt stabil årlig usikkerhet. Det betyr at den er i liten grad påvirket av de årlige svingningene i levende biomasse simulert av SiTree (se Figur 7). De øvre og nedre grensene i usikkerheten for strøparameterene, biomasseomsetningsraten, kjemisk sammensetning, og strøstørrelse er konstant i tid, og betyr også mer for strøtilførselusikkerhetene, enn selve kjøringene av SiTree med forskjellige klimamodeller. Det er viktig å understreke at svingninger i levende biomasse har betydning for strøtilførsel, men SiTree simuleringer kjørt individuelt for hver av klimamodellene resulterte ikke i store nok forskjeller i de levende biomasseestimatene at det påvirket strøtilførselstimatene i så stor grad. Dette kan vi se i de fargete linjene for strøtilførsel. dSOC-usikkerhetene basert kun på nederst og øverste strøparameterene fanger vi i perioden 1990 til 2005 (også 1990-2020 for SeNorge-NIR2022 svart bånd). dSOC-usikkerhetene basert på kombinasjonen av SiTree for hver av klimamodellene og nederst og øverste strøparameter er det vi fanger opp i perioden 2006-2100, og synes i de fargete båndene. Fra 2021 til 2050 viser simuleringen at netto opptak for dSOC kan variere fra 645 til 12 215 kt CO₂ per år, med et gjennomsnitt netto opptak på 5 358 kt CO₂ per år. Gjennomsnitt netto opptak for øvre og nedre estimatet for alle årene i perioden 2021-2050 er på 2 664 til 9 309 kt CO₂ per år.



Figur 15. Simulering av usikkerheter i framskrivingene under klimascenariet RCP4.5 for jordkarbonendring (dSOC). Presentert er årlig gjennomsnitt temperatur (MAT), nedbør (MAP), og temperaturspredning/amplitude (ATamp, differansen mellom varmeste og kaldeste måned delt på to) for hver av de fem klimamodellene (fargete linjer). SiTree simuleringene er kjørt med hver av klimamodellene, som da resulterer i forskjellige levende biomasseestimer (se Figur 7), som så har en effekt på strøtilførsel til Yasso07 modellen. Videre er øvre og nedre grense for usikkerhetsestimatene for biomasseomsetningsraten, kjemisk sammensetning, og strøstørrelse (se Figur 13) brukt samlet i framskrivingen. Dette, i kombinasjon med de levende biomasseestimatene fra SiTree, øker ytterligere usikkerheten i strøtilførselen til Yasso07 modellen. Til slutt er usikkerhetsestimatene for dSOC beregnet for hver klimamodell med øvre og nedre grense for strøtilførselusikkerheten. Usikkerhetene for hver klimamodellkjøring er presentert med fylt farge. Klimamodellen brukt med SiTree-kjøringen skal aldri kombineres med en annen klimamodell i Yasso07-kjøringen. Mao. akkurat samme klimamodell som brukes i SiTree, skal brukes med Yasso07.

3.4 Sensitivitetsanalyse arealbruksendring

Avskoging og drenert organisk jord er de to mest sentrale utslippskildene i arealbrukssektoren.

3.4.1 Avskoging

Det er en vis usikkerhet i forhold til hvor mye areal som avskoges hvert år. Vi har testet ulike rater for avskogingsareal, dvs. økt og redusert avskoging i forhold til den trenden vi har i historiske data og bruker i grunnscenariet (*eng. business as usual*), og beregnet effekter på utslipp basert på disse. Dette har vi gjort ved å bruke øvre og nedre verdi fra 95 % konfidensintervallet for arealframskrivningen, og utført utslippsberegning for disse. Siden det årlige arealet som avskoges er relativt lite (ca. 6,1 kha per år) sammenliknet med totalarealet i Norge (ca. 32 378 kha), noe som gir få observasjoner, er arealusikkerheten relativt høy. Samtidig er utslippet knyttet til endringen relativt stort (i størrelsesorden 3 mill. tonn CO₂-ekvivalenter årlig jf. rapportering under Kyotoprotokollen). Det gjør at det kan gi signifikant betydning på samlet nettooptak for arealbrukssektoren, som illustrerte Figur 16.

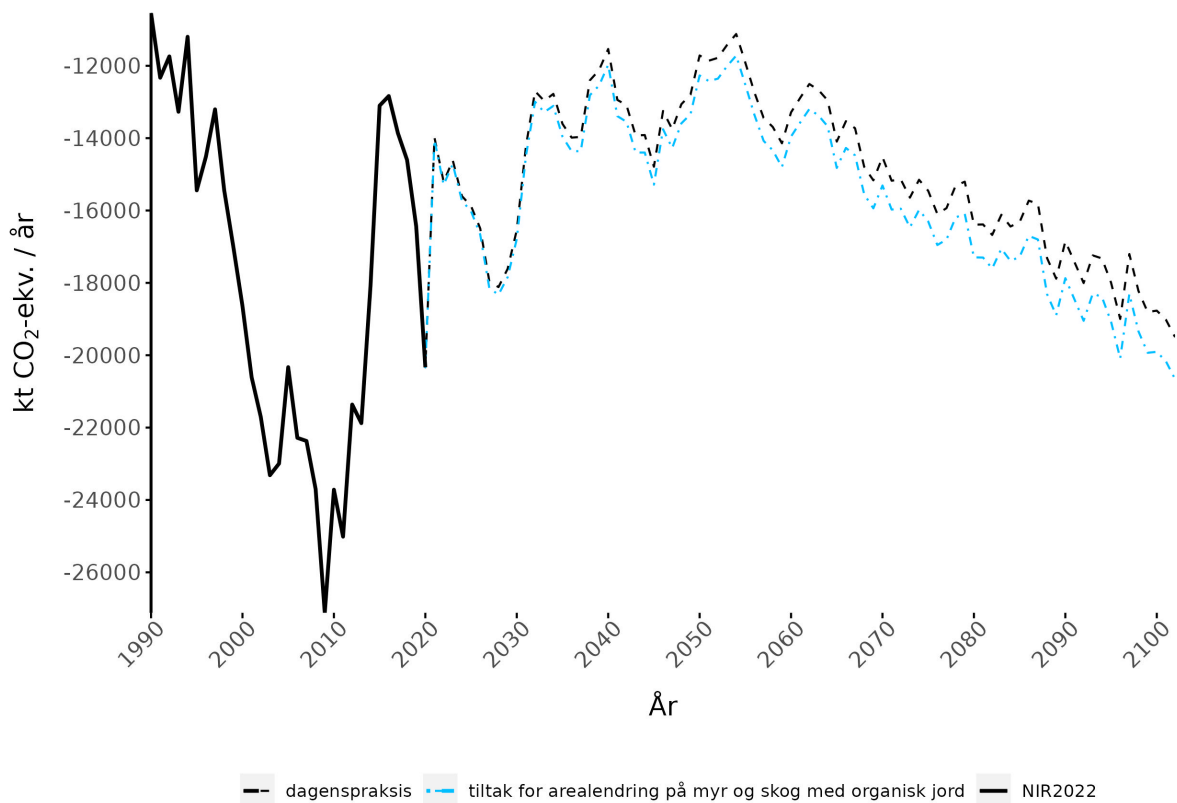


Figur 16. Totalt netto optak for hele sektoren når avskoging er på samme nivå som observert i referanseperioden 2006-2020 (svart linje), og med en øvre og nedre endringsrate basert på 95 % konfidensintervallet for arealendringene.

Med en øvre avskogingsrate på 11,3 kha per år (øvre 95 % konfidensintervall) kan vi forvente en økning i utslipp på 1 633 og 2 876 kt CO₂-ekv. per år for 2030 og 2050 hhv. Og med en nedre avskogingsrate på 1,5 kha per år (nedre 95 % konfidensintervall) kan vi forvente en reduksjon i utslipp på 1 412 og 2 467 kt CO₂-ekv. per år for 2030 og 2050 hhv.

3.4.2 Drenering og fjerning av organisk jord i skog og myr

Åpen og tresatt myr, samt skog på organisk jord, har lager med betydelige mengder karbon i den organiske jorda. Ved nedbygging der jorda fjernes beregnes dette som et umiddelbart utslipp. Drenering av myr for skogproduksjon er forbudt, men det dreneres åpen og tresatt myr, samt skog på organisk jord, for andre formål som for eksempel utbygging, nydyrking og omlegging til beite. Disse arealene vil ha et årlig utslipp frem til alt karbon er omdannet. I det nasjonale klimagassregnskapet er det et årlig utslipp i størrelsesorden 4,3 mill. tonn CO₂-ekv. årlig (gj.snitt 2006-2020). Dette er fra alt areal som har vært drenert i tidligere år og fjerning av organisk jord i forbindelse med arealendring til arealbrukskategorien utbygd areal. I de nasjonale framskrivningene er det forutsatt en videre trend med endring av åpen og tresatt myr, samt skog på organisk jord, til annen arealbruk tilsvarende det som er observert i referanseperioden (2006-2020). Vi har her laget et scenario hvor all slik arealbruksendring stanses. Det utgjør stans i arealbruksendring på om lag 1,2 kha per år. Det vil føre til en reduksjon i utslipp på 251 og 552 kt CO₂-ekv. per år i 2030 og 2050, hhv (Figur 17). Ettersom arealet som dreneres vil ha årlige utslipp, vil effekten av en eventuell stans i slike arealoverganger ha økt effekt med tid ettersom areal akkumuleres.



Figur 17. Totalt netto opptak for hele sektoren med arealbruksendring fra åpen og tresatt myr, og skog på organisk jord, til annen arealbruk på samme nivå som observert i referanseperioden (svart linje), og et scenario hvor slike endringer ikke skjer (blå linje).

Litteraturreferanser

- Breidenbach, J., Eiter, S., Eriksen, R., Bjørkelo, K., Taff, G., Sjøgaard, G., Astrup, R. A. (2017). Analyse av størrelse, årsaker til og reduksjonsmuligheter for avskoging i Norge. NIBIO-Rapport 3(152). 56 s.
<http://hdl.handle.net/11250/2477867>
- Bright, R.M., Allen, M., Antón-Fernández, C., Belbo, H., Dalsgaard, L., Eisner, S., Granhus, A., Kjønås, O.J., Sjøgaard, G., Astrup, R. 2020. Evaluating the terrestrial carbon dioxide removal potential of improved forest management and accelerated forest conversion in Norway. *Global Change Biology*. DOI: 10.1111/gcb.15228
- Hansson, K., Helmisaari, H., Sah, S.P. and Lange, H. 2013. Fine root production and turnover of tree and understorey vegetation in Scots pine, silver birch and Norway spruce stands in SW Sweden. *Forest Ecology and Management*. 309:58–65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.022>
- Helmisaari, H., Derome, J., Nöjd, P., Kukkola, M. 2007. Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands. *Tree Physiology* 27, 1493–1504.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. og Tanabe, K. (red.). Publisert: IGES, Japan.
- Lussana, C., Tveito, O. E., Dobler, A. og Tunheim, K. 2019. seNorge_2018, daily precipitation, and temperature datasets over Norway. *Earth Syst. Sci. Data* 11, 1531–1551.
- Miljødirektoratet, Statistisk sentralbyrå og Norsk institutt for bioøkonomi. 2022. Greenhouse Gas Emissions 1990 – 2020, National Inventory Report. Report M-2268.
- Mohr, C. W., Sjøgaard, G., Alfredsen, G., Antón-Fernández, C., Hobræk, K. og Sevillano, I. 2022. Framskrivninger for arealbrukssektoren (LULUCF) under FNs klimakonvensjon og EUs klimarammeverk. NIBIO-Rapport 8(124). 150 s. <https://hdl.handle.net/11250/3023928>
- Neumann, M., Moreno, A., Thurnher, C. mfl. 2016. Creating a Regional MODIS Satellite-Driven Net Primary Production Dataset for European Forests. *Remote Sens.* 2016, 8, 554; doi:10.3390/rs8070554.
- NVE. 2016. Gridded 1 x 1 km climate and hydrological projections for Norway. NVE Report no. 59 – 2016. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_59.pdf
- Svensson, A. (2021). Bærekraftig skogbruk i Norge: Alder og utviklingstrinn. <https://www.skogbruk.nibio.no/alder-og-utviklingstrinn>
- Tuomi M., Rasinmäki, J., Repo, A., Vanhala, P., Liski, J. 2011. Soil carbon model Yasso07 graphical user interface. *Environmental Modelling & Software* 26 (2011) 1358e1362
- VKM. 2022. Impacts of climate change on the boreal forest ecosystem – Scientific Opinion of the Panel on Alien Organisms and Trade in Endangered species (CITES) of the Norwegian Scientific Committee for Food and environment. VKM Rapport 2022:15. <https://vkm.no/download/18.1e2d4d5a18053e243c18509e/1651210236085/Impacts%20of%20climate%20change%20on%20the%20boreal%20forest%20ecosystem.pdf>

Vedlegg 1 Oppdragsteksten

Bestilling deloppdrag 2: Sensitivitetsanalyser for framskrivningene for skog- og arealbrukssektoren (LULUCF) (28. oktober 2022)

Klima og miljødepartementet viser til delbestilling 1, Framskrivning av utslipp og opptak i skog- og arealbrukssektoren av 25. januar 2022. Klima og miljødepartementet sender med dette delbestilling 2, der vi ber NIBIO om å gjennomføre sensitivitetsanalyser og analyser av sentrale parametere og forutsetninger for framskrivningene.

Bakgrunn

Norge har flere rapporteringsforpliktelser på klimaområdet, både til FN under Klimakonvensjonen og Parisavtalen, til ESA i henhold til klimaavtalen med EU, og til Stortinget etter klimaloven. Klimaloven stiller krav om at regjeringen hvert år til Stortinget skal redegjøre for status og fremgang mot klimamålene. Siden klimaloven ble vedtatt har redegjørelsen etter klimalovens § 6 vært i Klima- og miljødepartementets budsjettproposisjon som blir lagt frem i oktober hvert år. Gjennom FNs klimakonvensjon og Parisavtalen er Norge forpliktet til å rapportere på klimapolitikk og fremgang mot målene. I 2022 skal det leveres to rapporter til FN innen 31. desember 2022 (Biennial Report og National Communication). I tråd med klimaavtalen med EU må Norge rapportere på hvordan vi ligger an til å nå forpliktelsene i avtalen, denne rapporten skal leveres i mars 2023. De fleste av disse rapporteringene skal inneholde noenlunde samme informasjon, men med noen nyanser og med ulike formkrav. Alle Norges klimarapporteringer skal inneholde en status for hvordan vi ligger an til å nå klimamålene og hvilken politikk som er på plass for å nå målene. Som underlag for å rapportere på status for oppfyllelse av klimamål ligger klimagassregnskapet, informasjon om nasjonal klimapolitikk og virkemidler, framskrivninger av utslipp og opptak av klimagasser med eksisterende politikk og effektberegninger av planlagt politikk.

Bestilling – deloppdrag 2

Departementet ønsker at det gjennomføres sensitivitetsanalyser, analyser av sentrale parametere og forutsetninger. Til sensitivitetsanalysene kan det for eksempel tas utgangspunkt i:

- Effekt av endret klima: Klimascenariot RCP8.5, og et gjennomsnitt av RCP4.5 (BAU-scenariet) og RCP8.5, frem til 2050.
- Effekt av arealbruksendringer: avskoging og overganger fra myr til jordbruksformål eller utbygging
- Belyse usikkerheter knyttet til hvordan inndata for strø, og eventuelt andre relevante andre faktorer, påvirker karbonendring i skogsjord modellert med Yasso07

Vedlegg 2 Bakgrunnstall til figurene

Excel-fil for tallene bak Figur 3, 4, 6-9, 15-17 er registrert som tillegg til rapporten; NIBIO Rapport, 9(50) 2023, Vedlegg 2.

https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/item/2539d41c-7f24-4211-a8b9-0caf263f18b5/NIBIO_RAPPORT_2023_50_Vedlegg2.xlsx?sequence=4&isAllowed=y

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

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

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

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