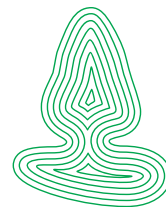


Oppdragsrapport
fra Skog og landskap

16/2010



UTVIKLINGSSCENARIOER FOR KARBONBINDING I NORGES SKOGER

skog+
landskap

NORSK INSTITUTT FOR
SKOG OG LANDSKAP

Rasmus Astrup, Lise Dalsgaard, Rune Eriksen og Gro Hysten



UTVIKLINGSSCENARIOER FOR KARBONBINDING I NORGES SKOGER

Rasmus Astrup, Lise Dalsgaard, Rune Eriksen og Gro Hylén

Omslagsfoto: Utsyn fra skogsområde i Voss, Hordaland.

Fotograf: Volkmar Timmermann, Skog og landskap

Norsk institutt for skog og landskap, Pb 115, NO-1431 Ås

SAMMENDRAG

I juni 2009 ble Norsk Institutt for Skog og Landskap bedt om å bistå Landbruks- og Matdepartementet samt Statens Forurensningstilsyn med en analyse av endringene i skogens fremtidige karbonlager under alternative skogbruksscenarioer. Prognosene skal brukes til å avdekke ulike konsekvenser av regelverket for skog og arealbruk i Kyoto-protokollen for forpliktelsesperioden etter 2012. Med utgangspunkt i St. meld. nr. 39 vurderes i denne rapporten 4 scenarioer for det fremtidige skogbruket i Norge: Scenario 1 er en videreføring av dagens hogst, som utgjør 10 millioner m³, og skogkulturinnsats hvor det plantes om lag 20 millioner planter; Scenario 2 forutsetter at hogsten økes til 15 millioner m³ per år, og at det plantes omkring 50 millioner planter årlig; Scenario 3 forutsetter at hogsten økes til om lag 15 millioner m³ per år, og at planteintensiteten er økt i forhold til Scenario 2 til omkring 70 millioner planter årlig; Scenario 4 forutsetter at hogsten økes til om lag 15 millioner m³ per år. Planteintensiteten (planter per arealenhet) er den samme som i Scenario 1, men med økt avvirkning blir det ca. 30 millioner planter per år.

For alle scenarioene antar vi en gjennomsnittlig temperaturøkning på 1,5 °C fra dagens nivå til 2107 – 100 år frem. Dette er i overensstemmelse med målet med den norske klimapolitikk, som er å arbeide for å begrense den menneskeskapte temperaturøkning til 2 °C fra før industrialiseringen. Beregninger for historiske tall er gjennomført for perioden 1998-2007 og prognoser for perioden 2008-2107.

Frem til 2007: Binding av karbon (uttrykt i karbondioksid, CO₂) i levende biomasse er basert på Landsskogtakseringens data over trehøyde og diameter til levende trær på skogmark under barskogrensa. Biomassen er beregnet ved hjelp av publiserte biomassefunksjoner. CO₂ bundet i jord og død ved er beregnet ved hjelp av jordmodellen Yasso med input tilbake til 1960. Arealbruk og arealbruksendringer er som rapportert til FN's Klimakonvensjon for sektoren Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF).

2008-2107: Fremskrivningen av levende biomasse, samt biomasse i jord og død ved i den produktive skogen, er utført med prognoseprogrammet AVVIRK-2000 med i) en økt produktivitet ved temperaturøkning, ii) en direkte kobling til jordmodellen Yasso og beregning av input til modellen, samt iii) inklusjon av biomasseberegninger og iv) en modifisert mortalitetsrate for gammel skog. For den uproduktive skog er tilveksten i levende biomasse estimert vha. Landsskogtakseringens data. Endringer i biomassen i jord og død ved for uproduktiv skog er estimert med Yasso med input tilbake til 1960. Endringer i CO₂-lager fra arealendringer er basert på endringer observert i perioden 2004-2008.

Resultater fra de ulike scenarioer for skogbruk viser at en intensivering av hogsten resulterer i fallende CO₂-opptak i skogen. Effekten er størst midt i prognoseperioden. Forskjellene minker kraftig mot 2107, hvor alle scenarioene har et årlig opptak på 7-11 millioner tonn CO₂. En intensivering i kulturinnsatsen (forskjell mellom scenario 2, 3 og 4) gir økt opptak fra ca. 2037 og fremover. En økning på 20 millioner planter (scenario 2 vs. 3) gir et økt opptak på i overkant av 1 millioner tonn CO₂ ved prognosens slutt. Størst opptak i stående biomasse og den største nettotilførsel til jord og død ved ses i scenario 1 – dagens skogsdrift. Lavest opptak ses i scenario 4. Medtas den biomasse som er tatt ut i hogst i det samlede estimat for opptak i skog, forblir scenario 1 det alternativ med høyest CO₂-opptak i de første ca. 70 år. Deretter er opptaket størst i scenario 3.

Prognosene inkluderer ikke effekter fra vanskelig forutsigbare hendelser som for eksempel stormskader, brann og angrep av sopp og barkbiller som er en naturlig del av skogens dynamikk. Disse kan i enkelte år, eller over en kort årrekke, ha en stor effekt på karbonbindingen, og et

endret klima vil kunne øke både deres frekvens og intensitet. Effekten av økt vern av skog er ikke inkludert direkte, men mulige effekter er vurdert.

Usikkerhet: det er alltid ganske stor usikkerhet knyttet til prognoser, og det er også tilfellet for resultatene presentert i denne rapporten. Resultatene er både på kort og lang sikt veldig følsomme overfor konjunktursvingninger og den tilknyttede effekten på aktiviteten i skogbruket. På lang sikt er prognosene veldig avhengige av klimautviklingen og de faktiske effekter disse medfører for skogens helse og vekst. Det er også knyttet usikkerhet til de historiske estimatene/resultatene, men, disse er små i forhold til usikkerheten i prognosene. Så langt er rapporteringen for LULUCF -sektoren stadig en prøverapportering, og endringer kan forventes inntil den endelige rapporten ferdigstilles.

SUMMARY

In June 2009 the Norwegian Forest and Landscape Institute was asked to assist the Ministry of Agriculture and Food (Landbruks og Matdepartementet) and the Climate and Pollution Agency (the former "Statens Forurensningstilsyn", now "Klima- og forurensningsdirektoratet") in an analysis of the changes in the future carbon stocks in Norwegian forests considering a number of alternative scenarios for the future forest management. The resulting prognoses are used to evaluate the effects of different rules under consideration for the accounting in the Kyoto-Protocol after 2012. Based on the government report (St. meld. nr. 39), four scenarios for the future forest management are considered in this analysis: Scenario 1 is a continuation of the current forest management practices with an annual harvest intensity of 10 million m³ and a planting intensity of 20 million plants per year. Scenario 2 assumes an increase in the harvest intensity to an annual harvest of 15 million m³, and a planting intensity of 50 million plants annually; Scenario 3 assumes an annual harvest of 15 million m³, and a planting intensity of 70 million plants annually; Scenario 4 assumes an annual harvest of 15 million m³, and a planting intensity of 30 million plants annually, which equals the planting intensity, per hectare, as in Scenario 1.

We assume an average increase in temperature of 1.5 °C in all scenarios from the current level until 2107 – 100 years from now. This is in accordance with the official Norwegian goal which is to limit the human induced temperature increase to 2 °C counting from before the industrialisation. Calculations are based on historical data for the period 1998-2007 and prognoses are produced for 2008-2107.

Historical data 1998-2007: Calculations of the accumulation of carbon (expressed as carbon dioxide, CO₂) in living biomass is based on data from the National Forest Inventory (NFI) on height and diameter of living trees in forests below the coniferous timberline. Biomass is estimated from published biomass functions. CO₂ accumulated in soil and dead wood is estimated using the decomposition model "Yasso" with an input time series going back to 1960. Land use and land use changes are identical to those submitted to the United Nations Framework Convention on Climate Change for the sector "Land use, Land-use Change and Forestry" (LULUCF).

Prognoses 2008-2107: Prognoses of live biomass and biomass in soil and dead wood in the productive forests are based on the stand simulator AVVIRK-2000 with i) increased productivity with increasing temperature, ii) an interface to the decomposition model "Yasso" and calculations of input to this model, iii) biomass estimation and iv) a modified mortality rate in old forests. For unproductive forests the accumulation of living biomass was estimated from NFI data. Accumulation in soil and dead wood for unproductive forests is estimated using "Yasso" with input going back to 1960. Changes in CO₂ -stock from land use changes are based on observed changes 2004-2008.

Results from the four scenarios for forest management show that an intensification of harvest will result in a decrease in the CO₂ accumulation. This effect is largest in the middle of the prognoses period. Differences among the scenarios decrease toward the end of the prognoses where all scenarios show an accumulation of 7-11 million ton CO₂ annually. Increasing the planting intensity (differences among scenarios 2,3 and 4) results in an increased accumulation rate from approximately year 2037. An increase of 20 million plants per year (scenario 2 vs. 3) results in an increased accumulation rate of approximately 1 million ton CO₂ at the end of the prognoses period. The largest accumulation rate in living biomass and the largest net accumulation in soil and dead wood are found in scenario 1 – current forest management. The lowest accumulation is found in scenario 4. If the harvested biomass is included in the total estimate for accumulation in the forest, scenario 1 is the management scenario with the highest accumulation for the first approximately 70 years and after that time, scenario 3 shows the largest accumulation rate.

These prognoses do not include effects of stochastic processes and naturally occurring calamities such as wind damage, fire or large scale forest pest attacks. Such damages may have a significant impact on carbon accumulation for one or several years. In a changing climate such damages may increase in both their frequency and their intensity. Also, any effects of increased forest preservation/conservation on carbon accumulation are not included in the prognoses but some aspects and possible effects are discussed.

Uncertainties: Uncertainties in the prognoses are strongly related to socio-economic processes determining wood prices and the profitability of intensive forest management in general, both on the short and the long term. On the long term the prognoses depend on the development in the actual climate and its effects on forest productivity and health. Uncertainties in the historic calculations (before 2008) are small compared to those of the prognoses, but it must be kept in mind that the submission is still a test-submission and changes and improvements are to be expected.

Nøkkelord:	Klimaendring, LULUCF, karbon sluk, karbon kilde, Kyoto, Klimakonvensjon, prognose, UNFCCC
Key words:	Climate change, LULUCF, carbon sink, carbon source, Kyoto, Climate convention, prognosis, UNFCCC
Andre aktuelle publikasjoner:	National Inventory Report 2009 Norway. TA2507, 2009. Statens Forurensningstilsyn. National Inventory Report. Greenhouse Gas Emissions 1990-2008. Climate and Pollution Agency. TA 2639.

INNHold

0. Introduksjon	1
1. Utviklingsscenarier for skogen.....	1
1.1. Skogsdrift	1
1.2. Klima	2
2. Metoder for historisk beregning og fremskrivning av karbonlageret i skog.....	3
2.1. Anvendelse av data og tidsperioder.....	3
2.2. Beregning av karbon i levende biomasse.....	3
2.2.1. Levende biomasse frem til 2007	3
2.2.2. Fremskrivning av levende biomasse for produktiv skog.....	4
2.2.3. Fremskrivning av levende biomasse for uproduktiv skog.....	4
2.3. Beregning av karbon i jord og død ved.....	4
2.3.1. Karbon i jord og død ved fra 1960 til 2007	4
2.3.2. Fremskrivning av død ved og jordkarbon for produktiv skog.....	5
2.3.3. Fremskrivning av død ved og jordkarbon for uproduktiv skog.....	6
2.4. Arealendringer – overgang til og fra skog.....	6
3. Prognoser for karbonopptak i skog i Norge (2007 – 2107).....	8
3.1. Scenario 1	8
3.2. Scenario 2	10
3.3. Scenario 3.....	11
3.4. Scenario 4.....	12
3.5. Sammenligning av scenarier.....	13
3.6. Vurdering av usikkerhet.....	15
4. Rapporteringsformat for innledende COP15 forhandlinger	18
4.1. Bakgrunn.....	18
4.2. Beregningsmetode og resultater - tabell i rapporteringsformat.....	18
5. Andre faktorer som kan påvirke karbonopptaket i skog	20
6. Referanser	21
7. Appendiks A: Jordmodellen Yasso.....	23
8. Appendiks B: Forutsetninger for skogskjøtsel i prognoseberegningene.....	24
9. Appendiks C: Forutsetninger for temperaturavhengig bonitetsheving.....	26
10. Appendiks D: Figures with English titles	27

FORORD

I juni 2009 ble Norsk Institutt for Skog og Landskap bedt om å bistå Landbruks- og Matdepartementet og Statens Forurensningstilsyn med en analyse av de fremtidige endringene i skogens karbonlager under ulike skogbruksscenarioer. Analysen er en utvidelse av resultater presentert av Landbruks- og Matdepartementet i St. meld. nr. 39 (2008-2009) "Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen".

Formålet med denne rapporten er å utvikle prognoser for skogens utvikling, spesifikt hvordan karbonlagring i skog – trær, jord og død ved – forventes å endre seg over tid. Prognosene skal brukes til å avdekke ulike konsekvenser av regelverket for skog og arealbruk i Kyoto-protokollen for forpliktelsesperioden etter 2012.

Knut Øistad og Jon Olav Brunvatne har vært kontaktpersoner for Landbruks- og Matdepartementet, mens Audun Rosland og Hege Haugland har vært kontaktpersoner ved Klima- og forurensningsdirektoratet (tidligere Statens Forurensningstilsyn). Øystein Dale har vært kontaktperson ved Norsk Institutt for Skog og Landskap.

Vi takker Kåre Hobbelstad for innspill og effektiv programmering av de nødvendige endringer i prognosemodellen.

INTRODUKSJON

I klimaforhandlingene jobber man med et rammeverk for andre forpliktelsesperiode for Kyoto-protokollen etter 2012. Dette skjedde som en forberedelse til forhandlingene i København - COP15 og fortsetter i nåværende forhandlingsprosesser.

Med basis i Kyoto-protokollen reguleres opptak og utslipp av karbondioksid (CO₂) fra skog i hovedsak gjennom Artikkel 3.3 og 3.4 for første forpliktelsesperiode 2008–2012.

Norge og flere andre land har som målsetting at skog og arealbruk må tas med og behandles på en mer helhetlig måte i en eventuell ny klimaavtale etter 2012. I neste forpliktelsesperiode bør det foreligge et regelverk som gir insitamenter til en mer klimavennlig skog- og arealforvaltning.

Det er foreløpig ikke tatt beslutninger om utformingen av regelverket for skog og arealbruk i Kyoto-protokollen for en eventuell forpliktelsesperiode etter 2012. Det arbeides imidlertid med alternative løsninger. Flere alternativer hviler på prinsipper om å innføre terskelverdier (bar) eller referansebaner (baseline) for utviklingen av nasjonale skogressurser. Som en støtte til arbeidet med forhandlingene om disse alternative løsningene, er det behov for å gjøre noen vurderinger av deres konsekvenser. Formålet med denne rapporten er å utvikle prognoser for skogens utvikling, spesifikt hvordan karbonlagring (uttrykt i CO₂) i skog – trær, jord og død ved – forventes å endre seg over tid. Fire ulike scenarier for den fremtidige skogsdriften er lagt til grunn for prognosene. Prognosene skal brukes til å avdekke ulike konsekvenser av regelverket for skog og arealbruk i Kyoto-protokollen for en eventuell forpliktelsesperiode etter 2012.

1. UTVIKLINGSSCENARIOER FOR SKOGEN

1.1. Skogsdrift

Med utgangspunkt i St. meld. nr. 39 (Anon. 2009) vurderes i denne rapporten 4 scenarier for den fremtidige skogsdriften i Norge (tabell 1):

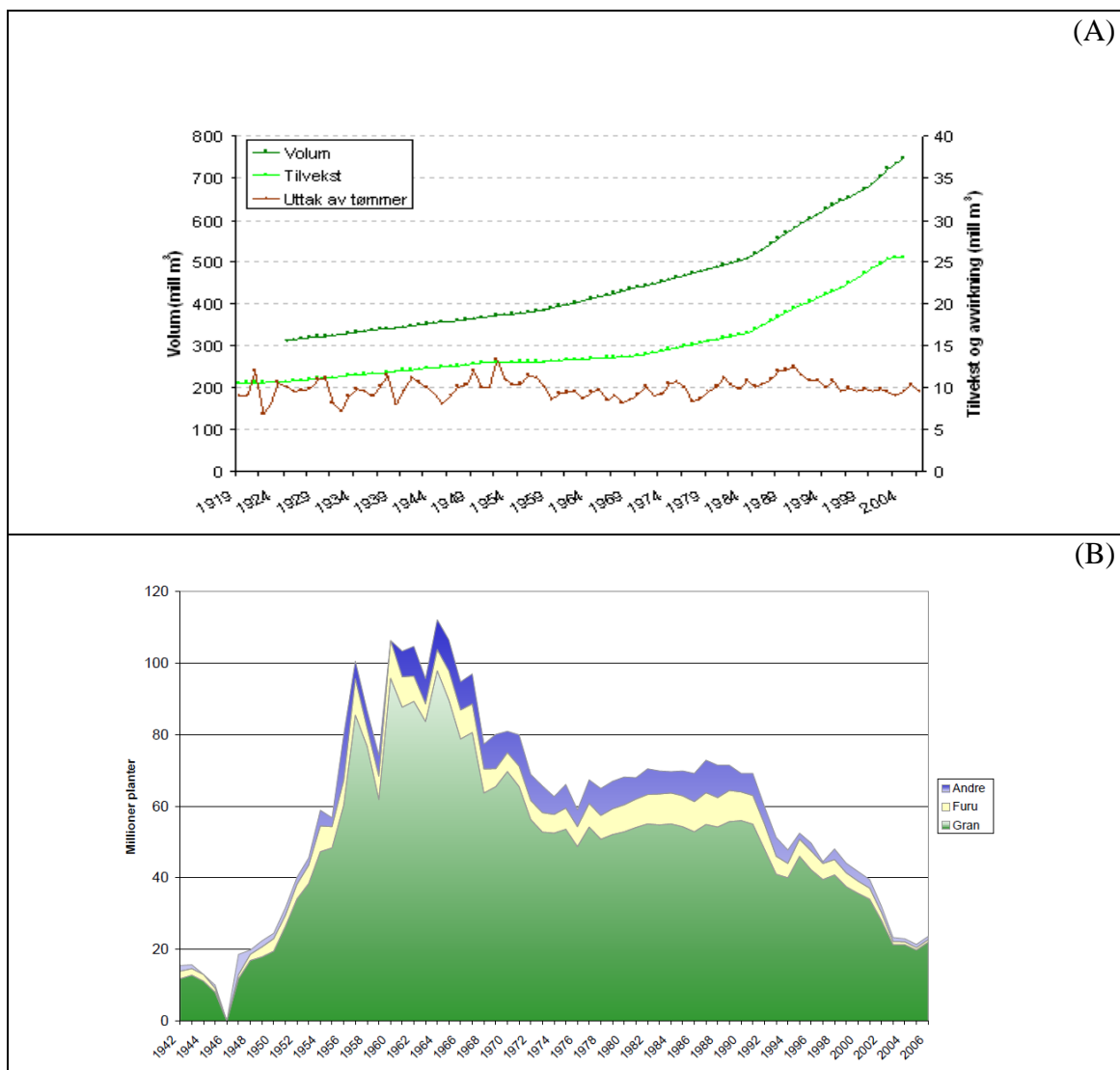
Scenario 1 er en videreføring av dagens hogst og skogkulturinnsats. I dette scenarioet er det forutsatt en hogst tilsvarende dagens nivå, det vil si om lag 10 millioner m³ per år inklusiv svinn. Skogkulturaktiviteten er også lagt på dagens nivå ved at det årlig plantes drøyt 20 millioner planter.

Scenario 2 forutsetter at hogsten økes til 15 millioner m³ per år. Det er forutsatt at det plantes omkring 50 millioner planter hvert år, dels ved å øke tettheten moderat, og dels ved å plante på arealer som i Scenario 1 er forutsatt forynget naturlig.

Scenario 3 forutsetter at hogsten økes til om lag 15 millioner m³ per år. Planteintensiteten er økt i forhold til Scenario 2 ved at det plantes omkring 70 millioner planter hvert år. Det vil innebære tettere plantinger (20–50 flere planter per dekar sett i forhold til Scenario 2), og også planting på ytterligere arealer i forhold til Scenario 2.

Scenario 4 forutsetter at hogsten økes til om lag 15 millioner m³ per år. Planteintensiteten – antall planter per dekar i de ulike skogstypene - er den samme som i Scenario 1. I og med at hogsten økes, vil likevel det totale antall planter øke i forhold til Scenario 1 til omkring 30 millioner planter per år.

Scenarioerne er basert på den historiske utvikling i avvirkning (Figur 1 (A)) og skogkulturaktivitet (Figur 1(B)), samt signaler om økt utnyttelse av skogen til bioenergi innen klimapolitikken (Anon. 2007) og skogpolitikken (Anon. 2009). Det vurderes at de 4 scenarier beskriver de mulige forløp som skogbruksaktiviteten i Norge kan følge fremover.



Figur 1. Historisk utvikling i (A) avvirkning og (B) antall leverte skogplanter til norsk skogbruk. Avvirkningen gjennom de siste 100 år har vært stabil rundt 10 millioner m³ per år. Mens antallet av skogplanter i lang tid lå rundt 70 millioner per år, ligger det i dag rundt 20 millioner per år (Det norske Skogfrøverk 2007).

1.2. Klima

Skogens vekst (e.g. Andreassen et al. 2006, Kellomaki et al. 2008) og helse (e.g. Woods et al. 2005) er påvirket av klimaforandringer. Målet med den Norske klimapolitikk er å arbeide for å begrense den menneskeskapte temperaturøkning til 2 °C fra før industrialiseringen.

I denne rapporten antar vi at dette målet oppnås, og at den gjennomsnittlige temperaturen derfor øker med 1,5 °C fra dagens nivå¹. Sett i forhold til mange av dagens prognoser for klimaforandringene i Norge er dette en veldig optimistisk antakelse.

¹ Analyser presentert i St. meld. nr. 39 forutsetter en temperaturøkning på 2-2,5 °C, dvs. ca. 2,5 – 3 °C fra før industrialiseringen.

Tabell 1 viser kombinasjoner av ulike forutsetninger for kulturintensitet og hogst som er benyttet i prognosene. Scenario 1 blir, som det eneste, beregnet både med og uten temperaturøkning.

Tabell 1. Kombinasjoner av ulike forutsetninger for kulturintensitet og hogst anvendt i prognosene

Scenario	Total hogst (mill. m ³)	Kulturintensitet ^a	Forutsetning for temperatur
1	10	lav = nåværende	uendret / 2 °C økning
2	15	moderat	2 °C økning
3	15	høy	2 °C økning
4	15	lav = nåværende	2 °C økning

a Det nøyaktige antall planter per areal for ulike skogstyper er vist i appendiks B.

2. METODER FOR HISTORISK BEREGNING OG FREMSKRIVNING AV KARBONLAGRET I SKOG

2.1. Anvendelse av data og tidsperioder

Prognosene for fremtidig CO₂-opptak er basert på fremskrivninger av karbon i levende trær, dødt organisk materiale og i skogsjord for produktiv- og uproduktiv skog under barskoggrensen i hele Norge, unntatt Finnmark fylke. Landsskogtakseringens registreringer av trærnes diameter og høyde, estimater av stående volum og naturlig avgang i skog, markens produksjonsevne, arealbruk etter internasjonal arealklassifisering og opptegnelser av avvirkning av tømmer for salg fra Statistisk sentralbyrå for perioden 1960 til og med 2007 er lagt til grunn for historiske beregninger (IPCC 2003, Tomter et al. 2009, SSB 2009). Prognosene for opptak og utslipp av CO₂ i skog er gjennomført med AVVIRK-2000 (se nedenfor) supplert med i) fremskrivninger av tilvekst i uproduktiv skog, ii) fremskrivning av arealoverganger til og fra skog, iii) endrede mortalitetsrater i gammel skog og iv) en tidsserie til start av jordmodell. Disse supplementer er basert på historiske data fra Landsskogtakseringen.

2.2. Beregning av karbon i levende biomasse

2.2.1. LEVENDE BIOMASSE FREM TIL 2007

Data for trehøyde og diameter for gran-, furu-, og lauvtrær er samlet inn av Landsskogtakseringen i perioden 1994 til 2007 (Tomter et al. 2009).

Rapportert binding av CO₂ i perioden 1998 til og med 2007 er basert på biomassen av alle levende trær på skogmark under barskoggrensa. Skogmark er definert som det landareal der trekronene dekker mer enn 10% av arealet, og trærne er eller kan bli 5 meter eller høyere. Arealer som er midlertidig uten trevegetasjon er også skogmark (FAO 2004). Biomassen over og under jord for alle trær med minimumsdiameter 5 cm 1,3 meter over midlere bakkenivå, er beregnet ved hjelp av svenske biomassefunksjoner (Marklund 1988, Petersson and Ståhl 2006). Biomassen er omgjort til CO₂ (biomasse • 0,5 • 44/12). Den årlige nettoendringen i bundet CO₂ er beregnet etter

"IPCC stock change method" som et 5-årig glidende gjennomsnitt (IPCC 2003). Busker, urter og kryptogamer (til sammen bunnvegetasjon) er ikke inkludert i registreringene. Nærmere beskrivelse av metode og resultater kan leses i avsnittet "Land-use, Land-use change and Forestry" i rapporten "National Inventory Report 2009 - Norway" som er rapportert under "The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)" (Anon. 2009).

2.2.2. FREMSKRIVNING AV LEVENDE BIOMASSE FOR PRODUKTIV SKOG

Fremskrivningen av den levende biomassen i den produktive skogen tar utgangspunkt i skogtilstanden i 2007 og er utført med prognoseprogrammet AVVIRK-2000 (Eid og Hobbestad 1999) med følgende modifikasjoner: (1) inklusjon av økt produktivitet ved temperaturøkning, (2) inklusjon av biomasseberegninger samt beregning av strø og død ved som tilgang til jord, (3) en modifisert mortalitetsrate for gammel skog² og (4) en direkte link til jordmodellen Yasso (Liski et al. 2005). Forutsetningene i prognosemodellen vedrørende klimaeffekten og skogsdrift er beskrevet i Appendiks B og C. Som nevnt ovenfor er således bunnvegetasjon ikke inkludert.

2.2.3. FREMSKRIVNING AV LEVENDE BIOMASSE FOR UPRODUKTIV SKOG

Fremskrivningen av levende biomasse for uproduktiv skog tar også utgangspunkt i skogtilstanden i 2007. Den uproduktive skogen har per definisjon ikke en bonitet, og kan derved ikke fremskrives med de vanlige modeller som brukes for produktiv skog. Tilveksten i biomasse i tresjiktet (ikke bunnvegetasjon) er estimert til 0,4 tonn ha⁻¹ år⁻¹. Dette er uavhengig av treslag og alder, og er basert på observert nettotilvekst på Landsskogtakseringens gjenmålte flater i uproduktiv skog³. Uproduktiv skog utgjør ca. 5% av totalvolumet og ca. 12% av totalarealet av skog under barskoggrensen.

2.3. Beregning av karbon i jord og død ved

2.3.1. KARBON I JORD OG DØD VED FRA 1960 TIL 2007

Død ved og jordkarbon i skog er ikke målt i et omfang som muliggjør beregninger basert på feltdata. Estimaten er basert på simulering med nedbrytningsmodellen Yasso (Liski et al. 2005), og samsvarer med beregningene som er utført for Norges rapportering av utslipp og opptak av klimagasser til FN's Klimakonvensjon (Anon. 2009). Modellen forutsetter en oppdeling av dødt organisk materiale (DOM) som består av litter (nåler, blader og finrøtter) og vedaktige deler (kvister, grener, grove røtter, stammer, stubber). Omsatt DOM, bestående av 5 ulike kjemiske pools, kalles JORD (Figur 2). Yasso er brukt til å estimere død ved og jordkarbon for den historiske tidsrekken og i prognosene. En mer detaljert beskrivelse av Yasso finnes i Appendiks A.

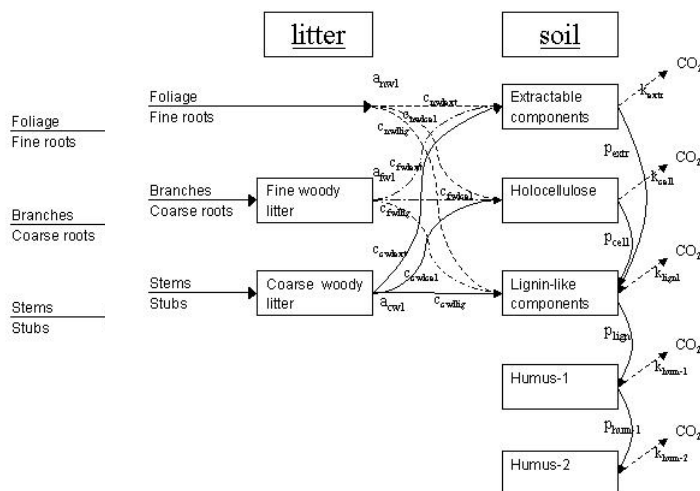
Tilpasning av Yasso til norske forhold ligger til grunn for anvendelsen her (de Wit et al. 2006). For å sikre at jorden har bygd opp et karbonlager i 2007 ved starten av prognosene, er simuleringer med Yasso startet i 1960 med en beregnet likevekstilstand (steady state, Peltoniemi et al. 2007). Tidsrekken fra 1960 til 2007 er basert på estimater av stammevolum for stående bestand og naturlig avgang. For stående volum er det frem til 1994 interpolert mellom Landsskogtakseringens periodevise registreringer, mens fra 1994 er det registrert årlige endringer som "glidende

² Ved analyse av registreringer av naturlig avgang – per treslag – i perioden 1998 – 2002 og 2003 – 2007 ble det observert at avgang i gammel skog var høyere enn for ung skog. Dette ble inkludert i AVVIRK-2000 og anvendt i prognosene.

³ Det er anvendt registreringer fra 6. og 9. omdrev (ca. 1990 – 2008). Dette er en nettotilvekst og inkluderer naturlig avgang. Uttak ved hogst er ikke representert.

gjennomsnitt" for påfølgende 5 års perioder. Estimaten for naturlig avgang før 1994, er basert på estimater fra registrering av mengden av nyttbart dødt virke i en 5-års periode. Etter 1994 er naturlig avgang registrert i detalj, og mengden er estimert på samme måte som for stående stammevolum. Mengden av hogstavfall er satt til 10% av hogstvolumet (Vestjordet 1968, Bengtson 1975). Totalt hogstvolum er innhentet fra Statistisk sentralbyrå. Total biomasse for de forskjellige komponentene av DOM er estimert fra stammevolum vha. biomassefunksjoner (Lehtonen et al. 2004, de Wit et al. 2006), hvor det antas en fast alder på 100 år (naturlig avgang og hogst) eller 70 år (stående bestand). Produksjon og tap av nåler, røtter og grener i stående skog er estimert fra feltstudier (se de Wit et al. 2006 for referanser). Referansetemperaturen er 3,3 °C.

Frem til og med 2007 er jordkarbon beregnet for all skog under barskoggrensen. For prognosene er jordkarbon i produktiv og uproduktiv skog av tekniske årsaker beregnet adskilt. Det er ikke beregnet død ved eller jordkarbon for arealer som endres fra annen arealbruk til skog i løpet av prognoseperioden. De valgte scenarioene viser effekten på mengden bundet karbon (uttrykt i CO₂) ved ulike hogstintensiteter. En effekt av intensivt hogst på bundet/utslipp av jordkarbon er tatt med bare ved endringer i tilførsel. Det er ikke tatt hensyn til noen eventuell effekt av mekanisk forstyrrelse eller økning i innstråling som kan forekomme etter hogst.



Figur 2. Oversikt over Yasso. "Litter" er tilførsel i form av naturlig avgang, hogstavfall og den konstante produksjon og tap av nåler og røtter etc. "Soil" er de ulike kjemiske bestanddeler av jordens karbonlager. Pilene viser omdannelse og omsetning av karbon over tid (Liski et al. 2005).

2.3.2. FREMSKRIVNING AV DØD VED OG JORDKARBON FOR PRODUKTIV SKOG

For produktiv skog er Yasso koplet direkte til prognosemodellen for levende biomasse (AVVIRK-2000, se avsnitt 3.2.2.), og input i stammevolumet fra naturlig avgang, hogstavfall og fra stående skog følger av den simulerte bestandsutviklingen og de valgte scenarioer. De ulike biomassefraksjoner som er input til Yasso, beregnes fra stammedimensjoner med Marklunds biomassefunksjoner (Marklund 1987, 1988) basert på middeltreet per flate (for naturlig avgang er middeltreet mindre enn for hhv. hogst og stående bestand). Startverdien for jordkarbon i prognosen er fremkommet fra sluttverdien i beregningene frem til 2007 ved (1) å fordele jordkomponentene til 4 regioner etter volumet og (2) å trekke fra en andel relativ til volumet for uproduktiv skog som ikke inngår i prognosen i AVVIRK-2000. I implementeringen av Yasso koblet

til AVVIRK-2000 brukes samme forutsetninger om temperatur for både levende biomasse (AVVIRK-2000) og død ved og jord (Yasso).

2.3.3. FREMSKRIVNING AV DØD VED OG JORDKARBON FOR UPRODUKTIV SKOG

For å starte Yasso for uproduktiv skog er det benyttet tilsvarende input for tidsrommet 1960- 2007. Tilgjengelige data for å beregne stående volum, naturlig avgang og hogst i uproduktiv skog er ikke tilstrekkelig. Stående volum og naturlig avgang tilbake i tid, er estimert slik at nåværende registrerte volum i uproduktiv skog er tilbakeskrevet med samme utvikling og samme prosentvise naturlige avgang per treslag som totalvolumet for all skog, slik det er angitt i input for beregning av jordkarbon for all skog frem til 2007 (avsnitt 3.3.1.). Det er forutsatt at det ikke avvirkes i uproduktiv skog. Estimert input til jord for prognosene er basert på estimater for fremtidig utvikling i biomasse i uproduktiv skog (avsnitt 3.2.3.), og på estimater for naturlig avgang⁴ per treslag. Yasso er anvendt som beskrevet i avsnitt 3.3.1. Referansetemperaturen er konstant 3,3 °C i alle scenarioene.

2.4. Arealendringer – overgang til og fra skog

Det er tatt utgangspunkt i de arealendringene som ble observert på Landsskogtakseringens prøveflater i perioden 2004 – 2008⁵. 73 flater eller deler av flater har gått fra produktiv skog til ikke skog, mens 76 flater eller deler av flater har gått fra ikke skog til produktiv skog (Tabell 2). Utgangen av skogarealer skyldes hovedsakelig utbygging av tekniske anlegg (e.g. hus, veier, kraftlinjer mv.) og overgang til husdyrbeite. Overgangen til produktiv skog fra ikke skog skyldes hovedsakelig gjengroing av kystlynghei, beiter og dyrket mark. Nettoendringen for produktiv skog har vært svært liten, og i prognosene for karbonlageret for de neste 100 år forutsettes det at det produktive skogarealet er konstant. Endringer ved inngang / utgang av biomasse (CO₂) er inkludert i prognosen.

Tabell 2. Overgang per år til og fra produktiv skog (tonn CO₂)

Til / fra arealkategori	Til skog ^a	Fra skog ^b
Dyrka mark	17 799	53 478
Beite	6 472	65 679
Bebyggelse, vei osv.	13 168	666 156
Totalt	37 440	785 312

⁴ Avgangen er basert på data samlet inn på Landsskogtakseringens flater i perioden 2003-2007 og er på henholdsvis 0,47; 0,22 og 1,05 % av volumet per år for gran, furu og lauvtrær.

⁵ Denne periode er valgt da registreringsmetodene er entydige og gjør det mulig å følge detaljerte endringer på flatenivå. Forandringer i registreringsmetode vanskeliggjør bruken av data fra tidligere år. Landsskogtakseringen endret i 2005 sin definisjon av skog for å harmonisere den med internasjonal rapportering. I forbindelse med rapporteringen under FN's klimakonvensjon og Kyoto-protokollen vil det bli foretatt en kvalitetssikring av disse arealovergangene tilbake til 1990. Dette arbeidet vil pågå frem til rapporteringen i 2014 for Kyoto-protokollens første avtaleperiode.

a i alt 42000 ha.

b i alt 51000 ha.

Det totale skogarealet økte ganske mye i perioden, noe som skyldes at vegetasjonen på marginale områder som tresatt myr og lavproduktive beitearealer langsomt utvikler seg slik at de fyller kravene til den internasjonale definisjonen av skog (FAO 2004). For at et tresatt areal i dag registreres som skog, må kronedekningsprosenten på et 0,1 ha stort areal overstige 10%.

For prognosene har vi gjort et estimat basert på trærnes alder og nåværende kronedekning for å sannsynliggjøre hvilke arealer som reelt har blitt tilskoget (passert 10 % kronedekning) i løpet av de siste 5 år. Ifølge denne prognosen vil omlag 60 % av snaumark og myr under barskoggrensen bli skogdekt i løpet av 100 år (Tabell 3).

Tabell 3. Areal og biomasse omregnet til CO₂ som er blitt skog i perioden 2004-2008

Areal kommer fra	Til skog (ha) per år	Tonn CO ₂ per år	Til skog (ha) 100 år	Tilgjengelig areal (ha)
Snau eller glissent tresatt fastmark	7 209	59 346	720 899	1 060 802
Snau eller glissent tresatt myr	4 866	42 591	486 607	978 800
Totalt	12 075	101 937	1 207 505	2 039 603

3. PROGNOSE FOR KARBONOPPTAK I SKOG I NORGE (2007 – 2107)

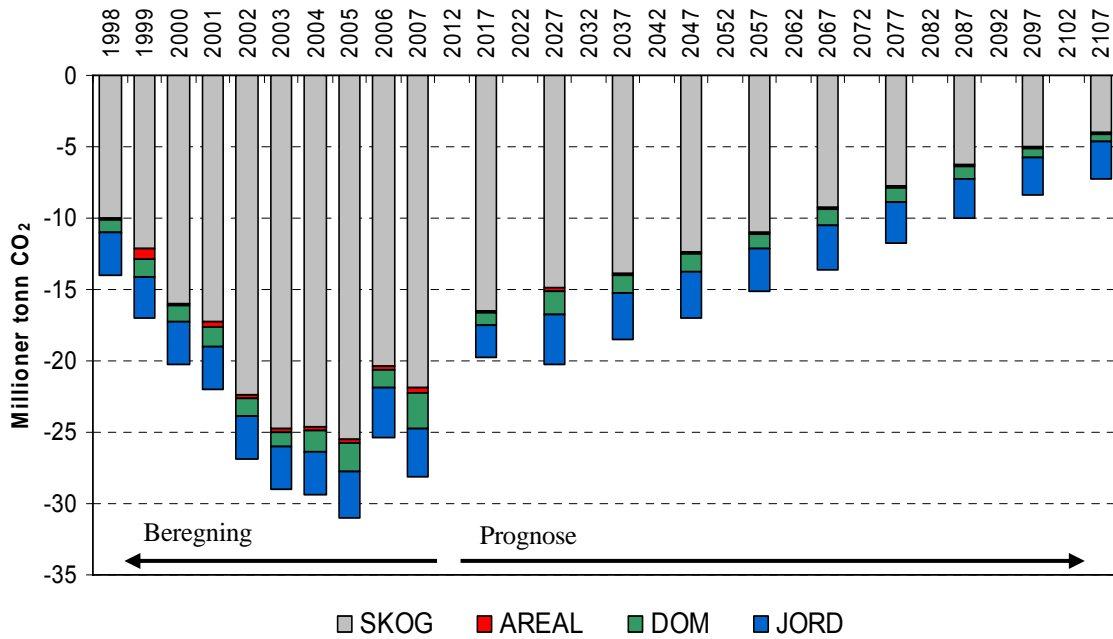
Prognosene ble opprinnelig bestilt som et "best guess" 100 år frem i tid. Prognosene tar utgangspunkt i skogtilstanden i 2007, som på beregningstidspunktet var det siste året hvor beregnede tall fra Landsskogtakseringens registreringer forelå. For å få god oversikt over utviklingen, ble det besluttet å bruke 10 års trinn i prognosene frem til år 2107. Det ble senere klart at for COP15 drøftingene var det nødvendig med prognosetall for 2010, 2015 og 2020. Det ble derfor besluttet å bruke begge disse formatene ved presentasjon av prognoseresultatene. Beregnede tall, som samsvarer med de som er rapportert under FN's Klimakonvensjon (Anon. 2009), er presentert fra 1998. Dette er de tidligste registreringer av årlige endringer, og er medtatt i rapporten til sammenligning med prognosene. Prognoseresultatene er vist som årlige endringer i karbonlageret, og endringene er uttrykt relativt til mengden av CO₂ i atmosfæren, dvs. en negativ endring tilsvarer et nettoopptak i skogen.

3.1. Scenario 1

Scenario 1 forutsetter dagens skogbehandling, og prognosene er beregnet med og uten temperaturøkning. For prognosen uten økning i temperatur (Figur 3) er det i første tidsrom (2008-2017) et mindre opptak av CO₂ i levende biomasse enn det som er observert for de seneste 7 årene. Opptaket er på nivå med estimatene for 2001 (17 millioner tonn). De følgende prognoseperiodene frem til 2107, viser en jevn nedgang i CO₂-opptaket i levende biomasse til om lag 4 millioner tonn i siste periode. Dette er litt mindre enn halvparten av beregnet opptak i 1998. I død ved og jordkarbon er endringene i nettotilførselen av karbon, uttrykt som CO₂, over tid mindre markante. Gjennom prognoseperioden og utover 2017, avtar nettotilførselen av CO₂ for henholdsvis død ved og jord fra 1,6 og 3,5 millioner tonn i 2027, til 0,5 og 2,5 millioner tonn i 2107. I denne prognosen er nettotilført CO₂ i død ved og jord generelt større enn i de følgende prognosene som forutsetter en økning i temperatur.

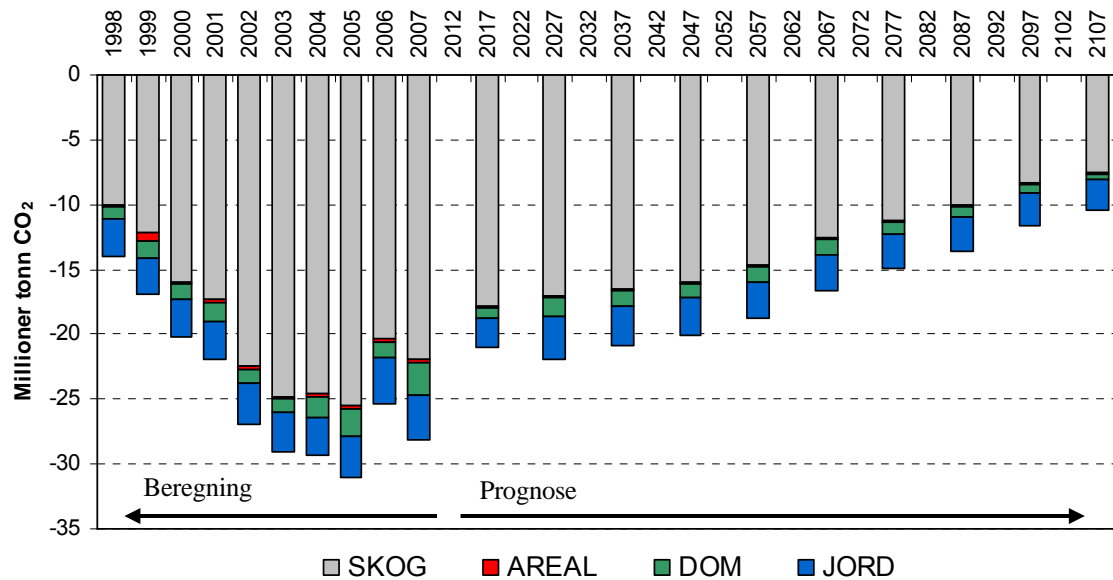
I prognosen med økt temperatur (Figur 4) er det i første tidsperiode (2007-2017) et opptak av CO₂ i levende biomasse på om lag 18 millioner tonn. Frem til 2107 faller dette jevnt til om lag 7 millioner tonn. Etter 2017 avtar nettotilførselen av CO₂ i død ved og jord fra om lag 1,5 og 3,2 millioner tonn i 2027, til 0,5 og 2,3 millioner tonn i 2107.

Scenario 1 (ingen økning i temperatur)



Figur 3. Årlige endringer i CO₂ i levende biomasse (SKOG), fra arealendringer (AREAL), i død ved (DOM) og JORD under forutsetning av dagens hogst og kulturinnsats (scenario 1) og ingen temperaturøkning.

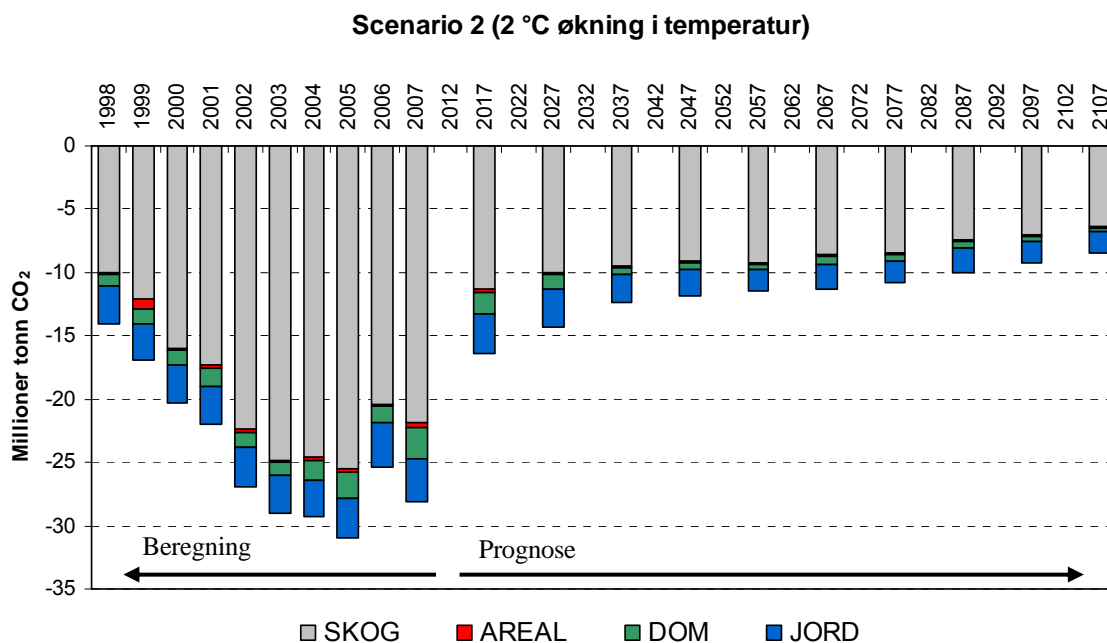
Scenario 1 (2 °C økning i temperatur)



Figur 4. Årlige endringer i CO₂ i levende biomasse (SKOG), fra arealendringer (AREAL), i død ved (DOM) og JORD under forutsetning av dagens hogst og kulturinnsats (scenario 1) og 2 °C økning i temperatur.

3.2. Scenario 2

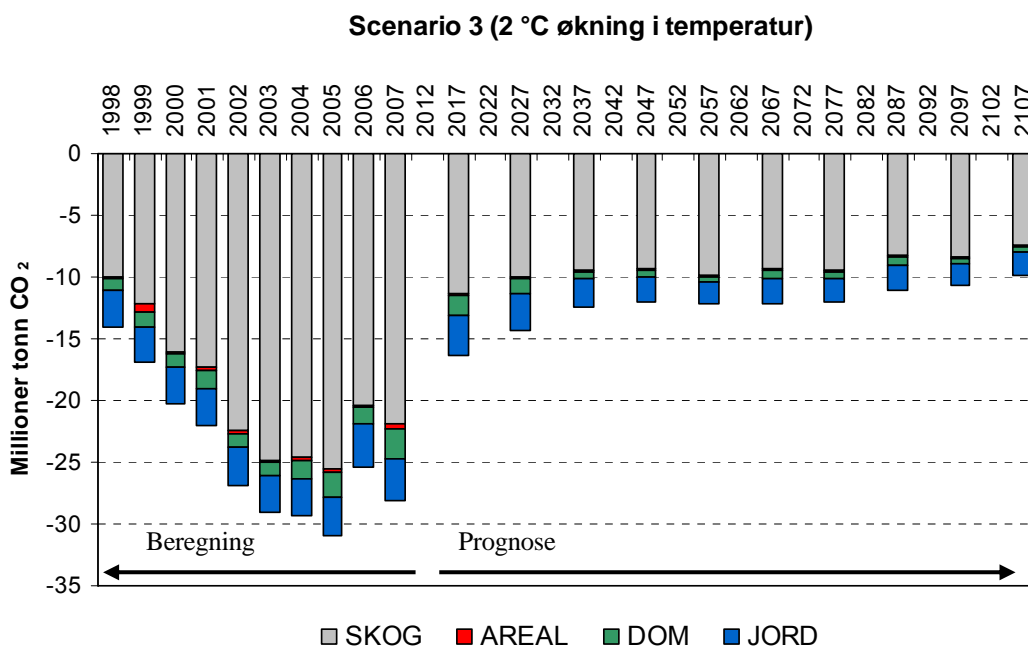
Scenario 2 forutsetter økt hogst (15 millioner m³) og kulturinnsats (50 millioner planter), samt en økning i temperatur (Figur 5). I første tidsrom av prognosen (2007-2017) avtar CO₂-opptaket i levende biomasse raskt fra dagens nivå (22 millioner tonn) til omtrent 11 millioner tonn. Frem til 2107 avtar dette langsomt videre til omlag 6 millioner tonn, med en periode fra 2037 til 2077 hvor opptaket er stabilt på om lag 9 millioner tonn. Fra 2017 avtar nettotilførselen av CO₂ i død ved og jord fra om lag 1,7 og 3,2 millioner tonn til 0,2 og 1,7 millioner tonn i 2107.



Figur 5. Årlige endringer i CO₂ i levende biomasse (SKOG), fra arealendringer (AREAL), i død ved (DOM) og JORD under forutsetning av en 2 °C økning i temperatur og økt hogst på i alt ca. 15 millioner m³ per år. Det er forutsatt at det plantes omkring 50 millioner planter hvert år (scenario 2).

3.3. Scenario 3

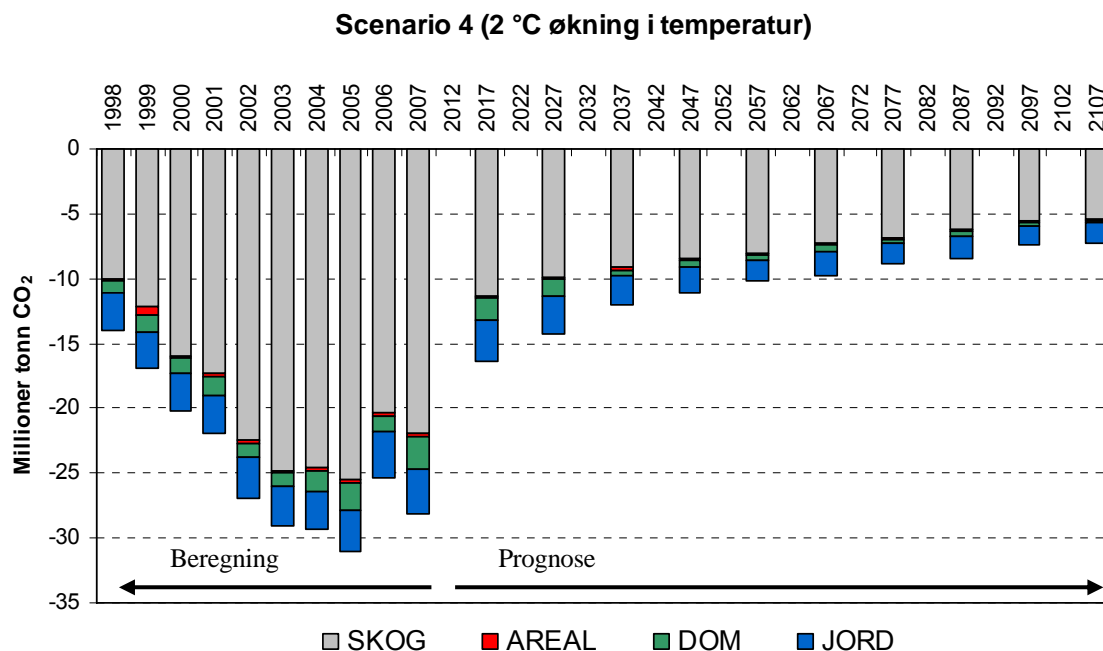
Scenario 3 forutsetter økt hogst (15 millioner m³) og en mer intensiv kulturinnsats enn i scenario 2 (70 millioner planter) samt en økning i temperatur (Figur 6). I første tidsrom av prognosen (2007-2017) avtar CO₂-opptaket i levende biomasse raskt fra dagens nivå (22 millioner tonn) til om lag 11 millioner tonn. Frem til 2107 avtar opptaket langsomt videre til om lag 7 millioner tonn med en periode fra 2037 til 2077 hvor opptaket er stabilt på om lag 10 millioner tonn. Fra 2017 avtar nettotilførselen av CO₂ i død ved og jord fra om lag 1,7 og 3,2 millioner tonn til 0,4 og 1,9 millioner tonn i 2107.



Figur 6. Årlige endringer i CO₂ i levende biomasse (SKOG), fra arealendringer (AREAL), i død ved (DOM) og JORD under forutsetning av en 2 °C økning i temperatur og økt hogst på i alt ca. 15 millioner m³ per år. Det er forutsatt at det plantes omkring 70 millioner planter hvert år (scenario 3).

3.4. Scenario 4

Scenario 4 forutsetter økt hogst (15 millioner m³) og at dagens kulturinnsats opprettholdes, dvs. de samme skogtyper tilplantes og det benyttes samme antall planter per areal som i scenario 1; i alt plantes omlag 30 millioner planter. Videre forutsettes en økning i temperatur (Figur 7). I første tidsrom av prognosen (2007-2017) avtar opptaket av CO₂ i levende biomasse raskt fra dagens nivå til om lag 11 millioner tonn. Frem til 2107 avtar opptaket langsomt videre til om lag 5 millioner tonn. Fra 2017 avtar nettotilførselen av CO₂ i død ved og jord fra om lag 1,7 og 3,2 millioner tonn til 0,1 og 1,5 millioner tonn i 2107.



Figur 7. Årlige endringer i CO₂ i levende biomasse (SKOG), fra arealendringer (AREAL), i død ved (DOM) og JORD under forutsetning av en 2 °C økning i temperatur og økt hogst på i alt ca. 15 millioner m³ per år. Det er forutsatt at det plantes omkring 30 millioner planter hvert år (scenario 4).

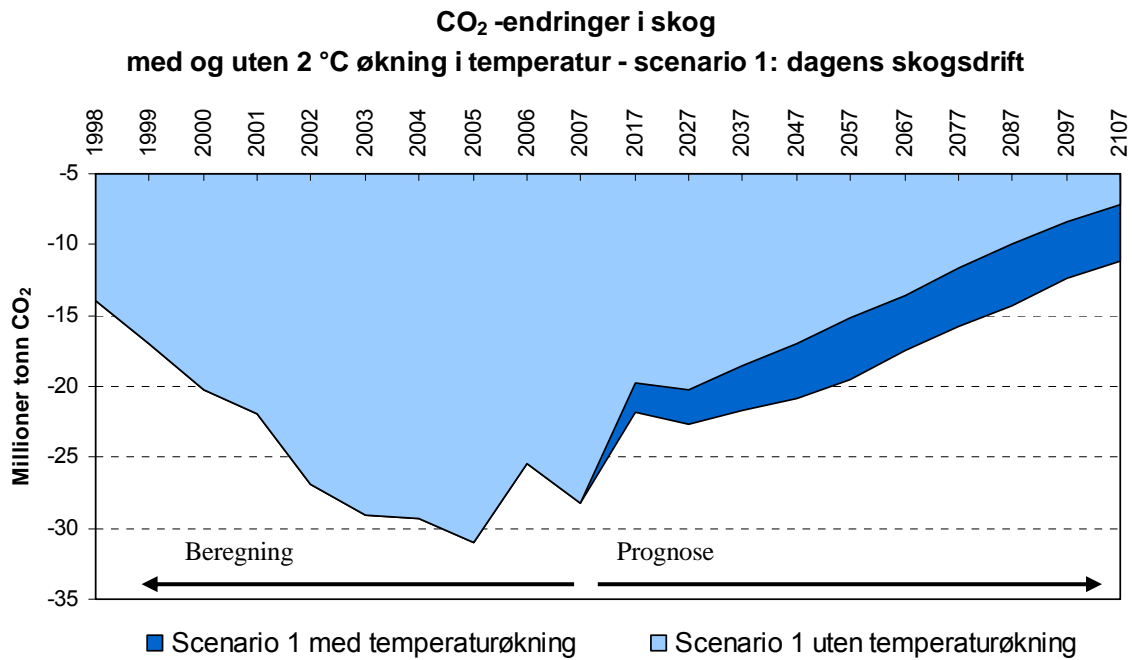
Arealendringene er like for alle prognosene, og den årlige endringen er relativt liten (et opptak på 0,14 millioner tonn CO₂) i forhold til endringene observert de seneste 5 årene (0,2-0,3 millioner tonn). Det er benyttet en konservativ metode til fremskrivningen av arealendringer for å unngå feil som kan skyldes forandringer i målemetoden (se avsnitt 3.4.).

Prognosenes relativt lave andel CO₂ for nettotilført død ved og jord i 2017 (særlig i scenario 1) kan skyldes usikkerhet i justering av nivået for jordkarbon ved prognosens start (se avsnitt 3.3.2.).

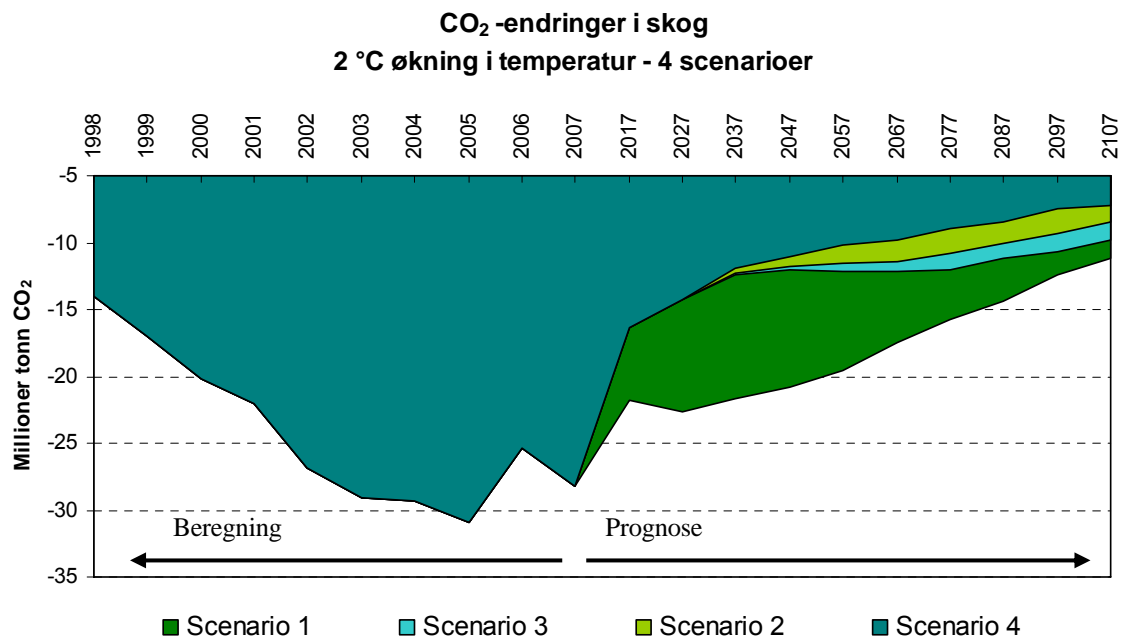
3.5. Sammenligning av scenarier

Nettoeffekten av en temperaturøkning i scenario 1 (Figur 8) er et økt opptak på om lag 2 millioner tonn CO₂ i begynnelsen av prognosen, stigende til omtrent 4 millioner tonn i 2107. Endringen uttrykker hvordan en temperaturdrevet bonitetsheving (Appendiks C) virker i Norge som helhet, inklusiv en økt omsetning av jordkarbon. De ulike scenarier for skogbruk viser tydelig at en intensivering av hogsten resulterer i avtagende CO₂-opptak i skogen, og forskjellen på scenario 1 med dagens hogstintensitet og scenarioene med økt hogst viser seg mest tydelig midt i prognoseperioden (Figur 9). Forskjellene på disse prognosene blir mindre mot 2107. I 2107 viser alle scenarioene et årlig opptak på 7-11 millioner tonn CO₂. En intensivering i kulturinnsatsen (forskjell mellom scenarioene 4, 2 og 3) gir resultater fra om lag 2037 og fremover, og gir et økt opptak på 1- 2 millioner tonn ved prognosens slutt. Scenario 4, med kraftig hogst og dagens kulturinnsats, har absolutt lavest opptak etter 2037. Størst opptak i stående biomasse, og nettotilførsel til jord og død ved, ses i scenario 1 som forutsetter dagens skogsdrift. Medtas den biomassen som er tatt ut i hogst i det samlede estimat for opptak i skog (Figur 10), forblir scenario 1 det alternativ med størst CO₂-opptak inntil omtrent 2070. Deretter gir scenario 3 størst opptak. En vurdering av hva økt hogst og kulturinnsats vil bety for CO₂ utslipp i Norge samlet sett er ikke gjort i denne rapport. En vurdering av dette må inkludere virkninger av eventuelt økt energiforbruk (brennstoff) ved uttak, utbygging av skogsveier og andre følger av en mer intensiv hogst, samt av de forventede substitusjonseffekter ved bruk av trevirke til ulike formål.

To markante trekk går igjen i alle prognoseresultatene. For det første gir prognosene et lavere estimat for opptak av CO₂ enn de historiske estimatene som er rapportert til FN's klimakonvensjon. For det andre viser prognosene en generell tendens til at opptaket av CO₂ avtar over tid. I scenario 1 kan forskjellen i nivå mellom de historiske estimatene og dem fra prognosene skyldes dels at variasjon fra år til år ikke er uttrykt i prognosene, men bare i de rapporterte tallene, dels at aldersklassefordelingen i skog i Norge nå er sådan at vi etter en stor planteaktivitet fra ca. 1950-1970 har en stor andel skog i god vekst. Ved økende alder vil tilveksten avta. Alle prognosene viser et generelt mindre opptak over tid. Dette skyldes sannsynligvis aldersklassestrukturen. Scenarioene med høy planteintensitet (scenario 2 og 3) har ikke en så markant reduksjon i opptak sammenlignet med de andre prognosene, formodentlig fordi produktivitetstredning i gammel skog delvis motvirkes av en mer effektiv kulturinnsats. I tillegg er det stor usikkerhet forbundet både med de rapporterte tallene og især med prognosen. Usikkerhetene er ikke kvantifisert (se avsnitt 4.6). Man bør også merke seg at selv om de rapporterte tallene er beregnet på grunnlag av observasjoner, er estimatene ikke de endelige. Forbedringer av datagrunnlag og beregningsmetoder vil pågå inntil den endelig rapporteringen for første periode av Kyoto-protokollen i 2014.

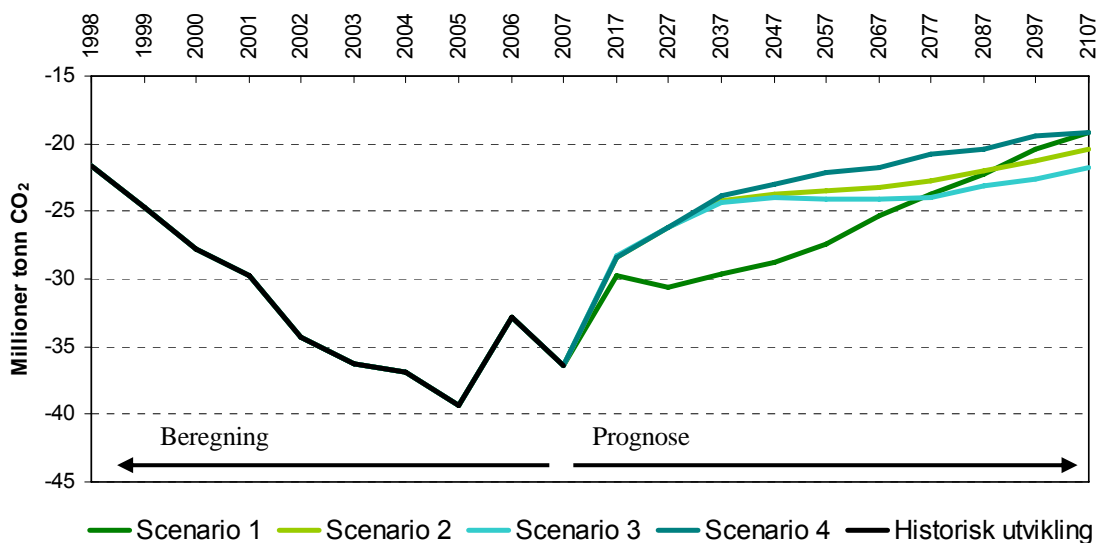


Figur 8. Årlige endringer i CO₂ i skog; totalt inklusiv levende biomasse, jord, død ved og bidrag fra arealendringer. Sammenligning av scenario 1 med og uten temperaturøkning.



Figur 9. Årlige endringer i CO₂ i skog; totalt inklusiv levende biomasse, jord, død ved og bidrag fra arealendringer. Sammenligning av scenario 1, 2, 3 og 4 forutsatt temperaturøkning.

CO₂-endringer i skog inklusiv hogst 2 °C økning i temperatur - 4 scenarioer



Figur 10. Årlige endringer i CO₂ i skog; totalt inklusiv levende biomasse, jord, død ved og bidrag fra arealendringer samt uttak til hogst. Sammenligning av scenario 1, 2, 3 og 4 forutsatt temperaturøkning.

3.6. Vurdering av usikkerhet

De årlige endringene som er presentert i rapporten, utgjør i størrelsesorden 0,5-1 % av karbon bundet i jord og levende biomasse i skog i Norge. Dvs. endringene er små i forhold til det samlede karbonlageret, men har likevel stor relevans når det gjelder de internasjonale avtaler som Norge må leve opp til (Kyoto protokollen). I tillegg kan slike beregninger være viktige indikatorer på hvilken trend som kan forventes fremover i de ulike karbon pools som respons på endringer i samfunnsforhold og fysisk klima.

Oppdragsgiver ønsket å inkludere usikkerhetsestimater sammen med resultatene for utslipp og binding av CO₂. Per i dag har vi ikke mulighet for å gi kvantitative estimater for usikkerhet hverken på de historiske data eller prognosene. For de historiske data er det planlagt å rapportere usikkerhetsestimater når rapporteringen under Kyoto-protokollen for LULUCF-sektoren ferdigstilles i 2014 (LULUCF = Land Use, Land-Use Change and Forestry). Med hensyn til prognosenes usikkerhet kan vi tilknytte kvalitative forklaringer av usikkerhetsmomenter. I skogbruks- og klimasammenheng er en periode fra 2007 – 2020⁶ ganske kort tid. Det knytter seg derfor, sammenlignet med prognoser for hele 100 års perioden, liten usikkerhet til effekten av klima og vekst. På den andre siden er det på kort sikt ganske store samfunnsmessige konjunktursvingninger som påvirker avvirkningskvantumet i skogbruket. Da avvirkningen har en direkte proporsjonal effekt på den årlige endring i karbonlageret, er disse kortsiktige tall veldig avhengige av konjunkturbestemt hogst og annen aktivitet.

⁶ Tiden frem til 2020 er den tidshorisont som er valgt til å avdekke ulike konsekvenser av regelverket for skog og arealbruk i Kyoto-protokollen for en eventuell forpliktelsesperiode etter 2012. Se også avsnitt 6.

Prognosemodellen, AVVIRK-2000, kombinerer modeller for foryngelse, vekst, naturlig avgang og hogst av skogtrær. Det er usikkerhet forbundet med disse modellene. En temperaturdrevet bonitetsheving er nå introdusert i vekstmodellen. Det trengs ytterligere analyser for å sikre at klimaeffekter blir inkludert i prognosene på best mulig måte. Modellene som er utviklet for temperatureffekter, forklarer ca. 30-50 % av variasjonen i bonitet, og det forventes at dette kan forbedres. Modellen for naturlig avgang ble modifisert for gammel skog til bruk i disse prognoser. Det trengs forbedringer i modellene for naturlig avgang for ulike aldersklasser og klimatiske forhold.

I alle scenarioene avvirkes et langt mindre kvantum enn det som er biologisk mulig. Dette resulterer i en stor andel gammelskog i alle scenarioene. Det benyttede modellverktøy er utviklet for å predikere utviklingen i drevet skog som avvirkes ved den skogbruksmessige definerte hogstalter. Når en stor del av skogen blir eldre enn hogstalteren, økes usikkerheten i prognosene betraktelig og det er formodentlig en tendens til å overestimere karbonbindingen. Overestimeringen skyldes blant annet at modellen var utviklet med grunnlag i data fra yngre skog og derfor ikke inkluderer en korreksjon for bestandsskader eller bestandssammenbrudd som ofte observeres for gammelskog. Dette betyr at usikkerheten økes over tid grunnet en økende andel gammelskog. Tidspunktet hvor de ulike scenarioer krysser hverandre er derfor beheftet med en veldig stor usikkerhet. Tendensen i scenarioene er klar men de bør ikke benyttes til å sette et faktisk årstall for når et scenario har en høyere karbonbinding enn et annet.

AVVIRK-2000 bruker økonomiske beregninger til å prioritere hogsten i de ulike skogstyper og for ulike boniteter. I prognosene er det ikke tatt hensyn til at de økonomiske forutsetningene vil endres over tid (i et 100 års perspektiv). I tillegg er det usikkerhet knyttet til i hvilken grad den økonomisk fastsatte hogstalter representerer virkeligheten, især på lave boniteter. Både de rapporterte tallene og prognoseestimatene som beskriver endringer i den levende biomasse i skog, inkluderer bare tresjiktet. Ved å inkludere bunnvegetasjonen vil disse estimatene bli forbedret. Det vurderes at biomassen i bunnvegetasjonen er liten i forhold til biomassen i tresjiktet, og at en sådan forbedring vil være kostbar sett i relasjon til den potensielle økning i estimatet for levende biomasse i skog.

Overgangen mellom arealtyper bakover i tid – inn og ut av skog – avhenger av den skogsdefinisjon som er brukt. I og med at definisjonen er endret i løpet av de siste 10 årene, er dette en vanskelig oppgave. Endringene er dertil basert på relativt få takseringsflater (bare få flater opplever endringer). Beregningsmetodene vil bli videreutviklet. Til bruk i denne rapporten har endringene blitt beregnet konservativt. En stor usikkerhet er naturligvis om de endringene vi har sett senere årene, på fornuftig vis kan representere fremtidige endringer så langt som 100 år frem i tid. Dette er nok tvilsomt. Det kan forventes at arealendringer er følsomme overfor økonomiske konjunkturer, noe som ikke er inkludert i beregningene i denne rapporten.

Endringene i karbon i jord og i død ved er usikre i og med at ingen data finnes som beskriver endringer på nasjonalt nivå. Endringene er meget små i et 10-100 års perspektiv og kan derfor ikke umiddelbart måles da den rumlige variasjon vil være høy. Vi er derfor, inntil videre, helt avhengig av simulering. I den nåværende anvendelse av Yasso på nasjonalt nivå vurderes det at den anvendte tidsserie til oppstart av modellen er så lang at en forlengelse av denne serie ytterligere bakover i tid ikke vil ha noen stor effekt på de simulerte endringer. Den nåværende anvendelsen av Yasso forventes å kunne forbedres ved å ta i bruk den nyeste versjon av modellen, og ved å bryte opp beregningene regionalt. Tilsvarende analyser i Sverige (Ortiz et al. 2009), utført med samme modell, har gitt godt samsvar med målte endringer av karbon på nasjonal skala. På tross av at bunnvegetasjonen har relativt liten biomasse i forhold til trær, har den ofte høy omsetning av denne biomassen (høy "turnover"). Det kan derfor være relevant å estimere tilførsel til jordmodellen fra bunnvegetasjon. For de nordligst beliggende skoger i Sverige (lav tilvekst) ble det estimert at bunnvegetasjon kan bidra med ytterligere 30% tilførsel til jorden. Tilførsel til jordmodellen er basert på stående skogsvolum. Litterproduksjon er beregnet ut ifra

noen generelle biomassefunksjoner, estimater av produksjon av løv og røtter etc. og estimater for effektiviteten i utnyttelsen av skogsvirke (mengden av hogstavfall), se avsnitt 3.3. Data for å etablere sådanne sammenhenger er generelt sett få og representerer muligens ikke norske forhold optimalt. Generelt sett er viten om og empiriske data for omsetting i jord og død ved mer usikker enn vår viten om tilvekst i skogtrær.

4. RAPPORTERINGSFORMAT FOR INNLEDENDE COP15 FORHANDLINGER

4.1. Bakgrunn

For å avdekke ulike konsekvenser av regelverket for skog og arealbruk i Kyoto-protokollen for en eventuell forpliktelsesperiode etter 2012 er deltakerlandene oppfordret til å bidra med relevant bakgrunnsinformasjon. Dette avsnitt inneholder resultatene som er rapportert for LULUCF-sektor i 2009 (Anon. 2009) til UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) samt resultater fra prognoseberegningene (Tabell 4).

De historiske data (1990 – 2007) følger standarden for den offisielle rapporteringen under Klimakonvensjonen (IPCC 2003, Anon. 2009). I henhold til "Paragraph 6 of the Annex to Decision 16/CMP.1" har Norge bestemt å rapportere Forest Management under Artikkel 3.4 i Kyoto-protokollen for første avtaleperiode (Anon. 2006). Følgende kategorier er derfor ikke rapportert i denne rapporten: Cropland management, Grazingland management, Revegetation. De fremtidige resultater kommer fra prognosene presentert i avsnitt 4.

4.2. Beregningsmetode og resultater - tabell i rapporteringsformat

For de historiske beregninger inneholder kategoriene i tabell 4 følgende:

Artikkel 3.3: Afforestation/Reforestation inkluderer: Årlig økning av levende biomasse (omregnet til CO₂) på arealer som har gått fra andre arealkategorier og blitt til skogarealer etter 1990. Estimaten inkluderer ikke endringer av karbon i jordsmonn og dødt organisk materiale for arealer under "Afforestation/Reforestation".

Artikkel 3.3: Deforestation inkluderer: Det utslippet som forårsakes av hogst i det øyeblikket arealbruken endres. Det er her ikke beregnet eventuelt videre utslipp eller binding på de arealene som har gått ut av skog og inn i andre arealkategorier. Estimaten inkluderer ikke endring av karbon i jordsmonn og dødt organisk materiale for arealer under "Deforestation".

Artikkel 3.4: Forest Management inkluderer: Den årlige netto økning av biomasse på skogarealene, omregnet til CO₂. Karbon bundet i jordsmonn og dødt organisk materiale er inkludert. Prognosene inkluderer ikke utslipp som følger av grøfting av torvmark eller gjødsling av skog.

For prognosene inneholder kategoriene i tabell 4 følgende:

Artikkel 3.3: Afforestation/Reforestation: Det er forutsatt en årlig økning av skogarealet på 32 000 ha (gjennomsnittlig endring mellom 2003 og 2007) som årlig binder 0,7 tonn CO₂ per ha. Prognosene inkluderer ikke endringer av karbon i jordsmonn og dødt organisk materiale for arealer under "Afforestation/Reforestation".

Artikkel 3.3: Deforestation: Basert på den gjennomsnittlige endringen mellom 2003 og 2007 er det forutsatt et årlig utslipp på 0,6 millioner tonn CO₂ per år i prognosen fram til 2020. Prognosene inkluderer ikke endring av karbon i jordsmonn og dødt organisk materiale for arealer under "Deforestation".

Artikkel 3.4: Forest Management: Prognoseberegningen er beskrevet i avsnitt 3 og 4.

De ulike scenarioene og forutsetningene for disse er beskrevet i avsnitt 2 og 3. I prognosene (år 2010, 2015 og 2020) kommer forskjellen i skogbehandling til syne i "Forest management" kategorien. Det som gjør den største forskjellen, er nivået på den årlige avvirkingen. I

scenarioene 2, 3 og 4 er hogsten økt til 15 millioner m³ per år. Dette fører til at det i 2020 bindes 5,5 millioner tonn CO₂ mindre enn hvis den årlige avvirkingen ligger på 10 millioner m³ per år, som i scenario 1. En økning i skogkulturinnsatsen som i scenario 2 og 3 vil først gi en merkbar effekt lenger inn i framtiden.

Tabell 4. Årlig utslipp og binding av CO₂ fra 1990 for 5 scenarioer. Verdier i millioner tonn CO₂ ekvivalenter

	Artikkel 3.3	Artikkel 3.3	Artikkel 3.4				
Kategori	Afforestation Reforestation	Deforestation	Forest management				
	Alle scenarioer	Alle scenarioer	Scenario 1 økt temp.	Scenario 1 nåv. temp.	Scenario 2 økt temp.	Scenario 3 økt temp.	Scenario 4 økt temp.
1990	0,00	0,6	-14,2	-14,2	-14,2	-14,2	-14,2
1998	0,00	0,6	-14,2	-14,2	-14,2	-14,2	-14,2
1999	-0,01	0,9	-16,6	-16,6	-16,6	-16,6	-16,6
2000	-0,03	0,8	-20,4	-20,4	-20,4	-20,4	-20,4
2001	-0,05	0,8	-22,3	-22,3	-22,3	-22,3	-22,3
2002	-0,05	0,7	-27,0	-27,0	-27,0	-27,0	-27,0
2003	-0,10	0,7	-29,5	-29,5	-29,5	-29,5	-29,5
2004	-0,20	0,9	-29,1	-29,1	-29,1	-29,1	-29,1
2005	-0,26	0,8	-30,9	-30,9	-30,9	-30,9	-30,9
2006	-0,28	0,6	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2
2007	-0,35	0,1	-28,3	-28,3	-28,3	-28,3	-28,3
2010	-0,35	0,6	-26,0	-25,6	-24,6	-24,6	-24,6
2015	-0,46	0,6	-22,9	-21,9	-19,2	-19,2	-19,2
2020	-0,57	0,6	-21,9	-20,6	-16,4	-16,4	-16,4

5. ANDRE FAKTORER SOM KAN PÅVIRKE KARBONOPPTAKET I SKOG

Prognosene som er presentert her, inkluderer vekst, temperaturredret bonitetsøkning, nedbrytning av dødt organisk materiale, skogsdrift og endringer i skogarealet. Men også andre prosesser kan gjennom de neste 100 år få stor effekt på skogens opptak og lager av karbon. Stormskader, brann og angrep av sopp og barkbiller er en naturlig del av skogens dynamikk. Opptrer slike hendelser over store områder, kan de i enkelte år, eller over en kort årrekke, ha stor effekt på karbonbindingen (Astrup et al. 2008). Der er stor sannsynlighet for at et endret klima vil kunne øke både frekvens og intensitet av slike hendelser (e.g. Woods et al. 2005, Nitschke 2006). Prognosene i denne rapporten inkluderer ikke slike effekter.

Endringer i skogarealet er inkludert i rapporten, men store og til dels uforutsigbare endringer i skogforvaltningen kan ha stor effekt på opptak og lagring av karbon. Økt vern av skog er en slik endring. Effekten av økt vern på opptak og lagring av karbon er ganske kompleks og vil avhenge både av hvor store arealer som vernes, og hvilke arealer som vernes. I dag er rundt 3% av Norges skogareal vernet, og en stor effekt på det totale karbonregnskap i skog kan bare forventes om vernets omfang økes betraktelig. Et utvidet vern av lavproduktiv skog vil ha en veldig liten effekt på skogens totale karbonlager. I dag drives det nesten ikke aktivt skogbruk i den lavproduktive skogen, hvilket for karbondynamikken betyr at vern ikke vil medføre endringer. Effekten av vern har potensial til å bli størst hvis høyproduktive arealer vernes. Hvis høyproduktiv skog vernes og ikke avvirkes, vil dette på kort sikt føre til økt karbonlager på de berørte arealer. For skogens totale karbonregnskap er effekten avhengig av om avvirkningsnivået holdes konstant (avvirkningen forflyttes til andre arealer). Hvis avvirkningen holdes konstant, er det mulig at økt vern vil ha en negativ effekt på karbonregnskapet, fordi et areal på rundt 3 ha med lavproduktiv skog må avvirkes for å oppveie den unnlatte avvirkningen på et 1 ha stort areal med høyproduktiv skog.

6. REFERANSER

- Andreassen K, Solberg S, Tveito OE, Lystad SL. 2006. Regional differences in climatic responses of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) growth in Norway. *Forest Ecology and Management* 222: 211-221.
- Anon. 2006. Norway's Initial Report under the Kyoto Protocol Calculation of Assigned Amount under Article 7, Paragraph 4, of the Kyoto Protocol, in accordance with Decision13/CMP.1 http://unfccc.int/national_reports/initial_reports_under_the_kyoto_protocol/items/3765.php (dato 11.09.09).
- Anon. 2007. Norsk klimapolitikk. Det kongelige miljøverndepartement. St. meld. nr. 34 (2006-2007).
- Anon. 2009. Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen. Det kongelige landbruks- og matdepartement. St. meld. nr. 39 (2008-2009).
- Anon. 2009. National Inventory Report 2009 - Norway. Greenhouse Gas Emissions 1990-2007. TA2507/2009. http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4771.php (dato 11.09.09).
- Anon. 2010. National Inventory Report. Greenhouse Gas Emissions 1990-2008. Climate and Pollution Agency. TA 2639.
- Astrup R, Coates KD, Hall E. 2008. Recruitment limitation in forests: Lessons from an unprecedented mountain pine beetle epidemic. *Forest Ecology and Management* 256:1743-1750.
- Bengtson G. 1975. Riksstaxeringens inventering av virkesspill 1975. Institusjonen för skogtaxering. Skoghögskolan, Stockholm. PHU-rapport nr. 19, 34 s.
- Det norske Skogfrøverket. 2007. Leverte skogplanter fra 1942-2006. Tilgjengelig på <http://asp.gitek.no/skogfroverket/pmws.dll/DocItem?DocKey=114> (dato 11/09/09).
- de Wit HA, Palosuo T, Hysten G, Liski J. 2006. A carbon budget of forest biomass and soils in southeast Norway calculated using a widely applicable method. *Forest Ecology and Management* 225:15-26.
- Eid T, Hobbelstad K. 1999. AVVIRK-2000 – et Edb-program for langsiktige investerings-, avvirknings- og inntektsanalyser i skog. Rapport fra skogforskningen – Supplement 8:1-63.
- FAO. 2004. Global Forest Resources Assessment Update 2005 – Terms and Definitions. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forestry Department, Forest Resource Assessment Programme. Working Paper 83/E, Rome 2004.
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraiishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC
- Kellomaki S, Peltola H, Nuutinen T, Korhonen KT, Strandman H. 2008. Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363: 2341–2351.
- Lehtonen A, Mäkipää R, Heikkinen J, Sievanen R, Liski J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* 188:211-224.
- Liski J, Palosuo T, Peltoniemi M, Sievänen R. 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling* 189:168-182.

- Marklund LG. 1987. Biomass functions for Norway spruce in Sweden. Report No. 43. Department of forest survey, Swedish University of Agricultural sciences, 127 p.
- Marklund LG. 1988. Biomassefunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Biomass functions for pine, spruce and birch in Sweden. Institutionen för skogtaxering. Sveriges Lantbruksuniversitet. Rapport 45:1-73.
- Nitschke CR. 2006. Integrating climate change into forest planning: a spatial temporal analysis of landscape vulnerability. PhD dissertation, The University of British Columbia. Vancouver, Canada.
- Ortiz C, Lundblad M, Liske J, Stendahl J, Karlton E, Lehtonen A, Gärdenäs A. 2009. Measurements and models – a comparison of quantification methods for SOC changes in forest soils. Rapport fra SMED / Naturvårdsverket.
- Peltoniemi M, Thürig E, Ogle S, Palosuo T, Schrumpf M, Wurzler T, Butterbach-Bahl K, Certof O, Komarov A, Mikhailov A, Gärdenäs, Perry C, Liski J, Smith P, Mäkipää R. 2007. Models in country scale - carbon accounting of forest soils. *Silva Fennica* 41:575-602.
- Petersson H, and Ståhl G. 2006. Functions for below-ground biomass of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and, *Betula pubescens* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21, Supplement 7: 84-93.
- Tomter S, Hysten G, Nilsen J-E. 2009. 26. Norway. IN: National Forest Inventories, Pathways for Common Reporting. Eds. Tomppo E, Gschwantner T, Lawrence M, McRoberts RE. Springer.
- Vestjordet E. 1968. Volum av nyttbart virke hos gran og furu basert på relativ høyde og diameter i brysthøyde eller ved 2,5 m fra stubbeavskjær. *Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen* 25: 411-459.
- Woods A, Coates KD, Hamann A. 2005. Is an Unprecedented *Dothistroma* Needle Blight Epidemic Related to Climate Change? *Bioscience* 55: 761-769.

7. APPENDIKS A: JORDMODELLEN YASSO

Yasso er en modell for jordkarbon og nedbrytning i skog på mineraljord ned til 1 m dybde. Den er konstruert for å bruke data fra skogtaksering og basale klimadata. Modellen krever årlig input av biomasse fra i) blader, nåler og finrøtter, ii) grener og grovrøtter og iii) fra stammer og stubbe – fra stående bestand, fra hogstavfall og fra naturlig avgang. Input fra bunnvegetasjon er ikke medtatt. Disse ulike deler av biomassen beregnes fra stammevolumet ved å benytte publiserte biomassefunksjoner og estimater for produksjonen av nåler og røtter - "turn-over rates". Den modellberegnete nedbrytning av de 3 biomassefraksjoner (avhengig av temperatur, nedbrytningskoeffisienter og de kjemiske bestanddeler i ved) avgjør hva som blir liggende som død ved og hva som nedbrytes over tid (en rekke forskjellige organiske komponenter; se Figur 2 i rapporten). Modellen tar vare på mengden av de ulike komponenter (litter type, ulike jord pools); noe nedbrytes (utslipp av CO₂), noe transformeres till andre jord pools, og ny input kommer til. Den resulterende output fra modellen i et gitt år er således justert for de bevegelser mellom de ulike pools som er et resultat av tilførsel fra trærne og av nedbrytningen.

Tilpasning av Yasso til norske forhold (de Wit et al. 2006) ligger til grunn for anvendelsen her. For å sikre at jorden har bygget opp et karbonlager ved start er simuleringer med Yasso startet i 1960 med en beregnet likevekststilstand ("steady state", Peltoniemi et al. 2007). Denne fremkommer ved at modellen kjøres med startverdiene for input og klima inntil estimert jordkarbon er uforandret. Bruk av en tidsserie som starter langt før det tidspunkt hvor man ønsker informasjon, skal sikre minst mulig effekt av den feil som startverdien kan være beheftet med.

8. APPENDIKS B: FORUTSETNINGER FOR SKOGSKJØTSEL I PROGNOSEBEREGNINGENE

Prognoseberegningene er utført separat for fire ulike regioner (Tabell B1) slik at disse til sammen utgjør hele landet, med unntak av Finnmark fylke. Ved beregningene er det forutsatt at den årlige avvirkningen er fordelt mellom regionene i det samme forholdet som beregnet balansekvantum for regionene, under forutsetning av dagens skogkulturinnsats (Tabell B1).

B1. Regioninndeling brukt i prognoseberegninger samt den regionsvise fordeling av balansekvantum og den forutsatte andel av årlig avvirkning

Region	Beskrivelse	Andel årlig avvirkning og balansekvantum
1	Lavlandet østafjells	51%
2	Sørlandet og dalstrøkene på Østlandet	19%
3	Vestlandet	14%
4	Trøndelag og Nord-Norge	16%

For scenario 1 er det forutsatt planting på alle gran- og furudominerte arealer med bonitet 14 og bedre, naturlig foryngelse på svakere boniteter. For lauvtredominerte arealer forutsettes naturlig foryngelse på alle arealer (Tabell B2). Samme forutsetninger er brukt i scenario 4.

B2. Plantetall per dekar og ventetid for prognoseberegningene for scenario 1 og 4

Bonitet	Plantetall			Ventetid (år)		
	Gran	Furu	Lauv	Gran	Furu	Lauv
>=23	180	180	180	5	5	0
20	160	160	160	5	5	0
17	160	160	160	5	5	0
14	150	150	160	5	5	0
11	130	130	140	10	10	5
8	120	120	120	15	15	5
6	110	110	100	15	15	5

For scenario 2 er det forutsatt planting i granskog med bonitet 11 og bedre, samt furuskog med bonitet 14 og bedre. Naturlig foryngelse er forutsatt på svakere boniteter. For scenario 3 er det forutsatt planting i gran- og furuskog med bonitet 11 og bedre, naturlig foryngelse på svakere boniteter. På lauvtredominerte arealer antas det ingen økt planteaktivitet under scenario 2 og 3 slik at forutsetningene blir samme som under "dagens skogkultur" (Tabell B3).

B3. Plantetall per dekar og ventetid for prognoseberegningene for scenario 2 og 3

Bonitet	Scenario 2						Scenario 3					
	Plantetall			Ventetid (år)			Plantetall			Ventetid (år)		
	Gran	Furu	Lauv	Gran	Furu	Lauv	Gran	Furu	Lauv	Gran	Furu	Lauv
>=23	200	200	180	0	0	0	250	250	180	0	0	0
20	200	200	160	0	0	0	250	250	160	0	0	0
17	200	200	160	0	0	0	250	250	160	0	0	0
14	180	180	160	5	5	0	200	200	160	5	5	0
11	150	130	140	5	10	5	200	200	140	5	5	5
8	120	120	120	15	15	5	120	120	120	15	15	5
6	110	110	100	15	15	5	110	110	100	15	15	5

Forutsetningene for antall tynninger i fremtidig skog er de samme ved alle beregningsalternativene (Tabell B4).

B4. Antall tynninger brukt i alle beregningsalternativene. Angitt for 3 intervaller i plantetall

Bonitet	> 180			120 - 180			< 120		
	Gran	Furu	Lauv	Gran	Furu	Lauv	Gran	Furu	Lauv
>=23	1	2	2	1	1	1	0	0	0
20	1	2	2	1	1	1	0	0	0
17	1	2	2	1	1	1	0	0	0
14	1	2	2	1	1	1	0	0	0
11	1	1	2	1	1	1	0	0	0
8	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	0	0	0	0	0	0

9. APPENDIKS C: FORUTSETNINGER FOR TEMPERATURAVHENGIG BONITETSHEVING

Vi har forutsatt en temperaturøkning på 1,5 °C fra i dag i hele landet. Historiske klimadata for Landsskogtakseringens prøveflater ble anvendt for å analysere hvordan boniteten varierte med sommertemperaturen. For å sammenlikne skog med like betingelser for fuktighet og næring, ble prøveflatene for hvert treslag gruppert etter vegetasjonstype i 9 ulike kategorier (Tabell C1).

C1. Den absolutte bonitetsheving (dm) ved 1,5° C temperaturøkning for gran, furu og lauv

Vegetasjonstype	Kategori	Gran	Furu	Lauv
Uten vegetasjon	Tørr og fattig	0	6,0	0
Lavskog	Tørr og fattig	0	6,0	0
Bærlýngskog	Tørr og middels rik	19,5	10,5	13,5
Kalklågurtskog	Tørr og rik	19,5	13,5	24,0
Lågurtskog	Tørr og rik	19,5	13,5	24,0
Lågurt-eikeskog	Tørr og rik	19,5	13,5	24,0
Myske-bøkeskog	Tørr og rik	19,5	13,5	24,0
Alm-lindeskog	Tørr og rik	19,5	13,5	24,0
Røsslyng-blokkebærskog	Middelsfuktig og fattig	27,0	7,5	15,0
Blåbærskog	Middels fuktig og middels rik	25,5	13,5	18,0
Hagemarkskog	Middels fuktig og middels rik	25,5	13,5	18,0
Blåbær-eikeskog	Middels fuktig og middels rik	25,5	13,5	18,0
Smyle-bøkeskog	Middels fuktig og middels rik	25,5	13,5	18,0
Røsslynghei	Middels fuktig og middels rik	25,5	13,5	18,0
Småbregneskog	Middels fuktig og rik	31,5	19,5	27,0
Høgstaueskog	Middels fuktig og rik	31,5	19,5	27,0
Or-askeskog	Middels fuktig og rik	31,5	19,5	27,0
Furumyrskog	Fuktig og fattig	0	12,0	0
Nedbørsmyr	Fuktig og fattig	0	12,0	0
Fattig gras- og starmyr	Fuktig og fattig	0	12,0	0
Lågland-viersump	Fuktig og middels rik	24,0	10,5	15,0
Gran-bjørk sumpskog	Fuktig og middels rik	24,0	10,5	15,0
Storbregneskog	Fuktig og rik	21,0	0	24,0
Gråor-heggeskog	Fuktig og rik	21,0	0	24,0
Lauv-vier sumpskog	Fuktig og rik	21,0	0	24,0
Rik gras- og starmyr	Fuktig og rik	21,0	0	24,0

10. APPENDIKS D: FIGURES WITH ENGLISH TITLES

The Ministry of Agriculture and Food and the Climate and Pollution Agency requested that the results from the prognoses were presented in English. The figures in this Appendix are identical to figures 3 – 10 in the main text of the report. A negative change implies that the forest is a CO₂ sink relative to the atmosphere.

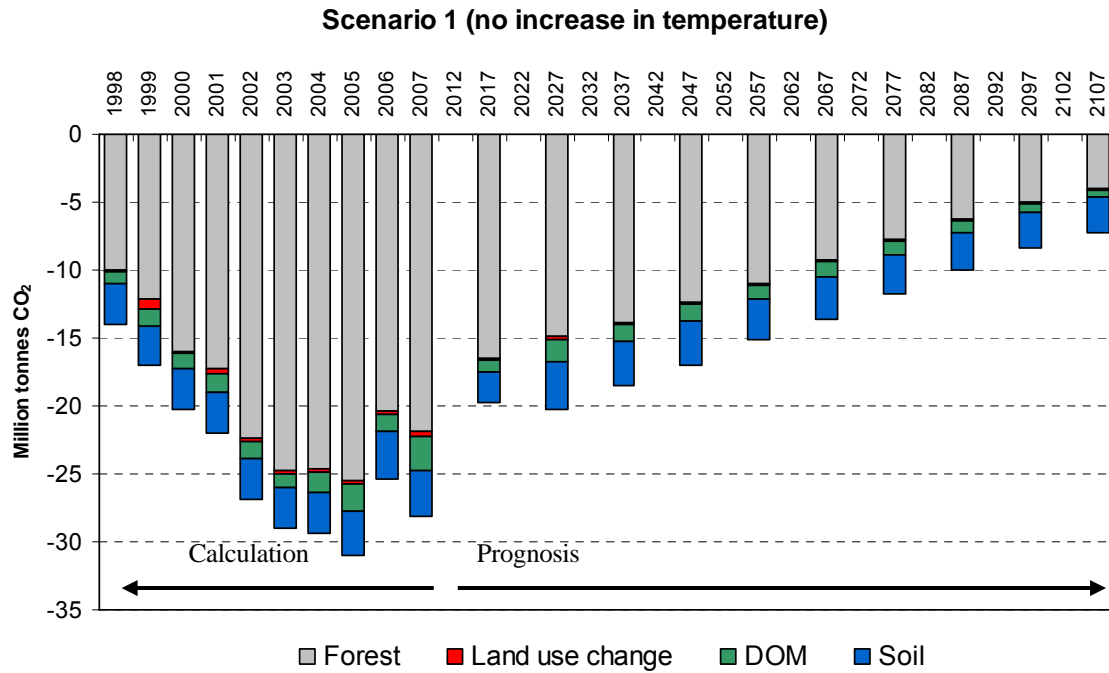


Figure 3. Changes in CO₂ in live biomass (Forest), from Land use changes, in dead organic material (DOM) and in Soil. The prognosis assumes the current level of harvest (10 million m³ annually) and planting intensity (20 million plants annually) and no increase in temperature.

Scenario 1 (2 °C increase in temperature)

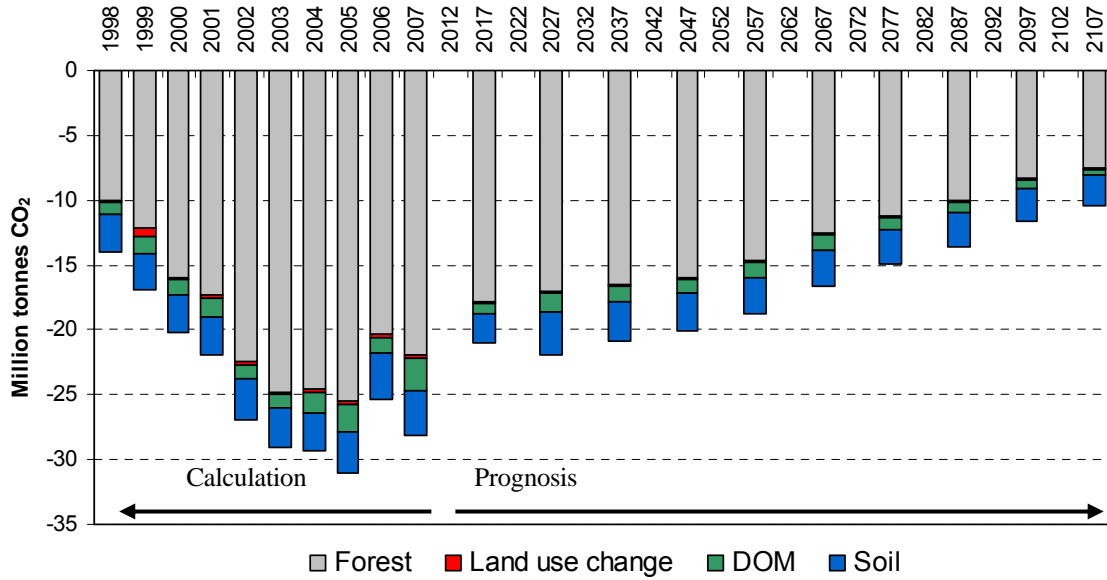


Figure 4. Changes in CO₂ in live biomass (Forest), from Land use changes, in dead organic material (DOM) and in Soil. The prognosis assumes the current level of harvest (10 million m³ annually) and planting intensity (20 million plants annually) and a 2°C increase in temperature.

Scenario 2 (2 °C increase in temperature)

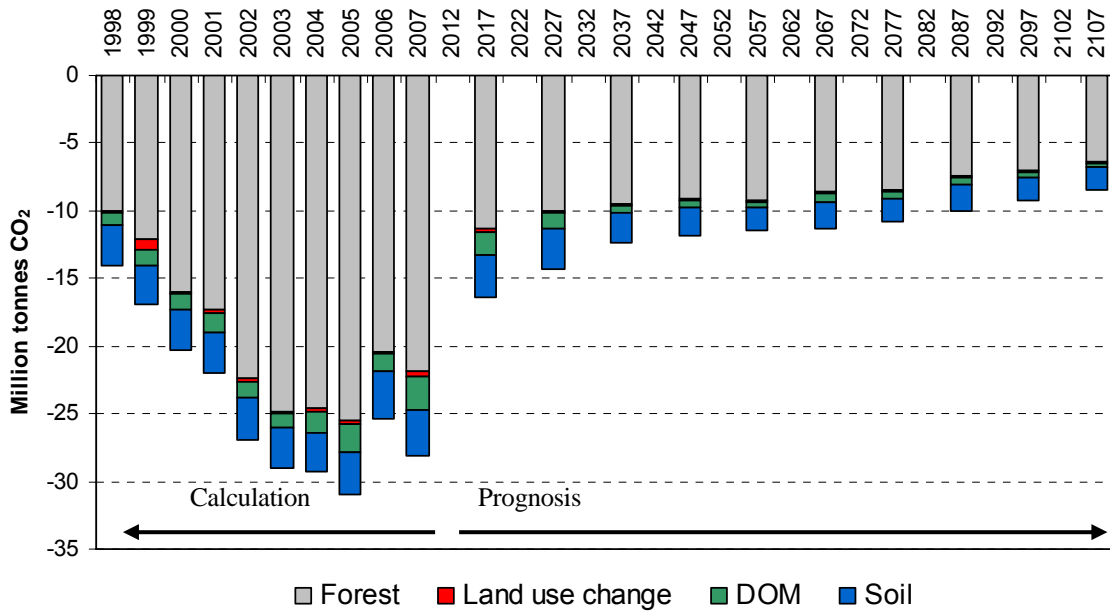


Figure 5. Changes in CO₂ in live biomass (Forest), from Land use changes, in dead organic material (DOM) and in Soil. The prognosis assumes an increase in the level of harvest (15 million m³ annually) and planting intensity (50 million plants annually) and a 2°C increase in temperature.

Scenario 3 (2 °C increase in temperature)

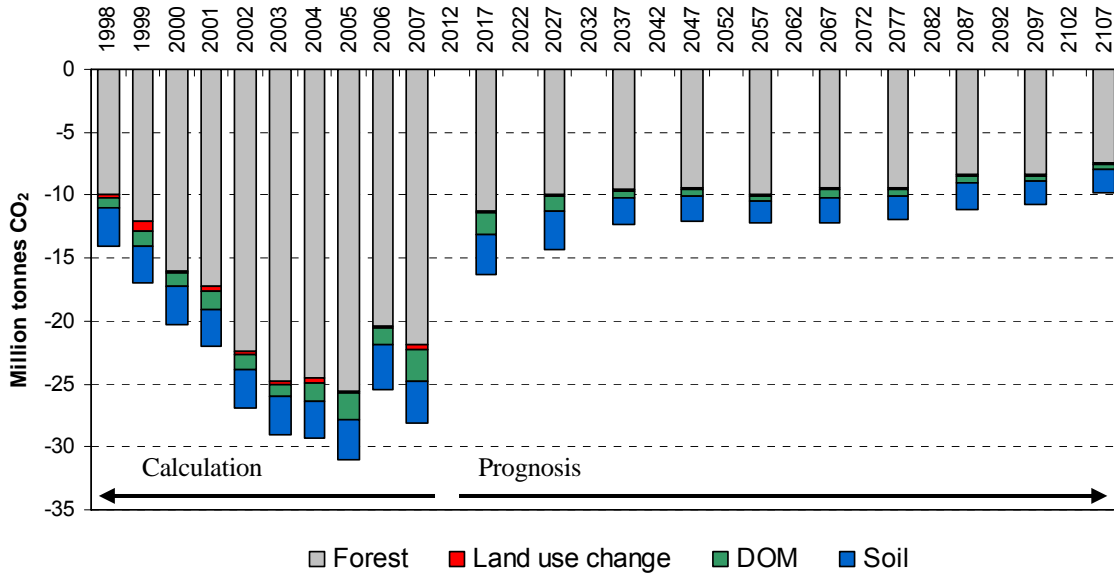


Figure 6. Changes in CO₂ in live biomass (Forest), from Land use changes, in dead organic material (DOM) and in Soil. The prognosis assumes an increase in the level of harvest (15 million m³ annually) and planting intensity (70 million plants annually) and a 2°C increase in temperature.

Scenario 4 (2 °C increase in temperature)

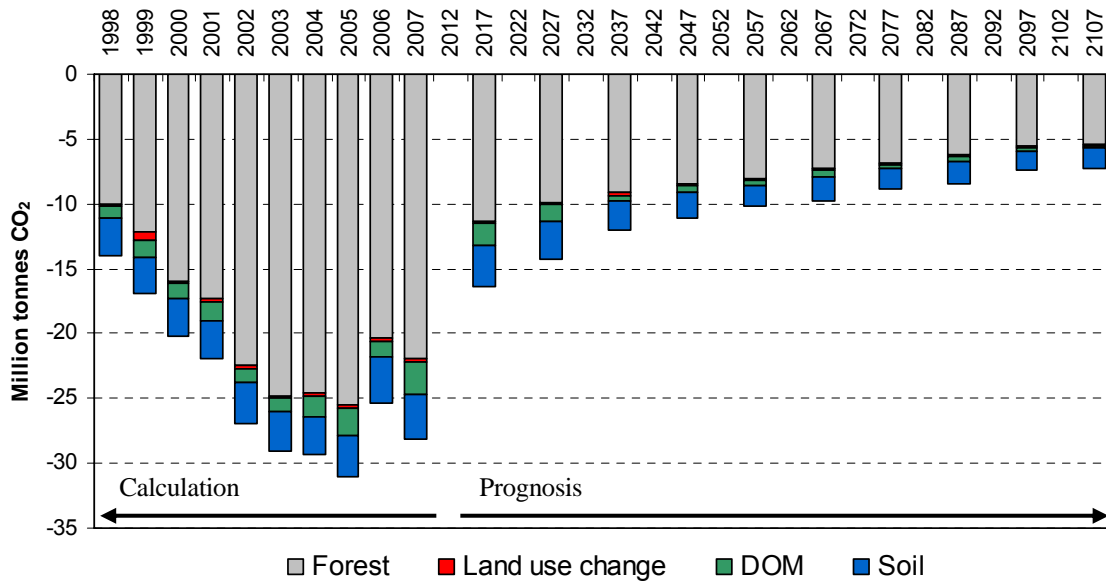


Figure 7. Changes in CO₂ in live biomass (Forest), from Land use changes, in dead organic material (DOM) and in Soil. The prognosis assumes an increase in the level of harvest (15 million m³ annually) and a planting intensity (plants per area) similar to the current (appr. 30 million plants annually) and a 2°C increase in temperature

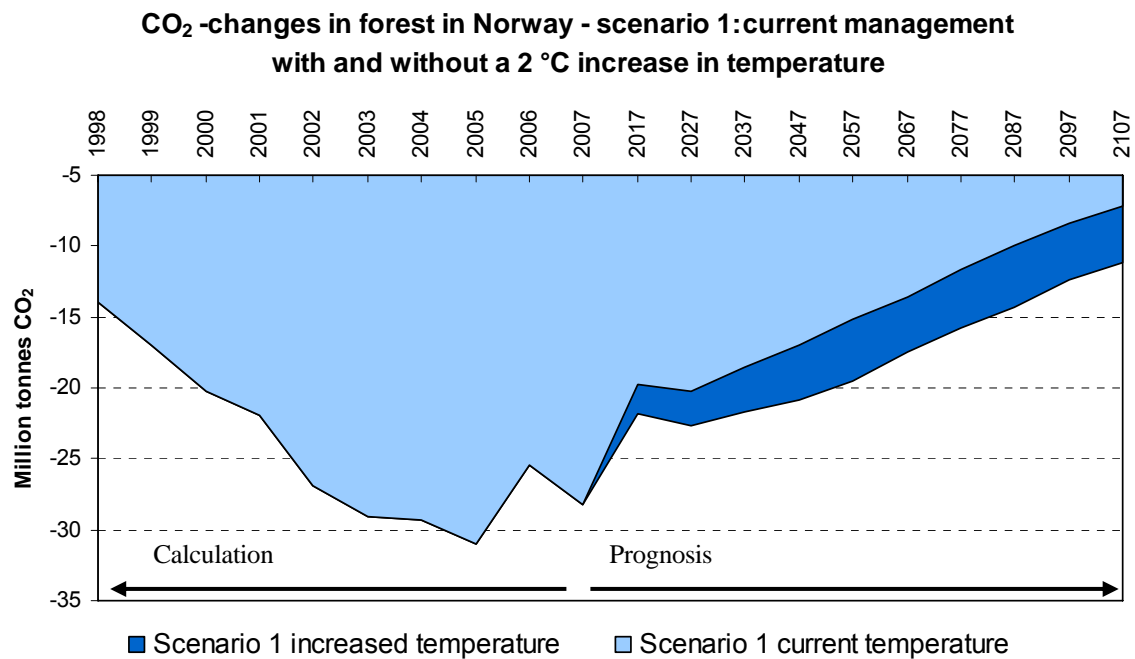


Figure 8. Changes in CO₂ including live biomass in forests, land use changes, dead organic material and in soil. Forecast of scenario 1 (current level of harvest and planting intensity) with and without an increase in temperature.

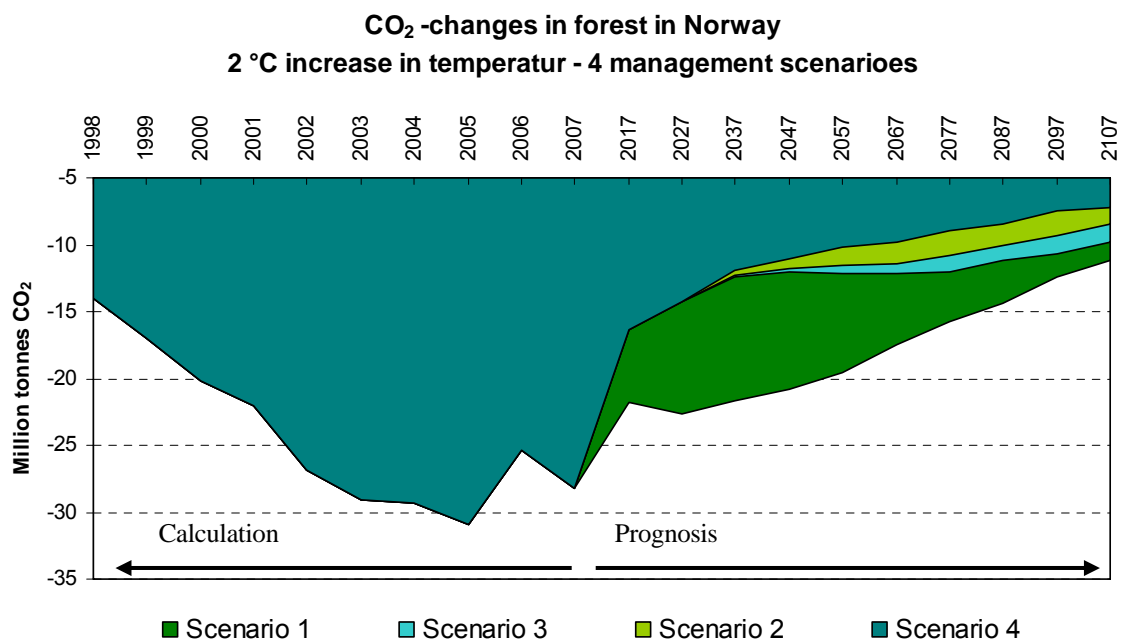


Figure 9. Changes in CO₂ including live biomass in forests, land use changes, dead organic material and in soil. Forecast of scenario 1, 2, 3 and 4 assuming an increase in temperature.

**CO₂-changes in forest in Norway - including harvest
2 °C increase in temperature and 4 management scenarios**

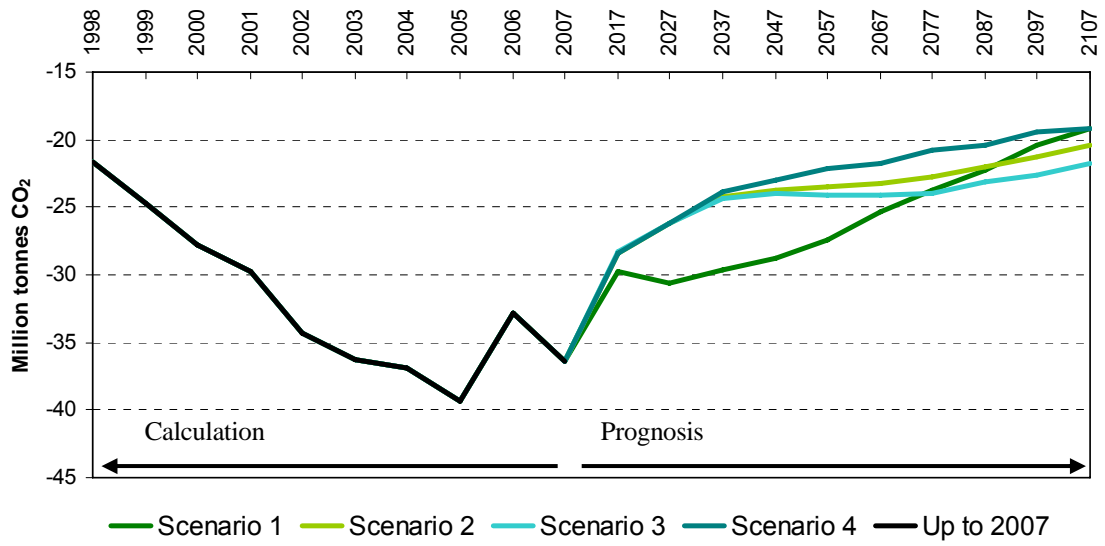


Figure 10. Changes in CO₂ including live biomass in forests, in harvested volume, from land use changes, in dead organic material and in soil. Forecast of scenario 1, 2, 3 and 4 assuming an increase in temperature.