



RAPPORT

M-519 | 2016

Vern eller bruk av skog som klimatililtak



KOLOFON

Utførende institusjon

Miljødirektoratet, Landbruksdirektoratet, Norsk institutt for bioøkonomi

Oppdragstakers prosjektansvarlig

Kontaktperson i Miljødirektoratet

Ketil Flugsrud

M-nummer

519

År

2016

Sidetall

21

Miljødirektoratets kontraktnummer

Utgiver

Miljødirektoratet

Prosjektet er finansiert av

Forfatter(e)

Arbeidsgruppe: Ketil Flugsrud, Elin Økstad, Ole-Kristian Kvissel, Ellen Bruzelius Backer, Gunnhild Søgaard, Aksel Granhus, Torleif Terum, Linn Viken Bø
Styringsgruppe: Audun Rosland, Rasmus Astrup, Geir Grønningsæter

Tittel - norsk og engelsk

Vern eller bruk av skog som klimatiltak

Sammendrag - summary

4 emneord

Klima, skog, skogvern, skogsdrift

4 subject words

Forsidefoto

John Yngvar Larsson ©/ NIBIO

Innledning

Denne rapporten svarer på et oppdrag fra Klima- og miljødepartementet og Landbruks- og matdepartementet: *Hva er klimaeffekten av skogvern?* Er klimanytten av skogen størst ved å bruke den som karbonlager gjennom vern av skog, eller er den størst som leverandør av biomasse som kan brukes i stedet for fossile ressurser? Vern av skog som klimatiltak er omtalt i klimameldingen (St.meld 21 (2011-2012)) og departementene har derfor bedt Miljødirektoratet, Landbruksdirektoratet og NIBIO om å utrede vern av skog som klimatiltak.

Skogvern er et viktig tiltak for å fremme bevaring av biologisk mangfold, friluftsliv, kulturlandskap og andre miljøaspekter. I denne rapporten vurderes ikke skogvern i disse sammenhengene. Hensikten med rapporten er å vurdere effekt på utslipp og opptak av klimagasser og biofysiske faktorer som påvirker klima ved vern av skog sammenlignet med skogsdrift. Rapporten tar heller ikke opp skogens rolle i tilpasning til et endret klima, eller effekter av vern for skogbruksnæringen og andre næringer.

I dette oppdraget forstås skogvern som permanent vern mot skogsdrift, hvor resultatet er «unngått hogst» av skog som ellers ville blitt hogd. Vår vurdering omfatter derfor kun vern av skog som er aktuell for hogst der det etter hogst forynges slik at det kommer opp ny skog.

Når skogen hogges, og trevirket etter hvert brytes ned eller forbrennes, vil CO₂ frigis til atmosfæren. Dette utslippet blir tatt opp igjen når skogen vokser til på nytt. Tidsperioden mellom utslipp og opptak av karbon i boreal skog er blitt framhevet som viktig i vurderingen om bruk eller vern av skog i klimasammenheng. Betydningen av denne og av skogens naturlige syklus er derfor en viktig del av drøftelsene i denne rapporten.

I dette oppdraget tar vi utgangspunkt i arbeidet fra FNs klimapanel. Den viktigste rollen til FNs klimapanel er å utføre regelmessige vurderinger og sammenfatninger av den til enhver tid gjeldende kunnskapsstatus om klima og klimaendringer. I løpet av 2013 og 2014 publiserte FNs klimapanel sin femte hovedrapport. I dette oppdraget foretar vi dermed ikke en egen litteraturgjennomgang, men baserer oss på det arbeidet som er gjort av verdens ledende forskere innen de respektive felt gjennom FNs klimapanel. Den femte hovedrapporten inkluderer også ledende norsk forskning¹, som sammen med internasjonal forskning er syntetisert til globale sammenstillinger av klimarelevant kunnskap. I tillegg til gjennomgang av femte hovedrapport har etatsgruppen hatt seminarer og dialog med sentrale miljøer som har bidratt til FN-rapporten, bl. a. NTNU og Cicero.

FNs klimapanel sammenfatter eksisterende kunnskap knyttet til klima og klimaendringer. Klimapanelets sammenstilling har et globalt perspektiv slik at det i noen tilfeller vil være utfordrende å trekke ut konkrete konklusjoner om spesifikke forvaltnings spørsmål for norsk skog. Det vil også være tilfeller der forskningen ikke har en entydig konklusjon. En viktig oppgave for etatsgruppen har derfor vært å trekke fram konklusjoner og drøftinger som er relevante for spørsmålet om vern kontra bruk av skog, og å sette klimapanelets anbefalinger og vurderinger inn i en norsk sammenheng.

¹ Blant annet fra NTNU (Strømman m.fl.), Cicero (Fuglestad m.fl.), Bjerknessenteret (Jansen m.fl.), Nibio (Bright m.fl.), SSB (Holtmark)

Denne rapporten er delt i fire hoveddeler. Den første delen redegjør for hvordan vi har definert skogvern som klimatiltak i en norsk kontekst, og legger fast viktige premisser for de videre vurderinger. Deretter følger en del som tar for seg klimaendringene og skogens rolle. Her gjøres det blant annet rede for det raske og det langsomme karbonkretsløp, karbonbudsjett, og hvordan skog og arealbruk er omtalt i den siste hovedrapporten til FNs klimapanel. Skogarealene kan også virke direkte på klima gjennom biofysiske faktorer, som for eksempel refleksjon av lys fra arealer (albedo). Dette er omtalt separat til slutt i denne delen av rapporten. Den tredje delen i rapporten tar for seg virkninger fra skog og skogbruk på CO₂ i atmosfæren, inkludert temaer som karbonlager i skogen, substitusjonseffekt, og karbondjeld. Hvilket tidsperspektiv som bør legges til grunn i vurderingen for vern eller bruk av skogen er drøftet primært i delen om klimaendringer og skogens rolle, men blir berørt også i andre deler av besvarelsen. Siste del av besvarelsen tar for seg etterspørsel etter skogprodukter. Gjennom hele rapporten trekker vi inn relevante momenter fra FNs klimapanel. Rapporten avsluttes med en oppsummering av hovedmomentene og konklusjon.

1. Skogvern som klimatiltak i norsk kontekst

I Norge har skogvern tradisjonelt vært et tiltak med hovedmål å bevare et representativt utvalg av norsk skognatur med tilhørende biologisk mangfold. Målsettingene for vern av skog framgår av St.meld. nr 14 (2015-2016) «Natur for livet». Norge har et totalt skogareal på 121 908 km², hvorav det produktive skogarealet er på 86 536 km². Av det produktive skogarealet er 2 403 km², det vil si 2,8 prosent, vernet².

I dette oppdraget, hvor vi utreder klimaeffekten av skogvern, forstås skogvern som permanent vern mot skogsdrift, hvor resultatet er «unngått hogst» av skog som ellers ville blitt hogd. Vår vurdering omfatter derfor kun vern av skog som er aktuell for hogst der det etter hogst forynges slik at det kommer opp ny skog. Vern av områder som ikke ville blitt hogd er derfor utelukket fra vår vurdering. Effekten av skogvern som definert her er følgelig at arealer som ellers ville vært tilgjengelig for høsting av tømmer og annen biomasse tas ut av drift, og vi forutsetter at samlet avvirkning på landsbasis reduseres.

Skogvern som klimatiltak i Norge vil på mange måter skille seg fra hvordan skogvern er omtalt i FNs klimapanelers femte hovedrapport. I hovedrapporten omtales vern hovedsakelig som unngått avskoging og forringelse av skogarealer; det vil si unngåtte *utslipp* av klimagasser fra avskoging. I norsk sammenheng er skogvern foreslått som ett av flere klimatiltak i skog med hensikt «å opprettholde eller øke karbonlageret», jf. St mld 21 (2011-2012). Vår forståelse av skogvern som klimatiltak, «unngått hogst av skog som ellers ville blitt hogd», er at det ikke er rettet mot avskoging i Norge. Det betyr ikke at det ikke foregår avskoging i Norge. Det er i gjennomsnitt avskoget i overkant av 70 km² per år siden 1990. I 2012 var utslippet fra avskoging på om lag 2,6 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (Norwegian Environment Agency

² Kilde: NIBIO/Landsskogtakseringen 2010-2014.

2014³). Avskogingen forårsakes hovedsakelig av nedbygging til boligområder, infrastruktur mv. (Søgaard mfl. 2015).

Bærekraftig skogbruk

Det er lagt til grunn for våre vurderinger at skognæringen i Norge driver bærekraftig skogsdrift i overensstemmelse med gjeldende lover, regler og frivillige sertifiseringsordninger.

Bærekraftig skogbruk i klimasammenheng innebærer at skogens produktivitet og evne til å lagre karbon ikke forringes, og at karbonbeholdninger ikke reduseres permanent. Vanlige skogbruksaktiviteter, som tynning og sluttavvirkning, vil normalt ikke redusere verken produktivitet eller skogens evne til å lagre karbon, og reduksjonen som skjer i karbonlageret er av midlertidig karakter. Det er imidlertid en forutsetning at det ikke avvirknes, eller at det tas særskilte hensyn ved avvirkning, i sårbare områder (f.eks. vernskogbelter mot fjell og kyst⁴), og at skogbruksaktivitet generelt foregår på en slik måte at skogens evne til å lagre karbon ivaretas⁵ eller økes⁶. Det kan heller ikke gjøres tiltak som gir permanente reduksjoner i karbonlager, f.eks. gjennom drenering av myrer for skogproduksjon⁷.

Det lovverket som i hovedsak regulerer skogbruket i dag, «Lov om skogbruk» (skogbrukslova) og «Forskrift om bærekraftig skogbruk», har føringer for å sikre det langsiktige produksjonsgrunnlaget, og dermed implisitt både produktivitet og evnen til å lagre karbon.

2. Klimaendringer og skogens rolle

Karbonkretsløpet

FNs klimapanel beskriver det globale karbonkretsløpet som en rekke lager av karbon, med en viss utveksling seg imellom. Basert på hastigheten på omsetningen kan en dele kretsløpet i to deler, en del med svært langsom omsetning (> 10 000 år) og en del med relativt rask omsetning. Delen med langsom omsetning inkluderer karbon lagret i bergmasser og sedimenter, som olje, naturgass og kull. Den raske delen omfatter karbon i atmosfæren, havet, overfladiske sedimenter på havbunnen og karbon på land i vegetasjon, jordsmonn og ferskvann. Fra naturens side er det lite utveksling mellom de to delene (WG1 avsn. 6.1.1.1).

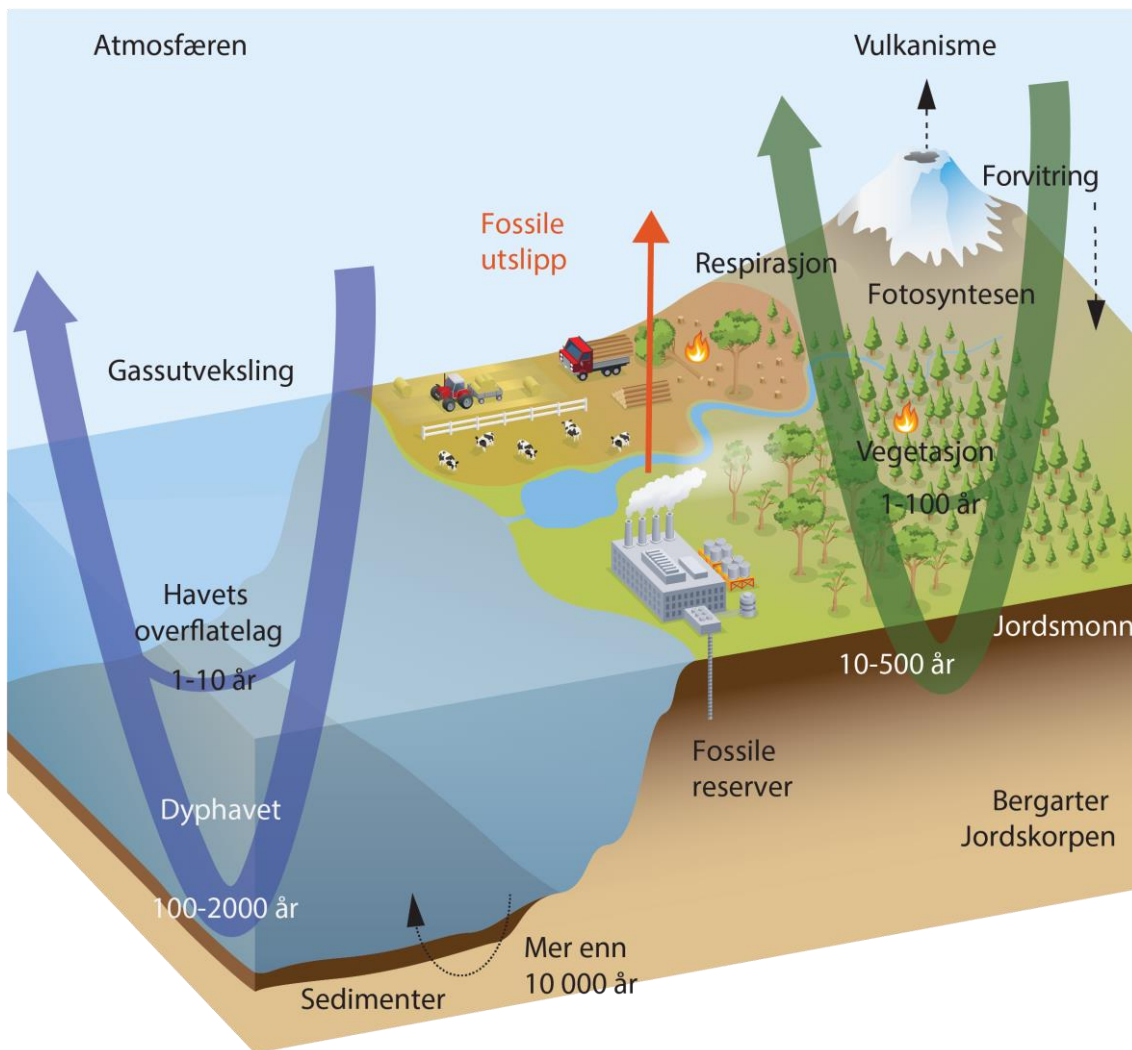
³ Dette er det Norge har rapportert under artikkel 3.3 Avskoging i Kyotoprotokollen for første rapporteringsperiode (1990 - 2012). Det er rapportert i Norges National Inventory Report fra 2014 (Norwegian Environment Agency 2014).

⁴ Slike sårbare områder er beskyttet gjennom § 12 i Skogbrukslova: «Fylkesmannen kan gi forskrift om at skog skal være vernskog når skogen tener som vern for annen skog eller gir vern mot naturskadar. Det same gjeld område opp mot fjellet eller ut mot havet der skogen er sårbar og kan bli øydelagt ved feil skogbehandling. Forskrifta skal leggje fast grensene for vernskogen og gi reglar for forvaltninga av skogen.»

⁵ Dette forutsetter blant annet at arealene forynges tilfredsstillende etter sluttavvirkning. Dette er regulert gjennom skogbrukslova som i § 6 sier «Skogeigaren skal sørgje for tilfredsstillande forynging etter hogst, og sjå til at det er samanheng mellom hogstform og metode for forynging.»

⁶ Gjennom aktive skogbrukstiltak som for eksempel bruk av foredlet plantemateriale, tettere planting og gjødsling er det mulig å øke skogens produktivitet.

⁷ Forbudt etter § 5 i Forskrift om bærekraftig skogbruk («Nygrøfting av myr og sumpskog med sikte på skogproduksjon er forbode»).



Figur 1 Karbonkretsløpet med de viktigste strømmene. De langsomme delene av kretsløpet er vist med svarte piler (vulkanisme, forvitring og sedimenter). De raske delene er vist med grønne og blå piler og viser strømmene mellom atmosfære, hav og vegetasjon. Den røde pilen viser tilførsel av fossilt karbon fra det langsomme kretsløpet til det raske kretsløpet. Tykkelsen av pilene viser størrelsen på strømmene. Merk at det er både opptak og utslipp fra terrestriske systemer og fra havet, mens utslipp fra fossilt er en enveis prosess. Selv om de grønne og blå pilene er kraftigere enn den røde pilen, er utslipp fra fossile kilder større enn nettostrømmene mellom hav og vegetasjon. Kilde: IPCC (2013).

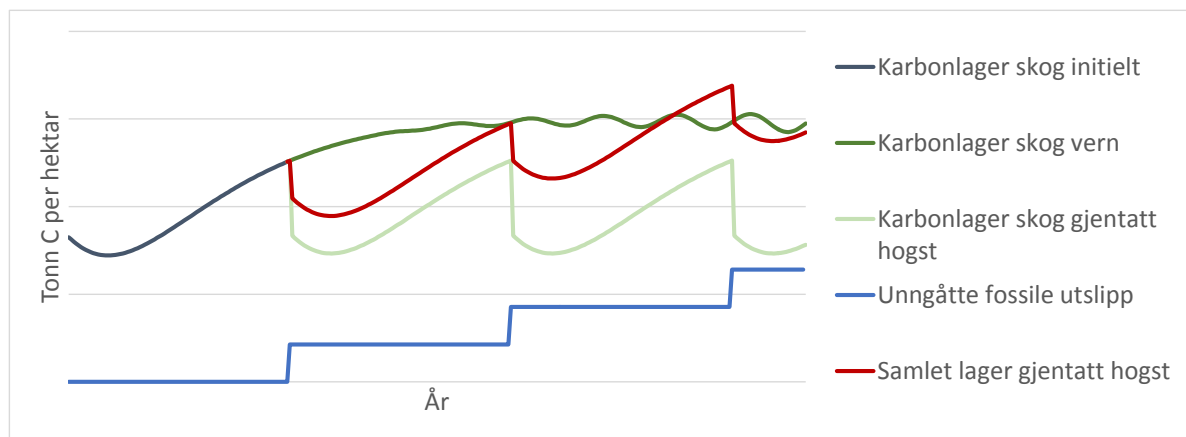
Både forvaltet skog og naturskog er en del av det globale karbonkretsløpet med relativt rask omsetning. Dette betyr at det alltid vil være temporære fluktusjoner i skogens karbonlager og utslippsrater (boks 1). I forvaltet skog vil hogst føre til frigivelse av karbon til atmosfæren, mens veksten av skogen vil føre til opptak av karbon. Videre vil forvaltet skog også ha utslipp av karbon til atmosfæren gjennom naturlige prosesser som medfører mortalitet og nedbrytning av biomasse. I naturlig skog vil det også være større og mindre fluktusjoner i karbonlager og utslipp av karbon til atmosfæren gjennom naturlige prosesser som medfører mortalitet og nedbrytning av biomasse.

FNs klimapanel sier at den observerte temperaturendringen i all hovedsak skyldes overførsel av karbon i langsom omsetning (fossilt karbon) inn i karbonsyklusen med rask omsetning. I 2010 bidro utslipp av klimagasser fra skog og annen arealbruk med om lag 11% av de samlede utslippene i verden (IPCC, 2014b). Dette utslippet stammer hovedsakelig fra avskoging og

skogforringelse. Avskoging og skogforringelse er per definisjon permanente endringer og kan betraktes som enveis prosess med atmosfæren på samme vis som fossile utslipp. Avskoging og skogforringelse kan dermed sidestilles med tilførsel av fossil karbon til atmosfæren.

Den sentrale klima utfordringen er dermed å redusere tilførselen av karbon fra det langsomme kretsløpet inn i det raske, det vil si å redusere utslipp av fossilt karbon samt avskoging og skogforringelse. Samtidig må man sikre en god forvaltning av det raske kretsløpet. Bærekraftig utnyttelse av biomasse fra skog er utnyttelse av karbon som allerede er i det raske kretsløpet. Motsatt vil vern av skog for økt karbonlagring føre til at det blir mindre biomasse til å erstatte produkter med høy utslippsintensitet. Det gir tilførsel av karbon fra det langsomme kretsløpet til det raske kretsløpet, og løser ikke det grunnleggende langsiktige problemet med klimaendringene.

Boks 1: Prinsippskisse for utviklingen av karbonlagre ved hogst eller unngått hogst i et skogbestand.



Kilde: Miljødirektoratet

Figuren viser et eksempel på hvordan hogst av et enkelt bestand på kort sikt gir mer CO₂ i atmosfæren enn å la skogen stå, mens bruk av skogprodukter til erstatning av utslippsintensive produkter gjør at hogst på lengre sikt gir lavere CO₂ i atmosfæren.

Den *svarte* kurven fra venstre viser karbonlageret i et skogbestand fra etter en avvirking til skogen er hogstmoden. Nedgangen i starten skyldes dels hogstavfall som nedbrytes og dels en temporær reduksjon av karbonmengden i jordsmonnet grunnet endringene i mikroklima som hogsten medfører. Etter hvert øker lageret fordi skogen vokser og mengden jordkarbon igjen øker.

Fra tiden for hogstmodent bestand vises to alternative scenarier for lageret i skogbestandet.

Mørk grønn kurve viser en mulig utvikling dersom bestandet vernes mot hogst. Veksten fortsetter en stund, men karbonlageret flater etter hvert ut. Etter hvert som trærne dør vil død biomasse utgjøre en økende andel av lageret. Det samlede lageret i levende og død biomasse inkludert jordsmonn vil variere over tid på grunn av naturlige forstyrrelser og suksesjon som gir svingninger i dødelighet og gjenvekst, og det er en risiko for større nedgang på grunn av storm, brann, tørke, insektangrep osv.

Lys grønn kurve viser at dersom bestandet fortsatt drives vil syklusen fra første omløp gjenta seg. Lageret synker brått på grunn av biomasse som fjernes fra skogen ved foryngelseshogst.

I dette systemet vil karbon som ikke er lagret i skog eller produkter være i atmosfæren. Forskjellen mellom de to forløpene viser derfor at hogstscenariet vil gi mer CO₂ i atmosfæren når vi bare ser på det som skjer med skogen, især de første årene etter hogst.

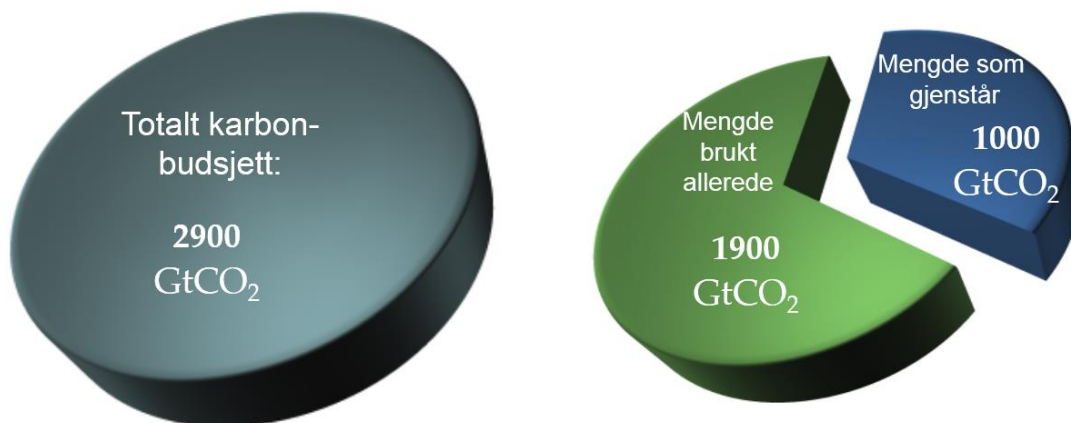
Blå kurve viser at når en bruker biomasse fra skogen unngås fossile utslipp fra energi og produkter som blir erstattet. Disse unngåtte utslippene regnes her inn på samme tid som avvirkingen. Hver hogstsyklus vil gi en ny runde med unngåtte utslipp.

Rød kurve viser samlet virkning av hogstscenariet: hvor mye CO₂ som holdes unna atmosfæren. Over tid vil denne kurven ligge mer og mer over kurven for vernet skog. Det samlede bildet er derfor at på lengre sikt vil avvirking og unngåtte utslipp gi mindre CO₂ i atmosfæren.

Kurvene på figuren er ment som et eksempel og viser bare de generelle prinsippene. I praksis vil det være usikkerhet omkring forløpet i skog som blir stående, og i noen skogtyper vil det kunne være betydelig risiko for store midlertidige reduksjoner i karbonlageret på grunn av stormskader, skogbrann, mv. Videre vil forløpet i aktivt drevet skog påvirkes bl.a. av tiltak som plantetetthet, gjødsling osv., som kan øke karbonlagret i denne skogen. For et større område med spredning på mange aldersgrupper og jevnt hogst, vil karbonlageret være stabilt uten periodevise svingninger.

Karbonbudsjett for togradersmålet

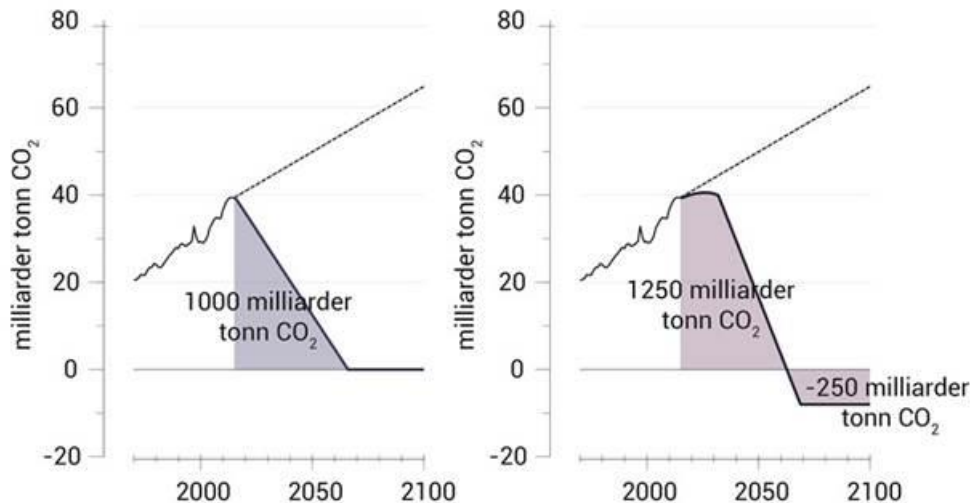
I den femte hovedrapporten har FNs klimapanel kommet fram til et «karbonbudsjett». Resultater fra flere integrerte modeller brukt i rapporten viser at for å holde den gjennomsnittlige menneskeskapte globale oppvarmingen under to grader, sammenlignet med nivået fra før-industriell tid, må de totale klimagassutslippene fra 2012 begrenses til ca. 1000 Gt CO₂.



Figur 2: Karbonbudsjett for å holde den globale temperaturøkningen under to grader. Kilde: IPCC (2013).

Utnyttelse av skog medfører midlertidige utslipp av karbon som vil bli tatt opp igjen i den nye skogen som vokser opp. Karbonbudsjettet, og de 1000 Gt som er igjen, er å forstå som en absolutt størrelse hvor tidspunkt for utslippene ikke er sentralt. De midlertidige utslippene fra skog ved hogst i ordinær skogsdrift vektlegges ikke i tankegangen med karbonbudsjett fordi karbonet bare er midlertidig i atmosfæren og dermed ikke bidrar til overskridelse av budsjettet. Når man tar hensyn til at bruk av biomasse kan erstatte fossile produkter og slik unngå fossile utslipp, vil utnyttelse av skog på lengere sikt medføre en lavere konsentrasjon av atmosfærisk karbon sammenlignet med om skogen ikke hadde blitt høstet og brukt (boks 1).

Felles for klimapanelets utslipps-scenarier som forutsetter at den globale oppvarmingen holdes under 2 grader i forhold til førindustrielt nivå, er at det kreves betydelige utslippsreduksjoner over de neste tiårene, og nær nullutslipp av CO₂ og langlevde klimagasser deretter. I mange av scenariene hvor reduksjon av fossile utslipp ikke går raskt nok, kreves det netto negative CO₂-utslipp mot slutten av århundret for å unngå at den globale gjennomsnittstemperaturen overstiger 2 grader (se figur 3). Negative utslipp kan oppnås gjennom for eksempel påskoging (økt opptak) og bio-CCS (karbonfangst og lagring kombinert med bruk av bioenergi). Skog kan med andre ord være en viktig kilde til negative utslipp.



Figur 3: Skjematiske utslippsbaner for å begrense utslippene til 1000 Gt CO₂. Venstre graf viser et scenario med reduksjon i utslippene som starter med en gang. Høyre graf viser et scenario der reduksjonen utsettes i 20 år. Budsjettet krever da både raskere reduksjon og negative utslipp. Kilde: Van Vuuren mfl. 2015.

Behov for raske tiltak og politiske målsetninger

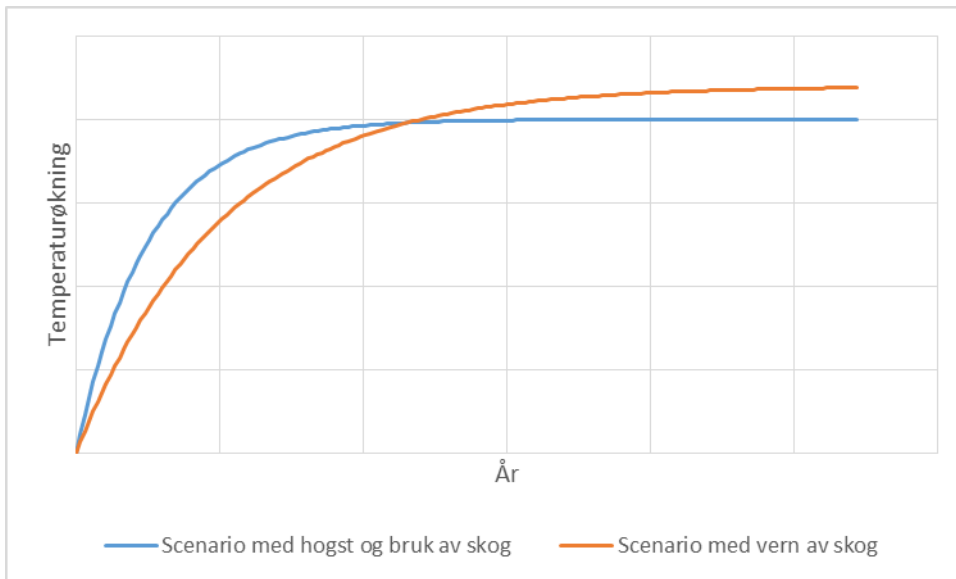
Dersom dagens globale utslippsnivå fortsetter (ca. 50 Gt CO₂-ekv/år) vil hele karbonbudsjettet være brukt opp innen ca. 2030. Derfor framheves ofte behovet for å gjennomføre raske tiltak i diskusjonen omkring reduksjon av utslipp. Hovedårsaken for å framheve raske utslippsreduksjoner er imidlertid vanligvis ikke relatert til klimasystemet, men som oftest til samfunnsomstillingen. Dersom man ikke gjennomfører raske reduksjoner nå må utslippene kuttes så raskt senere at det anses som mindre realistisk, samtidig som det vil medføre store kostnader og fundamentale samfunnsendringer over kort tid (jf. figur 3 ovenfor). Når man snakker om behovet for raske utslippsreduksjoner er det altså ikke hensynet til klimaet de neste 20-30 år som er det viktigste. Tiltakene skal hjelpe oss å nå mål for utviklingen i klimaet fram mot 2100 og lengre framover.

Det er også fysiske, biologiske og samfunnsmessige grunner til å unngå en brå økning av gjennomsnittstemperaturen. Blant annet er det et mål å sikre at økosystemene får lengre tid til å tilpasse seg et endret klima, jf. Klimakonvensjonens art 2 annet punktum⁸.

Vippepunkter, hvor fysiske systemer eller økosystemer risikerer brå og irreversible endringer, er omtalt av FNs klimapanel. Det er usikkert ved hvilke terskelnivå for den globale oppvarmingen slike vippepunkter vil kunne inntreffe, selv om risikoene for å nå flere vippepunkter øker med økende temperatur.

Risikoen for vippepunkter er gjerne knyttet til en viss temperaturøkning (figur 4). Dersom man når et vippepunkt før temperaturøkningen stabiliserer seg, vil man på ett eller annet tidspunkt nå dette vippepunktet uavhengig av om man har valgt å verne eller å drive skogen. I så fall er det hvor mye temperaturen øker på lang sikt som har betydning for risikoen, og ikke hvor raskt temperaturøkningen skjer.

⁸ Hele art 2 lyder som følger: “**ARTICLE 2 OBJECTIVE** The ultimate objective of this Convention and any related legal instruments that the Conference of the Parties may adopt is to achieve, in accordance with the relevant provisions of the Convention, stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system. Such a level should be achieved within a time-frame sufficient to allow ecosystems to adapt naturally to climate change, to ensure that food production is not threatened and to enable economic development to proceed in a sustainable manner.”



Figur 4. Skjematisk temperaturutvikling for scenarier med vern og bruk av skog. Med bruk av skog vil det på kort sikt bli mer CO₂ i atmosfæren (boks 1), og temperaturen vil derfor stige litt raskere. Over tid vil de unngåtte utslippene ved bruk få større betydning, og man kan forvente at temperaturøkningen stabiliserer seg på et lavere nivå enn dersom man verner skogen. Kilde: Miljødirektoratet

FNs klimakonvensjon har et langsiktig perspektiv, i det formålet med konvensjonen slik det framgår i art 2 er en stabilisering av konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren «at a level that would prevent dangerous anthropogenic (human induced) interference with the climate system». Dette har senere blitt operasjonalisert til to-gradersmålet og målsettingen fra Paris-avtalen om at det skal være en balanse mellom menneskeskapt utslipp og opptak av klimagasser i andre halvdel av dette århundret.

Oppsummert ser vi det slik at i spørsmålet om skogvern som klimatiltak er det særlig to momenter fra arbeidet til FNs klimapanel som er sentrale. For det første er klimaproblemet primært forårsaket av at fossilt karbon fra det langsomme geologiske kretsløpet forbrennes og frigjøres til atmosfæren, for så å gå inn i det raske kretsløpet mellom atmosfære, hav og skog/jord. Den sentrale løsningen på problemet er å redusere bruken av fossilt karbon, og samtidig sikre en god forvaltning av det raske karbonkretsløpet.

For det andre krever karbonbudsjettet på 1000 Gt for å nå togradersmålet handling raskt for at den nødvendige effekten skal oppnås på lang sikt. Vern og bruk av skog har ulik virkning på CO₂-nivået på ulike tidsperspektiver. Vern av skog gir på kort sikt mindre CO₂ i atmosfæren enn bruk. Bruk av skog gir mindre CO₂ på lengre sikt fordi biomassen kan bidra til å unngå fossile utslipp.

Klimatiltak knyttet til sektoren skog og arealbruk

I synteserapporten (IPCC 2014b) presenterer FNs klimapanel en oversikt over tiltak i skog og arealbrukssektoren for å motvirke klimaendringer (Tabell 4.4). Tiltakene er inndelt i fire grupper, og alle berører spørsmålet om hvorvidt klimanytten av skogen er størst ved å bruke den som karbonlager eller som leverandør av biomasse som kan erstatte fossile utslipp. Av relevans for vår problemstilling er følgende nevnt:

Utslippsreducerende tiltak: Bevaring av eksisterende karbonbeholdninger gjennom bærekraftig skogforvaltning, redusert avskoging og forringelse av skog.

Opptaksmuligheter⁹: Øke eksisterende karbonbeholdninger gjennom f.eks. påskoging, foryngelse etter hogst og karbonopptak i jord.

Substitusjonsmuligheter: Bruk av biologiske produkter i stedet for fossile/klimagassintensive produkter (f.eks. bioenergi, konstruksjonsvirke).

Tiltak på etterspørselssiden: Bruk av lengelevende treprodukter.

FNs klimapanel sier at CO₂-utslippene fra skog og annen arealbruk har gått ned de seneste årene først og fremst på grunn av redusert avskoging i utviklingsland og økt påskoging. De sier også at generelt sett i AFOLU sektoren (jordbruk, skog og annen arealbruk), er klimagassutslippene fra høy-inntektland dominert av jordbruksaktiviteter, mens fra lav-inntektland er avskoging og skogforringelse dominerende.

I Norge representerer sektoren for skog og arealbruk et betydelig netto karbonopptak, først og fremst grunnet en høy skogtilvekst som kan knyttes blant annet til en aktiv skogforvaltning i siste halvdel forrige århundre (Norwegian Environment Agency 2015).

FNs klimapanel sier generelt at de viktigste strategiene innen skog, arealbruk og landbruk er *reduksjon/unngåelse* av utslipp til atmosfæren ved å bevare eksisterende karbonlagre i jord og karbon som ellers ville blitt tapt, eller ved å redusere utslipp av metan (CH₄) og lystgass ((N₂O); *lagerøkning* (sequestration) i landbaserte reservoarer som derved fjerner CO₂ fra atmosfæren; og reduksjon av CO₂-utslipp ved *substitusjon* av biologiske produkter for fossile brenslere eller klimagassintensive produkter (IPCC 2014a: WG3 11.1). Klimapanelet legger her vekt på betydningen av lagerøkning gjennom den effekten det har på å fjerne CO₂ fra luften, ikke egenskapen gjennom å holde på et stort lager av karbon. Samtidig er det viktig å understreke at en permanent reduksjon i lageret er et utslipp.

Andre klimavirkninger av skog

Foruten gjennom å påvirke CO₂-nivået i atmosfæren har skogen en rekke mer direkte virkninger på klimaet. FNs klimapanel sier generelt at aktiviteter i skog og jordbruk også kan begrense eller framskynde klimaendringer ved å påvirke biofysiske prosesser (f.eks. evapotranspirasjon¹⁰, albedo¹¹ eller BVOC¹²).

Når en tett skog flatehogges vil arealets albedo øke, for gradvis å returnere tilbake til nivået før hogst etter 20 - 30 år (Bright mfl. 2013; Kuusinen mfl. 2014). Størst albedo og dermed størst kjølede effekt får vi med en høy andel åpne arealer (gir lyse overflater) i landskapet, sammenlignet med et landskap dominert av skog (gir mørke overflater).

⁹ FNs klimapanel bruker her begrepet «sequestration», som de definerer som «Opptak av karbonholdige substanser, særlig CO₂, i terrestriske og marine reservoarer. Biologisk opptak inkluderer direkte fjerning av CO₂ fra atmosfæren gjennom bl.a. påskoging og foryngelse etter hogst.

¹⁰ Evapotranspirasjon: Den samlede fordampningen fra vegetasjonen

¹¹ Albedo: Hvilken evne flater har til å reflektere lys

¹² Biogenic Volatile Organic Compounds, - biogene flyktige organiske forbindelser

Det er usikkerhet knyttet til nivået på klimaeffekten av både albedo, evapotranspirasjon og BVOC. For albedo vet vi i hvilken retning effekten går, men særlig for evapotranspirasjon og BVOC har vi liten kunnskap om effekten under norske forhold.

3. Virkninger på CO₂-nivå fra skog og skogbruk

Skog og skogbruk virker på CO₂-innholdet i atmosfæren dels via opptak i karbonlager (eller utslipp) som foregår på skogarealet og dels ved at skogprodukter erstatter produkter som gir fossile utslipp (substitusjon). Dette er omtalt for seg i de følgende avsnittene. Deretter diskuteres den samlede karbonbalansen når vi ser virkning i skog og ved bruk sammen.

Virkningen av CO₂-utslipp og -opptak på klimaet modifiseres av levetiden til CO₂ i atmosfæren og av tregheter i virkningen på temperaturen. Over tid er det likevel et samsvar mellom total tilførsel av CO₂ og temperaturøkning, jf. det totale karbonbudsjettet.

Karbon i skogen - lager og opptak

I samspillet med atmosfærens CO₂ har skogen to funksjoner: som karbonlager og som mulig karbonsluk. Det er viktig å skille mellom disse funksjonene og å se på hvilke tidsperspektiv de har. Skogens karbonlager er mengden av alt karbon som finnes i skogen på et gitt tidspunkt, i karbonbeholdninger i stammer, annen levende biomasse, død ved og jord. Den årlige endringen i lageret er et opptak dersom lageret øker og et utslipp dersom lageret minker. Et lager som øker kalles et *sluk*, slik situasjonen er i Norge i dag. Økningen kan for eksempel skyldes økt skogareal, endret skogforvaltning som gir høyere gjennomsnittlig karbonlager per arealenhet, eller at avvirkningen er mindre enn tilveksten.

Metning - vil karbonopptaket i skog flate ut? (Saturation)

Metning brukes om at karbonlageret i skog kan nå en øvre grense og slutte å vokse. Det brukes dels om utviklingen i gammel skog, og dels om utviklingen som skyldes skogforvaltningen i et større område.

FNs klimapanel skriver at det ofte blir antatt at karbonopptak i jord eller vegetasjon ikke kan fortsette i all tid - i motsetning til substitusjon. Men de viser også til alternative synspunkter om at fullstendig metning ikke finner sted, f.eks. fordi jord og dødt organisk materiale kan fortsette å akkumulere karbon selv om tilveksten i den levende biomassen er nær null (avsn 11.3.2).

Det er ikke tilstrekkelig kunnskap om utviklingen i gammel skog til at vi kan konkludere om hvorvidt gammel skog i Norge oppnår fullstendig metning eller ikke. Når man skal sammenlikne utviklingen i skogens karbonlager med virkningen av substitusjon betyr det likevel mindre om det er fullstendig metning eller en liten, vedvarende lagerøkning.

Metning er også relevant for aktivt forvaltet skog. Med uendret forvaltning av et større skogareal vil lageret etter hvert stabilisere seg på et nivå som er bestemt av de lokale vekstforholdene og av driftspraksis. Lagerøkning i forvaltet skog, slik situasjonen nå er i Norge

og de fleste europeiske land, er derfor et midlertidig fenomen. Det er tegn som tyder på at lagerøkningen i skogen i mange deler av Europa nå avtar (Nabuurs mfl. 2013), slik det også er ventet at den vil gjøre i Norge.

Selv om Norge har et betydelig karbonopptak i skog i dag må en i vurderingene knyttet til forvaltning og bruk av skogen ta hensyn til at dette vil avta over tid og nærme seg null, med mindre skogarealet økes eller en på andre måter endrer praksis slik at opptaket vil øke. Vern av skog som reduserer avvirkningen vil føre til at lagerøkningen av karbon i skog tiltar. Men det er en midlertidig økning, som også vil føre til at man raskere når nivået der lagerøkningen (sluket) avtar. Lageret i skog vil da trolig ligge på et høyere nivå enn dersom man ikke hadde vernet skog.

Endret skjøtsel vil kunne gi et høyere midlere karbonlager i skogen. Slike tiltak kan f.eks. være foredlet plantemateriale, tettere planting/foryngelse, eller gjødsling. Samtidig vil slike tiltak gi høyere produksjon, og dermed større potensiale for substitusjon. Dersom en økt andel av biomassen brukes til langlevde produkter vil dette øke det midlere karbonlageret i skogproduktssystemet.

Skogvern og andre tiltak for økning av karbonlageret i skog vil derfor ha effekter i en avgrenset periode. Substitusjon oppnås kontinuerlig dersom man har en aktivt drevet skog med gjentatt hogst.

Reversering - karbonlageret i skog kan være sårbart

FNs klimapanel beskriver reversering som utslipp av tidligere lagret karbon, slik at effekten av tidligere gjennomførte tiltak oppheves helt eller delvis (11.3.2).

Risikoen for reversering kan vurderes på to nivåer. Kortvarige reverseringer vil midles ut over større regioner og tidsperioder. Det betyr at gjennomsnittlig karbonlager blir noe lavere enn det ellers ville vært, og påvirker dermed karbonbalansen. FNs klimapanel peker på at reversering i denne sammenheng kan forårsakes av naturlige hendelser som påvirker tilveksten, som frostskafer, insektangrep, soppangrep eller brann (11.3.2), og at klimaendringene kan gjøre karbonlagre mer sårbare for reversering av naturlige årsaker (11.5.2).

Så lenge reverseringen ikke påvirker den langsiktige produksjonsevnen og karbonlageret bygges opp igjen innen rimelig tid, er vår vurdering at både naturlige og menneskeskapte tap regnes som midlertidige variasjoner.

Større og mere varige reverseringer kan også forekomme. Et eksempel på dette er skogbrann, dersom denne er så intensiv at jordsmonnets produksjonsevne reduseres i et langsiktig perspektiv. Også politiske omvurderinger kan føre til reversering av tidligere utførte tiltak, eksempelvis ved at skogarealene bygges ned. Denne type reversering vil føre til utslipp og varige reduksjoner av gjennomsnittlig lager.

Muligheten for reversering gjør derfor at tiltak for å øke karbonlageret i skog har en type risiko som ikke finnes ved tiltak der substitusjon gir reduksjon i fossile utslipp.

Substitusjon - virkning av skogprodukter på fossile CO₂-utslipp

Med substitusjon menes at biologiske produkter erstatter fossile brensler eller klimagassintensive produkter, og at dette fjerner CO₂-utslippene som disse ellers ville ha gitt.

Substitusjon skiller seg fra karbonopptak i skog når det gjelder metning og reversering. FNs klimapanel skriver at substitusjon kan fortsette i det uendelige. De sier videre at slik substitusjon er blant klimatiltak som i praksis er permanente siden utslipp som først er unngått ikke kan bli sluppet ut seinere (WG3 11.3.2).

Substitusjonseffekten er et mål på hvor mye fossil CO₂ som kan erstattes av en gitt mengde biomasse, målt i f.eks. kg CO₂/m³. Substitusjonseffekten kan brukes direkte til å sammenlikne ulike anvendelser av biomassen. Derimot kan den ikke brukes uten videre til å sette opp en samlet klimavirkning, blant annet fordi den ikke tar med effekt av hogst på karbonlageret i jordsmonnet eller biofysiske faktorer.

FNs klimapanel peker på flere studier som viser at trevirke fra bærekraftig skogbruk i de fleste tilfeller reduserer utslipp av klimagasser når det erstatter materialer som betong og stål (WG3 11.4.3). Videre i samme avsnitt refererer de til Werner mfl. (2010), og skriver at «Reduksjonen av klimagasser er størst når trevirket primært brukes til langlevde produkter, levetiden blir maksimert, og bruk av biomasse til energiformål fokuserer på biprodukter, avfall og etterbruk av langlevde produkter.» Også norske studier viser at bruk til materialer med lang levetid har størst substitusjonseffekt, se f.eks. Klima- og forurensningsdirektoratet (2011).

I dagens marked er det sagtømmer (skurtømmer) som er best betalt. Dette betyr at skogeier har insentiver til å prioritere salg av sagtømmer, som potensielt kan gi produkter/materialer med lang levetid, framfor å selge biomassen til energivirke. Det betyr at dagens bruksmønster gir god klimagevinst. Den biomassen som går til energivirke er hovedsakelig et biprodukt fra hogsten, der det primært høstes sagtømmer og massevirke. Energivirke er ikke en vesentlig driver for hogst slik markedet er i dag, og lite av skogsavfallet, som greiner og topper, blir utnyttet totalt sett.

Hvordan den høstede biomassen fra skogen brukes har stor betydning for den samlede klimaeffekten av skogproduktene. Vi har tatt utgangspunkt i dagens bruk av biomasse fra skogen med den substitusjonseffekten det gir. Dersom bruken endres slik at man oppnår høyere substitusjonseffekt, vil det øke klimanytten ved bruk av biomasse.

Som nevnt over har vi allerede en god klimanytte av biomasse fra skogen knyttet til bruk av trevirke i bygningsmaterialer og hvor biprodukter går til energivirke i industri og oppvarming. For at klimanytten av skogressursene som høstes skal være så god som mulig, må man prioritere å bruke biomassen der den bidrar til å redusere de fossile utslippene mest. Å forbedre klimanytten kan blant annet gjøres ved å øke andel av biomassen som går til langlevde produkter, og å materialgjenvinne eller energigjenvinne disse etter bruk, og å høste og utnytte en større andel av skogsavfallet (greiner og topper) til produkter som kan erstatte fossile produkter som biodrivstoff eller biokull til industrien. Mer effektive foredlingsprosesser vil gi ytterligere gevinst. Det samme vil bio-CCS.

Skog, tilbakebetalingstid og karbondjeld

Sammenlignet med bærekraftig skogforvaltning kan vern av skog på kort sikt lede til reduserte konsentrasjoner av karbon i atmosfæren, mens det på lengre sikt vil ha en motsatt effekt (Boks 1). I den vitenskapelige litteraturen har perioden der hogst medfører økt karbon i atmosfæren ofte blitt beskrevet som tilbakebetalingstiden, som også kan forstås som at hogst gir en karbondjeld som må tilbakebetales. Konseptene tilbakebetalingstid og karbondjeld er ikke nye, og har vært beskrevet i vitenskapelige artikler siden ca 1990, men har fått mye oppmerksomhet i de siste årene grunnet det store fokus på produksjon av bioenergi fra stammevirke i ulike deler av verden. Det må framheves at artikler relatert til karbondjeld og tilbakebetalingstid er inkludert i FN femte hovedrapport, men dette har ikke endret det overordnede synet på viktigheten av bruk av skog i klimasammenheng i forhold til FN sin fjerde hovedrapport.

I de følgende avsnittene skal vi gå nærmere inn på hva tilbakebetalingstid og karbondjeldkonseptene er, og hvordan disse kan forstås relatert til vern av skog. Karbondjeld er en av flere indikatorer på effektiviteten og tidspunkt for utslipp ved bruk av biologisk ressurser i klimasammenheng. Som de fleste andre indikatorer er karbondjeld nyttig i noen sammenhenger, men mindre hensiktsmessig i andre situasjoner. I beregninger av karbondjeld sammenlignes to ulike scenarier under en rekke sentrale antakelser relatert til skogens karbondynamikk, teknologi, handel og bruk av biomassen. Dette gjør konseptet følsomt for de forutsetninger og antakelser som er gjort og systemavgrensningen som er lagt til grunn i beregningene. Karbondjeld alene gir ikke et fullt bilde av klimasystemets respons til et midlertidig karbonutslipp fra skog som følge av hogst. Dette skyldes at karbondjeld ikke inkluderer levetiden til CO₂ i atmosfæren og tregheter i virkning på temperatur.

For å svare på om det er riktig å prioritere vern av norsk skog som klimatiltak bør man vurdere hva man ønsker å oppnå sett i lys av til de langsiktige målsetningene om å stabilisere den globale temperaturøkningen. Vi legger derfor til grunn de overordnede vurderingene til FNs klimapanel. Disse vektlegger betydningen av et langsiktig tidsperspektiv og en reduksjon i utslipp av fossilt karbon fra det langsomme kretsløpet. Med disse forutsetningene er karbondjeldkonseptet ikke hensiktsmessig for å vurdere om vern av norsk skog bør prioriteres som et klimatiltak.

Karbondjeld-konseptet er imidlertid nyttig i sammenligninger av ulike bruksalternativer for den samme skogen på et gitt areal, da forklarer karbondjelden hvor effektivt skogen og marken utnyttes. Der er helt klart at noen former for bruk av norsk skog er bedre enn andre, og vi bør, i samsvar med det som beskrives i femte hovedrapport fra FNs klimapanel, forsøke å utnytte skogressursene vår best mulig. Et eksempel på dette er at trevirke av høy kvalitet fortrinnsvis bør benyttes til byggematerialer og ikke til bioenergi. Vår vurdering er at karbondjeld og substitusjonseffekt er mer egnet til å vurdere klimanytten av ulike anvendelsesområder for biomassen opp mot hverandre, enn som et ledd i vurderingen av skogvern kontra skogsdrift.

I kapitlet om bioenergi i rapporten fra FNs klimapanel pekes det på at optimalisering av skogforvaltning for motvirkning av klimaendringer er et komplekst tema, med mange usikkerheter og fortsatt vitenskapelig debatt. FNs klimapanel framhever her aktiv skogforvaltning, inkludert forvaltning for bioenergi, som viktig for å opprettholde karbonsluket i skogen i framtiden, selv om landene bør legge merke til at for noen

gammelskogområder kan bevaring av karbonlager være å foretrekke, og at aktivt drevne skoger i perioder (tiår) kan opptre som utslippskilder (avsn. 11.13.2).

FNs klimapanelers konklusjon om at aktiv skogforvaltning, inkludert forvaltning for bioenergi, er viktig for å opprettholde karbonsluket i skogen i framtiden, er i tråd med våre egne vurderinger i kapittel 2. Samtidig antyder FNs klimapanel at for noen gammelskogområder kan bevaring av karbonlager være å foretrekke. Overført til norsk skogforvaltning kan dette forstås slik at det kan være riktig å unnlate å hogge gammelskog dersom hogst vil medføre risiko for permanent reduksjon av skogens evne til opptak og lagring av karbon.

4. Etterspørsel etter skogprodukter

En drevet skog leverer materialer til byggevarer, og til produksjon av papir og energivarer og en rekke andre produkter. Bioraffinerier produserer kjemikalier og bioetanol fra tømmer. Biomasse fra skog kan dyrkes, høstes og foredles til bygningsmaterialer med lavere klimafotavtrykk enn det som kreves for å framstille konkurrerende bygningsmaterialer som stål, aluminium og betong. Dette skyldes i stor grad at framstillingen av bygningsmaterialer fra tre er mindre energikrevende. Inntil andre alternativer eventuelt finnes, vil vi trenge substitusjonseffekten produkter fra skog gir når de erstatter mindre klimavennlige materialer. Utnyttelse av restproduktene fra skogen ser vi imidlertid endres allerede i dag, fra papirproduksjon til å dekke etterspørsel etter biobrensel både i fast og flytende form, men også til andre produkter hvor trevirke erstatter fossilt/olje (f.eks. plast: <http://forskning.no/skog-materialteknologi/2011/10/tre-kan-erstatte-plast>). En annen type «etterspørsel» er det framtidige behovet for «negative utslipp» i form av opptak i skog eller bio-CCS. I scenariene for framtidige utslipp som er presentert av FNs klimapanel (f.eks. WG3 SPM avsn 4.2) har de fleste utstrakt bruk av en eller begge typer negative utslipp i 2100. Både opptak i skog og bio-CCS vil kunne få betydning for Norge.

På lang sikt er det vanskelig å si om utslippene av fossilt CO₂ fra energi, bygningsmaterialer osv. vil være like høye som i dag. Dersom enkelte produkter får vesentlig lavere fossile utslipp vil substitusjonseffekten bli lavere. Det kan gi grunnlag for å revurdere hvilke produkter biomassen bør brukes til.

Om tilgangen på biomasse blir lavere, for eksempel gjennom vern som klimatiltak, vil etterspørsel måtte dekkes av økt import eller av andre materialer og energiformer. Markedet for tømmer og trebaserte produkter er i stor grad internasjonalt, og nedgang i norsk produksjon kan føre til økt avvirking i andre land. Det er usikkert hva totalomfanget av en slik «lekkasje» vil være, men det vil gi redusert effekt av vern som tiltak i Norge på globalt nivå. Vi er ikke kjent med studier som har undersøkt sammenhengen mellom den økning som har vært i vern av produktiv skog i Norge og avvirkningsnivået.

5. Oppsummering og konklusjon

Oppdraget har vært å utrede klimaeffekten ved skogvern. Vår forståelse er at vern som klimatiltak i Norge ikke er rettet mot avskoging og skogforringelse. Skogvern i Norge forstås som permanent vern mot skogsdrift, hvor resultatet er unngått hogst av skog som ellers ville blitt hogd. Når FNs klimapanel peker på vern av skog globalt, er det derimot som et sentralt virkemiddel for å redusere utslippene fra avskoging og skogforringelse. Vi forutsetter her at skogsdriften i Norge er bærekraftig, i overensstemmelse med gjeldende lover, regler og frivillige sertifiseringsordninger. Det innebærer blant annet at man ikke hogger på arealer hvor avvirkning vil gi varig forringelse i produksjonsevne, og at plikten til å etablere ny skog overholdes.

Med klimaeffekt menes i denne rapporten opptak og utslipp av klimagasser og effekt av biofysiske faktorer ved bruk eller vern av skogen. Klimaeffekten av vern av skog er vurdert opp mot klimaeffekten av bærekraftig skogbruk hvor biomassen fra skogen brukes i stedet for (substituerer) energivarer og bygningsmaterialer som i dag genererer fossile klimagassutslipp.

I følge FNs klimapanel er klimaproblemet først og fremst forårsaket av at fossilt karbon fra det langsomme geologiske kretsløpet forbrennes og frigjøres til atmosfæren, for så å gå inn i det raske kretsløpet mellom atmosfære, hav og skog/jord. Også avskoging og skogforringelse bidrar til utslipp av klimagasser. Den sentrale løsningen på problemet er å redusere bruken av fossilt karbon, redusere avskoging og skogforringelse, og samtidig sikre en god forvaltning av det raske karbonkretsløpet.

FNs klimapanel viser at en vesentlig økning av blant annet bruk av biomasse til substitusjon av fossile og utslippsintensive produkter på global skala vil kunne være nødvendig for å nå et mål om å holde temperaturøkningen under to grader, både til 2100 og innover i de neste hundreår. I et slikt scenario er det de samlede netto utslippene over en lenger tidshorisont som er av størst betydning. På kort sikt kan effekten av økt karbonlagring ved vern av skog dominere over substitusjon. På lang sikt vil effekten av substitusjon dominere over forskjellen i karbonlager mellom vern og bruk.

I sum vurderer etatene det slik at det er vanskelig å finne grunnlag for å si at vern av skog i Norge er bedre enn bærekraftig skogbruk som et tiltak for å motvirke klimaendringer. Forutsatt bærekraftig skogbruk, og basert på de vurderingene som er gjort i denne rapporten, konkluderer etatene med at det ikke er grunnlag for å vektlegge vern av norsk skog som klimatiltak.

Vår konklusjon er basert på at ressurser fra skogen brukes i stedet for fossile ressurser, og at utslippet av fossilt karbon reduseres. For den samlede klimanytten ved bruk av skog er det sentralt hva biomassen brukes til. Jo mer av biomassen som kan brukes i stedet for fossile ressurser, jo bedre klimanytte oppnås.

Vi har allerede en god klimanytte av biomasse fra skogen knyttet til bruk av trevirke i en rekke produkter og anvendelser. Å forbedre nytten kan blant annet gjøres ved å øke andel av biomassen som utnyttes til produkter som har stor klimanytte, som f.eks langlevde produkter. Vi kan også høste og anvende en større andel av skogavfallet (greiner og topper). Mer

effektive foredlingsprosesser vil gi ytterligere gevinst. Beregninger av substitusjonseffekt og karbondjeld vil først og fremst være nyttige for å vurdere klimanytten av ulike bruksmåter av biomassen opp mot hverandre.

Skogvern er viktig av mange hensyn, blant annet for bevaring av biologisk mangfold, friluftsliv, kulturlandskap og andre miljøaspekter. Konklusjonen i denne rapporten står ikke i motsetning til skogvern av disse hensynene.

Referanser

Bright RM, Astrup R og Strømman AH. 2013. Empirical models of monthly and annual albedo in managed boreal forests of interior Norway. *Climatic Change* 120: 183-196.

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC, 2014a: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2014b: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Klima- og forurensningsdirektoratet, 2011: Skog som biomasseressurs. TA-2762/2011.

Kuusinen N, Tomppo E, Shuai Y og Berninger F. 2014. Effects of forest age on albedo in boreal forests estimated from MODIS and Landsat albedo retrievals. *Remote Sensing of Environment* 145:145-153.

Norwegian Environment Agency, 2014: Greenhouse Gas Emissions 1990 - 2012, National Inventory Report. M-137 - 2014

Norwegian Environment Agency, 2015: Greenhouse Gas Emissions 1990 - 2013, National Inventory Report. M-422 - 2015

Nabuurs G.-J., M. Lindner, P. J. Verkerk, K. Gunia, P. Deda, R. Michalak, and G. Grassi (2013). First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. *Nature Climate Change* 3, 792 - 796.

Søgaard, G., Granhus, A., Gizachew B., Clarke, N., Andreassen, K., Eriksen R. 2015. En vurdering av utvalgte skogtiltak - innspill på veien mot Lavutslippsamfunnet 2050. Oppdragsrapport fra Skog og landskap, 02/2015

Van Vuuren DP, Van Sluisveld M and Hof AF. 2015. Implications of long-term Scenarios for Medium-term Targets (2050), The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, PBL publication number 1871, Norway Environment Agency report number M-449|2015, 30pp.

Werner F., R. Taverna, P. Hofer, E. Thürig, and E. Kaufmann (2010). National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. *Environmental Science & Policy* 13, 72 - 85.

Miljødirektoratet

Telefon: 03400/73 58 05 00 | Faks: 73 58 05 01

E-post: post@miljodir.no

Nett: www.miljødirektoratet.no

Post: Postboks 5672 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøksadresse Trondheim: Brattørkaia 15, 7010 Trondheim

Besøksadresse Oslo: Grensesvingen 7, 0661 Oslo

Miljødirektoratet jobber for et rent og rikt miljø. Våre hovedoppgaver er å redusere klimagassutslipp, forvalte norsk natur og hindre forurensning.

Vi er et statlig forvaltningsorgan underlagt Klima- og miljødepartementet og har mer enn 700 ansatte ved våre to kontorer i Trondheim og Oslo, og ved Statens naturoppsyn (SNO) sine mer enn 60 lokalkontor.

Vi gjennomfører og gir råd om utvikling av klima- og miljøpolitikken. Vi er faglig uavhengig. Det innebærer at vi opptre selvstendig i enkeltsaker vi avgjør, når vi formidler kunnskap eller gir råd. Samtidig er vi underlagt politisk styring. Våre viktigste funksjoner er at vi skaffer og formidler miljøinformasjon, utøver og iverksetter forvaltningsmyndighet, styrer og veileder regionalt og kommunalt nivå, gir faglige råd og deltar i internasjonalt miljøarbeid.