



KLIMA- OG
FORURENSNINGS-
DIREKTORATET

Skog som biomasseressurs

TA
2762
2011



Forord

Skogen er en viktig råvare for byggematerialer, papirprodukter og energi. Skogen er også et stort karbonlager.

I denne rapporten viser vi hvordan karboninnholdet i atmosfæren påvirkes av hvordan skogressursene utnyttes og anvendes. I tillegg vurderer vi hva som kan gjøres for å øke årlig CO₂-opptak og dermed karbonlageret i skogen.

Arbeidet ble gjennomført i perioden august 2010 til februar 2011, etter å ha fått oppdraget fra Miljøverndepartementet i juli 2010.

Dette er et arbeid som har omfattet mange problemstillinger som har gjort det nødvendig med samarbeid og innspill fra mange etater og fagpersoner.

Vi har fått svært god hjelp fra Norsk Institutt for skog og landskap. De har utviklet en modell som beskriver karbondynamikken i levende biomasse, jord, strø og død ved for et typisk granbestand, som kan brukes til å vurdere hvordan karbonlageret blir påvirket ved avvirkning og skogskjøtsel. Norsk institutt for skog og landskap har også bidratt med viktig skogfaglige innspill til alle deler av rapporten.

For å besvare spørsmålet om hva som er optimal anvendelse av skogen i et klimaperspektiv, har vi tatt utgangspunkt i tiltak utredet i Klimakur 2020 og supplerende livsløpsanalyser utarbeidet av Østfoldforskning.

Direktoratet for naturforvaltning har gitt innspill knyttet til tiltakenes effekt på naturmangfold, og bidratt med gode kommentarer til presentasjon av resultatene. Fagpersoner fra en rekke ulike etater og fagmiljøer, som NVE, Enova, Norsk Energi, Asplan Viak, SSB og UMB har bidratt med faglige innspill og vurderinger. Rapporten står imidlertid for Klif sin regning.

Vi takker for gode innspill og stort engasjement fra mange i denne prosessen. Klif ser fram til å presentere og diskutere resultatene sammen med alle som er engasjert i skogens rolle sett i et klimaperspektiv.

Oslo, februar 2011

Ellen Hambro

Sammendrag

S.1 Bakgrunn

Som en oppfølging av Klimakur 2020 ba Miljøverndepartementet sommeren 2010 Klima- og forurensningsdirektoratet om å utrede ulik bruk av skog i Norge og effektene på karboninnholdet i atmosfæren.

Skog og skogskjøtsel kan bidra til å redusere klimagassutslipp på tre hovedområder:

- Redusere utslippene av klimagasser gjennom redusert avskoging og skogforringelse.
- Fjerne klimagasser fra atmosfæren ved å fungere som karbonsluk og -lager. Dette lageret kan økes gjennom økt skogareal, og gjennom økt biomasse på eksisterende arealer.
- Bruk av produkter fra skog til å erstatte bruk av fossil energi direkte (bioenergi), til å lagre karbon i langlevde produkter eller ved å erstatte produkter som er energikrevende i produksjon.

Tiltak for redusert avskoging og skogforringelse er i dag først og fremst relevant for utviklingsland, der store skogarealer hogges for å brukes til alternative formål (arealbruksendringer). I Norge sørger skogeier som oftest for foryngelse etter avvirkning, slik at skogarealene opprettholdes.

Klimakur 2020 inneholder ingen anbefalinger, men er en bred utredning av mulige klimatiltak og virkemidler i alle sektorer, herunder en rekke skogskjøtselstiltak, som økt plantetetthet, planting på nye arealer og skogplanteforedling. Disse kan bidra til å øke opptaket av klimagasser i skogen, også utover hva som krediteres under dagens regelverk (Kyotoprotokollen). Tiltakene ble utredet for å beregne de faktiske opptakspotensialene i skogen. På grunn av at omløpstiden (tiden det tar fra planting til avvirkning) i norske skoger er på 70–120 år, fokuserte vi på skogens potensial i et hundreårsperspektiv.

Klimakur 2020 utredet også en rekke tiltak hvor biomasse fra skogen erstatter fossile råstoffer. I henhold til FNs klimakonvensjons regler for utarbeiding av klimagassregnskap ble ikke utslippene av CO₂ fra forbrenning av biomasse regnet med i disse tiltakene. Dette ble gjort for å unngå dobbelttelling av utslipp fra biologisk materiale. Slike utslipp blir regnskapsført ved avvirkning, og rapporteres hvert år til FNs klimakonvensjon i et eget regnskap (LULUCF – Land Use, Land Use Change and Forestry).

Dersom alle tiltakene fra Klimakur 2020 som forutsatte bruk av biomasse fra skogen skulle gjennomføres, ville det øke etterspørselen med i underkant av 6,6 millioner kubikkmeter, eller i underkant av 14 TWh. Dette kan hentes fra norsk skog eller importeres.

S.1.1 Skog som ressurs og karbonlager

Skogen er en betinget fornybar ressurs. Så lenge det sørges for foryngelse etter avvirkning vil trevolumet i skogen gjenvinnes, og en vil oppnå en langsiktig, vedvarende ressurs. Dersom en gjennomfører aktiv skogskjøtsel vil en kunne opprettholde et gjennomsnittlig høyere volum i skogen.

Opptaket av klimagasser i skogen henger tett sammen med skogens tilvekst. Skog defineres som en karbonnøytral ressurs fordi den tar opp like mye CO₂ gjennom omløpstiden som den

slipper ut ved forbenning etter avvirkning eller naturlig nedbrytning. Siden omløpstiden er lang, vil det imidlertid ta mange år før et nyplantet tre inneholder samme mengde karbon som det treet som ble avvirket.

Volumet i levende biomasse i norske skoger har økt fra 300 millioner kubikkmeter i 1919 til rundt 800 millioner kubikkmeter i dag. Økt volum skyldes først og fremst at avvirkningen har vært konstant på rundt 10 millioner kubikkmeter i året, mens tilveksten har økt, i hovedsak som følge av intensiv planting på eksisterende arealer rundt 1950. Mens avvirkningsraten i Norge er rundt 40 prosent av tilveksten, er avvirkningsraten i Sverige til sammenligning rundt 90 prosent av tilveksten.

Mye av skogen i Norge har nådd eller passert sin optimale vekstfase, noe som betyr at årlig CO₂-opptak vil avta framover. Når skogen eldes vil også naturlig avgang øke, og en del av karbonet vil overføres til død biomasse. Vi har imidlertid liten erfaring med hvor sårbar gammel produksjonsskog er for ekstremhendelser og klimaendringer. Naturskog med diversifisert alderssammensetning kan være mer robust for slik påvirkning enn ensaldret produksjonsskog.

I Norge plantes og avvirkes skog sjelden for utelukkende å bli brukt som bioenergi. Skogbruk drives først og fremst for å skaffe skurtømmer til treprodukter og massevirke til papir og papirprodukter. Det er her skogeierne får best betalt for trevirket. I dag brukes biprodukter fra denne industrien til energiformål i egen virksomhet. I noen grad produseres også flis og foredlet biobrensel som briketter og pellets for salg. Skogbruket leverer også en del råstoff til brenselmarkedet, først og fremst til vedproduksjon som er basert på trevirke med dårlig kvalitet som ikke egner seg som skurtømmer. I dag brukes energi tilsvarende om lag 14–16 TWh basert på biomasseressurser fra skogen. Anslagsvis er 5–7 TWh av dette vedforbruk.

S.1.2 Omfanget av rapporten

Det er mange eksisterende og framtidige verdikjeder med utgangspunkt i råvarer fra skogen. Hvor effektive verdikjedene er og evnen til å utnytte biprodukter fra produksjonen, påvirker deres evne til å konkurrere med og erstatte fossil energi. Alle produkter som lages av biomasse, for eksempel byggematerialer, treprodukter og papir, kan til slutt benyttes til energi. Trevirket har derfor egenskaper som gjør at det kan anvendes flere ganger til ulike formål.

I denne rapporten ser vi på hva som er kunnskapsstatus om anvendelse av skogen i et klimaperspektiv. Først har vi sett på hvordan tilgjengelige skogressurser bør allokeres for å gi størst og mest kostnadseffektiv klimanytte. Her har vi tatt utgangspunkt i tiltak utredet i Klimakur 2020 og supplerende livsløpsanalyser.

Deretter har vi vurdert hele verdikjeder – fra avvirkning i skog til anvendelse av biomassen – for å se hvordan ulik anvendelse av biomassen vil påvirke konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren. Dette er gjort med utgangspunkt i en modell laget av Norsk institutt for skog og landskap som beskriver karbondynamikken i levende biomasse, jord, strø og død ved for et typisk granbestand på middels bonitet (et uttrykk for markas evne til å produsere trevirke) og effekter på karbonlaget ved avvirkning etter 90 år.

Skogens rolle for å bevare naturmangfold og skogens rolle i næringssammenheng er i mindre grad berørt i denne rapporten. Det kan være vinn-vinn situasjoner der tiltak er positivt både for klima, naturmangfold og næring, men det finnes også forhold der det kan være konflikt

mellom disse hensynene. Rapporten er derfor en delanalyse som illustrerer konsekvenser for klimagassutslippene av hvordan skogressursene utnyttes og anvendes, og hva som kan gjøres for å øke årlig CO₂-opptak og dermed karbonlageret i skogen.

I denne rapporten ser vi utelukkende på plantet produksjonsskog. Vi har bare sett på tilførsel av CO₂ til atmosfæren, og ikke hvordan dette vil påvirke klimaet. Vi har heller ikke vurdert hvordan endringer i skogareal og -type kan påvirke forholdet mellom inn- og utstråling – den såkalte albedo-effekten.

S.2 Hovedresultater

S.2.1 Optimal anvendelse av tilgjengelig biomasse fra skogen i et klimaperspektiv

Vi har gjort en vurdering av ulike anvendelser av biomasseressursene fra skogen når disse allerede er gjort tilgjengelige, basert på ulike kriterier.

Bioenergi med lav foredlingsgrad som erstatter fossil energi, gir størst reduksjon i utslipp av klimagasser per kubikkmeter trevirke.

Produksjon av energibærere som flis og pellets har en lavere foredlingsgrad, og mindre tap av energi enn produksjon av andregenerasjons biodrivstoff og biokull. Derfor har denne typen bioenergi størst potensial for å redusere fossil energibruk og dermed størst reduksjon i utslipp av klimagasser per kubikkmeter trevirke (det vil si høy substitusjonseffekt).

Å erstatte fossil energi med bioenergi med lav foredlingsgrad er oftest et mer kostnadseffektivt klimatiltak enn å erstatte fossil energi med flytende bioenergi (som forutsetter høy foredlingsgrad).

Bruk av fast bioenergi som flis og pellets til erstatning av varme- eller kraftproduksjon basert på fossil energi er mer kostnadseffektivt enn å bruke biomassen til andregenerasjons biodrivstoff i transportsektoren med lav substitusjonseffekt. Det skyldes blant annet at teknologien for omdanning av biomasse til andregenerasjons biodrivstoff er en umoden teknologi med lav virkningsgrad og høye kostnader.

Utvikling av teknologien for å øke utbyttet per enhet vil kunne øke klimagevinsten. Vi har imidlertid eksempler på eksisterende prosesser der produksjon av andregenerasjons biodrivstoff foregår sammen med andre produkter, og dermed gir høy total utnyttelse av trevirket, som ved Borregaard.

For noen utslippskilder finnes det få alternative tekniske tiltak enn anvendelse av biomasseressurser for å redusere fossile klimagassutslipp.

Bruk av andregenerasjons biodrivstoff er en av få alternative energibærere som kan bidra til å redusere klimagassutslippene fra tungtransport og fly. Det samme gjelder for industrien, der bioenergi til prosesser eller biokull som reduksjonsmiddel kan være en av få løsninger.

Når det gjelder persontransport og oppvarming av boliger finnes det derimot flere alternative utslippsreducerende teknologier enn bioenergi for å redusere klimagassutslippene. I tillegg til en vurdering av kostnadseffektivitet ved bruk av biomasseressurser, kan også mangel på alternativer være med på å bestemme hvor biomasseressursene bør allokeres.

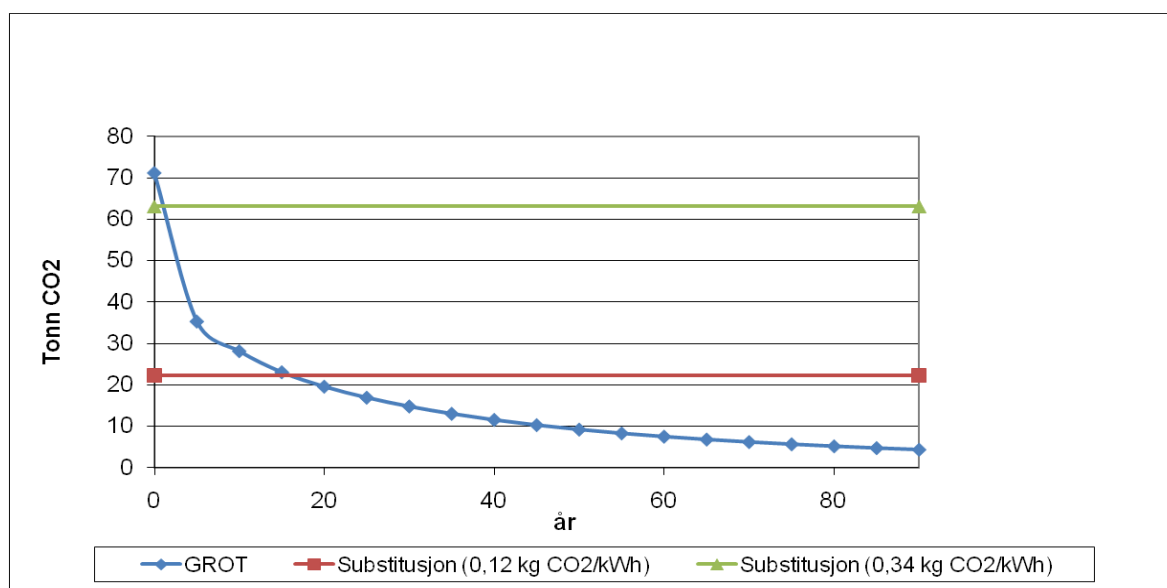
S.2.2 Karboninnhold i atmosfæren ved avvirkning, uttak av hogstavfall og anvendelse av trevirket – tilbakebetalingstid

Avvirkning og forbrenning av trevirket vil gi et utslipp av klimagasser til atmosfæren. Det vil være en tidsforskyvning til dette utslippet et tatt opp igjen av ny skog som plantes etter avvirkning. For å beregne netto klimagassutslipp ved avvirkning i skogen, har Norsk institutt for skog og landskap utarbeidet en modell som viser karbonlager i levende biomasse, jord, strø og død ved for et typisk granbestand på middels bonitet (G14). Vi har sett på flere scenarioer med ulike forutsetninger om blant annet uttak av hogstavfall og anvendelse av biomassen, for å beregne tiden det tar før karboninnholdet i atmosfæren etter avvirkning er tilbake til samme nivå som om det ville vært dersom det ikke ble avvirket. Dette er heretter omtalt som tilbakebetalingstid.

Modellberegninger viser at ett enkelt uttak av hogstavfall, som grener og topper (GROT), som brukes til å erstatte fossil energi vil ha en tilbakebetalingstid på opp mot 5–15 år, avhengig av anvendelse.

I dagens skogbruk er det stort sett stammen på treet som blir benyttet som råstoff i trevare- og treforedlingsindustrien. Ved avvirkning av en kubikkmeter stammevirke får vi rundt 0,63 kubikkmeter GROT (grener og topper) og annet skogsavfall. Slikt hogstavfall blir i dag i stort omfang liggende igjen på hogstflata, der det brytes ned. Modellberegninger viser at karboninnholdet i GROT som blir liggende igjen på hogstflata halveres etter relativt kort tid, men at nedbrytningen av de største fraksjonene vil ta lenger tid. Det antas at det på store deler av det norske skogarealet er mulig å ta ut rundt 70 prosent av dette hogstavfallet uten å forringe jordsmonnet og gi tap av artsmangfold.

Figur 1 viser karboninnhold i 70 prosent GROT etter avvirkning på et hektar, og hvordan karboninnholdet brytes ned over tid. Utslipptet ved den naturlige nedbrytningen er sammenlignet med å anvende biomassen til formål som gir lav erstatning av fossile utslipp (lav substitusjonseffekt vist i nederste horisontale linje i figuren) og høy erstatning av fossile utslipp (høy substitusjonseffekt vist i øverste horisontale linje). Lav substitusjonseffekt tilsvarer produksjon og bruk av biodrivstoff, mens høy substitusjonseffekt tilsvarer varmeproduksjon som erstatter fyringsolje, og kraftproduksjon som erstatter kull, olje og gass.



Figur 1. Effekt på klimagassregnskapet ved bruk av 70 prosent GROT. Tonn CO₂ per hektar.

Kilde: Norsk Institutt for skog og landskap/Klima- og forurensningsdirektoratet

Figur 1 viser at dersom vi tar ut 70 prosent GROT og anvender det der substitusjonseffekten er høy, vil tilbakebetalingstiden være opp mot fem år. Dersom vi bruker GROT til å produsere biodrivstoff, vil tilbakebetalingstiden, med dagens teknologi, være rundt 15 år.

Vi har modellert konsekvensene av ett enkelt uttak. Vi antar at tilbakebetalingstiden vil være lenger ved et kontinuerlig uttak av GROT, kanskje opp mot en fordobling av tiden.

Økt uttak og anvendelse av GROT er likevel gunstig sett i et klimaperspektiv på relativt kort tid. Vi antar et resultat i samme størrelsesorden om vi anvender annet skogsavfall som tynnings- og rydningsvirke til samme formål. Dersom potensialet som ligger i økt anvendelse av GROT og annet skogsavfall skal utnyttes, vil det være behov for ytterligere virkemidler.

Ved sammenligning med andre studier (Zanchi et al. 2010 og Rørstad et al. 2010), er dette resultatet i samsvar med det som er rapportert hos dem.

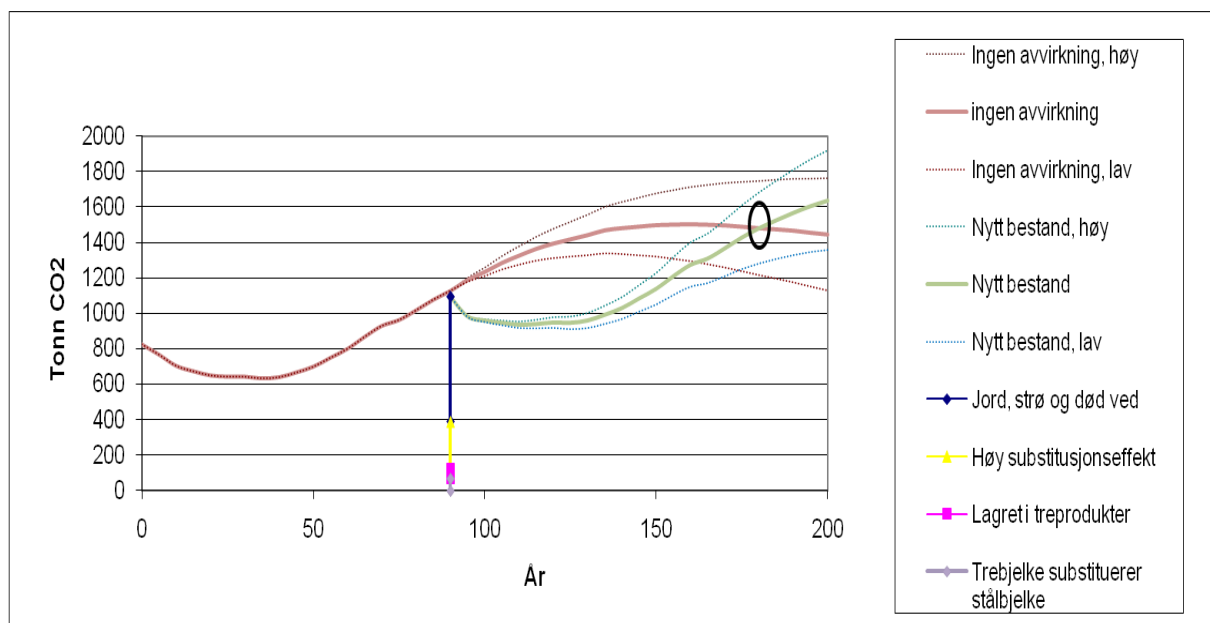
Ved avvirkning er tilbakebetalingstiden kortest dersom en bruker trevirke med tilstrekkelig kvalitet til treprodukter og den resterende biomassen til bioenergi med lav foredlingsgrad for å erstatte fossil energi. Modellbergninger viser at slik anvendelse av trevirket vil gi en tilbakebetalingstid på rundt 90 år.

For å gi en prinsippskisse av hvilke effekter avvirkning i skogen vil gi på karboninnholdet i atmosfæren, har vi som en forenkling sett på effekten av å avvirke ett bestand sammenlignet med å la skogen stå.

I tillegg til at treprodukter kan erstatte produkter som krever bruk av fossil karbon i produksjonen, vil karboninnholdet i treproduktet forbli lagret i produktets levetid. Den resterende biomassen gir best klimagevinst dersom den anvendes til fast biobrensel med lav foredlingsgrad for å erstatte fossil energi.

Ettersom vedlikehold og isolasjonsevne vil påvirke det totale utslippsregnskapet for et bygg har vi her valgt et produkt (bærebjelke) som ikke påvirker energiforbruk i bygget og som i liten grad krever vedlikehold i bruksfasen. Det er kun produkter med slike egenskaper vi kan beregne effekten av isolert uten å trekke inn hele verdikjeden der produktet anvendes.

Figur 2 viser effektene av avvirkning etter 90 år og beste anvendelse av trevirket. Vi har antatt at rundt 20 prosent av trevirket har en kvalitet som gjør den egnet til treprodukter.



Figur 2. Utvikling av karbonlager (uttrykt som tonn CO₂ per hektar) i levende biomasse, jord, strø og død ved gitt avvirkning med uttak av GROT– kombinert med utslippsreduksjon ved substitusjon - høy substitusjonseffekt, lagring i treprodukter og erstatning av stålbjelke.

Kilde: Norsk institutt for skog og landskap/ Klima- og forurensningsdirektoratet

Figur 2 viser at tilbakebetalingstiden vil være rundt 90 år etter avvirkning. Dette leses ut fra punktet der den heltrukne kurven etter avvirkning i år 90 ("Nytt bestand") krysser den heltrukne kurven i bestanden som ikke er avvirket ("Ingen avvirkning") i år 180. Etter dette tidspunktet vil effekten av avvirkning være mindre CO₂ i atmosfæren sammenlignet med alternativet som er å la skogen stå. Dette er på grunn av CO₂-opptak i det nye granbestandet, i tillegg til effekten av redusert utslipp av fossilt CO₂ fordi trevirket er brukt til treprodukter og bioenergi.

Startpunktet for kurven "Nytt bestand" reflekterer det reelle utslippet ved avvirkningstidspunktet, når vi inkluderer redusert utslipp som følge av substitusjon av fossilt karbon og lagring i treprodukter.

De stiplede linjene i figur 2 illustrerer at det er store usikkerheter i modellen. Dette gjelder spesielt i forhold til forutsetningen om karboninnholdet i gammel skog.

Modellen er en forenkling siden den ikke omfatter hele skogen og dens sammensetning av aldersklasser, boniteter, treslag og tetthet. Den inneholder imidlertid alle fraksjoner i et bestand og er en god prinsippskisse for å se effekter på karbondynamikken ved avvirkning og foryngelse.

For å kunne si noe om effektene av permanent økt avvirkning i Norge, trenger vi framskrivninger som omfatter alle bonitetsklasser og går langt fram i tid, noe vi ikke har. Det kan imidlertid antas at ved permanent økt avvirkning vil tilbakebetalingstiden være lengre enn ved en enkelt avvirkning. Det betyr at tilbakebetalingstiden ved permanent økt avvirkning vil være lengre enn 90 år selv ved god anvendelse av biomassen til å erstatte fossile utslipp.

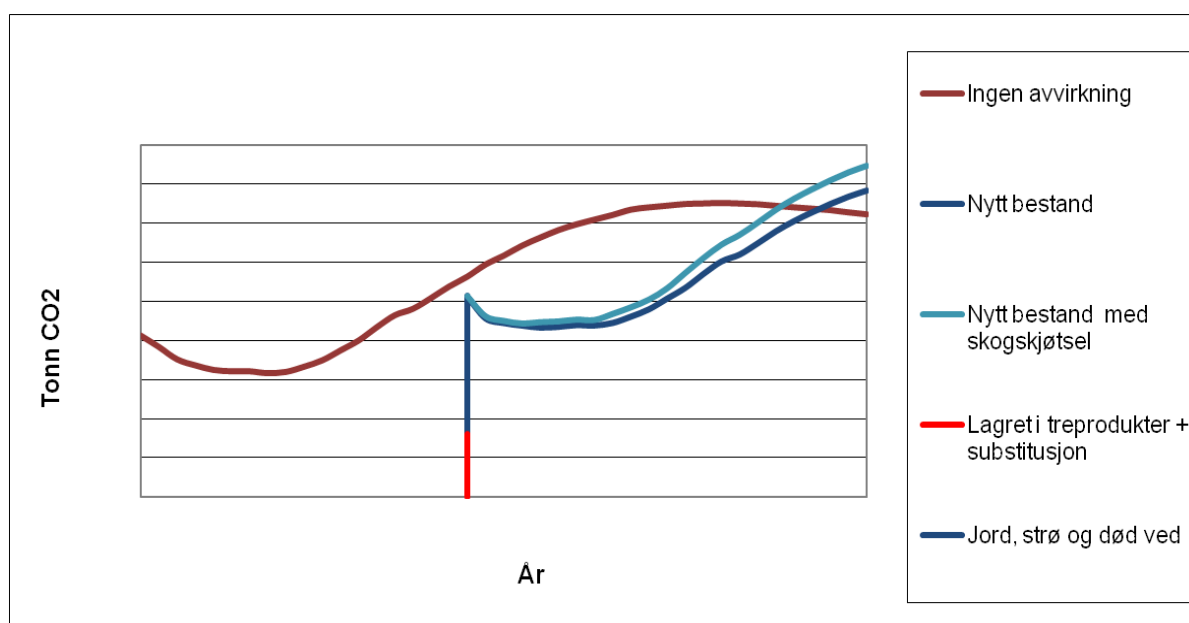
Det er den siste tiden utført flere studier som har sett på tilbakebetalingstiden ved avvirkning i nordiske land (boreal skog). Vi har sammenlignet våre resultater med resultater presentert av Holtsmark (2010b), Zanchi et al.(2010) og Rørstad et al. (2010). Holtsmark og Zanchi et al. viser at det tar fra 80 år til over et århundre (avhengig av hva trevirket anvendes til) før CO₂-

innholdet i atmosfæren blir lavere enn før avvirkning, og minst 150 år ved permanent økt avvirkning. Vår modell går ikke langt nok fram i tid for å kunne svare på hvilken tilbakebetalingstid permanent økt avvirkning vil gi, men vi ser at resultatet kan være i samme størrelsesorden.

Skogskjøtselstiltak vil gi en større tilvekstrate, raskere karbonlagring og dermed kortere tilbakebetalingstid.

I et klimaperspektiv er det viktig å gjennomføre skogskjøtselstiltak, som økt plantetetthet, skogplanteforedling og gjødsling. Slike tiltak bidrar til en større tilvekstrate, raskere karbonlagring og dermed kortere tilbakebetalingstid ved avvirkning. Skogskjøtselstiltak vil også gi mer tilgjengelig biomasse som kan erstatte fossile utslipp.

Figur 3 er en prinsippskisse som viser at tilbakebetalingstiden er kortere ved gjennomføring av skogskjøtselstiltak. Dette leses ut fra skjæringspunktet mellom kurvene ”Nytt bestand med skogskjøtsel” og ”Ingen avvirkning”.



Figur 3. Effekt på tilbakebetalingstiden ved gjennomføring av skogskjøtselstiltak – en prinsippskisse.

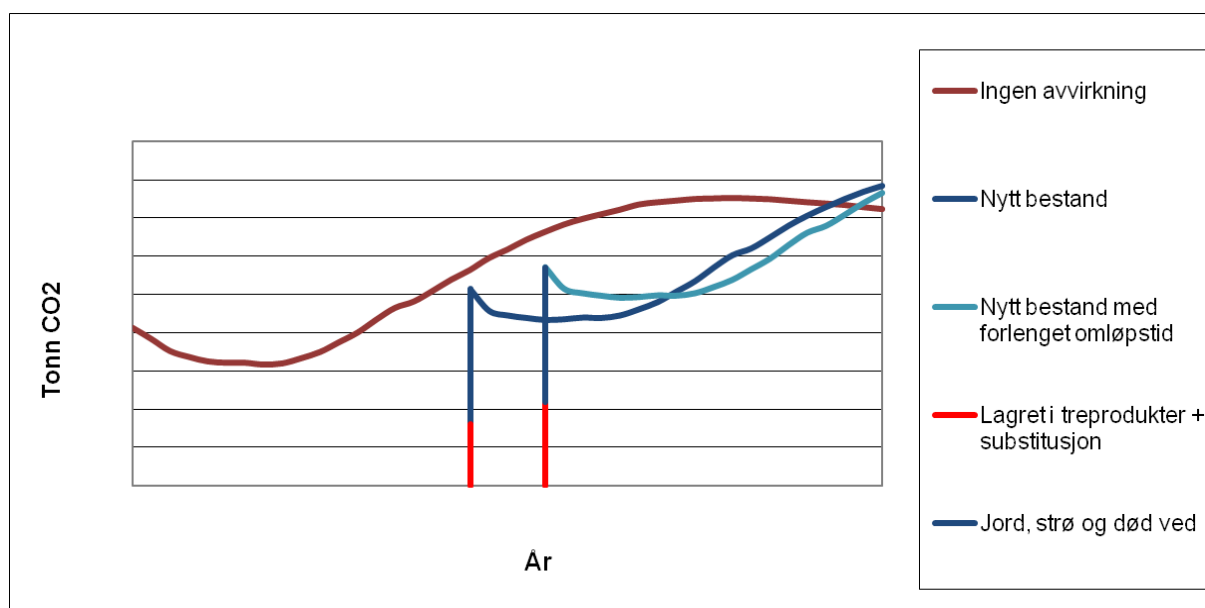
Årlig opptak av CO₂ i skog vil reduseres i årene som kommer fordi norsk skog blir eldre. Gjennomføring av skogskjøtselstiltak vil bidra til å hindre denne utviklingen. Dette gjelder uansett avvirkningsnivå. Noen skjøtselstiltak, som økt plantetetthet og skogplanteforedling, er avhengig av avvirkning for å kunne gjennomføres, og vil ha større effekt jo større arealer tiltaket gjennomføres på.

Klimakur 2020 beregnet flere tiltak som bidrar til økt opptak av CO₂ i skogen, som økt plantetetthet, planting på nye arealer, skogplanteforedling og gjødsling. Flere av disse tiltakene ble vurdert å være kostnadseffektive tiltak, med samfunnsøkonomisk tiltakskostnad mindre enn null, men det vil ta tid før full effekt oppnås. Skogskjøtselstiltak kan derimot komme i konflikt med biologisk mangfold og andre naturverdier. Det vil være nødvendig med endrede rammebetingelser i skogbruket dersom skjøtselstiltakene skal utløses.

Forlenget omløpstid utover det som er økonomisk optimalt for skogeier, kan gi en kortere tilbakebetalingstid.

Dersom en forlenger omløpstiden (det vil si utsetter avvirkningen til trærne er eldre), vil en avvirke på et tidspunkt der årlig CO₂-opptak er lavere, samtidig som mengde biomasse tilgjengelig til ulike formål er større. Dette vil gi en kortere tilbakebetalingstid ved avvirkning.

Figur 4 er en prinsippsskisse som viser at ved forlenget omløpstid vil tilbakebetalingstiden være kortere. Dette leses ut fra skjæringspunktet mellom kurvene "Nytt bestand med forlenget omløpstid" og "Ingen avvirkning".



Figur 4. Effekt av forlenget omløpstid utover det som er økonomisk optimalt – en prinsippsskisse.

På grunn av et lavt avvirkningsnivå i dag (rundt 40 prosent av årlig tilvekst), har store skogarealer allerede passert sin økonomisk optimale omløpstid for skogeier. Avvirkning i disse områdene vil gi en kortere tilbakebetalingstid enn i områder der skogen er yngre, som illustrert i figur 4. Mye av denne skogen ligger imidlertid i områder som er vanskelig tilgjengelig og det kan være behov for ytterligere virkemidler dersom skogeieren skal velge å avvirke her.

Forlenget omløpstid kan være positivt for det biologiske mangfoldet. Samtidig kan forlenget omløpstid øke risikoen for råde, skogbrann og stormfelling, da gammel produksjonsskog fra flere er antydnet å være mer sårbar for slike ekstreme hendelser. Dersom en skal oppnå forlenget omløpstid vil det være nødvendig med endrede virkemidler, siden det vil redusere lønnsomheten for skogeier.

Ytterligere utredning er nødvendig for å fastslå effektene av forlenget omløpstid mer nøyaktig.

S.3 Diskusjon av resultatene

Avvirkning i skogen og bruk av trevirke til å erstatte fossilt karbon gir en lang periode med økte konsentrasjoner av klimagasser i atmosfæren. Tilbakebetalingstiden er beregnet til 90 år, og trolig vesentlig lenger ved permanent økt avvirkning i forhold til dagens nivå. Samtidig innebærer avvirkning og foryngelse at en opprettholder skogens produksjonsevne. Dette gir tilgang på biomasse som kan erstatte fossilt karbon i dag og opprettholder muligheten for å

kunne fortsette å høste ressurser av skogen i framtiden. Hva som er klimamessig best tilnærming til skogen blir derfor en avveining mellom kortsiktige og langsiktige hensyn.

Hvilke deler av biomassen som tas ut, hvordan den anvendes og hvilke tiltak som gjennomføres for å øke tilveksten i skogen har stor betydning for hvor lang tid det tar før karboninnholdet i atmosfæren er det samme som hvis det ikke ble avvirket.

Gjennom enkle modellberegninger har vi vist at avvirkning vil gi umiddelbare utslipp av klimagasser til atmosfæren som det vil ta tid å vinne tilbake, selv med god "klimamessig" anvendelse av trevirket. Så lenge årlig tilvekst er større enn årlig avvirkning, vil karbonlageret fortsette å øke. Men dersom vi øker avvirkningen i forhold til dagens nivå vil karbonlageret øke saktere en periode. Dette kan være et argument for å unngå et større avvirkningsnivå enn i dag, og på den måten i enda større grad enn i dag bruke skogen som karbonlager. Dette kan være viktig dersom en ønsker å bruke skogen for å redusere tilførselen av klimagasser til atmosfæren på kort sikt. Et begrenset avvirkningsnivå vil også være bra for det biologiske mangfoldet.

Med bakgrunn i dette kan det derfor argumenteres for at en skal unngå å øke avvirkningen fra dagens nivå. Imidlertid er det også argumenter som kan tale mot en slik strategi:

- En utfordring med å la skogen eldes og på den måten bruke den som karbonlager er at det er stor usikkerhet knyttet til størrelsen på karbonlageret i gammel skog og hvor stabilt et slikt karbonlager faktisk er. Hvor lenge vil skogen holde på karbonet, og hvor lang tid vil det ta før forråtnelsesprosesser fører til utslipp av klimagasser? Det er behov for ytterligere forskning for å bedre kunnskapen om karbonlager i gammel skog.
- Det er viktig at vi i framtiden kan dekke vårt energibehov gjennom alternative teknologier som eksempelvis sol- og jordvarme og bølgekraft. Men selv om dette skjer vil det fortsatt trolig gjenstå flere områder der det ikke finnes andre alternative løsninger enn bruk av bioenergi for å redusere klimagassutslippene. Vi blir også flere mennesker på jorda, slik at behovet for energi og andre produkter er økende, noe som tilsier et større behov for å anvende skogen som en energiresurs i framtiden. For at skogen skal kunne levere produkter i et langsiktig perspektiv, både til treprodukter, papir og energi, er det viktig å forvalte skogen på en bærekraftig måte i dag, slik at det vil være mulig. Dersom skogen ikke avvirkes og forynges ved nyplanting, blir den gammel, og da vil kvaliteten på trevirket forringes på grunn av for eksempel råte – noe som gir færre produkter og lavere lønnsomhet.
- Trevirke er en internasjonal råvare, og redusert avvirkning i Norge kan oppveies av økt import av tømmer og biobrensel fra land som ikke har lik praksis for nyplanting og skogskjøtsel som i Norge. Dette vil i så fall gi en negativ klimaeffekt. Dersom vi derimot kun importerer fra land som har rasktvoksende skog og god skogskjøtsel, får vi en kortere tilbakebetalingstid enn ved avvirkning i Norge. "Karbonlekkasje"-problematikken er en like sentral problemstilling i denne som i andre sektorer.

FNs klimapanel skriver i 4. Hovedrapport (IPCC 2007b) at en på lang sikt vil oppnå størst karbongevinst fra skogen dersom en gjennom bærekraftig skogforvaltning opprettholder eller øker karboninnholdet i skogen, samtidig som skogen leverer tilstrekkelige mengder tømmer og energivarer. Dette er i tråd med de vurderinger vi har gjort.

For å nå langsiktige klimamål vil det være nødvendig både å redusere fossile utslipp og utnytte skogens potensial som karbonsluk. Det er kunnskapshull knyttet til forståelse av utvikling av karboninnholdet i gammel skog, og det er behov for at det utvikles bedre modeller for å kunne studere dette nærmere. Men selv med bedre modeller og bedre kunnskap om framtidig utvikling vil det ikke kunne gis et komplett bilde. Endret klima vil eksempelvis kunne påvirke effektene utover det vi klarer å forutse med modeller. Bedre kunnskap er viktig for å kunne innrette virkemidler og tiltak dersom skogen fortsatt skal være det karbonsluket og karbonlageret det er i dag, og samtidig levere råvarer til produkter vi trenger.

Innholdsfortegnelse

Forord	3
Sammendrag	4
Innholdsfortegnelse	14
1. Bakgrunn	16
1.1 Oppdrag som skal besvares i rapporten	16
1.2 Skog som karbonsluk og karbonlager	16
1.3 Problemstillinger knyttet til skog som karbonlager og energiressurs	18
1.4 Skogressurser = mange verdikjeder	19
1.5 Mål for utbygging og anvendelse av bioenergi	21
1.6 Dagens virkemidler for økt etterspørsel og tilbud av biomasse	22
1.7 Avgrensning og oppbygging av rapporten	24
2. Anvendelse av biomasse og vurdering etter ulike kriterier	26
2.1 Utnyttelse av biomasse ved erstatning av fossil råvare og energi	26
2.1.1 Mulige anvendelsesområder for biomasseressurser fra skogen	26
2.1.2 Virkningsgrader	27
2.2 Vurdering av biomasse fra skog som energi- og klimatiltak	31
2.2.1 Kriterier for best anvendelse av biomasse som er avviket	31
2.2.2 Klimakur 2020	31
2.2.3 Livsløpsanalyser	33
2.2.4 Kostnadseffektivitet	34
2.2.5 Substitusjonseffekt	35
2.2.6 Reduksjonspotensial og alternative løsninger for klimagassreduksjon	36
2.2.7 Oppsummering – Beste anvendelse av biomasseressurser i et klimaperspektiv	37
3. Lagring og opptak av karbon i skog og skogsjord	40
3.1 Karbonlagring i skog og skogsjord	40
3.2 Årlig opptak av CO ₂ i norsk skog	41
3.2.1 Rapportering til FNs klimakonvensjon	41
3.2.2 Bokføring under Kyotoprotokollen	42
3.3 Opptak av CO ₂ gitt ulike avvirkningsnivåer	43
3.3.1 Framskrivninger	43
3.3.2 Tiltak som gir økt opptak av CO ₂ i skogen	45
3.4 Økt uttak av hogstavfall – potensialer og effekter	46
3.4.1 Potensialer for økt utnyttelse av hogstavfall	46
3.4.2 Effekter på karbonbalansen ved økt utnyttelse av hogstavfall	48
4. Fra skog til anvendelse – ulike scenarioer	50
4.1 Omfang	50
4.2 Modell og forutsetninger	50
4.2.1 Modell – CO ₂ -innhold i et granbestand	50
4.2.2 Usikkerheter i modellene	52
4.2.3 Fordeling av trevirke til produkter og til energivirke	53
4.2.4 Substitusjonseffekt som benyttes i scenarioene	54
4.3 Tilbakebetalingstid ved uttak og anvendelse av GROT til energiformål	55
4.4 Tilbakebetalingstid ved avvirkning – et granbestand	56

4.4.1	Tilbakebetalingstid ved avvirkning og anvendelse av biomasse til energiformål – uten uttak av hogstavfall (GROT).....	56
4.4.2	Tilbakebetalingstid ved avvirkning og anvendelse av biomasse til energiformål – med uttak av hogstavfall (GROT).....	58
4.4.3	Tilbakebetalingstid ved avvirkning og anvendelse av biomasse til energiformål og treprodukter – med uttak av hogstavfall (GROT).....	59
4.5	Muligheter for å redusere tilbakebetalingstiden.....	61
4.5.1	Effekt av skogskjøtselstiltak	61
4.5.2	Effekt av forlenget omløpstid	62
4.6	Tilbakebetalingstid ved permanent økt avvirkning.....	63
4.6.1	Kvalitativ forståelse basert på modellkjøringene av et granbestand.....	63
4.6.2	Et eksempel – tilbakebetalingstid ved økt avvirkning i skogen som helhet	64
4.7	Sammenligning med andre studier.....	66
4.7.1	Tilbakebetalingstid.....	66
4.7.2	Implikasjoner av regelverk for beregning av klimanytte fra skog	66
4.8	Virkemidler for økt etterspørsel og tilbud av biomasse.....	67
4.8.1	Virkemidler for økt etterspørsel etter bioenergi.....	67
4.8.2	Virkemidler for klimamessig gunstig drift av skogen	68
4.9	Oppsummering.....	68
5.	Konklusjon.....	70
6.	Referanser.....	73
7.	Vedlegg.....	77
7.1	Vedlegg 1 – Definisjoner	77
7.2	Vedlegg 2 – Anvendelse av biomasse fra skog for å redusere klimagassutslipp.....	79
7.2.1	Fast biobrensel til direkte varmeproduksjon eller til fjernvarme	79
7.2.2	Virkningsgrader benyttet i byggtiltakene.....	81
7.2.3	Biodrivstoff	81
7.2.4	Produksjon av biokull og lagring i jordbruksjord	83
7.2.5	Biokull til reduksjonsmidler.....	85
7.2.6	Bioolje.....	85
7.2.7	Prisforutsetninger for beregning av kostnadseffektivitet i Klimakur 2020.....	86
7.3	Vedlegg 3 – Forutsetninger for tiltak i livsløpsanalysen	87
7.4	Vedlegg 4 – Historisk opptak av CO ₂ i skogen og framskrivninger.....	90
7.4.1	Metode for beregning av historisk opptak av CO ₂ i skogen	90
7.4.2	Usikkerhet i framskrivningene for opptak av CO ₂ i skog.....	91
7.5	Vedlegg 5 – Skogskjøtselstiltak utredet i Klimakur 2020	93
7.6	Vedlegg 6 – Avfallsfraksjoner fra skog: kostnader og biologiske konsekvenser ved økt uttak.....	95

1. Bakgrunn

1.1 Oppdrag som skal besvares i rapporten

Miljøverndepartementet ga i juni 2010 Klima- og forurensningsdirektoratet oppdrag om å utrede effekter ved ulik anvendelse av skog i et klimaperspektiv, ved både å se på skogens rolle som karbonlager og leverandør av råstoff til treprodukter og bioenergi.

Problemstillingene som skal besvares er:

- Hva er kunnskapsstatus om hva som er optimalt for klimagassregnskapet når det gjelder bruk av trevirke til energi, til CO₂-opptak eller til lager i treprodukter?
- Under hvilke betingelser inkludert tidsperspektiv vil den utslippsreducerende effekten av trevirke som substitusjon for andre produkter være større enn reduksjonen i opptak som følge av en eventuell økt avvirkning?
- Hvordan får en mest klimaeffekt av bioenergi, både i form av størst utslippsreduksjon i absolutte tall og som størst utslippsreduksjon per krone?
- Sett fra et klimaperspektiv, bør biobrensel til energiformål primært brukes som fast energi eller flytende biodrivstoff? Til denne vurderingen hører en gjennomgang av hva slags virkningsgrader som bør legges til grunn ved produksjon av ulike former for bioenergi.

Det skal gjøres helhetlige livsløpsbetraktninger knyttet til anvendelse av bioenergi.

1.2 Skog som karbonsluk og karbonlager

Skog og skogskjøtsel kan bidra til å redusere klimagassutslippene på tre hovedområder:

- Redusere utslippene av klimagasser gjennom redusert avskoging og skogforringelse. Dette er først og fremst relevant for utviklingsland, der store skogarealer avvirknes for å brukes til alternative formål (arealbruksendringer). I Norge sørges det oftest for foryngelse etter avvirkning, slik at skogarealene opprettholdes.
- Fjerne klimagasser fra atmosfæren ved å fungere som karbonsluk og -lager. Dette lageret kan økes gjennom økt skogareal, og gjennom økt biomasse på eksisterende arealer.
- Bruk av produkter fra skog til å erstatte bruk av fossil energi direkte (bioenergi), til å lagre karbon i langlevde produkter eller ved å erstatte produkter som er energikrevende i produksjon.

Skogen er en betinget fornybar ressurs. Så lenge det sørges for foryngelse raskt etter avvirkning vil volumet i skogen gjenvinnes og en vil oppnå en langsiktig, vedvarende ressurs. Dersom en gjennomfører aktiv skogskjøtsel vil en kunne opprettholde et gjennomsnittlig høyere volum i skogen.

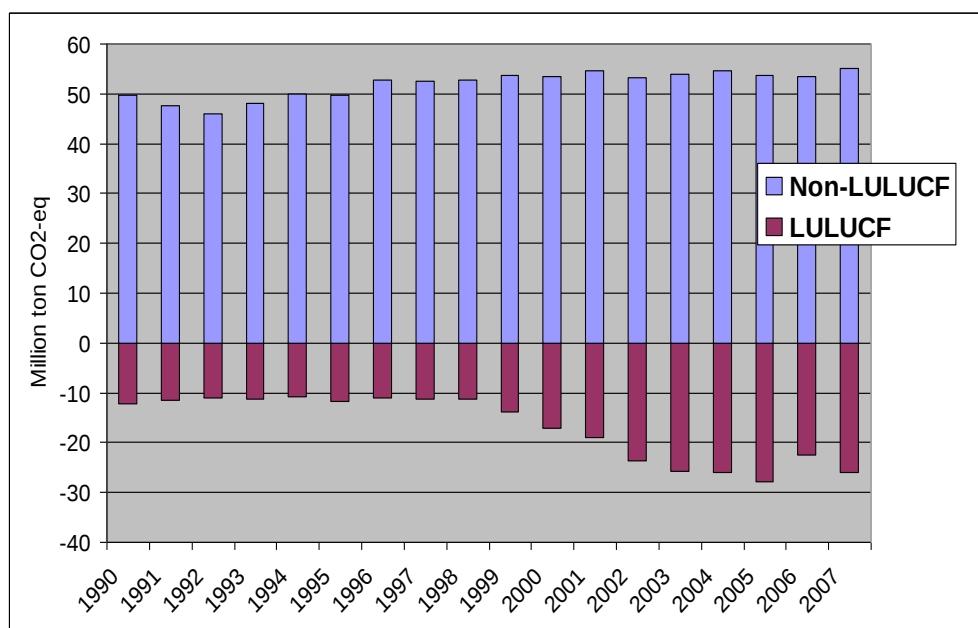
Opptaket av klimagasser i skogen henger tett sammen med skogens tilvekst. Så lenge tilveksten er større enn avvirkningen, vil karbonlageret fortsette å øke. Skog defineres som en karbonnøytral energikilde, fordi den tar opp like mye CO₂ gjennom omløpstiden (tiden det tar fra planting til avvirkning) som den slipper ut ved forbrenning etter avvirkning eller naturlig nedbryting. Siden omløpstiden i norsk skog er lang, vil det ta mange år, rundt 70–120 år, før et nyplantet tre inneholder samme mengde karbon som det treet som ble avvirket.

I dag er avvirkningen betydelig lavere enn tilveksten, med et årlig uttak på rundt 40 prosent av årlig tilvekst. Til sammenligning er avvirkningsraten i vårt naboland Sverige rundt 90 prosent av tilveksten (Sveriges lantbruksuniversitet 2010). Den lave avvirkningsraten i Norge er et resultat av at avvirkningen har vært konstant, mens tilveksten har økt som følge av intensiv planting rundt 1950. Mye av denne skogen har nådd eller passert sin optimale vekstfase, noe som betyr at årlig CO₂-opptak vil avta fremover.

Skogbruk drives i dag først og fremst for å skaffe skurtømmer til treprodukter og massevirke til papir og papirprodukter. Det er her skogeieren får best betalt for trevirket. Trevirke med dårlig kvalitet, eller trevirke som er restprodukter i annen produksjon, brukes til energiformål.

Hvert år rapporterer Norge inn opptak og utslipp av klimagasser fra alle sektorer inn til FNs klimakonvensjon. I dette klimagassregnskapet inkluderes alle utslipp og opptak i skogen, selv om skog defineres som klimanøytral. Utslipp av CO₂ beregnes og rapporteres i det året treet avvirkres, og ikke når det forbrennes eller brytes ned. Dette for å unngå dobbelttelling.

Figur 1-1¹ viser forholdet mellom sektoren skog, arealbruk og arealbruksendringer (Land Use, Land Use Change and Forestry – LULUCF) og øvrige sektorer (non-LULUCF).



Figur 1-1 Forholdet mellom opptak av klimagasser i skogsektoren (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF) og utslipp av klimagasser i øvrige sektorer (non-LULUCF). Millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

Kilde: Klima- og forurensningsdirektoratet 2010a

Søylene som peker oppover i Figur 1-1 viser de fossile klimagassutslippene fra alle sektorer, mens søylene som peker nedover (under null) viser netto opptak av klimagasser fra LULUCF-sektoren. Figuren viser at opptaket har økt de siste 10 årene, og utgjør rundt 45–50 prosent av det totale utslippet fra øvrige sektorer.

Regelverket under Kyotoprotokollen gir imidlertid ikke Norge anledning til å få godskrevet opptaket fra skogen fullt ut, ved at det er satt et tak på hvor mye landende kan få godkjent for

¹ Sektoren skog, arealbruk og arealbruksendringer er nærmere forklart i kapittel 3.

skogskjøtsel for første forpliktelsesperiode. Dagens regler under Kyotoprotokollen gir derfor ikke gode incentiver til å gjennomføre tiltak for å øke opptaket av klimagasser i skogen. Dette er noe mange påpeker er en svakhet, og som det arbeides med å forbedre i forbindelse med de pågående klimaforhandlingene.

1.3 Problemstillinger knyttet til skog som karbonlager og energiresurs

Klimakur 2020 (Klima- og forurensningsdirektoratet et al. 2010²) utredet en rekke skogskjøtselstiltak som kan bidra til å øke opptaket av klimagasser i skogen, slik som økt plantetetthet og skogplanteforedling. På grunn av den lange omløpstiden i norske skoger, vurderte vi skogens potensial for opptak av klimagasser i et hundreårsperspektiv – og ikke bare fram til 2020.

Klimakur 2020 presenterte også framskrivning av opptak av CO₂ i norsk skog for ulike avvirkningsnivåer. Disse framskrivningene viste at endret avvirkningsnivå vil påvirke årlig CO₂-opptak, og synliggjorde effekt av hvordan skogskjøtselstiltak kan bidra til å motvirke utslipp ved avvirkning.

I etterkant av Klimakur 2020 har det vært en rekke innspill i media og i form av høringsuttalelser knyttet til skog og anvendelse av skogen.

I mars 2010 skrev Goksøyr et al. (2010) en kronikk, hvor de påpekte at økt avvirkning vil gi store utslipp av CO₂. Kronikken var blant annet basert på framskrivningene fra Klimakur 2020. I juni 2010 presenterte Holtsmark en artikkel (Holtsmark 2010a), der han modellerer et skogområde fram til år 2200. Han viser at det vil ta lang tid (70 til 150 år) før effekten av å erstatte fossile energibærere med biomasse til ulike formål kan kompensere for CO₂-utslippene ved økt uttak av biomasse.

Flere høringsuttalelser til Klimakur 2020, blant annet fra Naturvernforbundet, stilte spørsmål om en økning av skogens karbonlager er mer gunstig i et klimaperspektiv enn å øke uttaket av biomasse fra skog til bioenergi eller andre formål. De viste til at det er behov for at vi raskt innfører tiltak for å redusere klimagassutslippene og at økt lagring av karbon i skogen kan være et effektivt tiltak på kort sikt. Andre peker på at det i denne sammenhengen er viktigst å redusere utslipp av fossilt karbon til det atmosfæriske kretsløpet, og at dette blant annet kan skje gjennom bruk av biomasseressurser fra skogen som midlertidige kan gi høyere konsentrasjon av CO₂ i atmosfæren.

Flere har påpekt, både i innspill i media og i høringsuttalelser, at gammel skog i mindre grad tar opp CO₂ enn skog i sin mest produktive vekstfase, og at gammel produksjonsskog har større risiko for å bli utsatt for stormer, sykdommer og insektangrep, og påpekte behov for et balansert uttak og god alderssammensetning i skogen for å bevare dens produksjonsevne til råvarer til bioenergi og produkter i tre.

Debatten inneholdt også innspill på hva som påvirker karbonbalansen i skogen. Dette gjelder blant annet hvor mye grener og topper (GROT) som bør tas ut ved avvirkning, hvilke faktorer som bestemmer karbonbinding og utslipp av CO₂ fra jordsmonn, hvor stort CO₂-opptaket i gammel skog er, og hvilken tilnærming en skal bruke ved modellering av energisystemet.

² Omtales heretter som Klimakur 2020 om ikke annen referanse er oppgitt.

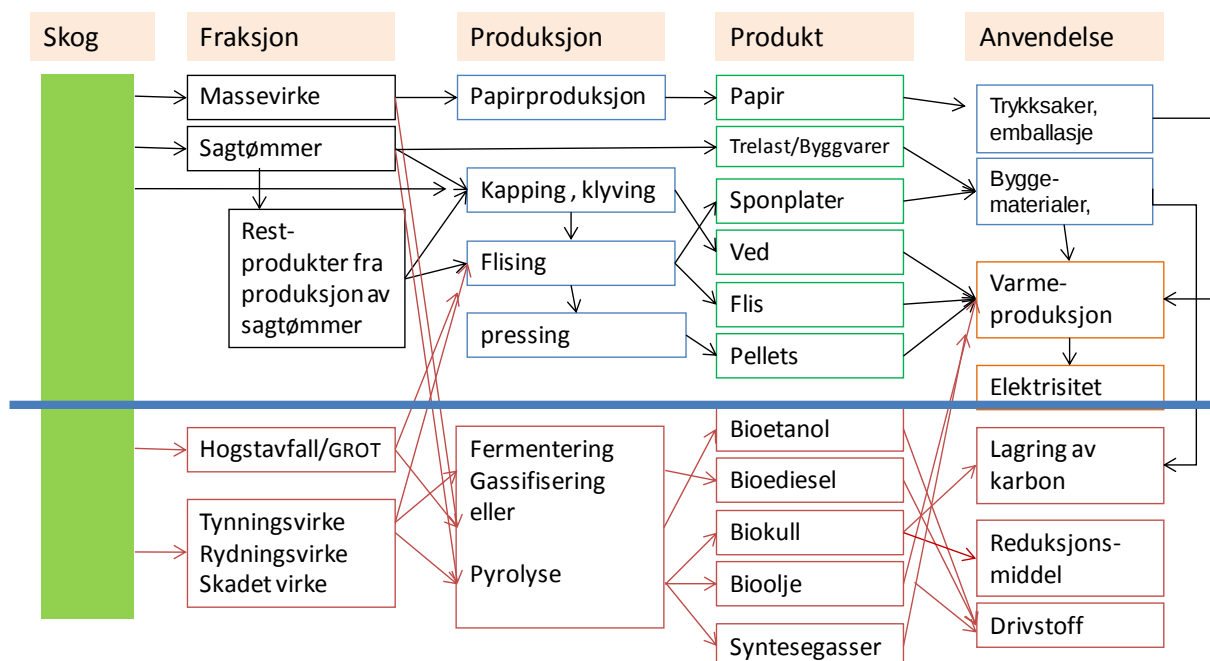
Flere peker på at skogen brukes til å lage et sortiment av produkter (for eksempel byggemateriale, møbler etc.), som bidrar til lagring av karbon også etter at treet er avvirket.

Også internasjonalt debatteres konsekvensene knyttet til økt uttak av biomasse fra skogen. I rapporten "The upfront carbon debt of bioenergy" fra Joanneum Research (Zanchi et al. 2010) pekes det på at forutsetningen for karbonnøytralitet for biomasse kan differensieres knyttet til hvor raskt nyplanting kan absorbere den mengden CO₂ som frigjøres ved uttak. De viser hvordan det totale klimagassregnskapet kan variere både i mengde og over tid knyttet til hva slags fraksjoner fra skogen som utnyttes og hvor det etableres ny skog.

Rapporten fra Joanneum Research peker på at dagens systemer for beregning av klimagassutslipp fra bioenergi ikke er omfattende nok siden ikke alle land er omfattet av et regelverk for rapportering på skog, og at beregningene heller ikke tar hensyn til at tidshorizonten for utslipp og opptak er forskjøvet i forhold til hverandre. For å rette opp i disse manglene peker de på strategier, som for eksempel å gjøre beregningene fra utslipp fra landområder mer komplett i rapporteringen, å anvende verdikjedetilnærminger og bærekraftskriterier, og å regnskapsføre i tråd med hvordan trevirket faktisk brukes. Dette er i tråd med diskusjoner som allerede er iverksatt i de internasjonale klimaforhandlingene.

1.4 Skogressurser = mange verdikjeder

Det er mange produkter som produseres i dag eller kan produseres med utgangspunkt i ressurser fra skogen. Figur 1-2 gir en oversikt over noen eksisterende og mulig framtidige verdikjeder.



Figur 1-2 Verdikjeder med skog som ressurs.

De fraksjoner, produksjonsmetoder, produkter og anvendelsesområder som er viktigst i dag er vist over den horisontale linjen i figur 1-2.

I dag leverer skogen i hovedsak råvarer til trefordelingsindustrien for produksjon av papir og papirprodukter, til sag- og høvelbruk for produksjon av bygningsmaterialer og til trevareindustrien for produksjon av trevarer som dører og vinduer. Biprodukter som svartlut, bark, flis, spon og kapp brukes til energiformål i alle tre industrigrenene. I noen grad produserer de også flis og foredlet biobrensel som briketter og pellets for salg i markedet. Bark brukes gjerne i varmeanlegg knyttet til tretørking, eller i fjernvarmeanlegg. Biprodukter som sagflis og kutterflis kan brukes til produksjon av briketter og pellets, men det skjer så langt bare i liten skala i Norge. En del flis sendes fra sagbruk til produksjon av sponplater og trefiberplater.

Skogbruket leverer også en del råstoff direkte til brenselmarkedet, først og fremst i form av ved. I tillegg leverer skogen hogstavfall (GROT), ryddingsvirke, noe tynningsvirke (heltrær) og lavkvalitets massevirke som råstoff for flisproduksjon til bruk i varmesentraler.

I dag er om lag 14–16 TWh av det nasjonale energiforbruket basert på biomasseressurser fra skogen.

Massevirke kan alternativt brukes til produksjon av flis, briketter og pellets. Dette er ikke veldig utbredt i Norge, og vi har ikke analysert effekter ved å snu virkestrømmene.

Den delen av figuren som er under den horisontale linjen viser de fraksjoner, produksjonsmetoder, produkter og anvendelsesområder som har liten økonomisk betydning i dag eller hvor produksjonsteknologien fortsatt er i pilotfasen. Dette gjelder biodrivstoff fra trevirke (andregenerasjons biodrivstoff) og biokull som reduksjonsmiddel eller som jordforbedringsmiddel og karbonlagring. Biokull brukt som reduksjonsmiddel anvendes i Norge i dag, men basert på importert vare. Andregenerasjons biodrivstoff og biokull som jordforbedringsmiddel er på forsknings- og pilotstadiet.

I 2007 var det en total avvirkning av industrivirke i Norge på rundt 8,2 millioner kubikkmeter (SSB 2010a). Tabell 1-1 viser hvordan industrivirket fordelte seg på ulike kjøpergrupper. Tabellen inkluderer kun industrielt bruk, det vil si at ved til husholdninger ikke er inkludert. Energivirke kommer i hovedsak fra biprodukter fra trelast og papirproduksjon, avfall som papir, papp og trevirke brukt i fjernvarmeverk og som ved til privat bruk.

Tabell 1-1 Leveranse av trevirke til industrien.

Kjøpergruppe	Kubikkmeter
Sagbruk- og trevareindustri ¹	4 344 188
Tremasse- og celluloseindustri ²	2 602 297
Trefiber- og sponplateindustri ³	143 413
Andre norske kjøpere ⁴	464 061
Utenlandske kjøpere ⁵	657 953

¹ *Sagbruk og trevareindustri* omfatter sagbruk, tønnefabrikker, kassefabrikker, fabrikker for trekonstruksjoner og fabrikker for trehus.

² *Tremasse- og celluloseindustri* omfatter fabrikker som framstiller tremasse, halvkjemisk masse og cellulose, enten for salg eller for videreforedling i egen bedrift.

³ *Trefiber- og sponplateindustri* er trefiberplatefabrikker (wallboardfabrikker) og sponplatefabrikker.

⁴ *Andre norske kjøpere* omfatter impregneringsverk, møbel- og innredningsindustri, trekullindustri, tremjøl- og treullfabrikker, finér- og parkettindustri, skips- og båtbyggerier, fyrstikkfabrikker og øvrige kjøpere som ikke hører til i de andre gruppene..

⁵ *Utenlandske kjøpere* omfatter sagbruk, industri eller andre kjøpere utenfor Norge.

Kilde: SSB 2010a

Tabell 1-2 viser anslag og beregninger fra ulike kilder, som anslår at størstedelen av biomassen som tas ut går til vedfyring fulgt av varme- og noe kraftproduksjon i treforedlingsindustrien.

Tabell 1-2 Dagens anvendelse av biomasseressurser fra skogen.

Energiformål	Energimengde
Privat/ uregistrert hogst (ved)	5–7 TWh
Direkte fra skogbruk (hogstavfall)	Lavt
Intern bruk i trelastindustri	0,9 TWh
Intern bruk i treforedlingsindustri	5 TWh
Intern bruk i annen industri (møbel og trevare)	0,8 TWh
Biomasse til varmeproduksjon fra avfall (papir, papp, trevirke)	2 TWh ¹
TOTALT	14–16 TWh

¹ En vesentlig del av biomassen som går til trelast og papp/papir, vil før eller siden bli avfall. En full utnyttelse av denne biomassen til energiformål vil representere et potensial langt utover de nåværende 2 TWh.

Kilde: Klima- og forurensningsdirektoratet/ KanEnergi 2007

SSB anslår at vedforbruket i norske boliger og fritidsboliger var i overkant av 1,5 millioner tonn i 2009. Gitt brennverdi på 4 kWh per kg (tørr ved) gir dette en innfyrt energimengde på 6,2 TWh per år. Overgang til nye rentbrennende ovner tilsier at det nå utnyttes 1 TWh mer energi fra vedbrenning enn tidligere, det vil si rundt 3,4 TWh forutsatt en virkningsgrad på 75 prosent for lukket ovn med ren teknologi, 15 prosent for åpen peis og 40 prosent for lukket ovn med gammel teknologi.

Mye av råstoffet til vedproduksjon hentes trolig fra arealer som normalt ikke inngår i det definerte skogarealet (hager, tomter, parker, innmark, osv.). En del blir også importert. Hvor mye av råstoffet til vedproduksjon som kommer fra arealer som inngår i skogbruket, er svært usikkert.

1.5 Mål for utbygging og anvendelse av bioenergi

I St. meld. nr. 34 (2006–2007) *Norsk klimapolitikk* ble bioenergi trukket fram som viktig for å redusere klimagassutslippene fra energiproduksjon gjennom å ”Sikre målrettet og koordinert virkemiddelbruk for økt utbygging av bioenergi med inntil 14 TWh innen 2020”.

Regjeringens strategi for økt bruk av biodrivstoff lagt fram i Revidert nasjonalbudsjett for 2007. Videre la Regjeringen i april 2008 fram en strategi for økt utbygging av bioenergi (OED 2008). Disse strategiene er senere omtalt og utdypet i blant annet klimaforliket (2008) og St. meld. nr. 39 (2008–2009) *Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen*.

St. meld. nr. 39 (2008–2009) tar utgangspunkt i et teknisk potensial for skogråstoff til energiformål på i størrelsesorden 16–25 TWh årlig, dersom en tar utgangspunkt i netto balansekvantum³. Tallene inkluderer biomasse som kan høstes fra veikanter, kulturlandskap og kraftgater.

³ **Balansekvantum** er det høyeste jevne kvantum vi teoretisk kan avvirke i dag ved et gitt skogbehandlingsprogram, uten at vi behøver å senke det i framtiden. Et skogbehandlingsprogram inkluderer et bestemt sett av skogskjøtselstiltak slik som tynning og innsats i skogkulturen.

Brutto- balansekvantum beregnes på grunnlag av areal, aktuell skogtilstand og tilvekst.

Netto balansekvantum finner man ved å trekke fra de skogarealene som er økonomisk vanskelig å drive på grunn av avstand til skogsbilvei (over 1,5 km) og en bratthet på 90 prosent samt et generelt fratrekk på 10

Målet om en økt utbygging av bioenergi med inntil 14 TWh innen 2020 skal oppnås ved å stimulere til økt bærekraftig produksjon av bioenergi basert på landbrukets ressurser, i hovedsak gjennom økt uttak av råstoff fra skogbruket og bedre utnytting av biprodukter og avfall fra jordbruket. Det skal stimuleres til økt bruk av bioenergi til oppvarming i landbrukssektoren gjennom teknologiutvikling på andregenerasjons biodrivstoff fra blant annet avfall og trevirke.

Nye mål for bioenergi har også kommet i EU gjennom EUs direktiv for fornybar energi (2009)⁴, som var en del av EUs klima- og energipakke. Målet med fornybardirektivet er å øke andelen fornybar energi i EU fra 8,5 prosent i 2005 til 20 prosent av totalt energiforbruk innen 2020. Direktivet er foreløpig ikke implementert i Norge, og det er foreløpig under forhandling hvilke mål som kommer til å bli satt for Norge.

1.6 Dagens virkemidler for økt etterspørsel og tilbud av biomasse

I Regjeringens bioenergistrategi legges det opp til en gradvis utbygging av fjernvarme og lokale varmesentraler, samtidig som omleggingen til bioenergi i industri og boliger uten vannbåren varme skal styrkes. Parallelt skal uttaket av GROT, rydningsvirke/småtrær og andre biprodukter fra skogen økes gradvis slik at det utvikles balanserte verdikjeder. Strategien peker på andre mulige virkemidler for å stimulere tilgangen på råstoff til bioenergi, som pilotprosjekter for utnyttelse av GROT, rydningsvirke og småtrær, skogfond, forskning, utredning av barrierer og pilotanlegg for biogass.

Regjeringen har iverksatt flere virkemidler for å produsere mer biobasert varme. Dette vil øke både etterspørsel og tilbud av biomasse fra skogen. Blant annet forvalter Enova store midler til investeringsstøtte for innfasing av fornybar varme i varmesentraler og industri. Bevilgningene til Enova ble styrket i 2009 for å fremme økt etterspørsel etter bioenergi. Det gjøres gjennom å støtte nyetablering av infrastruktur for fjernvarme, lokale energisentraler og biogass. Videre har Enova midler for å støtte overgang fra fossil til biomassebasert varme i industrien. Enova har så langt tildelt 1,15 milliarder kroner i støtte til varme- og fjernvarmeanlegg basert på bioenergi og avfall. Når disse står ferdig (fram mot 2019) vil det utgjøre en varmeproduksjon på 2,2 TWh. Som følge av den kraftige virkemiddelbruken finnes det flere store markedsaktører som vil bidra til økt etterspørsel etter biomasse i tiden framover. BioWood startet opp sin produksjon på Averøy i 2010, og skal produsere 450 000 tonn trepellets (tilsvarende 2 TWh) per år, beregnet som energibærer til prosessindustri og kullkraftverk på det europeiske markedet.

prosent av miljøhensyn. Netto balansekvantum i Norge er i størrelsesorden omlag 25 prosent lavere enn brutto balansekvantum (Gjølsgj og Hobbestad 2009).

⁴ Vedtatt i Europaparlamentet i desember 2008 og i Rådet i april 2009.

Eksempler på virksomheter og tiltak som har fått støtte fra Enova

- *Hafslund Miljøenergi fikk i 2009 tildelt 150 millioner kroner til etablering av et bioenergibasert kraftvarmeverk i Sarpsborg som skal produsere damp til industrien i området og elektrisitet til nettet. Dette er ventet å gi store reduksjoner i utslipp fra bruk av tungolje fra industrien og vil ha en stor total utnyttelse av energiresursene.*
- *Fiborgtangen Biokraft i Nord-Trøndelag fikk i 2010 120 millioner kroner i støtte til bygging av anlegg for produksjon av varme og elkraft basert på høytemperatur gassifisering av biomasse. Anlegget vil ha behov for 77 000 tonn trevirke per år, og skal levere 270 GWh totalt fordelt på kraft og varme. Den termiske energien skal benyttes ved Norske Skog på Skogn, og vil redusere forbruk av fyringsolje i denne fabrikk. Prosjektet anses å være banebrytende teknologisk og gi svært høy totalutnyttelse av energiresursene.*
- *Husholdninger kan få støtte fra Enova for kjøp av pelletskamin med inntil 20 prosent av dokumenterte kostnader, maksimalt 4 000 kroner.*

(Kilde: Enova 2010a)

Under miljøteknologiordningen som forvaltes av Innovasjon Norge for Nærings- og handelsdepartementet, ble det øremerket 100 millioner kroner til pilot- og demonstrasjonsprosjekter for andregenerasjons biodrivstoff i 2010. Av disse midlene fikk Borregaard 58 millioner kroner og Weyland i Bergen 20 millioner kroner, begge til pilotanlegg for andregenerasjons bioetanol. Ordningen er videreført til 2011 med øremerking av 100 millioner kroner til biodrivstoff.

Bioenergiprogrammet, etablert av Landbruks- og matdepartementet i 2003, som forvaltes av Innovasjon Norge, har som hovedformål å utvikle landbruket som produsent og leverandør av biobrensel og biovarme, både internt i landbruket og til andre samfunnssektorer. Programmet er i hovedsak innrettet mot småskala biovarmeanlegg. Programmet vil i 2011 ha et budsjett på 50 millioner kroner, mer enn dobbelt så mye som i 2005.

Et bærekraftig og lønnsomt skogbruk er en sentral forutsetning for tilførselen av tømmer og biobrensel fra skogen – for videre verdiskaping i skogsektoren og for målsettinger knyttet til blant annet bioenergi omtalt over. Skognæringen er en del av et internasjonalt marked og svingninger i avsetningsmuligheter og råstoffpriser påvirker i stor grad aktiviteten i skogbruket. Markedet for produksjon av biobrensel i Norge er imidlertid umodent og preget av svak lønnsomhet. Dagens råstoffpriser gjør det utfordrende å løse ut store råstoffvolum.

Regjeringen legger til grunn at skogressursene skal brukes aktivt og bærekraftig som grunnlag for økt verdiskaping, sysselsetting og for positive klima-, energi- og miljøbidrag. Med bakgrunn i dette er det i budsjettet for 2011 bevilget 290,5 millioner kroner til skog-, klima- og energitiltak. Det er en økning på 6 millioner kroner fra 2010. De økonomiske ordningene rettet mot skogbruket kommer både fra jordbruksavtalen og fra statsbudsjettet. Ordningen med særlig betydning for å legge til rette for økt uttak av skogsråstoff er skogfond og ulike tilskudd til nærings- og miljøtiltak i skogbruket, herunder til skogsveier, til drift i bratt terreng og til skogbruksplanlegging med miljøregistreringer. Videre ble det i 2009 etablert en ordning med tilskudd til uttak av skogsråstoff til flis- og energiproduksjon (energiflisordningen) for å stimulere til økt uttak og utvikle en effektiv logistikk og lønnsomme verdikjeder. Ordningen

administreres av Statens landbruksforvaltning. Gjennom ordningen ble det åpnet for å gi tilskudd knyttet til avvirkning og uttak av heltre fra førstegangstynning, ungskogpleie, kulturlandskapspleie og ved høsting av hogstavfall med videre, under forutsetning om leveringsavtale for råstoffet. Ordningen har vært vellykket og bidro i 2009 til en produksjon av 220 000 løskubikkmeter (lm^3) skogsflis, noe som tilsvarer en mangedobling av flisproduksjonen sammenlignet med før ordningen ble etablert. I 2011 er det satt av et budsjett på 29 millioner kroner til dette, noe som er på samme nivå som foregående år. Økt produksjon av skogsflis er viktig for å sikre råstofftilgang til de mange bioenergianleggene som er under utbygging med støtte både fra Enova og Innovasjon Norge.

Det gis også en del forskningsmidler til bioenergi gjennom ulike programmer i Forskningsrådet. Støtte til forskning på konverteringsteknologier innen andregenerasjons biodrivstoff kanaliseres i hovedsak gjennom RENERGI-programmet, mens programmene Natur og næring og BIA (Brukerstyrt Innovasjonsarena) gir midler til relaterte prosjekter knyttet til biomasse og bioenergi. I tillegg ble det i 2009 opprettet en egen FME (senter for miljøvennlig energi) for bioenergi, CENBIO, bestående av blant annet Institutt for Skog og Landskap, Bioforsk, UMB, SINTEF Energi og NTNU.

Det er forventet at virkemidlene som er implementert for å fremme etterspørsel og tilbud etter biomasse vil føre til en økt avvirkning fra dagens rundt 10 millioner kubikkmeter i året til 13 millioner kubikkmeter i året innen 2020.

Økt avvirkning vil kunne ha negative effekter for både biologisk mangfold, rekreasjon, kulturarv og andre miljøverdier. Det er behov for konkret og lokal informasjon om disse miljøverdiene slik at de best kan ivaretas. Miljøregistreringer i skog (MiS) ble i 2001 implementert i skogbruksplanleggingen som et enhetlig opplegg for registrering av viktige livsmiljøer for det biologiske mangfoldet. Informasjonen om livsmiljøene brukes aktivt av skogeierne og inngår i skognæringens egne sertifiseringsordninger. I tillegg, og med bakgrunn i målsetninger om økt utbygging av bioenergi og muligheter for økt avvirkning, har Landbruks- og matdepartementet økt bevilgningene til Norges forskningsråd med sikte på blant annet å kartlegge konsekvensene av nye driftsmetoder, utnyttingsformer eller arealbruksendringer. Med bakgrunn i skogbrukets behov for adkomst til skogressursene, herunder økt skogveibygging, skal Landbruks- og matdepartementet i samarbeid med Miljøverndepartementet, revidere regelverket knyttet til landbruksveier i 2011. Formålet er å legge til rette for balanserte avveininger mellom nærings- og miljøinteresser.

1.7 Avgrensning og oppbygging av rapporten

Som omtalt innledningsvis i dette kapitlet er det mange faktorer som kan avgjøre hva som er gode og mindre gode klimaløsninger når det gjelder bruk av skogressurser. Vi vil i denne rapporten belyse hvilke valg som vil være viktige for å optimalisere ressursene fra skogen med hensyn til klima. Denne rapporten er imidlertid en delanalyse, og skogens rolle for å bevare naturmangfold og skogens rolle i næringssammenheng er i mindre grad omtalt. Det kan være vinn-vinn situasjoner der tiltak er positive både for klima, naturmangfold og næring, men det er også tiltak som er i konflikt med en eller flere av disse hensynene.

Rapporten er heller ikke en komplett analyse av hva som er mest optimal bruk av ressurser for å dekke etterspørsel etter råvarer til produkter, og energi sett i et klimaperspektiv.

Denne rapporten ser utelukkende på plantet produksjonsskog. Vi ser på tilførsel av CO₂ til atmosfæren, men ikke på hvordan dette kan påvirke klimaet. Heller ikke hvordan endringer i skogareal og –type kan påvirke forholdet mellom inn- og utstråling – den såkalte albedo-effekten – er vurdert.

Rapporten kan deles i to hoveddeler, hvor kapittel 2 og 3 gir informasjon som senere benyttes i kapittel 4. De ulike kapitlene kan imidlertid leses hver for seg. I kapittel 2 ser vi på anvendelsen av biomasse fra skogen gitt at den allerede er tatt ut fra skogen. Vi tar utgangspunkt i klimatiltak utredet i Klimakur 2020 og supplerende livsløpsanalyser. Disse vurderer vi ut fra potensial for absolutte utslippsreduksjoner, kostnadseffektivitet (reduisert utslipp av CO₂ per krone), substitusjonseffekt (reduisert utslipp per kubikkmeter trevirke) og om det finnes alternative måter å redusere utslippet fra kilden.

Kapittel 3 omhandler skogen. Skogens tilstand bestemmer hvor mye biomasse vi totalt har tilgjengelig og fordelt på hvilke fraksjoner. Total mengde biomasse og utslipp relatert til avvirkning og uttak avhenger av hva vi tar ut (stammebiomasse versus total biomasse), hvordan vi tar det ut (flathogst eller plukkhogst), når i bestandsutviklingen avvirkningen skjer og hvilken skogtype som utnyttes. I tillegg beskrives hvordan skogskjøtselstiltak kan øke tilveksten og dermed CO₂-opptaket i skogen.

I kapittel 4 settes informasjon fra kapittel 2 og 3 sammen i ulike scenarioer, med utgangspunkt i modellkjøringer utarbeidet av Norsk institutt for skog og landskap. Modellen beskriver karbondynamikken i skogen (levende biomasse, jord strø og død ved) for et typisk granbestand på middels bonitet (som uttrykker markas evne til å produsere trevirke) og effekter på karbonlageret ved avvirkning etter 90 år. Disse resultatene setter vi sammen med effektene av ulik anvendelse av biomassen, og ser på den totale effekten på opptak og utslipp av klimagasser på kort og lang sikt.

I slutten av kapittel 4 drøfter vi ulike forutsetninger og virkemidler, sett i lys av de resultatene som er fremkommet fra scenarioene.

Kapittel 5 gir en konklusjon og kort diskusjon av resultatene.

Det er i vedlegg 1 gitt en liste som definerer begreper som anvendes i denne rapporten.

2. Anvendelse av biomasse og vurdering etter ulike kriterier

2.1 Utnyttelse av biomasse ved erstatning av fossil råvare og energi

I dette kapittelet tar vi utgangspunkt i biomasse som allerede er tatt ut av skogen, både fra stammevirke og skogsavfall, og vurderer hvordan den kan anvendes for å gi best klimagevinst. Det inkluderer også rydningsvirke som ikke nødvendigvis er en del av skogbruket. Vi har ikke inkludert utslipp fra biomassen (biologisk utslipp) i beregningene. Slike utslipp inkluderes i kapittel 4.

Resultatene fra dette tas inn i kapittel 4, hvor vi ser på effektene i hele verdikjeden, fra uttak og forbrenning av biomasse fra skogen til ulike anvendelse. Utgangspunktet for denne analysen er tiltak utredet i Klimakur 2020 supplert med tiltak utredet i livsløpsanalyser (LCA)⁵. Vedlegg 2 og 3 viser forutsetninger for tiltak som ble utredet i henholdsvis Klimakur 2020 og i livsløpsanalysene.

2.1.1 Mulige anvendelsesområder for biomasseressurser fra skogen

Energi fra trevirke kan erstatte fossil energi på mange områder. Faste biobrenseler brukes i dag først og fremst til varmeproduksjon og omfatter både pellets, flis, briketter, ved og bark. Fast biobrensel kan også anvendes til å produsere kraft, da ofte gjennom et anlegg som produserer både kraft og varme.

Biokull kan erstatte fossilt kull og koks som reduksjonsmiddel i industrien. Trekull kan videre erstatte fossil pakkoks ved produksjon av anoder til aluminium- og ferrolegeringsindustrien, eller det kan erstatte bruk av fossilt kull i sementovner.

Biomasse fra skogen kan alternativt brukes til å produsere andregenerasjons biodrivstoff til transport, både syntetisk biodiesel og celluloseetanol. Det foregår i dag uttesting av ulike teknologier, og de fleste av delteknologiene er fortsatt umodne. I Klimakur 2020 ble det forutsatt at teknologien vil være på plass innen 2020 og kunne utgjøre en mindre andel av biodrivstoffet omsatt på markedet. Det er imidlertid usikkerhet knyttet til dette.

Biomasse fra skogen kan også benyttes til andre formål enn bioenergi. For å forhindre nedbryting av biologisk materiale kan det pyrolyseres til biokull som er motstandsdyktig mot biologisk nedbryting. Ved lagring i jord kan biokull ha positive effekter som jordforbedringsmiddel. Å lagre karbon i form av biokull er et alternativ til å anvende biomasse fra skog til brensel. Biprodukter fra produksjon av biokull er bioolje og syntesegasser, som kan brukes til energiformål.

Produkter og konstruksjoner av tre kan erstatte produkter laget av andre materialer. Dette kan gi store klimameessige gevinster. Stammevirke kan brukes til lagring av karbon i treprodukter, og hogstavfall og annet skogsavfall kan brukes til lagring av karbon i sponplater og trefiberplater.

For å kunne vurdere om trevirke er et mindre klimabelastende byggemateriale enn andre materialer, må en sammenligne effektene av utslippene gjennom hele verdikjeden der

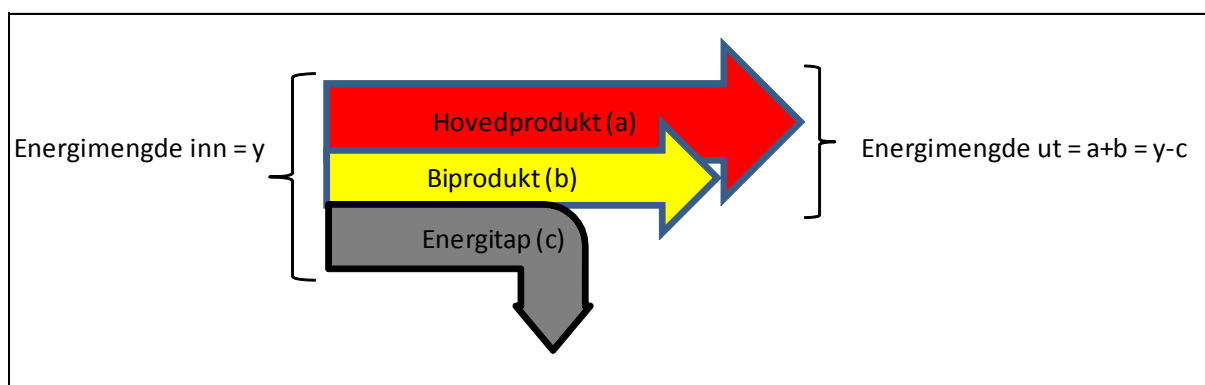
⁵ Østfoldforskning (Lyng et al. 2010) har sammenstilt resultater fra flere livsløpsanalyser for ulike anvendelse av biomasseressurser fra skogen.

materialene skal inngå. Selv om klimagassutslippene ved framstillingen av treprodukter er lave sammenliknet med stål og betong, kan det være at treprodukter har større behov for vedlikehold, eller at den totale trekonstruksjonen krever mer energitilførsel i bruksfasen enn en konstruksjon basert på andre materialer. Også gjenbruk, materialgjenvinning og avfallshåndtering er viktig for klimagassregnskapet til et byggemateriale. For de fleste bygg er det bruksfasen som utgjør det største energiforbruket (ca 85–93 prosent) (Lyng et al. 2010, Alfredsen et al. 2008), og dermed den største miljøpåvirkningen. Hvilken konstruksjon og hvilke byggematerialer som gir lavest utslipp gjennom livsløpet må derfor vurderes i hvert enkelt tilfelle. Lagring av karbon i treprodukter vil utsette utslippene av CO₂ til det tidspunktet når produktet råtner opp eller brennes.

2.1.2 Virkningsgrader

Både i Klimakur 2020 og i livsløpsanalysene er det benyttet en rekke forutsetninger som bestemmer det endelige resultatet. I dette kapitlet ser vi på typiske virkningsgrader som kan oppnås ved anvendelse av biomasse til ulike formål, og hvilke variasjoner disse kan ha gitt ulike produksjonsmetoder.

Virkningsgraden uttrykker hvor stor andel av energien i biomassen som blir nyttiggjort i hovedenergibæreren. Virkningsgraden vil altså indikere i hvor stor grad en klarer å utnytte energien i biomassen. Figur 2-1 illustrerer hvordan energien fordeler seg mellom hovedproduktet, ett eller flere biprodukter og et energitap.



Figur 2-1 Virkningsgrader – en prinsippskisse for hvordan energien i en ressurs går over i produkter og energitap.

Et viktig aspekt ved beregning av virkningsgrad er hvor stor andel av biproduktene som kan nyttes inn i annen produksjon, og som dermed kan inngå i en annen verdikjede. Ved pyrolyse av trevirke produseres både biokull, bioolje og syntesegasser, og den totale virkningsgraden fra prosessen vil avhenge av hvor mye av de samlede produktene som anvendes, og hvor mye som går tapt i form av varme og/eller avfallsprodukter.

Den totale virkningsgraden for et energisystem oppnås ved å multiplisere virkningsgrad for produksjon av energibæreren (det vil si uttak av råvaren til foredling til en energibærer) med virkningsgrad for anvendelse av energibæreren. I det følgende oppgis typiske virkningsgrader for produksjon av, og anvendelse av energibærere.

Virkningsgrad for produksjon av energibærere

Tabell 2-1 gir en oversikt over virkningsgrader for produksjon av energibærere, slik de ble beskrevet i Klimakur 2020 og i livsløpsanalysene. Det vil si hvor mye av energien fra biomassen som blir igjen i produktet (energibæreren) etter foredling. Alle virkningsgrader

gjelder for 2020. Det er satt inn intervaller for å synliggjøre at det kan være store variasjoner, noe som igjen er knyttet til produksjonsbetingelser og avsetningsmuligheter for andre produkter fra prosessene.

Tabell 2-1 Virkningsgrader for produksjon av energibærere

	Anvendt i beregninger	Ofte brukt intervall	Kommentar
Produksjon av energibærere (uttak i skog til energiinnhold i solgt energibærer)			
Flis	98 %	95–100 %	
Pellets	95 %		Forutsetter at tørking ikke skjer ved bruk av eksternt tilført varme.
Bioetanol	35 %	25–40 %	Kan økes ved maksimal utnyttelse av alle produkter, se eksempel 4b i livsløpsanalysen.
Bioetanol fra bioraffineri	73 %		Basert på tall fra Borregaards bioraffineri hvor det også produseres andre former for bioenergi, spesialcellulose, vanillin og lignin (Brekke et al. 2009).
Biodiesel fra bioraffineri	50 %	35–52 %	KanEnergi/ INSA 2009. Inkluderer utnyttelse av andre biprodukter fra produksjonen/spillvarmen. Kan økes dersom effektivisering av delprosesser ⁶ .
Biokull som energivare	40 %	40–80 %	Ca. 40 % av energien (og 50 % av karbonet) ender opp i kullet, opp mot 30 % i biproduktet bioolje og opp mot 20 % i syntesegasser. Ved å utnytte bioolje og syngasser kan virkningsgraden økes. Med svært god utnyttelse av biproduktene kan total virkningsgrad komme opp rundt 70–80 %.

Vi ser at flis og pellets har en svært høy virkningsgrad (og følgelig et lite konverteringstap). Biokull og andregenerasjons biodrivstoff har gjennomgående en betydelig lavere virkningsgrad.

Det er flere ulike framstillingsmetoder for både bioetanol og biodiesel med ulik utnyttelse av energi. Vi har i denne rapporten sett på storskala produksjon ved bioraffinerier av begge disse energibærerne. I begge tilfeller forutsettes avsetning av andre produkter fra prosessen som varme og gass.

Biodiesel kan også være et biprodukt fra andre prosesser, slik som produksjon av biokull. Slike biprodukter kan også være en kilde til flytende olje, både til bruk i stasjonær forbrenning og i drivstoff. Den vil imidlertid kreve raffinering og bearbeiding før den kan anvendes. Syntesegasser fra produksjon av biokull kan enten benyttes til å drive selve pyrolyseprosessen, eller kan samles opp til bruk som energibærer om prosessen drives av mikrobølger.

Virkningsgrad ved anvendelse av energibærere

Ved bruk av energibærere står vi overfor en virkningsgrad som beskriver hvor mye av energien i produktet som i praksis utnyttes. Teknologi og driftsbetingelser er viktige parametere for virkningsgraden, men det er viktig å merke seg at forhold som

⁶ Eksempler på dette kan være gassrensning eller mer robust katalysatormateriale.

vedlikehold/service er en forutsetning for at oppgitt virkningsgrad kan opprettholdes. Derfor vil virkningsgradene ved faktisk energiproduksjon kunne være både høyere og lavere i praksis.

Tabell 2-2 viser virkningsgrader ved anvendelse av biobrensel til energiproduksjon for noen typiske anvendelsesområder. Virkningsgradene er hentet fra blant annet NS 3031 (2007). Tabell 2-3 viser virkningsgrader ved anvendelse av energibærere basert på biomasse til fremdrift av kjøretøy. Til slutt viser Tabell 2-4 virkningsgrader for anvendelse av trevirke i form av biokull til ulike formål.

Tabell 2-2 Virkningsgrader for anvendelse av biobrensel til energiproduksjon

Anvendelse av biobrensel til energiproduksjon			
	Anvendt i beregninger	Ofte brukt intervall	Kommentar
Fastbrenselkjel i industrien	90 %	80–90 %	Nyere kjeler har en virkningsgrad rundt 90 %, mens eldre kjeler kan ha en mye lavere virkningsgrad.
Veiledende årsvirkningsgrader¹ for nyere oppvarmingssystemer i boliger og næringsbygg (NS 3031 (2007))			
	Systemvirkningsgrad		Kommentar
Vedovn, peisovn eller lukket peisinnsats i boliger	64 %		Vil variere avhengig av kvalitet på brensel, vedlikehold og driftsbetingelser.
”Helautomatisk” biopellettskamin	77 %		
”Helautomatisk” biopellettskamin inkl. varmvannsberedning	73 %		
Sentral bio-kjel med vannbåren varme, radiatorer (biopellets, ved, flis)	77 %		
Fjernvarme	84–88 %		Virkningsgraden er avhengig av om varmeavgivelsen er luftbåren (84 %), eller vannbåren via radiatorer (88 %) eller gulvvarme (84 %).
Olje-/parafinkamin eller kjel som dekker tappevannsoppvarming	77 %		
Olje-/parafinkjel, vannbåren varmeavgivelse	73–77 %		Virkningsgraden er avhengig av om varmeavgivelsen er vannbåren via radiatorer (77 %) eller gulvvarme (73 %).

¹ Årsvirkningsgrader er et gjennomsnitt over året og er lavere enn teoretisk virkningsgrad.

I Klimakur 2020 ble det tatt utgangspunkt i disse virkningsgradene ved beregning av tiltak i bygg, og det ble gjort en vurdering knyttet til sammensetning (gammel/ny) av teknologien i 2020. I vedlegg 2 framkommer hvilke virkningsgrader som ble benyttet i beregningene.

Tabell 2-3 Virkningsgrader for anvendelse av energibærere basert på biomasse til fremdrift av kjøretøy

	Typisk variasjon	Kommentar
Dieselmotor	35–45 %	Basert på optimal motorytelse, kan derfor være lavere i praksis.
Bensinmotor	30–35 %	

Som vi ser er virkningsgraden for bruk av diesel i en dieselmotor høyere enn bensin i en bensinmotor. Virkningsgraden er også generelt høyere i større motorer enn mindre. For andregenerasjons biodrivstoff kan vi anta at det er lik utnyttelse av fossil og biologisk drivstoff, slik at det ikke blir noen forskjell i utnyttelse av energibæreren.

Tabell 2-4 Virkningsgrader for anvendelse av trevirke i form av biokull til ulike formål

Produksjon og anvendelse som reduksjonsmiddel/lager for karbon			
	Anvendt i beregninger	Variasjon	Kommentar
Biokull som reduksjonsmiddel i metallindustri (erstatte kull og koks) ¹	43–53 %		I tiltak for biokull som reduksjonsmiddel i metallindustrien regner vi hele verdikjeden fra uttak i skog til anvendelsen. Lavest virkningsgrad for koks og høyest for kull. Tiltaket er beregnet fra uttak i skog til anvendelse som reduksjonsmiddel. I produksjonen av slikt kull vil en kunne få biprodukter som bioolje og syntesegasser som kan øke den totale virkningsgraden.
Biokull for binding i jord og som jordforbedringsmiddel	40 %	40–80 %	Ca 40 % av energien (og 50 % av karbonet) ender opp i kullet, opp mot 30 % i biproduktet bioolje og opp mot 20 % i syntesegasser, med et noe høyere prosentvis innhold av energi. Med svært god utnyttelse av biproduktene kan total virkningsgrad komme opp rundt 70–80 %

¹ Både produksjon og anvendelse

Forskjellen mellom bundet karbon (fix C) i biokull og fossilt kull vil avgjøre den konkrete virkningsgraden ved bruk i metallindustrien. I beregningene er det tatt utgangspunkt i et biokull med 80 prosent bundet karbon, og dette erstatter fossil kull med 84 prosent bundet karbon og fossil koks med 60 prosent bundet karbon.

2.2 Vurdering av biomasse fra skog som energi- og klimatiltak

2.2.1 Kriterier for best anvendelse av biomasse som er avvirket

For å kunne si noe om hvordan biomassen bør allokeres kan ulike kriterier legges til grunn. Et viktig kriterium er kostnadseffektivitet, det vil si at tiltaket gir utslippsreduksjoner på en billigst mulig måte.

Et annet kriterium kan være substitusjonseffektivitet, det vil si hvor mye klimagasser som kan reduseres per biomasseressurs (målt i kWh eller kubikkmeter). Ressurseffektivitet er en følge av hvor god utnyttelse av biomassen (virkningsgrad) en kan oppnå gjennom hele verdikjeden, og hvilken verdikjede basert på fossil råvare som erstattes.

Et tredje kriterium kan være tiltakets potensial for utslippsreduksjon. Det vil si at en vurderer hvor stort utslippet vil være fra en gitt kilde, og dermed behov for å finne løsninger som kan redusere dette.

Et fjerde kriterium er antall alternative løsninger for å redusere klimagassutslippene fra samme kilde. Enkelte utslippskilder har få alternativer til bruk av biomasseressurser og energiøkonomisering hvis klimagassutslippene skal reduseres, mens andre har en rekke alternativer. Dette bør være med i vurderingen når en skal bestemme hvordan biomasseressursene skal anvendes.

På bakgrunn av diskusjonen over setter vi opp følgende kriterier for god anvendelse av biomasseressurser:

1. *Kostnadseffektivitet* – høyest utslippsreduksjon per krone.
2. *Substitusjonseffekt* – hvor mye utslippene blir redusert per kubikkmeter biomasse.
3. *Potensial for utslippsreduksjon* – hvor mye tiltaket kan redusere utslippet fra en kilde
4. *Konkurrerende tiltak* - om det finnes andre tiltak for å redusere utslippene fra kilden

Disse gjennomgås nærmere i de neste kapitlene. Men først gjennomgår vi resultatene fra Klimakur 2020 og supplerende livsløpsanalyser.

2.2.2 Klimakur 2020

Klimakur 2020 utredet mange tiltak som forutsetter bruk av trevirke. Tabell 2-5 gir en oversikt over alle utredede tiltak i Klimakur 2020 som anvender biomasse fra skogen. For alle tiltakene er energietterspørselen etter råstoff fra skogen regnet tilbake til mengde trevirke i kubikkmeter (m^3) basert på omregningsfaktoren 2100 kWh per m^3 . For alle tiltak er det også angitt en kostnadseffektivitet (i kroner per tonn CO_2 redusert) og substitusjonseffekt (i kg CO_2 per kWh og kg CO_2 per m^3).

Om alle tiltak fra Klimakur 2020 som forutsetter bruk av trevirke gjennomføres ville det ha redusert klimagassutslippene med rundt 3,1 millioner tonn (tiltaket knytte til lagring av karbon i biokull er ikke inkludert da det her kan anvendes halm i stedet).

Utslippene relatert til forbrenning av biomasse ble ikke inkludert i beregningene, da disse utslippene blir rapportert i skogbrussektoren når treet avvirkes. Gjennomføring av alle tiltak som etterspør trevirke ville gitt et økt behov for uttak fra skogen på 6,6 millioner kubikkmeter (underkant av 14 TWh) biomasse.

For å beregne mengde uttak av skogråvarer er det for produksjon av flis lagt inn et konverteringstap på 2 prosent fra uttak til anvendelse, mens det for produksjon av pellets er det lagt inn et konverteringstap på 5 prosent. For ytterligere beskrivelse av de ulike tiltakene og av forutsetninger brukt i beregningene, se vedlegg 2.

Tabell 2-5 Oppsummering av tiltak beregnet i Klimakur 2020 som forutsetter bruk av trevirke. Utslipp fra biomassen er ikke inkludert. Minus betyr redusert utslipp.

Nr		Tiltaksnavn	Reduksjons- potensial	Skog-råvare	Kost-eff.	Substitusjonseffekt ¹	
			Tonn CO ₂ -ekv.	Mill. m ³	NOK/tonn redusert CO ₂	kg CO ₂ redusert per kWh	kg CO ₂ redusert per m ³ trevirke
Transport – bruk av annengenerasjons biodrivstoff basert på skogråvarer							
T16	Innblanding av 10 % biodiesel i jetdrivstoff (hvorav alt er 2.generasjon)		-125 000	0,46	822	-0,13	-271
T17	Innblanding av 10 % biodiesel i diesel (30 % av dette er 2. generasjon fra skog)		-295 000 ²	1,06	1 048	-0,13	-278
T18	Innblanding 10 % biodiesel anleggsdiesel (30 % av dette er 2.generasjon fra skog)		-48 100	0,17	1 048	-0,13	-281
T19	Innblanding av 10 % biodiesel i fiskeriflåten (30 % av dette er 2.generasjon fra skog)		-40 000	0,14	1 119	-0,13	-280
T22	Innblanding av 10 % biodiesel i kystflåten (30 % av dette er 2.generasjon fra skog)		-66 600	0,79	1 200	-0,13	-280
T26	Innblanding av 5 % biodiesel i jernbane		-2 200	0,01	1 320	-0,13	-281
Industri – bruk av flis t og biokull il varmeproduksjon og biokull som reduksjonsmiddel							
I5	Bioenergi erstatter oljefyring og el (vannkraft) i annen industri		-150 108	0,35	-462	-0,21	-329
I8	Bioenergi erstatter olje og el (vannkraft) i næringsmiddelindustri		-115 775	0,25	-348	-0,23	-478
I25+I29	biokull erstatter kull i sementfabrikker –		-102 000	0,34	700 – 1 096	-0,15	-306
I18	Treforedling - olje til bioenergi		-127 685	0,22	156	-0,28	-596
I30+I32	Treforedling (resten) - olje til bioenergi		-300000	0,52	1500	-0,28	-590
I23	Ferromangan - øke trekull fra 0 til 20 % av fossil koks		-190 000	0,42	611	-0,22	-452
	Ferrosilisium – trekull erstatter 40 % kull		-450000	0,80	415	-0,27	-562
I24	Ferrosilisium - øke trekull fra 40 % til 80 %		-500 000	0,91	634	-0,26	-547
I27	Silisiumkarbid - øke trekull fra 0 til 20 % av kull/koksforbruk		-19 600	0,06	868	-0,15	-307
I28	Anodeprod (Al) - fossil pakkoks til trekull		-66 000	0,14	953	-0,22	-456
Bygg – bruk av pellets, flis og ved							
B11	Erstatte oljekjel til flis+elkjel (vannkraft) i næringsbygg		-118 400	0,17	-253	-0,27	-549
B19	Erstatte olje og el (vannkraft) med fjernvarme i næringsbygg		-236 000	0,09	-182	-0,25	-189
B23	Erstatte parafin med pellets i boliger		-10 200	0,02	644	-0,28	-565
B25	Erstatte olje/el med pellets +olje/el-kjel i boliger		-31 800	0,07	1 089	-0,23	-488
B28	Erstatte fyringsolje med elektrisitet (vannkraft) og ved i boliger		-40 700	0,02	1 631	-0,25	-558
B16	Erstatte olje og el (vannkraft) med fjernvarme i boliger		-48 400	0,01	-278	-0,16	-499
Landbruk							
L4	Erstatte olje, propan og el (vannkraft) i veksthus		-45 500	0,17	300	-0,13	-267
L	Lagring av CO2 i biokull ¹		-640 000	1,67		-0,18	-384
	Sum ³		-3 100 000	6.64			

¹ Tar ikke med utslipp ved produksjon av fossil energibærer som erstattes av bioenergi.

² Bare utslippsreduksjonen knyttet til andelen andregenerasjons biodiesel i tiltaket. Det totale tiltaket er større fordi det anvendes også 7 prosent førstegenerasjons biodiesel. Kostnadseffektiviteten for biodrivstoff er basert på det totale tiltaket (inkludert førstegenerasjons biodrivstoff).

³ Dette tiltaket tas ikke med i summen da det i Klimakur 2020 er forutsatt at halm benyttes som råvare

2.2.3 Livsløpsanalyser

Ved å bruke livsløpsanalyser (LCA) får en sett på de totale effektene ved produksjon og anvendelse av biomasseressurser – både direkte og indirekte, og på tvers av sektorer og landegrenser. Østfoldforskning (Lyng et al. 2010) har sammenstilt resultater fra flere livsløpsanalyser for ulike anvendelse av biomasseressurser fra skogen.

Vedlegg 3 gir en beskrivelse av de forutsetningene som er lagt til grunn for beregning av de ulike verdikjedene.

Tabell 2-6 gir en oppsummering av substitusjonseffekten for alle verdikjedene når vi inkluderer både indirekte og direkte utslipp. Negative tall viser et redusert utslipp av CO₂ til atmosfæren, altså gevinst. Det er bare de fossile utslippene som vises her, da utslippet av biologisk karbon tas med i kapittel 4 hvor vi ser på hele verdikjeder inkludert forbrenning av biomasse fra skogen.

Tabell 2-6 Oppsummering av verdikjedenes effekt på klimagassutslippet; utslippreduksjon per energiinnhold i trevirke og utslippsreduksjon per kubikkmeter (m³) trevirke og kWh. Utslipp fra biomassen er ikke inkludert. Negativt fortegn betyr redusert utslipp.

Verdikjede		Substitusjonseffekt (kg CO ₂ /m ³ trevirke)	Substitusjonseffekt (kg CO ₂ /kWh trevirke)
1 i)	Varme (vedovn) erstatter el (gasskraft)	-183	-0,09
1 ii)	Varme (vedovn) erstatter el (vannkraft)	63	0,03
2a i)	El og varme erstatter oljefyr og el fra gasskraft (industri)	-729	-0,34
2a ii)	El og varme erstatter fjernvarmemiks og el fra vannkraft (industri)	-211	-0,10
2b i)	El og varme erstatter oljefyr og el fra gasskraft (lite anlegg)	-516	-0,24
2b ii)	El og varme erstatter fjernvarmemiks og el fra vannkraft (lite anlegg)	-181	-0,08
3a	Biodiesel erstatter konvensjonell diesel (bioenergi i produksjonen)	-265	-0,12
3b	Biodiesel erstatter konvensjonell diesel (fossil energi i produksjonen)	69	0,03
4a	Bioetanol fra fokusert prosess erstatter bensin	-156	-0,07
4b	Bioetanol fra bioraffineri erstatter bensin	-738	-0,35
5	Bærebjelke i tre erstatter stålbjelke	-964	-0,45

Tabell 2-6 viser at tiltaket som gir best utnyttelse av skogressursene er å erstatte andre bygningsmaterialer med treprodukter – som her illustrert ved bruk av en bærebjelke. Ettersom vedlikehold og isolasjonsevne vil påvirke det totale utslippsregnskapet for et bygg har vi her valgt et produkt (bærebjelke) som i de aller fleste tilfeller ikke påvirker energiforbruk eller

vedlikeholdsnivå i bruksfasen. Det er kun produkter med slike egenskaper vi kan beregne effekten av isolert uten å trekke inn hele verdikjeden der produktet anvendes.

Produksjon av biodrivstoff kommer ut med en lav substitusjonseffekt på 0,07 kg CO₂ per kWh for bioetanol og 0,12 kg CO₂ per kWh for biodiesel. Ett unntak er produksjon av bioetanol fra bioraffineri som har svært høy substitusjonseffekt fordi trevirket utnyttes til en rekke produkter (biokjemikalier, biomaterialer). På denne måten blir den totale virkningsgraden for utnyttelse av hele trestokken høy. Den prosentvise mengden etanol er imidlertid liten gitt dagens produksjon, men det er mulig å vri produksjonen over til større andel bioetanol. Borregaard arbeider for tiden med å utvikle nye prosesser for ny produksjon av andregenerasjons bioetanol fra halm og trevirke. Selskapet planlegger oppstart av et pilotanlegg for dette formålet i 2011 i tilknytning til fabrikkene sine i Sarpsborg.

For varme- og kraftproduksjon er substitusjonseffekten svært avhengig av hvilke energibærere som erstattes – det vil si hvor store klimagassutslipp som erstattes. Ved erstatning av oljefyring (varme) og gasskraft, med hovedvekt på olje, gir biobrensel en substitusjonseffekt på 0,34 kg CO₂ per kWh trevirke, mens der den erstatter vannkraft gir det ikke noen gevinst i det hele tatt.

2.2.4 Kostnadseffektivitet

Tabell 2-5 gir en oversikt over de tiltakene i Klimakur 2020 som etterspør biomasse fra skogen og mengde skogressurser dette representerer. I Klimakur 2020 ble tiltakene rangert etter kostnadseffektivitet, ved at tiltakets samfunnsøkonomiske kostnader ble beregnet. Det vil si at merkostnaden av å gjennomføre tiltaket ble delt på de forventede utslippsreduksjonene. Dersom et tiltak var en utvidelse av et eksisterende tiltak, var det bare kostnader og effekter knyttet til denne utvidelsen som ble inkludert. Kostnadseffektiviteten uttrykker en kombinasjon av behov for investeringer for å gjennomføre tiltaket og om tiltaket vil gi økte eller reduserte driftskostnader. Driftskostnadene er i hovedsak knyttet til framtidige energipriser, og for Klimakur 2020 ble det fastsatt et sett med forventede prisforutsetninger på energi mot 2020.

Tiltak med den gunstigste kostnadseffektivitet (det vil si negative kostnader eller kostnader under forventet kvotepris i 2020 på 350 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter) er tiltak i industrien eller i næringsbygg hvor bioenergi kan erstatte kull, fyringsolje og elektrisitet, gjerne basert på store varmesentraler. Overgang til bioenergibasert fjernvarme er tiltak som er samfunnsøkonomisk lønnsomme.

Kostnadene for substitusjon av kull med biokull i industrien er beregnet til å være mellom 400 og 900 kroner per tonn, avhengig av prosessen⁷.

Noen av de minst kostnadseffektive tiltakene knyttet til bruk av skogen som biomasseressurs er overgang fra fossilt drivstoff til biodrivstoff (over 1000 kroner per tonn). Grunnen til at tiltakene blir så kostbare er at kostnadene for produksjon av biodrivstoff er høyere enn produksjon av fossil diesel og bensin.

I boligsektoren varierer kostnadseffektiviteten fra samfunnsøkonomisk lønnsomt (fjernvarme) til over 1500 kroner per tonn (fra olje til el og ved). Siden elektrisitet i Klimakur 2020s

⁷ Kostnaden forutsetter en produksjon av biokull som optimaliseres med tanke på denne industriens krav til kvalitet av kullet.

regnskap ikke gir klimagassgevinst vil tiltak som gir redusert el-forbruk komme ut med mindre gunstig kostnadseffektivitet enn tiltak som substituerer fossile energibærere.

2.2.5 Substitusjonseffekt

Tabell 2-5 viser substitusjonseffekt målt i kg fossil CO₂ redusert per kWh og per kubikkmeter biomasse. Klimakur 2020s tilnærming inkluderer ikke utslipp knyttet til produksjon av selve energibæreren, verken av bioenergi eller den som erstattes. Det betyr at den ikke får med alle delene av verdikjeden. Resultatene er derfor supplert med livsløpsanalyser som også inkluderte utslipp relatert til produksjonsleddet (jamfør Tabell 2-6). Siden tilnærmingmåten i de to analysene er forskjellig, kan det være problematisk å sammenligne resultatene direkte. Livsløpsanalysene viser heller ikke resultater fra alle typer anvendelser som ble utredet som tiltak i Klimakur 2020.

Anvendelse av biokull i stedet for fossilt kull som reduksjonsmiddel er et tiltak som ikke ble omfattet av livsløpsanalysene. Gitt tilnærmingen i Klimakur 2020, har slike tiltak en substitusjonseffekt på 0,22–0,27 kg CO₂ per kWh trevirke⁸ (se tabell 2-5). For anvendelse av biokull i silisiumkarbidproduksjon er substitusjonseffekten lavest, mens den er høyest i ferrolegeringsindustrien. Ut fra et ressursutnyttelsesperspektiv er det altså ikke likegyldig hvor i industrien biokullet anvendes. Dette gir seg også utslag i kostnadseffektiviteten, hvor det er beregnet at ferrolegeringsindustrien kan ha de laveste kostnadene per redusert mengde CO₂. I beregningen av substitusjonseffekt har vi tatt med hele verdikjeden for biomasse (fra uttak i skog til foredling av biokull, gitt virkningsgradene i tabell 2-4), men ikke utslippene fra produksjon av kull.

Tiltakene med høyest substitusjonseffekt i gjennomgangen av tiltakene i Klimakur 2020 er tiltak hvor flis erstatter olje i industrien. Dette er tiltak som krever lav foredling av biomassen (biobrenselet) og som erstatter fossilt brensel med høyt karboninnhold. Disse er beregnet å ha en substitusjonseffekt på over 0,28 kg CO₂ per kWh trevirke. Her er ikke utslippet knyttet til produksjon av olje og utslippet knyttet til produksjon av flis inkludert i regnestykket.

Bruk av biodrivstoff, som krever en høy foredlingsgrad av biomassen, er tiltak som har lavest substitusjonseffekt. Substitusjonseffektiviteten blir 0,1–0,13 kg CO₂ per kWh trevirke. Dette er fordi det ut fra dagens teknologistatus antas å være et relativt stort konverteringsstap (35–50 prosent) for å produsere andregenerasjons biodrivstoff.

Selv om beregningene av substitusjonseffekt fra den sektorvise analysen i Klimakur 2020 og resultatene fra livsløpsanalysen ikke er direkte sammenlignbare, går det likevel an å sammenligne rangeringen av tiltakene som de to tilnærmingmåtene gir.

For de tiltakene som er sammenlignbare kan vi gjøre følgende betraktninger:

- Begge tilnærminger viser at det er lavest substitusjonseffekt knyttet til produksjon av biodrivstoff.
- Begge tilnærminger viser at det er høy substitusjonseffekt knyttet til utnyttelse i industrien eller for andre store punktkilder der bioenergi kan erstatte fossil varme.

⁸ Inkluderer ikke utnyttelse av biprodukter som syntesegasser og bioolje.

- Begge tilnærminger viser at forutsetningene gjort med tanke på hvordan elektrisiteten produseres er avgjørende for resultatet knyttet til utslippsreduksjon av klimagasser per enhet skogsvirke.

Begge tilnærmingerne viser dessuten at det kan være store forskjeller i substitusjonseffekten mellom ulike produksjonsprosesser og for ulike utnyttelse av biomassen. Eksempelvis viser livsløpsanalysen at bioetanol produsert i et bioraffineri har en vesentlig høyere substitusjonseffekt enn de andre produksjonsmetodene⁹.

2.2.6 Reduksjonspotensial og alternative løsninger for klimagassreduksjon

Tabell 2-7 gir en oversikt over utslipp av klimagasser fra ulike kilder i 2020, sammenstilt med tiltak som anvender biomasse fra skogen for å redusere utslippet fra disse kildene.

Tabell 2-7 Utslipp og prosentandel av totalt utslipp i 2020 som utredet i Klimakur 2020

Utslippskilde	Framskrivninger - Utslipp fra kilde i 2020	% av nasjonale utslipp	Type tiltak
Transport			
Fly (innenlands)	1 261 000	2,1 %	Biodiesel i jetdrivstoff
Kjøretøy - bensin	1 837 211	3,1 %	Bioetanol blandes i bensin
Kjøretøy – diesel	9 915 234	16,9 %	Biodiesel
Anleggsmaskiner – diesel	2 000 000	3,4 %	Biodiesel
Fiskeflåten	1 336 000	2,3 %	Biodiesel
Kystflåten	2 245 000	3,8 %	Biodiesel
Jernbane	51 100	0,1 %	Biodiesel
Industri			
Næringsmiddel og annen industri	917 000	1,6 %	Flis, briketter og pellets erstatter olje
Treforedlingsindustri, energiproduksjon	493 000	0,8 %	Flis og bark erstatter olje
Sement- og kalk, energiproduksjon	500 000	0,9 %	Flis erstatter olje
Jern, stål og ferrolegeringer, prosessutslipp	2 448 000	4,2 %	Biokull erstatter kull/koks
Anodeproduksjon	104 000	0,2 %	Biokull erstatter kull/koks
Varmeproduksjon			
Fjernvarme	155 000	0,3 %	Flis erstatter olje
Bygg og boliger			
Næringsbygg	670 000	1,1 %	Flis/bioolje erstatter olje
Boliger	630 000	1,1 %	Pellets/bioolje erstatter olje
Primærnæringer – utslipp fra bygg	90 000	0,2 %	Flis erstatter olje

Det er utslipp fra dieselskjøretøy (lette og tunge) som forventes å ha det aller største utslippet i 2020, etterfulgt av prosessutslipp fra ferrolegeringsindustrien (fra kull som reduksjonsmiddel), utslipp fra kystflåten og anleggsmaskiner.

⁹ Den prosentvise mengden etanol i dagens prosess er imidlertid relativt lav sammenlignet med biproduktene.

Eksempler på utslippskilder med få alternativer utover bruk av biomasse er fremdrift av tunge kjøretøyer, fly og skip og bruk av biokull som reduksjonsmiddel i metallindustrien.

Biogass kan være et godt alternativ til kjøretøy, men potensiell energimengde fra produksjon av biogass basert på nasjonale ressurser rekker antagelig bare for reduksjoner av en liten andel av utslippene. Bruk av biokull som reduksjonsmiddel er, sammen med karbonfangst og lagring (CCS), de eneste identifiserte utslippsreducerende tiltakene som per i dag er identifisert for å redusere utslipp fra bruk av reduksjonsmidler i metallindustrien.

2.2.7 Oppsummering – Beste anvendelse av biomasseressurser i et klimaperspektiv

Om alle tiltak fra Klimakur 2020 som forutsetter bruk av trevirke gjennomføres vil det være et behov for økt uttak av 6,6 millioner kubikkmeter (underkant av 14 TWh) biomasse fra skogen. Gitt dette scenarioet vil klimagassutslippene reduseres med rundt 3,1 millioner tonn (tiltaket knytte til lagring av karbon i biokull er ikke inkludert da det her kan anvendes halm i stedet). En økt innfasing av biodrivstoff mot 2030 vil kreve ytterligere mengder biomasse og gi ytterligere utslippsreduksjoner. Etterspørselen kan dekkes av alle typer fraksjoner fra skogen. Utslipet fra forbrenning av biomasse er ikke inkludert i beregningene. Disse effektene diskuteres i kapittel 4.

Tabell 2-8 oppsummerer vurderingen av hva som er hensiktsmessig bruk av biomasse for å redusere klimagassutslipp, gitt kriteriene kostnadseffektivitet, ressurseffektivitet, potensial for utslippsreduksjon og om det finnes alternative reduksjonstiltak. Vi gjør også en vurdering av teknologisk modenhet.

Kostnadseffektivitet

Vi definerer kostnadseffektiviteten som gunstig dersom den ligger under 350 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter (dvs. under forventet kvotepris i 2020 som vis i Klimakur 2020). Disse tiltakene er markert med grønn farge i tabellen under. En middels kostnadseffektivitet har vi definert til å ligge mellom 350 og 1500 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter (som er marginalkostanden for å nå klimamålene i klimaforliket gitt makroanalysen i Klimakur 2020). Disse tiltakene har fått gul farge. Alle tiltak som har en kostnadseffektivitet på over 1500 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter er gitt fargen rød.

Substitusjonseffekt

For substitusjonseffekt har vi tatt utgangspunkt i skalaen som kan utledes fra tiltakene i Klimakur 2020 og livsløpsanalysene, dvs. fra 0–0,4 kg CO₂ per kWh trevirke. Grønn farge angir en substitusjonseffekt over 0,3 kg CO₂ per kWh trevirke, gul farge angir en substitusjonseffekt mellom 0,15 og 0,3, mens rød farge angir en substitusjonseffekt under 0,15 kg CO₂ per kWh trevirke.

Potensial for utslippsreduksjon

Potensial for utslippsreduksjon er satt som høyt (grønn farge) hvis det er over 0,5 millioner tonn CO₂, middels (gul farge) hvis det er mellom 0,5–0,25 millioner tonn CO₂ og lavt (rød farge) hvis det er under 0,25 millioner tonn CO₂.

Alternative klimatiltak

Det er gjort en kvalitativ vurdering av om det er få eller mange andre klimatiltak som konkurrerer mot bruk av biomassen, som beskrevet i denne rapporten. Grønn farge angir at få andre klimatiltak er tilgjengelige til en gunstig kostnadseffektivitet, gul angir at et middels

antall klimatiltak er tilgjengelige mens rød farge angir mange alternativer for gjennomføring av kostnadseffektive klimatiltak.

Grad av teknologisk modenhet

Det er gjort en kvalitativ vurdering av graden av teknologisk modenhet for de ulike teknologiene. Dette har betydning for vurdering av usikkerheten knyttet til kostnadseffektivitet og iverksettelse av tiltakene. Grønn angir at teknologien eksisterer og trenger lite FoU for igangsettelse av kommersiell drift. Rød farge angir at det vil være behov for mye FoU for iverksettelse. Gul farge angir en teknologi som eksisterer, men som ikke er i utstrakt bruk, og hvor det derfor er stort behov for tilpasninger og utprøvinger.

De to siste radene har fått tildelt farge etter mer skjønnsmessige kriterier enn de tre første kolonnene. En slik karaktersetting kan likevel være et slags kart for å få en rask oversikt. Det er også viktig at det finnes unntak til en slik skjematisk tilnærming ved at det finnes tiltak innen hver kategori som vil ha høyere eller lavere kostnadseffektivitet eller substitusjonseffekt enn angitt i denne oversikten.

Hvite felt i figuren angir områder der det ikke har vært mulig å gjøre en karaktersetting.

Tabell 2-8 Vurdering av kriterier for anvendelse av biomasseressurser fra skogen

	Kostnads-effektivitet	Substitusjons-effekt kg CO ₂ /kWh	Potensial for utslipps-reduksjon	Konkurrerende klimatiltak	Grad av teknologisk modenhet?
Varme eller varme- og kraftproduksjon (flis, briketter) til industri, fjernvarme	Varierer	Erstatte norsk el			Høy
Varmeproduksjon bolig/næringsbygg			Men potensial for å redusere elforbruk!	Varmepumpe Sol	Høy
Biodiesel og bioetanol til vegtransport – tungtransport			Høyt potensial og økende	Biogass til en liten andel.	Middels/Lav
Biodiesel til vegtransport – persontransport				Elektrisitet Hydrogen Effektivitet	Lav
Biodiesel til annen transport (fiske, skip)				Biogass til skip	Lav
Bioetanol til personbiler – fokusert prosess				Elektrisitet Hydrogen	Lav
Bioetanol til personbiler (case Borregaard) – bioraffineri			Per i dag liten produksjon		Middels
Biokull til reduksjonsmiddel i metallindustri				CCS	Middels
Erstatte andre byggematerialer med trevirke			Usikkert		Høy
Biokull for å binde karbon (og mulig jordforbedring)	Usikkert, kan være høyere			Lagring av karbon	Lav

Tabellen inkluderer tiltak som er utredet i Klimakur 2020 og livsløpsanalysene, med bestemte forutsetninger. Endringer av disse forutsetningene vil kunne påvirke hvordan tiltakene vurderes etter kriteriene. Særlig er størrelsen på anleggene viktig for kostnadseffektiviteten. Dette gjelder særlig for varmeanlegg og produksjonsanlegg for biodrivstoff. Jo større anlegg, desto lavere vil enhetskostnadene bli. I tillegg kan teknologiutvikling innen andregenerasjons biodrivstoff og integrasjon med andre prosesser, for eksempel CCS, bidra til økt virkningsgrad for produksjon av biodrivstoff. Dette vil kunne gjøre disse tiltakene mer kostnadseffektive.

Hva som er ideell bruk av biomasse avhenger av hvordan en vektlegger ulike kriterier. Erstatning av varme- eller kraftproduksjon basert på fossil energi med biobrensel gir større klimagevinst og er mer kostnadseffektivt enn bruk av biomasse fra skogen til andregenerasjons biodrivstoff i transportsektoren. Dersom en er opptatt av å innføre tiltak som gir store utslippsreduksjoner kan tiltak knyttet til biodiesel være gunstig, selv om det er et relativt kostbart tiltak med lav ressursutnyttelse. Dette vil også være et viktig tiltak dersom en ønsker å fase inn fornybar energi i tungtransport, fly og sjøfart hvor det ikke finnes andre alternative løsninger. Dersom det er viktig å redusere tiltak på kort sikt, vil lav grad av teknologisk modenhet være en barriere. For flere av tiltakene er det behov for støtte til økt forskning og utvikling for å få på plass teknologien.

Eksempler på andre kriterier avgjørende for valg av anvendelsesområde for biomasseressursene kan være ønske om teknologiutvikling, næringsutvikling og å bidra til langsiktig omstilling.

3. Lagring og opptak av karbon i skog og skogsjord

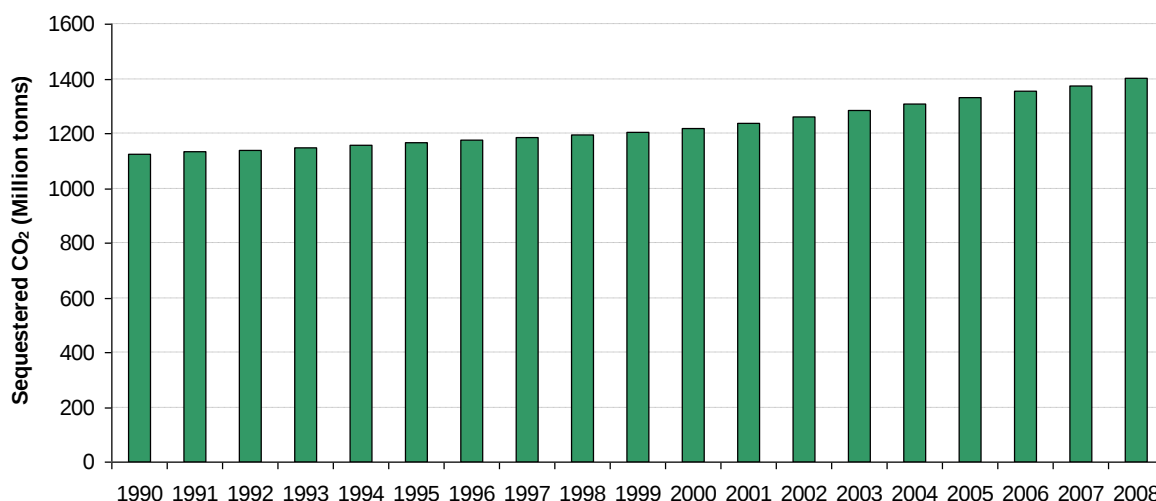
3.1 Karbonlagring i skog og skogsjord

Skog og skogsjord utgjør viktige karbonlagre. Gjennom fotosyntesen tar trær som vokser opp CO₂ fra atmosfæren og bygger på den måten opp store karbonlagre. Når skogen avvirknes og trevirket forbrennes eller brytes ned biologisk, frigjøres karbon som går tilbake til atmosfæren i form av CO₂. I klimagassregnskapet regnskapsføres dette utslippet idet treet forlater skogen som følge av avvirkning.

Lagring av karbon i skogen skjer både i levende biomasse, død ved og jord. Med død ved menes dødt organisk materiale som nåler, blader, finrøtter, kvister, grener, grove røtter, stammer og stubber.

Det samlede volumet av levende biomasse i Norges skoger er om lag 800 millioner tonn (tørrvekt). Dette tilsvarer 400 millioner tonn karbon (ca. 1,4 milliarder tonn CO₂) (St.meld. nr. 39 (2008–2009), Klima- og forurensningsdirektoratet 2010a).

Figur 3-1 viser karbonlageret i norsk skog uttrykt som CO₂.



Figur 3-1 Karbonlager i norsk skog fra 1990 til 2008 uttrykt som CO₂.

Kilde: Klima- og forurensningsdirektoratet 2010a. Figur utarbeidet av Institutt for skog og landskap.

Mengde karbon lagret i skogsjord er i Norge estimert til 1,08 milliarder tonn totalt for produktiv og uproduktiv skog (de Wit og Kvindesland 1999). Dette betyr at karbonlageret i skogsjord er større enn karbonlageret i levende biomasse.

Nilsen et al. (2008) har sett på hvordan karbonlageret i jord og vegetasjon utvikler seg over tid, inkludert hva som skjer ved avvirkning. Mens karbonmengden i jorda er relativt stabil, øker karbonlageret i levende biomasse. Etter avvirkning får jorda en ekstra tilførsel av organisk stoff fra hogstavfallet. Dette vil kunne gi en midlertidig økning i karboninnholdet i jorda. I tillegg vil forholdene for nedbrytning bli påvirket – jorda blir eksponert for mer lys, mer nedbør og større temperaturendringer. Den totale effekten dette har på skogsjord er derfor usikker og kan slå begge veier. Nåler og blad er lett nedbrytbare og vil frigjøre CO₂ til

atmosfæren raskt etter avvirkning. Etter en stund vil jorda igjen akkumulere karbon og på sikt oppnå sitt opprinnelige karbonlager.

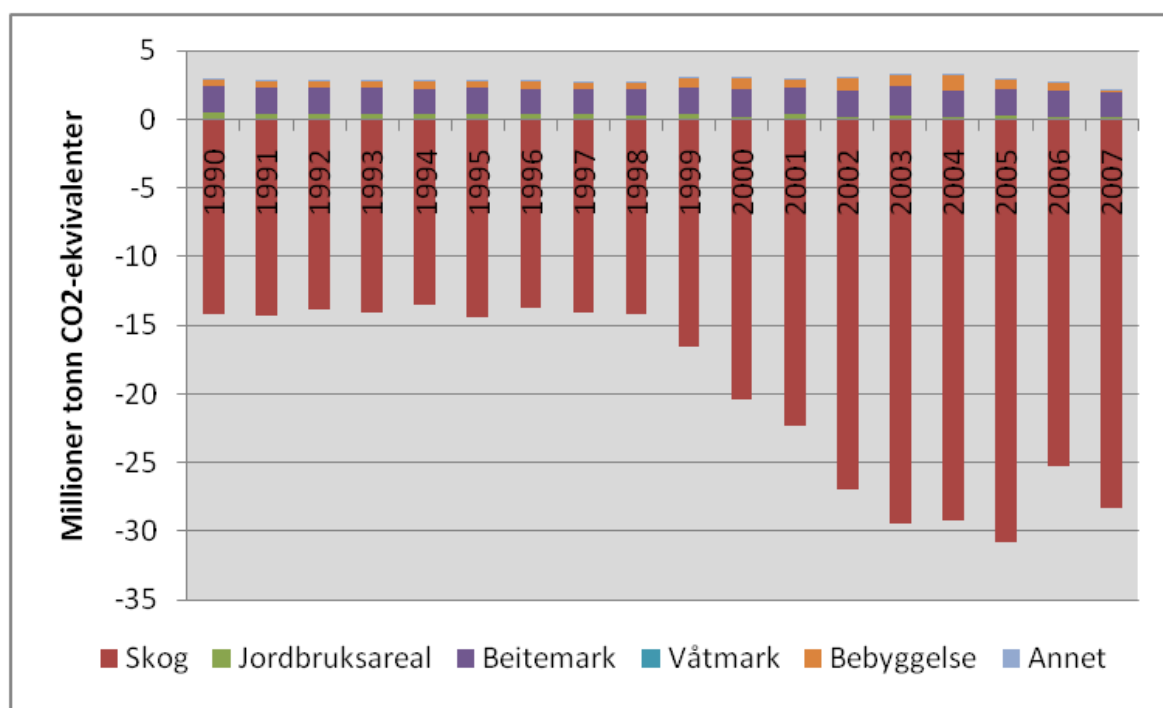
Senere studier viser at karbontapet i skogsjord etter avvirkning er relativt lite og at oppbygging av karbon i jorda går raskere enn tidligere antatt (Nilsen et al. 2008). Dette gjelder spesielt dersom en setter inn tiltak som rask tilplanting, ugrasbekjempelse og eventuelt gjødsling. Senere studier (Johnson et al. 2010, Palosuo et al. 2008) indikerer at karbontapet i skogsjord påvirkes av skogbehandlingen.

3.2 Årlig opptak av CO₂ i norsk skog

3.2.1 Rapportering til FNs klimakonvensjon

Siden skogen og jordsmonnet er viktige karbonlagre er det viktig å ha god oversikt over hvordan lagrene endrer seg. Årlig utslipp og opptak fra skogen rapporteres årlig til FNs klimakonvensjon som en del av sektoren LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry – skog, arealbruk og arealbruksendringer).

Figur 3-2 viser årlig utslipp av klimagasser fra de ulike arealkategoriene som er inkludert i LULUCF sektoren. Negativt fortegn indikerer et negativt utslipp – altså opptak – i millioner tonn CO₂-ekvivalenter per år¹⁰.



Figur 3-2 Årlig utslipp av CO₂ fra LULUCF-sektoren i perioden 1990–2007. Merk at negative tall er opptak.

Kilde: Norsk institutt for skog og landskap.

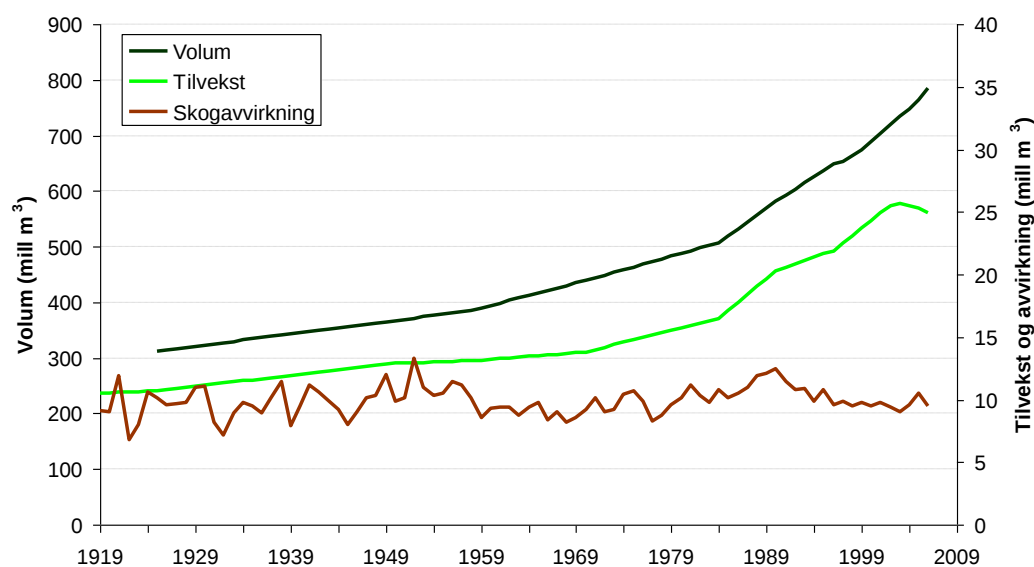
I Norge har vi hatt en situasjon der tilveksten har vært høyere enn avvirkningen, og vi har derfor hatt et årlig netto opptak av CO₂ i skogen. Figur 3-2 viser at årlig netto opptak fra 2002–2007 har vært mellom 25–30 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, noe som tilsvarer rundt halvparten av de menneskeskapte klimagassutslippene fra andre sektorer i samme periode.

¹⁰ Vedlegg 4 gir en mer detaljert beskrivelse av figuren.

I klimagassregnskapet som årlig sendes inn til FNs klimakonvensjon regnskapsføres effektene av all aktivitet i skogen. Siden utslipp fra skogen bokføres idet treet avvirkes, og ikke når det forbrennes, tas det ikke hensyn til den andelen trevirke som brukes til langlevde treprodukter. På den måten kan en si at klimagassregnskapet underestimerer CO₂-opptaket i skogen.

Selv om årlig netto opptak kan variere mellom år, har det totale karbonlageret i skogen økt og dermed er en tilsvarende mengde CO₂ trukket ut av atmosfæren. Vi ser av figuren at bebyggelse på ny mark og beitemark gir et årlig nettoutslipp av CO₂. Det store opptaket i skog oppveier imidlertid disse utslippene.

Det store nettoopptaket i skogen er et resultat av aktiv skogskjøtsel gjennom flere tiår og derav økende tilvekst. Siden 1919 har tilveksten økt fra rundt 10 millioner kubikkmeter til rundt 25 millioner kubikkmeter i dag. Som nevnt har også volumet i norske skoger økt siden 1919, fra 300 millioner kubikkmeter til rundt 800 millioner kubikkmeter. Samtidig har avvirkningen ligget relativt stabilt på 10 millioner kubikkmeter gjennom hele perioden, inkludert anslagsvis 2–3 millioner kubikkmeter ved til energiformål. Figur 3-3 illustrerer dette¹¹.



Figur 3-3 Utvikling i volum, årlig tilvekst og skogavvirkning i perioden 1919–2007. Volum leses av fra venstre akse i figuren og tilvekst og hogst fra høyre akse.

Kilde: Norsk institutt for skog og landskap og Statistisk sentralbyrå

Årlig opptak av CO₂ vil være større enn null så lenge tilveksten er større enn avvirkningen. Fra Figur 3-3 ser vi at avvirkningen er rundt 40 prosent av tilveksten, det vil si at en kan ta ut mer trevirke og samtidig ha et økende karbonlager. Til sammenligning er avvirkningsraten i Sverige rundt 90 prosent av tilveksten (Sveriges lantbruksuniversitet 2010).

3.2.2 Bokføring under Kyotoprotokollen

I henhold til regelverket i Kyotoprotokollens første forpliktelsesperiode (2008–2012) er det kun en liten del av skogens nettoopptak som kan inkluderes. De fleste industriland og mange utviklingsland er enige om at dagens regelverk under Kyotoprotokollen derfor har klare begrensninger. Siden det settes et tak på kreditering av klimagevinst hentet fra skogskjøtsel

¹¹ Vedlegg 4 gir en mer detaljert beskrivelse av figuren.

gir dette få incentiver til å iverksette nye tiltak for økt opptak, mens det gir sterke incentiver for økt avvirkning til for eksempel bioenergi. En forbedring av dette regelverket for neste forpliktelsesperiode vil kunne utløse store potensialer for utslippsreduksjoner og opptak av CO₂.

Hvordan reglene vil bli i neste forpliktelsesperiode og fram mot 2020 er usikkert. I de pågående forhandlingene diskuteres blant annet størrelsen på de samlede utslippsforpliktelsene for den andre forpliktelsesperioden (etter 2012) for Annex I-landene. I sammenheng med dette diskuteres det i hvor stor grad skog og landområder (LULUCF) skal inkluderes og hvordan opptak og utslipp av CO₂ fra skogskjøtsel bør beregnes for å bedre incentivene til å optimalisere opptaket av CO₂ i skogen. I tillegg diskuteres det om en skal ta inn nye aktiviteter for å sikre en mer helhetlig inkludering av skog og arealer i en framtidig klimaavtale, om det skal inkluderes regler som korrigerer for ekstreme hendelser som skogbrann og insektangrep og om karbonlager i treprodukter skal inkluderes.

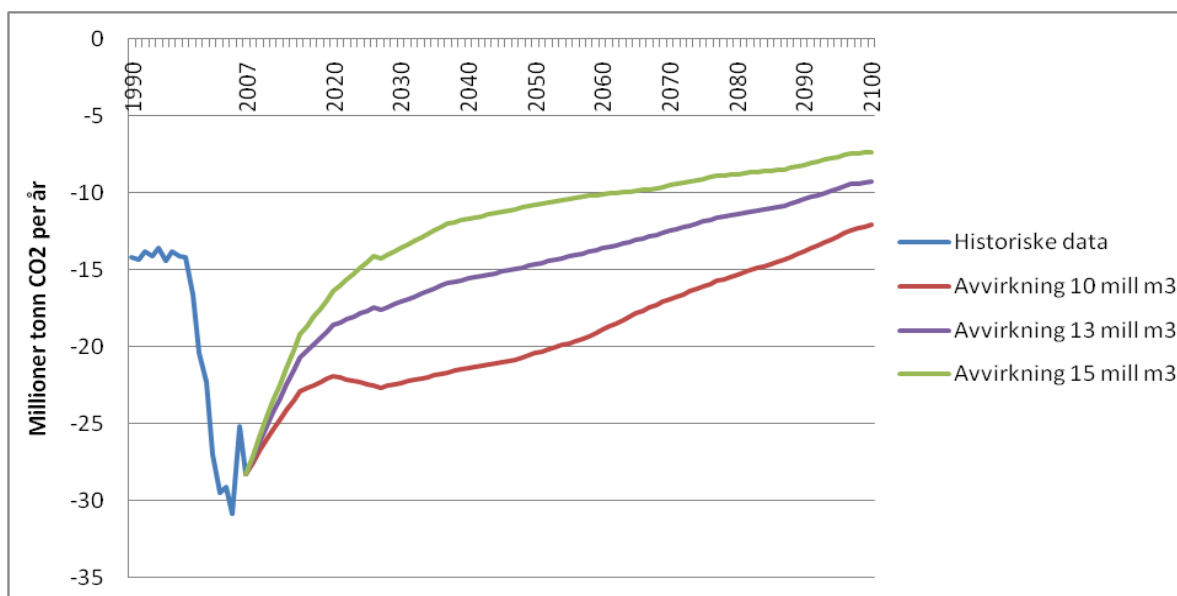
3.3 Opptak av CO₂ gitt ulike avvirkningsnivåer

3.3.1 Framskrivninger

For å kunne si noe om framtidig opptak av CO₂ i norsk skog framover, både som innspill til pågående klimaforhandlinger og for å beregne effekt av tiltak i Klimakur 2020 (Klima- og forurensningsdirektoratet 2010b), ble det i 2009 utarbeidet framskrivninger knyttet til ulike avvirkningsnivåer. Framskrivningene ble utarbeidet av Norsk institutt for skog og landskap. Det ligger en rekke forutsetninger til grunn for beregningene og disse er nærmere beskrevet i rapporten "Utviklingsscenarioer for karbonbindingen i Norges skoger" (Astrup et al. 2010).

I Klimakur 2020 ble det vist til tre ulike framskrivninger for framtidig opptak av CO₂ i skogen. Forskjellen på framskrivningene er antagelsen om framtidig nivå på avvirkning. De ulike framskrivningene viser opptak knyttet til en avvirkning på 10 millioner kubikkmeter trevirke (som i dag), 13 millioner kubikkmeter trevirke og 15 millioner kubikkmeter trevirke. Gitt allerede vedtatte virkemidler som er iverksatt som følge av regjeringens bioenergistrategi fra 2008, ble det vurdert at et realistisk nivå for avvirkning i 2020 ville være 13 millioner kubikkmeter trevirke. En avvirkning på 13 millioner kubikkmeter i året ble derfor brukt som et referansescenario i Klimakur 2020, og effekten av alle vurderte skogskjøtselstiltak ble estimert i forhold til denne.

Figur 3-4 viser framtidig opptak i skog gitt de ulike scenarioene for framtidig avvirkningsnivå. Framskrivningene på 10 millioner kubikkmeter og 15 millioner kubikkmeter er modellert mens framskrivningen på 13 millioner kubikkmeter er beregnet på bakgrunn av de to modellkjøringene. Avstanden mellom kurvene viser effekten av å redusere avvirkningen fra 13 til 10 millioner kubikkmeter (det vil si samme uttak som i dag), samt en ytterligere økning av uttaket fra 13 til 15 millioner kubikkmeter. Negative tall indikerer et negativt utslipp – altså opptak.



Figur 3-4 Framtidig opptak av CO₂ i norsk skog – tre scenarioer. Millioner tonn CO₂ per år. Merk at negative tall er opptak.

Kilde: Klimakur 2020.

Figur 3-4 viser at framskrivningen med lavest avvirkningsnivå gir størst opptak av CO₂. I alle framskrivningene er det tatt med i beregningene at det plantes med samme plantetetthet etter avvirkning. Større arealer tilgjengelig vil imidlertid gi rom for flere planter totalt.

Videre viser figuren at det framtidige opptaket av CO₂ i skogen vil avta, uavhengig av avvirkningsnivå. Dette skyldes i hovedsak skogens alderssammensetning, der mye skog har nådd sin mest produktive vekstfase. Det er imidlertid store usikkerhet om vekstrate og CO₂-opptak i gammel skog. IPCC (2007a) hevder at gammel skog som følge av klimaendringer vil være sårbar for ekstremhendelser som billeangrep, stormfelling og skogbranner. Det finnes imidlertid også artikler som finner det motsatte (Luyssaert et al. 2008), men da særlig for naturskog med diversifisert alderssammensetning.

Forskjellen mellom de tre framskrivningene reduseres noe med tiden, fordi økt avvirkning med påfølgende foryngelse på sikt gir mer skog med høy tilvekstrate. Figuren viser at i 2030 vil skogen ha et opptak på rundt 22 millioner tonn CO₂ per år ved det laveste avvirkningsnivået (10 millioner kubikkmeter), mens ved det høyeste avvirkningsnivået (15 millioner kubikkmeter) vil opptaket være på rundt 14 millioner tonn per år i 2030, det vil si en differanse på 8 millioner tonn. I 2070 vil opptaket være på rundt 17 millioner tonn per år for det laveste avvirkningsnivået og rundt 12 millioner tonn for det høyeste, det vil si en differanse på 5 millioner tonn per år.

I de første 10 år av framskrivningene ses en kraftig nedgang i CO₂-opptaket i forhold til dagens opptak. Nedgangen vil komme, men det er mulig at modellverktøyet underestimerer den nåværende tilveksten i skogen. Dette vil gjøre at nedgangen (det vil si redusert opptak) i de første 10 årene antagelig overestimeres i framskrivningene i forhold til hva som faktisk er forventet å skje. I vedlegg 4 forklares noen av de viktigste usikkerhetene ved modellen som er brukt for å utarbeide framskrivningene.

En forbedring av modellverktøyet pågår løpende og en oppdatering av disse framskrivningene er under utarbeidelse. På kort sikt kan det spesielt forventes en større sikkerhet rundt de første

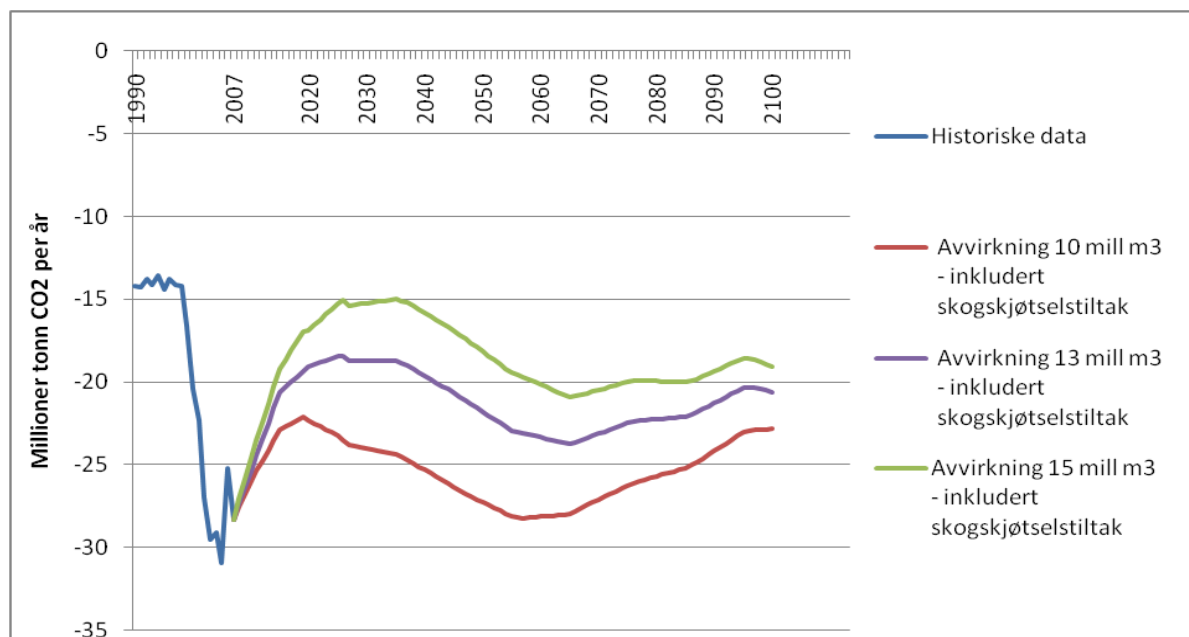
10 årene, og allokering av avvirkning til realistiske skogtyper og aldersklasser. Dette er informasjon som ikke er ferdig i tide til å bli inkludert i denne utredningen.

3.3.2 Tiltak som gir økt opptak av CO₂ i skogen

Mer intensiv skogskjøtsel kan øke tilveksten og dermed også karbonbindingen. I St. meld. nr. 39 (2008–2009) *Klimautfordringene – landbruket en del av løsningene* og i Klimakur 2020 ble en rekke tiltak som kan bidra til å bedre opptak i skogen beskrevet og kostnadsberegnet. Eksempler på slike tiltak er å øke plantetetthet på eksisterende arealer, å plante skog på nye arealer, skogplanteforedling og gjødsling av skog kort tid før avvirkning. Vedlegg 5 gir en beskrivelse av de skogskjøtselstiltakene som ble utredet i Klimakur 2020, og som er inkludert i figurene i dette kapittelet.

Om alle tiltakene som ble utredet gjennomføres, er det beregnet at de vil kunne gi et økt opptak på opp mot 12 millioner tonn CO₂ per år om 100 år. Dette er imidlertid en ambisiøs plan. Det kan også gjennomføres tiltak i mindre skala eller ytterligere tiltak som ikke ble inkludert i Klimakur 2020, noe som kan endre effekten i forhold til hva som er vist her. Det presiseres at det her ikke ble tatt hensyn til albedo-effekten, der blant annet økt skogdekke vil kunne påvirke jordas absorpsjon av solenergi og dermed klimaeffekten, da usikkerheten rundt denne effekten fortsatt er stor.

Effekten av skogskjøtselstiltak som økt plantetetthet, skogplantefordeling, planting på nye arealer og gjødsling er vist i Figur 3-5. Negative tall indikerer et negativt utslipp – altså opptak.



Figur 3-5 Framtidig årlig opptak av CO₂ i skog når skogskjøtselstiltak er inkludert – tre framskrivninger. Millioner tonn CO₂ per år.

Figur 3-5 viser effekt av de samlede tiltak som er utredet i Klimakur 2020, som vil resultere i et økt opptak av CO₂. Til forskjell fra Klimakur 2020 har vi her vist effekten av skogskjøtselstiltakene i forhold til alle de ulike framskrivningene. Figuren viser at skogskjøtselstiltak er viktig for å øke den generelle karbonbindingen i skogen uavhengig av avvirkningsnivå. Det kan være at den reelle effekten av tiltakene vil variere mer mellom de tre

framskrivningene enn det som framkommer av figuren, da vi har brukt en svært enkelt tilnærming til beregningene og antatt lik effekt per arealenhet.

Figur 3-5 viser videre at effekten av skogskjøtselstiltak vil få stor betydning først om 30–40 år fra i dag. Gjødsling av skogen i en periode før hogst (10 år) er det eneste av de vurderte tiltakene som kan gi effekt i et kort tidsperspektiv (jamfør vedlegg 5).

Mange tiltak for å øke karbonbindingen i skogen forutsetter et mer intensivt drevet skogbruk og en næring som benytter nye arealer. Dette innebærer økte muligheter for konflikt mellom næringen og naturmiljøet, og nasjonale miljømål og internasjonale miljøforpliktelser. Det framgår av St. meld. nr. 26 (2006–2007) *Regjeringens miljøpolitikk og rikets miljøtilstand* og St. meld. nr. 34 (2006–2007) *Norsk klimapolitikk* at en generelt vil prioritere tiltak som har positiv effekt både for å motvirke klimaendringer og for bevaring av biologisk mangfold og andre viktige miljøverdier.

Klimarettede tiltak i skog må skje innenfor rammene av bærekraftig skogbruk, og i samsvar med skogbruksloven, forskrift for bærekraftig skogbruk, Skogbrukets miljøstandard¹² og spesifiserte retningslinjer, samt naturmangfoldsloven. Hvor omfattende tiltak og virkemidler som settes i verk (størrelsene på arealene) og kvaliteten på de arealene der arealbruken blir endret vil påvirke konfliktpotensialet. Det må derfor foretas avveininger mellom skogtiltak og hensynet til biologisk mangfold, kulturlandskap og kulturminner, slik at skogtiltak kan gjennomføres samtidig som nødvendige bærekraftshensyn ivaretas.

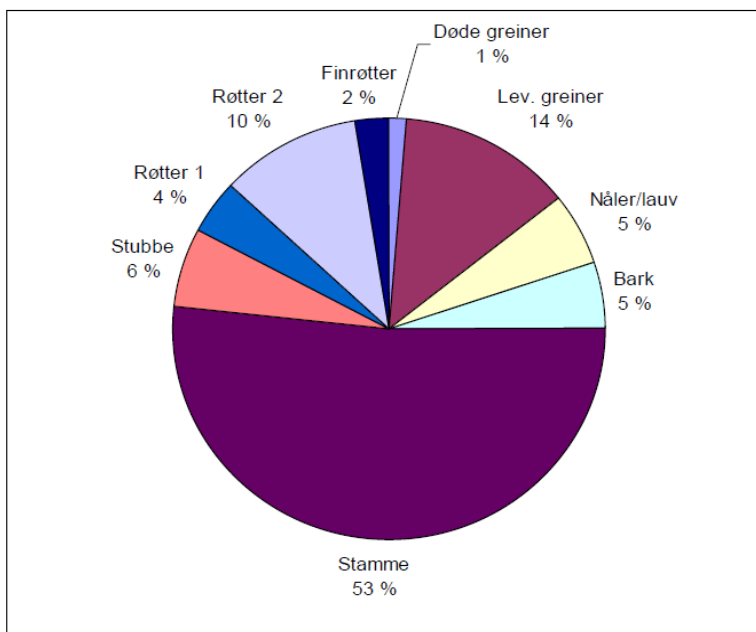
3.4 Økt uttak av hogstavfall – potensialer og effekter

3.4.1 Potensialer for økt utnyttelse av hogstavfall

I dagens skogbruk er det stort sett stammen på treet som blir benyttet. Krav til minste toppmål (rundt 5 cm) og krav til kvalitet har ført til at en del av stammen blir kappet bort og blir liggende igjen i skogen (ca. 10 prosent). I tillegg blir grener og topper (GROT), stubber og grove røtter liggende igjen etter avvirkning. Dette kan brukes til produksjon av bioenergi. Figur 3-6 viser den prosentvise fordeling av trefraksjoner etter Marklunds funksjoner¹³ (Gjølshøg og Hobbelsstad 2009). Vi ser at stammen utgjør rundt 53 prosent av trets biomasse.

¹² Tidligere Levende skog-standard. På grunn av brudd i forhandlingene om omfanget av bruk av fremmede treslag (juni 2010), kan ikke standarden lenger brukes som system og begrep. Begrepet er et felleseie mellom partene og krever enighet mellom alle partsgrupper for å kunne brukes.

¹³ Det er utviklet funksjoner for sammenhengen mellom stammens diameter og høyde og mengde grener og røtter. Fordelingen av biomassen mellom de ulike tredelene vil avhenge av trets størrelse.



Figur 3-6 Prosentvis fordeling av tredeler etter Marklunds funksjoner. Gjennomsnitt av gran, furu og lauvtre.

Kilde: Gjølshø og Hobbelsstad 2009

I tillegg til hogstavfallet som alternativt ligger igjen på hogstmarka, er det også tynningsvirke og rydningsvirke (fra kraftgater og jernbanelinjer) som heller ikke blir anvendt i særlig grad i dag. Dette skyldes hovedsakelig at kostnadene for innsamling, transport og opparbeiding overstiger prisen for alternativ energi.

I tabell 3-1 nedenfor er økonomiske potensialet for økt utnyttelse av de viktigste bioenergiressursene fra skog presentert slik det ble vurdert i Klimakur 2020 (NVE 2010a). Der det er estimert er også kostnader forbundet med uttaket av disse ressursene presentert. Kostnadsestimatene er hovedsakelig tekniske kostnader.

Det må understrekes at det er svært usikre tall og det er derfor også er en stor usikkerhet rundt potensial for økt uttak av disse ressursene.

Tabell 3-1 Økonomisk potensial for økt anvendelse av skog til energiformål, gitt dagens avvirkningsnivå.

	Klimakur 2020 TWh	Kostnader (øre/kWh)
GROT	3–3,5	12,8–26,5 ¹ (avhengig av lokalitet)
Stubber og røtter	-	Ingen kostnad beregnet
Tynningsvirke	3,5	21–30
Ved	2–3	0–50
Rydding kraftgater	0,4–0,5	
Biomasse fra kulturlandskap	0,5–1	0–50
Rydding veikant	<0,56 ²	
Rydding jernbane	-	
Biprodukter fra treindustri	1–2	
TOTALT	11–14³	

¹ Dersom det er behov for mellomlagring ved sentral, er kostnadene estimert til 19,4–33,1 øre per kWh.

² Basert på en antagelse om at det kan tas ut biomasse fra 10 prosent av landets offentlige veinett.

³ Inkluderer ikke treprodukter og papir som er blitt avfall og som dermed kan brukes til energi.

Kilde: NVE 2010a

Tabell 3-1 illustrerer at det er et stort potensial knyttet til økt utnyttelse av skogressurser til energiformål. Men et relativt høyt kostnadsnivå, kombinert med svakt utviklede markeder, gjør at disse ressursene ikke utnyttes i dag. Uttak av GROT er proporsjonal med mengden tømmer som sluttavvirkes, det vil i praksis si hovedmengden av det årlige avvirkningsnivået. Dersom avvirkningsnivået økes vil også tilgjengelig mengde hogstavfall som GROT øke. Tynningshogst utgjør bare en mindre andel av den totale avvirkningen, og er avhengig av en rekke faktorer, blant annet etterspørselen i treforedlingsindustrien og prisene på massevirke. Det er viktig i denne sammenheng å minne om at tynningshogst i seg selv ikke gir skogeieren store inntekter, men først og fremst er et tiltak for å øke skogverdiene på lang sikt.

Det er knyttet en rekke betenknninger til naturmangfold ved økt uttak av skogsavfall, både med tanke på mengde som bør tas ut og hvordan dette gjøres. I vedlegg 6 er det en gjennomgang av de ulike fraksjonene og vurderinger av mulige effekter knyttet til økt uttak.

Som følge av nye registreringsmetoder fra Landskogtakseringen, arbeider Norsk institutt for skog og landskap med en rapport som presenterer oppdaterte estimer for tilgjengelig biomasse og tilhørende energiinnhold. Resultatene fra denne rapporten er ikke ferdig i tide for å inngå i denne utredningen.

3.4.2 Effekter på karbonbalansen ved økt utnyttelse av hogstavfall

GROT blir som nevnt ofte liggende igjen på hogstflatene, og vil brytes ned og oksideres over tid. Karbonet som var lagret i bestandsdelene utenom selve stammen (tømmeret), vil igjen havne i atmosfæren. Hvor lang nedbrytningstiden er, avhenger av flere faktorer som diameteren på biomassen og faktorer som temperatur og fuktighet. I følge Lunnan et al. (1991) vil nedbryting av 90 prosent av ”strøet” (nåler, tynne kvister) ta 8–15 år, av ved (grener, stubber etc.) 75–150 år og av røtter 10–15 år. Rørstad et al. (2010) har i en senere studie funnet at det vil ta 7–12 år før energiutnyttelse av hogstavfall gir et positivt bidrag ved ett uttak og 15–25 år ved årlig uttak. Om vi tar ut hogstavfall for å anvende det i bioenergiproduksjon, vil utslippet få en forflytning i tid – vi slipper ut alt i dag istedenfor å fordele det over lang tid.

I hvilken grad fjerning av hogstavfall påvirker karbonlageret i jorda er usikker (Nilsen et al. (2008)) da effekten på jordas karboninnhold blant annet varierer geografisk og over tid. Modellkjøringer gjort av Nilsen et al. (2008) viser at uttak av GROT vil bety relativt lite på den totale karbonmengden i skog, sammenlignet med dagens avvirkning uten GROT-uttak. Reduksjon i CO₂-utslipp ved utstrakt bruk av GROT til energiformål vil, i følge Nilsen et al. (2008), ligge i størrelsesorden 1,5–2 prosent av de totale norske utslippene i dag. De antar videre at det vil være mulig å utnytte 60–70 prosent av de avvirkede arealene til GROT uttak.

For stort uttak av GROT kan gi tap av næringsstoffer med påfølgende redusert tilvekst i neste generasjon av trær, med tilhørende redusert opptak av CO₂ (Nilsen et al. 2008). Tap av næringsstoffer etter fjerning av GROT kan bli kompensert med tilbakeføring av aske fra bioenergianlegg, eventuelt sammen med nitrogengjødsling. Tap av næringsstoffer ved uttak av GROT kan også reduseres ved at en ikke fjerner nåler og blader, men lar GROTen tørke på marken, slik at nåler og blader faller av. Før nåler og blader faller av, bidrar de til å redusere fuktighetsinnholdet, og derved øke brennverdien i biomassen, jamfør såkalt syrefelling av trær som nyttes i forbindelse med vedproduksjon.

Det er rimelig å anta de samme effektene på karbonlageret ved uttak av annet skogsavfall som tynnings- og rydningsvirke.

4. Fra skog til anvendelse – ulike scenarioer

4.1 Omfang

Avvirkning og forbrenning av trevirke vil gi et utslipp av klimagasser til atmosfæren. Det vil være en tidsforskyvning til dette utslippet er tatt opp igjen av ny skog som plantes etter avvirkning. Dette gjelder også uttak og forbrenning av hogstavfall. I dette kapitlet ser vi på flere scenarioer med ulike forutsetninger og uttak og anvendelse av biomassen, for å beregne tiden det tar før karboninnholdet i atmosfæren etter avvirkning er tilbake til samme nivå som det ville vært dersom det ikke ble avvirket. Dette er heretter omtalt som tilbakebetalingstid.

Vi ser på fire hovedscenarioer:

- Økt uttak og anvendelse av GROT til energiformål
- Avvirkning av et granbestand, både med og uten uttak av GROT.
- Permanent økt avvirkning – et granbestand og i skogen som helhet
- Tiltak for å redusere tilbakebetalingstiden

Norsk Institutt for skog og landskap har utviklet modeller som viser karboninnhold i levende biomasse, jord, strø og død ved for et granbestand (Goebakken et al. 2008, Liski et al. 2005). Denne modellen anvendes som en prinsippskisse for å vise effekter på karbonlageret ved avvirkning.

For permanent økt avvirkning på nasjonalt nivå, anvender vi framskrivningene som ble utledet i forbindelse med Klimakur 2020 (jamfør kapittel 3).

Vi tar i dette kapitlet i bruk substitusjonseffekter for anvendelse av biomasse, som ble omtalt i kapittel 2, og kopler de sammen med modellene over.

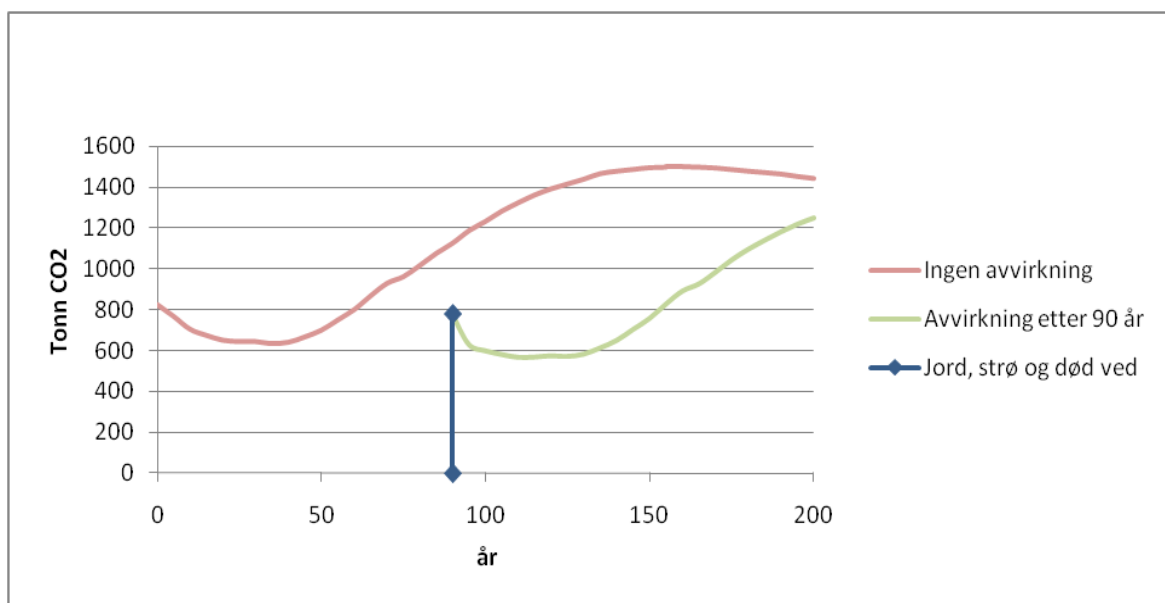
4.2 Modell og forutsetninger

4.2.1 Modell – CO₂-innhold i et granbestand

For å vise effekt ved avvirkning har Norsk institutt for skog og landskap utført modellkjøringer. Modellkjøringene viser karboninnhold i levende biomasse, jord, strø og død ved i et typisk granbestand (en hektar) på midlere bonitet (G14) og effekter ved hogst etter 90 år¹⁴, med påfølgende foryngelse. Vi har sett på ulike scenarioer med ulike forutsetninger om blant annet uttak av hogstavfall og anvendelse av biomassen, for å beregne tilbakebetalingstiden.

Figur 4-1 viser karboninnhold i et skogbestand og effekt av avvirkning etter 90 år, med påfølgende foryngelse.

¹⁴ Hogstmodenhetsalder på 90 år er ifølge Heje og Nygaard (1998) den nedre aldersgrense for hogstklasse 5. Fra produksjonstabellen er hogstklasse 5 på G14 hogstmodne etter 100 år.



Figur 4-1 Karboninnhold uttrykt som tonn CO₂ per hektar for et granbestand. Karboninnholdet omfatter levende biomasse, jord, strø og død ved.

Kilde: Norsk institutt for skog og landskap

I år null avvirkes et eksisterende bestand og et nytt bestand med areal på en hektar plantes. På grunn av høyt karboninnhold i jord, i tillegg til strø og død ved som blir liggende igjen på hogstmarka, har arealet (en hektar) et høyt karboninnhold (i overkant av 800 tonn CO₂ per hektar) allerede ved år null. Etter avvirkning avtar karboninnholdet på arealet de første årene, på grunn av at biomassen, spesielt de små fraksjonene (strø, grener og topper), fra det tidligere bestandet brytes ned og frigjør CO₂ til atmosfæren. Etter planting tar det noen tiår før nyplantede trær får en tilvekst som gjør at årlig CO₂-opptak blir større enn årlig nedbrytning. Rundt år 90 når skogen sin optimale hogstalders for tømmerproduksjon over tid.

Modellkjøringen illustrerer imidlertid at det tar rundt 140–150 år før maksimal mengde karbon er bundet. Etter 150 år vil skogen slippe ut mer CO₂ enn den binder ettersom trær brytes ned og dør. Dersom skogen blir stående urørt vil karbonlageret over tid stabiliseres rundt et nivå der tilvekst er tilnærmet lik naturlig avgang. Det er for store usikkerheter rundt karboninnhold i gammel skog til at modellene kan gå tilstrekkelig langt fram i tid for å vite når stabiliseringen vil inntreffe.

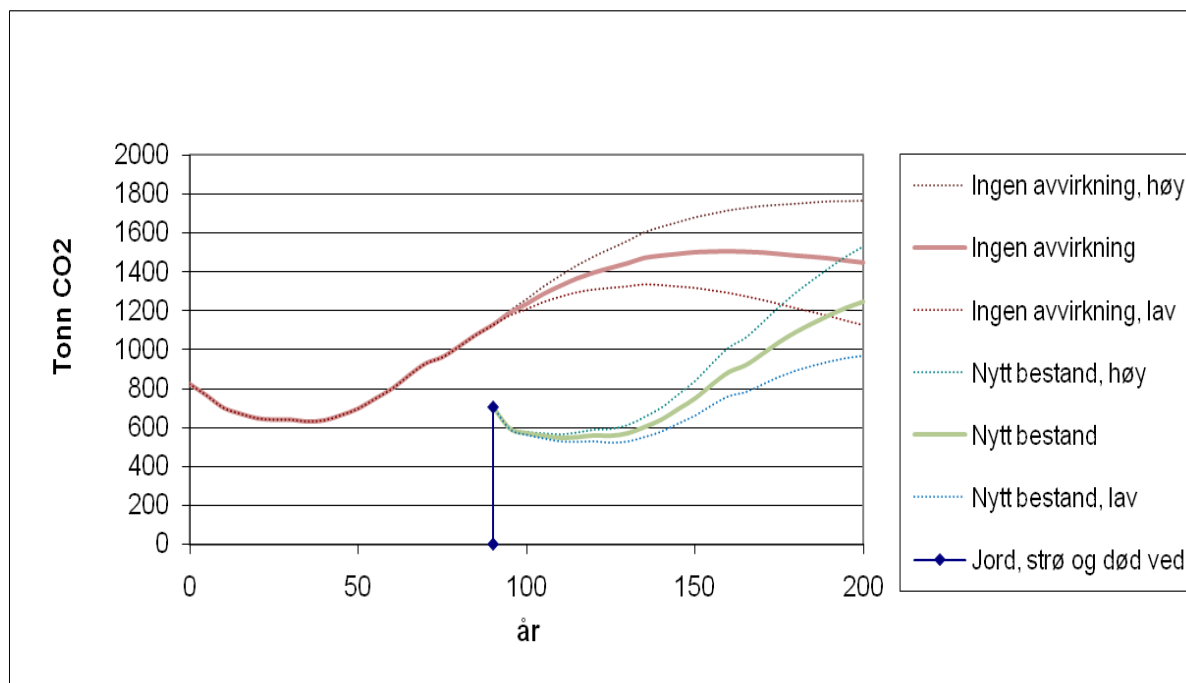
Dersom en velger å avvirke etter 90 år, som er nedre aldersgrense for hogstklasse 5 (Heje og Nygaard 1998), vil en få et utslipp av klimagasser til atmosfæren. Utslippet tilsvarer karboninnholdet i biomassen som tas ut, og er representert ved gapet mellom kurven "Ingen avvirkning" og "Avvirkning etter 90 år". Gitt forutsetningene om at det kan tas ut totalt 155 tonn stammevirke i tillegg til 40 tonn skogsavfall på en hektar, er utslippet 420 tonn CO₂ per hektar.

Den blå, vertikale linjen representerer karboninnholdet i jordsmonnet, strøet og skogsavfallet som blir liggende igjen på hogstflata etter avvirkning, og definerer startnivået på det nye bestandet som plantes etter avvirkning. Karboninnholdet ved avvirkning er gjenvunnet når kurven "Avvirkning etter 90 år" krysser kurven "Ingen avvirkning". I figuren vises ikke effekt knyttet til anvendelse av biomassen som tas ut, og uten en slik effekt vil tilbakebetalingstiden være mer enn 110 år (etter år 200).

4.2.2 Usikkerheter i modellene

For alle modellberegninger som strekker seg over lange tidsperioder, med komplekse biologiske systemer, vil det være en stor grad av usikkerhet.

De stiplede linjene i Figur 4-2 illustrerer usikkerhetene i modellen.



Figur 4-2 Illustrasjon av usikkerhetene. Utvikling av karboninnholdet uttrykt som tonn CO₂ per hektar ved høy, middels og lav tilvekst for en granbestand med og uten avvirkning. Karboninnholdet omfatter levende biomasse, død ved og skogsjord.

Kilde: Norsk institutt for skog og landskap

Usikkerheten rundt det totale karboninnholdet i skogen skyldes flere årsaker, men de tre viktigste er knyttet til:

- 1) utvikling av karboninnhold i gammel skog,
- 2) utvikling av karboninnhold i jord og annet dødt organisk materiale, og
- 3) effekt av klimaendringer.

1) I Norge finnes ganske store arealer med eldre og gammel skog. Disse skogene er ofte på lavproduktiv mark og er ikke et produkt for aktivt skogbruk. I Norge begynte storskala flateskogbruk først rundt andre verdenskrig. Det betyr at det i Norge er lite data for å kunne si noe om utviklingen av gamle bestandsskoger, noe som øker usikkerheten ved modellering av gammel skog. For eldre skoger betyr trærnes dødelighet mye for hvordan karboninnholdet utvikler seg. Dødeligheten i gammel skog er vanskelig å forutsi fordi den avhenger av en lang rekke faktorer slik som råte, insekt- og vindskader.

2) Utviklingen i karbon i jord og annet dødt organisk materiale avhenger i stor grad av forutsetningene knyttet til hvor mye organisk materiale som allerede finnes, tilgangen av strø samt dødt virke og nedbrydningshastigheter. Antakelser om slike forhold er en viktig forutsetning for beregningene.

3) Klima har en sterk påvirkning på skogens utvikling både gjennom vekst, nedbrytningshastigheter og frekvensen av omfattende skader på skogen. Generelt antar vi at et varmere klima i Norge vil medføre en større karbonbinding i levende biomasse og større tilgang av strø til jorden. Samtidig vil et varmere klima øke nedbrytningshastigheten. Samspillet mellom disse faktorene og et endret klima fører til usikkerhet om den framtidige utvikling og dette er ikke inkludert i regneeksemplet. I følge IPCC (2007a) vil effekten av globale klimaendringer være redusert opptak av CO₂ i gammel skog som følge av større risiko for naturkatastrofer som stormfelling, skogbrann og billeangrep. En kan derfor tenke seg at med de forventede klimaendringene vil dødeligheten i gammel skog være høyere enn hva som er antatt i basisalternativet, og dermed vil CO₂- opptaket og karbonlageret være lavere.

Vanligvis må en anta at usikkerhetene øker jo lenger fram i tid en kommer. For å illustrere usikkerheten rundt det framtidige karboninnholdet har vi lagt inn en usikkerhet som er antatt å øke direkte med alderen (0,20 prosent per år) når bestandet er over 90 år (usikkerhet i år 90 = 0 prosent og usikkerhet i år 200 = 22 prosent).

Det bør forskes videre på punktene over slik at usikkerheten kan reduseres. Likevel gir modellberegningen oversikt og forståelse av systemet som er nødvendig kunnskap for å ta de riktige beslutningene.

4.2.3 Fordeling av trevirke til produkter og til energivirke

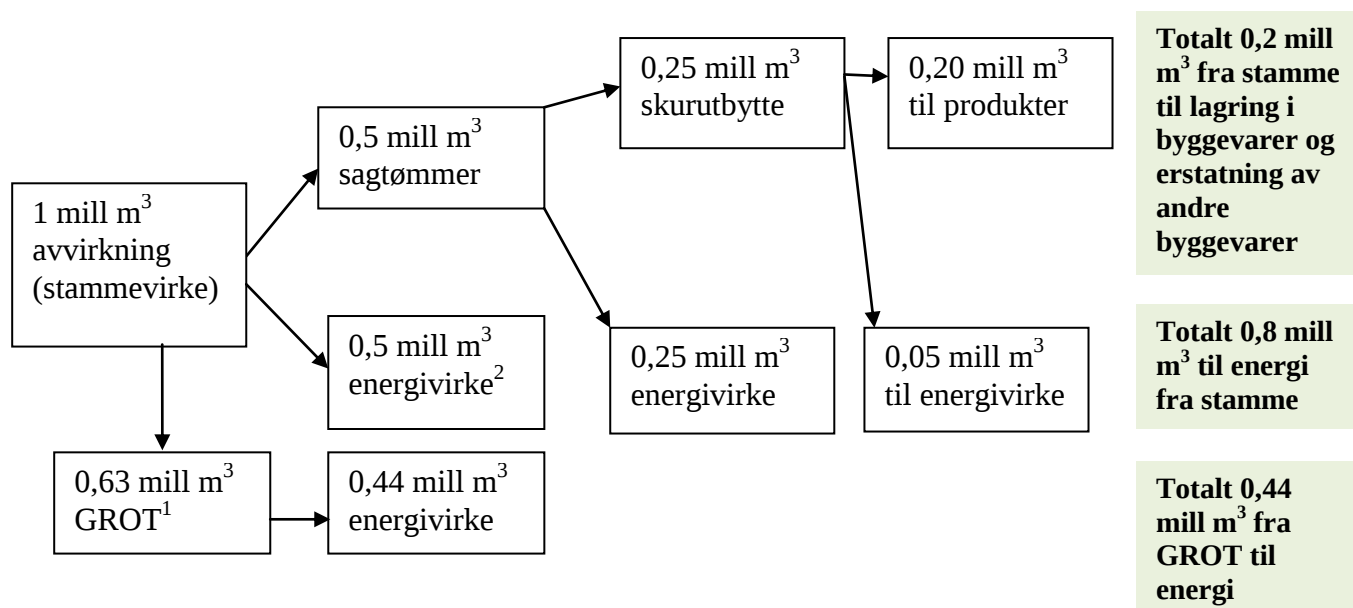
Mesteparten av tømmeret som avvirkes i norske skoger hentes ut ved såkalt sluttavvirkning. Det innebærer at de aller fleste arter og kvaliteter av trær innenfor et avgrenset område avvirkes og fraktes ut. Mens kostnadene for avvirkning og uttak er lik for alle kvaliteter, er verdien av skurtømmer (tømmer til trelastindustrien) om lag 2–3 ganger større enn massevirket. Det betyr at stor etterspørsel, og høye priser på skurtømmer, er en hoveddrivkraft for avvirkning.

En antar at 50 prosent av avvirket stammevirke går til sagtømmer, mens de resterende 50 prosent kan brukes som massevirke eller energivirke. Av sagtømmeret er det rimelig å anta at 50 prosent blir skurutbytte. Siden det også oppstår flis, kapp og svinn i den videre foredlingen av trelasten, antar vi at bare 20 prosent¹⁵ av tømmeret volumet blir utnyttet som byggematerialer. Gitt disse forutsetningene vil avvirkning av 1 million kubikkmeter stammevirke gi totalt 0,2 millioner kubikkmeter trelast som kan brukes som byggematerialer og 0,8 millioner kubikkmeter som blant annet kan brukes til energiformål.

I tillegg vil avvirkning av 1 million kubikkmeter stammevirke generere 0,63 millioner kubikkmeter hogstavfall som grenene og toppene (GROT) nylig dødt virke, små trær og skadet stamme (råte/ krok). Deler av dette kan brukes til energiformål.

Figur 4-3 illustrerer fordelingen mellom ulike kvaliteter gitt 1 million kubikkmeter avvirkning av stammevirke.

¹⁵ Ved bygging av lavenergi massivtrehus kan det tenkes at en kan nyttiggjøre seg av lavere tømmerkvaliteter til konstruksjoner med lang levetid. Det kan øke andelen treprodukter.



¹I tillegg til GROTen innholder denne størrelsen nylig dødt virke, små trær og skadet stamme (råde/ krok).

²Kan også brukes som massevirke.

Figur 4-3 Fordeling av trevirke til produkter og til energivirke ved avvirkning av 1 million kubikkmeter stammevirke.

Dersom en antar et energiinnhold på 2 TWh per kubikkmeter trevirke, vil 0,8 millioner kubikkmeter trevirke gi 1,6 TWh energi. Lite GROT anvendes i dag, men et teoretisk nivå for slikt uttak kan ligge på opp mot 70 prosent (jamfør kapittel 3.4.2). Det gir et energiinnhold på 0,88 TWh. Gitt en avvirkning på 1 million kubikkmeter stammevirke kan det altså totalt produseres $1,6 + 0,88 = 2,48$ TWh, samtidig som den beste trekvaliteten fortsatt anvendes til byggematerialer.

4.2.4 Substitusjonseffekt som benyttes i scenarioene

Ulik anvendelse av biomassen vil gi ulikt potensial for å erstatte fossilt karbon (substitusjonseffekt), som vist i kapittel 2. I tabell 4-1 defineres de nivåene for substitusjonseffekt (det vil si hvor store utslipp av CO₂ som erstattes per mengde biomasse) som anvendes i de forskjellige scenarioene. Det er benyttet samme forutsetninger som i kapittel 2, men for å kunne sammenfatte resultatene med resultatene fra skogmodellene er benevnningen regnet om til CO₂ per hektar skog.

Vi antar at trevirket har en tetthet på 440 kg per kubikkmeter med et energiinnhold på 2100 kWh per kubikkmeter. Ut fra dette finner vi at vi kan ta ut 155 tonn trevirke per hektar om en ikke tar ut grener og topper (GROT), og 195 tonn trevirke per hektar om en tar ut 70 prosent GROT. Gitt disse forutsetningene får vi følgende substitusjonseffekter for anvendelse av biomassen.

Tabell 4-1 Substitusjonsfaktorer brukt i scenarioene.

	Eksempel	Kg CO ₂ /kWh	Kg CO ₂ /m ³	Alt stammevirke til bioenergi		20 % av stammevirke til treprodukter	
				Tonn CO ₂ / hektar			
				uten GROT	med GROT	uten GROT	med GROT
"Høy" substitusjons-Faktor	varme/kraft, olje	0,34	714	251	314	201	264
"Middels" substitusjons-Faktor	biokull metallindustri, olje+el (vannkraft)	0,25	525	185	231	147	194
"Lav" substitusjons-faktor	andregenerasjons biodrivstoff	0,12	252	89	111	70	93

Substitusjonsfaktorene som framkommer av tabell 4-1 er de vi anvender i analysen under. Substitusjonsfaktorene kan imidlertid være høyere dersom en anvender tørrere trevirke eller dersom nyere forbrenningsteknologi erstatter eldre forbrenningsteknologi med lavere virkningsgrad.

Høyere substitusjonseffekt kan også oppnås dersom en velger å bruke biomassen til å frigjøre elektrisitet, som deretter kan brukes i bilparken for å erstatte fossile drivstoff, eller dersom norsk trevirke eksporteres for å erstatte kullkraft i andre land.

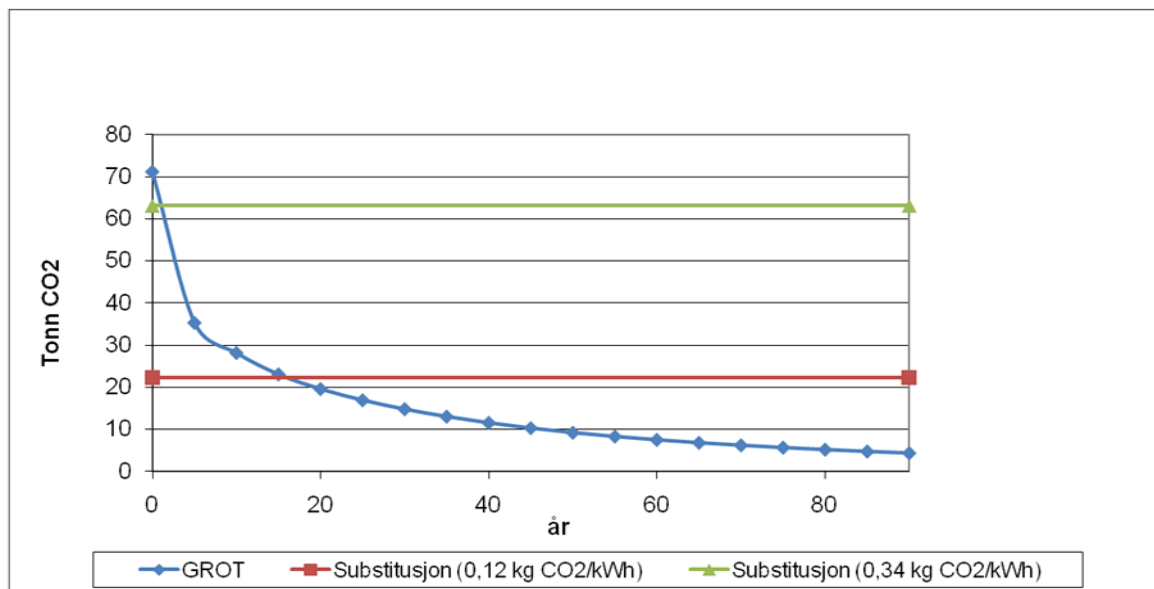
4.3 Tilbakebetalingstid ved uttak og anvendelse av GROT til energiformål

Ubenyttet GROT utgjør sammen med tynningsvirke det største potensialet for økt anvendelse av hogstavfall. I tillegg kommer biomasse etter rydding av veikanter, kraftgater og jernbanetraseer som i dag ikke blir anvendt. I dette kapittelet ser vi på effekter ved uttak og anvendelse av GROT. GROT kan benyttes til alle typer bioenergi i tillegg til produksjon av biokull og produkter som sponplater.

Dersom GROT brukes som bioenergi vil det slippe ut CO₂ ved forbrenning. Alternativt vil det bli liggende igjen i skogen, hvorav noe vil oksideres og slippes ut som CO₂, mens noe blir igjen som karbon i jordsmonnet. Denne nedbrytningen vil skje relativt raskt. Resultatet ved uttak av GROT er dermed at utslipp forflyttes i tid og det vil også kunne redusere karbonlageret i jorda. Det antas at det er store forskjeller geografisk og over tid, noe som gjør denne nedbrytningen vanskelig å kvantifisere. Det betyr at det må utarbeides gode stedspesifikke kriterier for hvor mye GROT som skal utnyttes fra ulike type jordsmonn og lokaliteter. Nilsen et al. (2008) antar at det vil være realistisk å ta ut GROT på 60–70 prosent av de arealene som avvirkes i dag.

Ved å benytte modellkjøringer utført ved Norsk institutt for skog og landskap kan vi vurdere utslippseffekten av å ta ut 70 prosent av GROTen etter avvirkning versus å la den ligge igjen i skogen. Vi har sett på denne effekten i et granbestand (en hektar) på midlere bonitet (G14).

Effekten avhenger av hvordan en velger å benytte trevirket. Fra tabell 4-1 ser vi at utslippsreduksjonen per kWh varierer fra 0,12 kg (utslipp) til 0,34 kg CO₂, alt etter hvordan vi velger å anvende trevirket. I figur 4-4 har vi lagt inn substitusjonseffekter som vist i tabell 4-1 for å vise tilbakebetalingstiden ved å bruke bioenergi basert på hogstavfall.



Figur 4-4 Mengde karbon i 70 % GROT og nedbrytning over tid (uttrykt som tonn CO₂), sammenlignet med redusert mengde fossil CO₂ ved anvendelse av GROT til formål med høy og lav substitusjonseffekt. Tonn CO₂.

Kilde: Norsk Institutt for skog og landskap/Klima- og forurensningsdirektoratet

CO₂-innhold og naturlig nedbrytning av GROT er illustrert av den blå kurven i figur 4-4. GROT med små dimensjoner vil brytes ned relativt raskt, slik at nedbrytningsraten er stor de første årene. Deretter vil nedbrytningen gå langsommere.

Figur 4-4 viser at ved høy substitusjonseffekt (varmeproduksjon med erstatning av olje) på 0,34 kg CO₂ per kWh vil tilbakebetalingstiden være opp mot fem år. Lav substitusjonseffekt på 0,12 kg CO₂ per kWh, som er representativt for andregenerasjons biodrivstoff, vil ha en tilbakebetalingstid på rundt 15 år.

Vi har modellert konsekvensene av ett enkelt uttak. Vi antar at tilbakebetalingstiden vil være lenger ved et permanent uttak av GROT, siden utslippene relatert til forbrenning akkumuleres. Vi antar at tilbakebetalingstiden kan opp mot fordobles, jamfør Rørstad et al. 2010.

Vi antar at ryddings- og tynningsvirke brytes ned på samme måte som GROT, og at resultatene over også gjelder for denne typen biomasse.

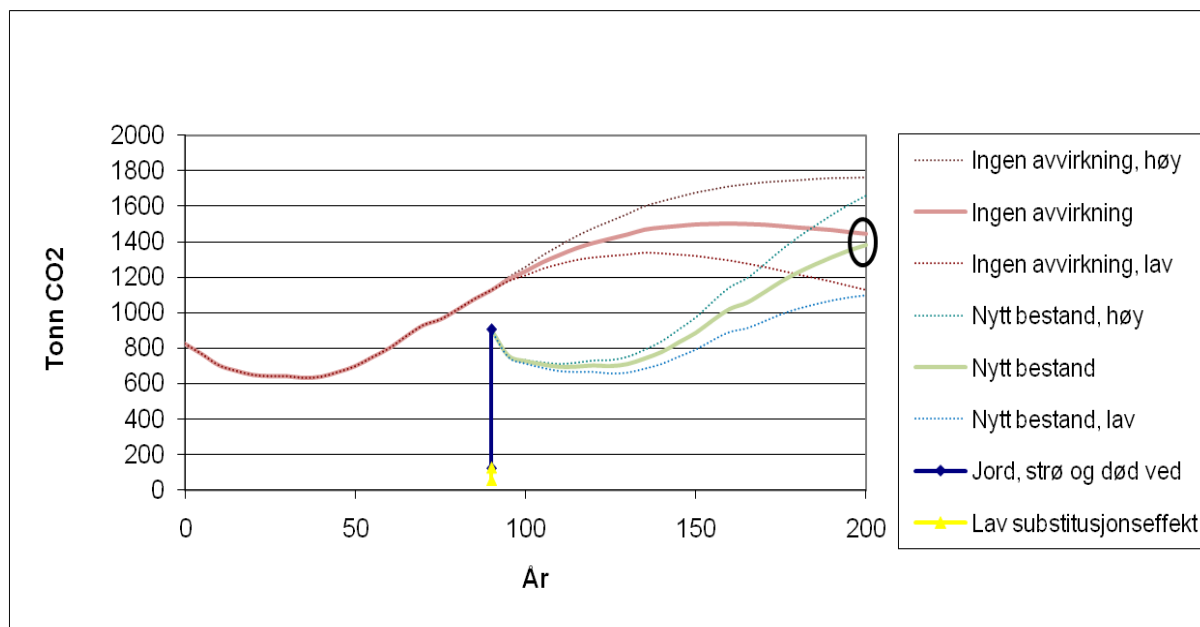
4.4 Tilbakebetalingstid ved avvirkning – et granbestand

4.4.1 Tilbakebetalingstid ved avvirkning og anvendelse av biomasse til energiformål – uten uttak av hogstavfall (GROT)

Figur 4-5 og Figur 4-6 illustrerer karboninnholdet (uttrykt som tonn CO₂) på en hektar skog, og viser endringene etter avvirkning, gitt at en ikke tar ut GROT (tilsvarer dagens situasjon). Biomasse som reduserer fossile utslipp må trekkes fra utslipp ved avvirkning, slik at det reelle

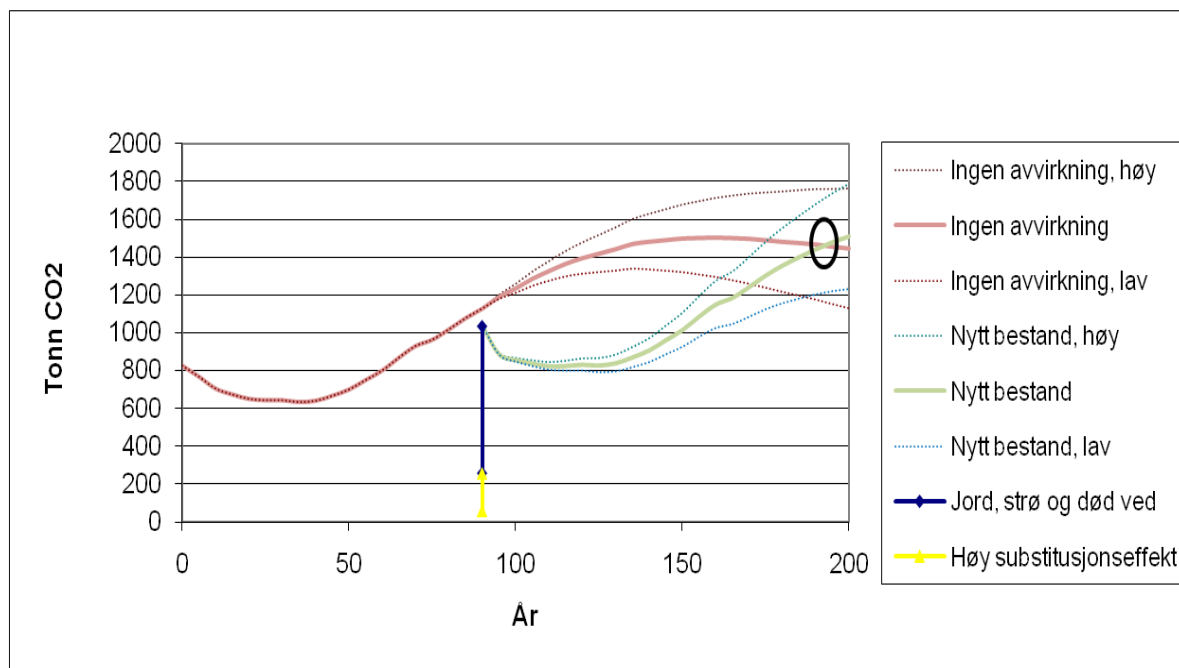
utslippet blir lavere. Dette vises ved at det legges inn en gul linje ("lav/høy substitusjon") i figuren som viser substitusjonseffekten. Jo høyere substitusjonseffekt, jo raskere blir utslippet ved avvirkning oppveiet gjennom reduksjon av fossile utslipp.

Figur 4-5 beskriver et scenario der vi antar en lav substitusjonseffekt av biomassen (0,12 kg CO₂ per kWh), mens Figur 4-6 beskriver høy substitusjonseffekt (0,34 kg CO₂ per kWh).



Figur 4-5 Utvikling av karbonlager (uttrykt som tonn CO₂ per hektar) i levende biomasse, jord, strø og død ved gitt økt avvirkning uten uttak av GROT kombinert med utslippsreduksjon ved substitusjon av fossil energi – lav substitusjonseffekt.

Kilde: Norsk institutt for skog og landskap/ Klima- og forurensningsdirektoratet



Figur 4-6 Utvikling av karbonlager (uttrykt som tonn CO₂ per hektar) i levende biomasse, jord, strø og død ved gitt økt avvirkning uten uttak av GROT kombinert med utslippsreduksjon ved substitusjon av fossil energi – høy substitusjonseffekt.

Kilde: Norsk institutt for skog og landskap/ Klima- og forurensningsdirektoratet

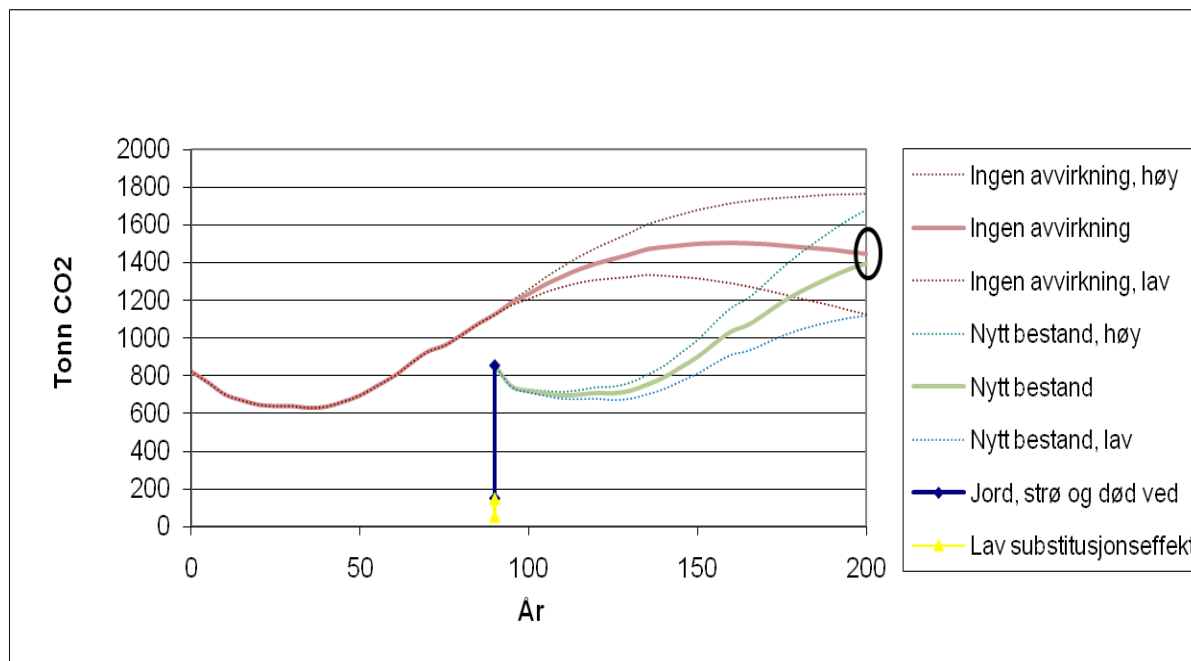
Figur 4-5 viser at lav substitusjonseffekt ved anvendelse av biomassen gir en tilbakebetalingstid på noe mer enn 110 år, mens den vil være rundt 100 år ved høy substitusjonseffekt (figur 4-6).

De stiplede linjene illustrerer at det er store usikkerheter i modellen, spesielt i forhold til forutsetningen om karboninnhold i gammel skog.

4.4.2 Tilbakebetalingstid ved avvirkning og anvendelse av biomasse til energiformål – med uttak av hogstavfall (GROT)

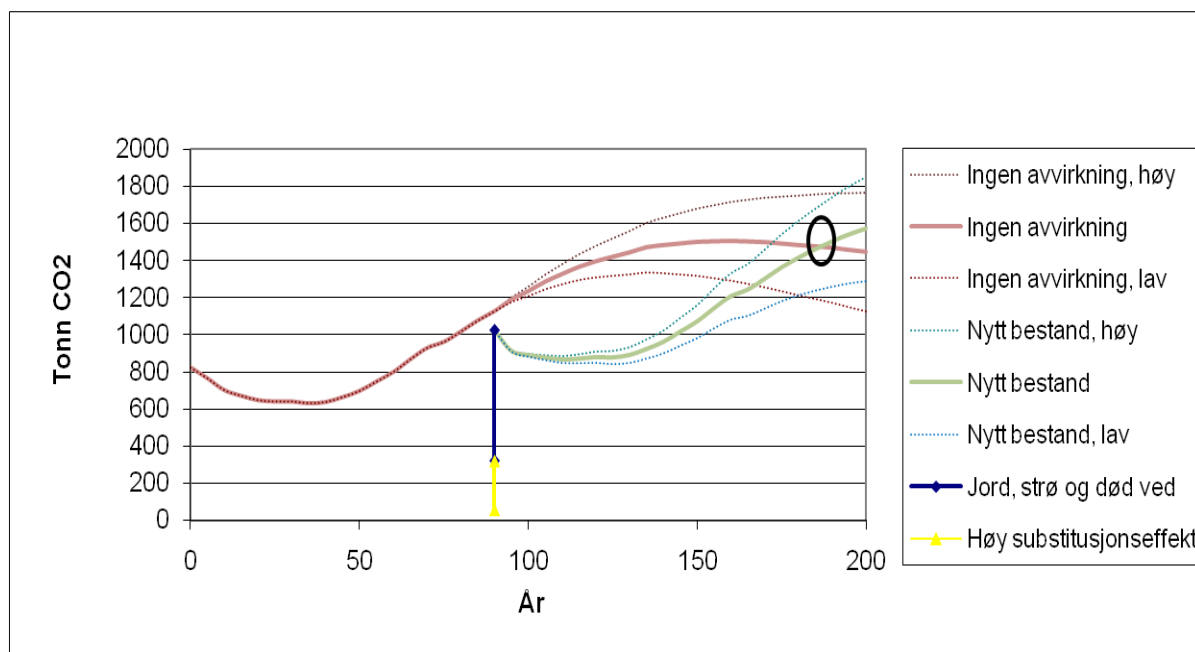
Når en avvirker kan en velge å ta ut mer hogstavfall (GROT) og anvende det til bioenergiformål. Om en tar ut 70 prosent hogstavfall, vil tilgjengelig biomasse øke til 193 tonn trevirke per hektar. Vi antar de samme substitusjonseffektene som i tabell 4-1.

Figur 4-7 og 4-8 er helt tilsvarende figurene i kapittelet over, det vil si at vi ser på avvirkning 90 år etter planting av skog, bortsett fra at vi nå også legger inn utnyttelse av GROT til substitusjon av fossile energibærere. Figur 4-7 beskriver et scenario med lav substitusjonseffekt av biomassen (0,12 kg CO₂ per kWh), mens figur 4-8 beskriver høy substitusjonseffekt (0,34 kg CO₂ per kWh).



Figur 4-7 Utvikling av karbonlager (uttrykt som tonn CO₂ per hektar) i levende biomasse, jord, strø og død ved gitt økt avvirkning med uttak av GROT – kombinert med utslippsreduksjon ved substitusjon av fossil energi - lav substitusjonseffekt.

Kilde: Norsk institutt for skog og landskap/ Klima- og forurensningsdirektoratet



Figur 4-8 Utvikling av karbonlager (uttrykt som tonn CO₂ per hektar) i levende biomasse, jord, strø og død ved gitt økt avvirkning med uttak av GROT – kombinert med utslippsreduksjon ved substitusjon av fossil energi - høy substitusjonseffekt.

Kilde: Norsk institutt for skog og landskap/ Klima- og forurensningsdirektoratet

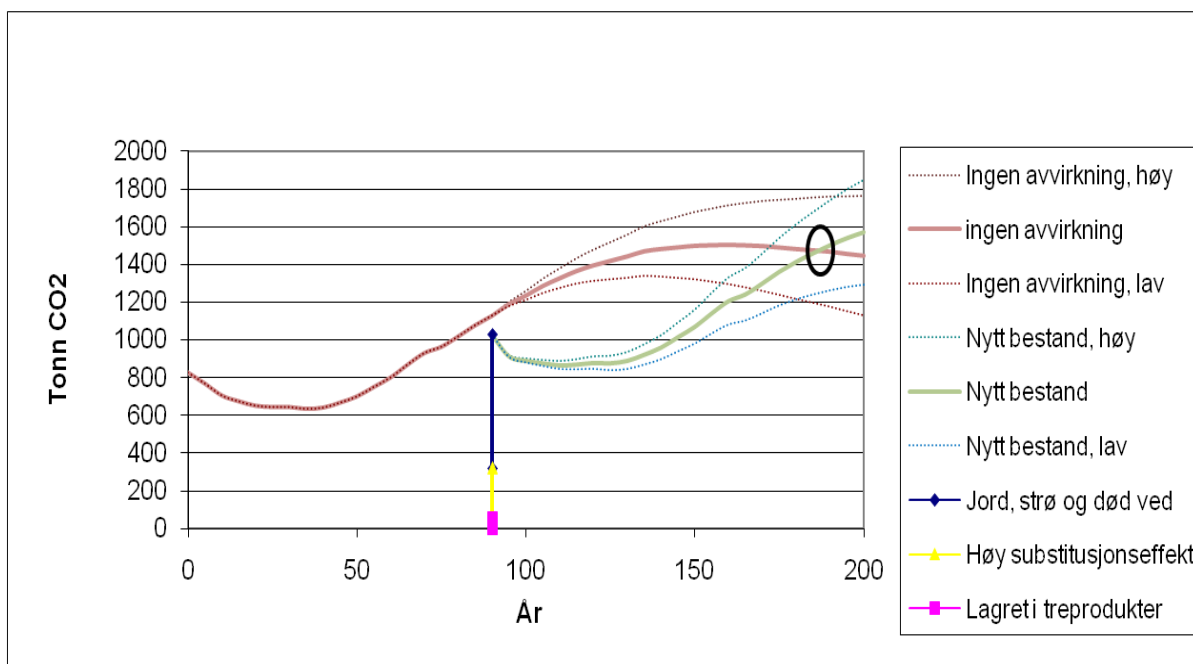
Siden vi i dette tilfellet tar ut GROT, har vi mer biomasse tilgjengelig til å erstatte fossile energibærere, med den konsekvens at tiltaket har kortere tilbakebetalingstid enn om vi ikke tar ut GROT. Ved høy substitusjonseffekt vil tilbakebetalingstiden være 95 år, altså en forbedring på fem år sammenliknet med ikke å ta ut GROT. Dette er i overensstemmelse med resultatet i kapittel 4.3 – best anvendelse av GROT gir en tilbakebetalingstid på rundt fem år.

De stiplede linjene illustrerer at det er store usikkerheter i modellen, spesielt i forhold til forutsetningen om karboninnhold i gammel skog.

4.4.3 Tilbakebetalingstid ved avvirkning og anvendelse av biomasse til energiformål og treprodukter – med uttak av hogstavfall (GROT)

Dersom vi antar at den fraksjonen av stammevirket som har kvalitet som trelast (20 prosent) blir til treprodukter, vil vi få en effekt i forlenget lagring av karboninnhold og at vi substituerer andre byggematerialer.

I kapittel 2 fastslo vi at klimautslippseffekten av å substituere andre byggematerialer med trevirke er vanskelig å kvantifisere, siden det avhenger av produktets funksjoner over levetiden. Vi har derfor ikke tatt den substitusjonseffekten med i regnestykket i figur 4-9. Figuren inkluderer forlenget lagring av karbon i treproduktet over produktets levetid og effekten av å produsere bioenergi med en substitusjonseffekt på 0,34 kg CO₂ per kWh av energivirke og GROT. Gitt en slik anvendelse av trevirket, vil tilbakebetalingstiden være rundt 95 år, noe som er tilnærmet lik effekten ved å bruke all biomassen til bioenergiproduksjon.

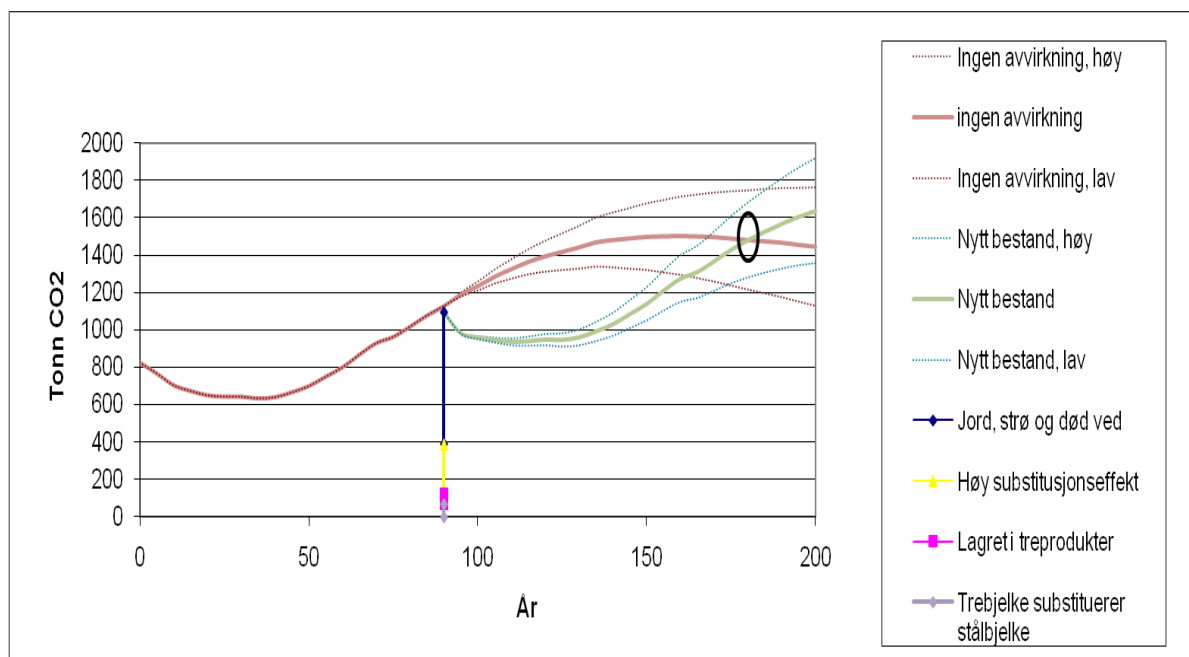


Figur 4-9 Utvikling av karbonlager (uttrykt som tonn CO₂ per hektar) i levende biomasse, jord, strø og død ved gitt økt avvirkning med uttak av GROT- kombinert med utslippsreduksjon ved substitusjon av fossil energi (høy substitusjonseffekt) og lagring i treprodukter.

Kilde: Norsk institutt for skog og landskap/ Klima- og forurensningsdirektoratet

I figuren over har vi som nevnt ikke tatt med effekten av å erstatte andre byggematerialer, da det er vanskelig å kvantifisere denne effekten over hele livsløpet til et bygg. Vi har imidlertid laget et regneeksempel for å se hva effekten vil være dersom vi erstatter en stålbjelke med en trebjelke. Bærebjelker er en byggekonstruksjon som ikke vil påvirke energibehovet til bygningen og heller ikke valg av tilliggende materialer, slik at det vil være produksjon av bygningsmaterialene som har størst påvirkning på utslippet gjennom livsløpet.

Figur 4-10 er lik figur 4-9, bortsett fra at den også inkluderer effekten av å bruke bærebjelke av tre. Vi ser at tilbakebetalingstiden vil være 90 år, altså litt kortere. Det betyr at det gir god gevinst om trematerialer kan erstatte stålkonstruksjoner, i de tilfellene der en vet at det er materialproduksjonen som utgjør den største delen av utslippet gjennom livsløpet, og der trematerialer vil gi et lavere utslipp gjennom hele livsløpet.



Figur 4-10 Utvikling av karbonlager (uttrykt som tonn CO₂ per hektar) i levende biomasse, jord, strø og død ved gitt økt avvirkning med uttak av GROT- kombinert med utslippsreduksjon ved substitusjon av fossil energi (lav substitusjonseffekt) lagring i treprodukter og substitusjon av stålbjelke.

Kilde: Norsk institutt for skog og landskap/ Klima- og forurensningsdirektoratet

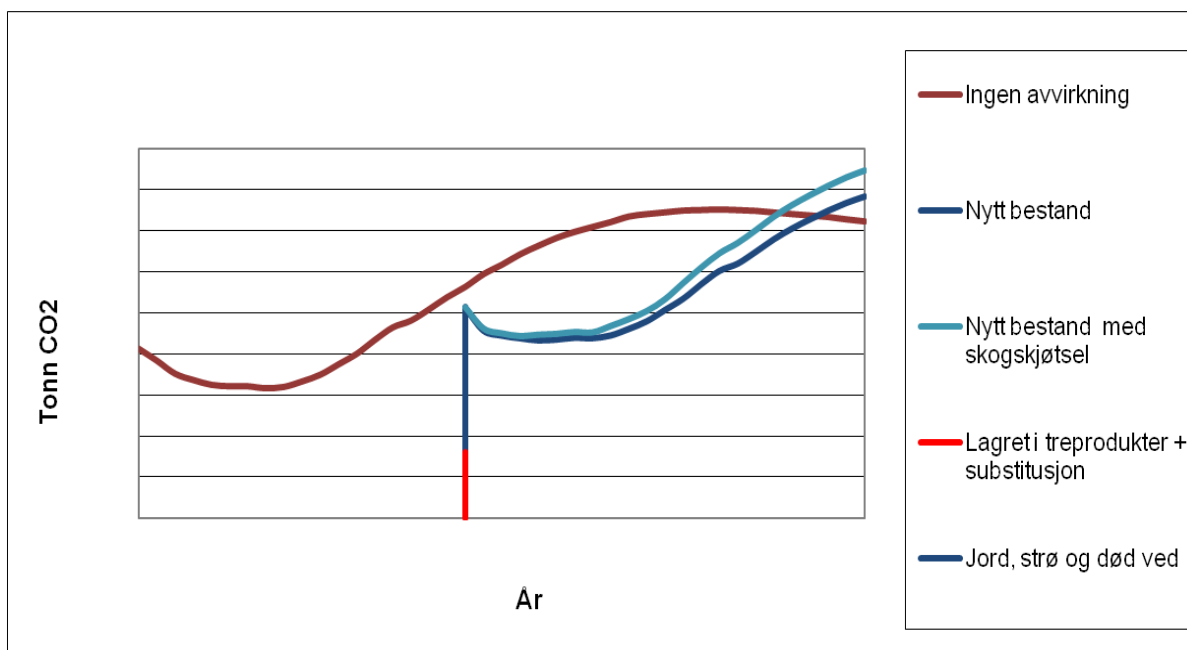
Som påpekt i kapittel 4.2.4, kan en oppnå større substitusjonseffekt ved å eksportere trevirke for å erstatte kull i kullkraftverk. Ved slik anvendelse kan substitusjonseffekten være rundt 0,8 kg CO₂ per kWh (Wolfgang og Mo 2007). Dette vil gi en overkompensasjon av utslippet ved avvirkning, og en vesentlig kortere tilbakebetalingstid.

4.5 Muligheter for å redusere tilbakebetalingstiden

4.5.1 Effekt av skogskjøtselstiltak

For å redusere tilbakebetalingstiden kan en gjennomføre tiltak i skogen gjennom aktive skogskjøtselstiltak. I kapittel 3 har vi beskrevet ulike tiltak som kan bidra til å "forsere" bestandsutviklingen, slik at en får en større tilvekstrate, et raskere CO₂-opptak og dermed en kortere tilbakebetalingstid. Slike tiltak er blant annet raskere bestandsetablering etter avvirkning, større plantetetthet, bruk av en større andel foredlet plantematerialet enn i dag, ungskogpleie og gjødsling. Slike skogskjøtselstiltak har ulike effekter på ulike skogtyper og effekten av tiltakene er ikke blitt beregnet i forbindelse med dette arbeidet.

Figur 4-11 er en prinsippskisse som viser at tilbakebetalingstiden er kortere ved gjennomføring av skogskjøtselstiltak. Vi ser at effekten av tiltakene vil øke mot slutten av omløpet. Det er fordi skogen i Norge vokser sakte.



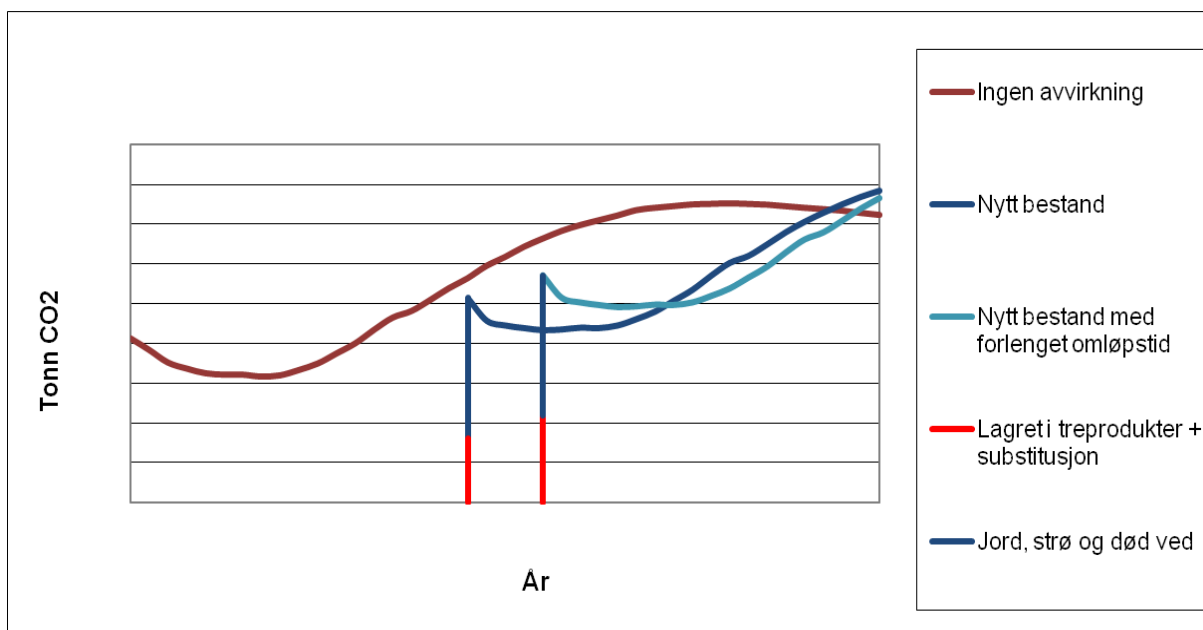
Figur 4-11 Effekt på tilbakebetalingstiden ved gjennomføring av skogskjøtselstiltak – en prinsippskisse.

I et klimaperspektiv vil det være viktig å gjennomføre skogskjøtselstiltak for å kompensere for deler av utslippet ved avvirkning. Ved å la avvirkning og skogskjøtsel gå ”hånd-i-hånd”, vil en forbedre det årlige opptaket av CO₂ i skogen, samtidig som en har mer tilgjengelig biomasse som kan erstatte fossile utslipp på permanent basis.

4.5.2 Effekt av forlenget omløpstid

En annen mulighet for å redusere tilbakebetalingstiden kan være å forlenge omløpstiden. Dersom en forlenger omløpstiden vil en avvirke på et tidspunkt der årlig opptak av CO₂ er redusert i forhold til hva som kan anses som det økonomisk optimale hogsttidspunktet for skogeier. I tillegg vil en ha mer biomasse tilgjengelig til bioenergiformål, samtidig som mer dødt organisk materiale blir liggende på bakken uten at det kan utnyttes.

Figur 4-12 er en prinsippskisse som viser at ved forlenget omløpstid, i forhold til hva som er økonomisk optimalt for skogeier, vil tilbakebetalingstiden være kortere.



Figur 4-12 Effekt av forlenget omløpstad utover det som er økonomisk optimalt for skogeier – en prinsippskisse

På grunn av et lavt avvirkningsnivå i dag (rundt 40 prosent av tilveksten), har store skogarealer allerede passert sin økonomisk optimale omløpstad for skogeier. Avvirkning i disse områdene vil gi en kortere tilbakebetalingstid enn i områder der skogen er yngre, som illustrert i figur 4-10. Mye av denne skogen ligger imidlertid i områder som er vanskelig tilgjengelig.

Forlenget omløpstad kan også være positivt for det biologiske mangfoldet. Samtidig kan forlenget omløpstad gi redusert kvalitet og verdi på trevirket, i tillegg til at det kan øke risikoen for råte, skogbrann og stormfelling. Gammel produksjonsskog er fra flere antydning å være mer sårbar for slike ekstreme hendelser. Dersom en skal oppnå forlenget omløpstad vil det være nødvendig med endrede virkemidler, siden det vil redusere lønnsomheten for skogeier.

4.6 Tilbakebetalingstid ved permanent økt avvirkning

4.6.1 Kvalitativ forståelse basert på modellkjøringene av et granbestand

Tilbakebetalingstiden vil være lengre ved en varig økning i avvirkning enn ved en enkelt avvirkning. Ved en permanent økning av avvirkningsnivået, skal vi ikke bare foreta økt avvirkning i 2011, men derimot i hvert eneste år framover. Med for eksempel 90 års tilbakebetalingstid vil avvirkning i 2011 være tilbakebetalt i 2091, og avvirkning i 2012 vil være tilbakebetalt i 2092, og så videre. Utslipet ved avvirkning vil med andre ord akkumulere fram til den første avvirkningen er tilbakebetalt i 2091.

Vi har sett på hvor lang tid det tar før en avvirkning utført i dag gir en lavere konsentrasjon av karbon i atmosfæren, sammenlignet med om det ikke ble avvirket. En økt avvirkning i perioden mellom 2010 og 2020 vil føre til en høyere karbonkonsentrasjon i atmosfæren til rundt år 2100, gitt forutsetningene i våre beregninger. Hvis den økte avvirkningen hadde pågått i en annen bestandstype vil tilbakebetalingstiden kunne bli kortere eller lengre, men prinsippet med tilbakebetalingstid vil være den samme.

Økt avvirkning fører til midlertidig lavere karbonlager i skogen. Samtidig gir det løpende tilgang til en større mengde biomasse som kan substituere fossilt brensel og energikrevende byggematerialer. Dette gjelder både for et enkelt bestand og for skogen som helhet. Skogen som helhet kan illustreres ved å summere alle enkelt bestandene (figur 4-3).

4.6.2 Et eksempel – tilbakebetalingstid ved økt avvirkning i skogen som helhet

I denne rapporten ble det tatt utgangspunkt i et granbestand på middels bonitet (G14) med 1500 trær per hektar i starttidspunktet. Det illustrerte mønsteret er overførbart til andre bestandstyper (boniteter, treslag, tettheter), men tilbakebetalingstiden er ikke direkte overførbart. Resultatene kan derfor ikke generaliseres direkte til å gjelde for økt avvirkning på nasjonalt nivå.

Tilbakebetalingstiden for permanent økt avvirkning, på nasjonal basis, avhenger av alderssammensetningen, sammensetningen av boniteter, treslag og tetthet i tillegg til aspektene som vi har sett på i scenarioene for avvirkning i et bestand. For eksempel vil høyere bonitet gi bedre produksjonsevne. På høye boniteter vil trærne nå sin mest produktive fase på et tidligere tidspunkt, slik at tilbakebetalingstiden blir kortere. Avvirkning av bjørk vil ha kortere tilbakebetalingstid enn avvirkning av gran og furu, fordi omløpstiden er kortere.

Tabell 4-2 viser variasjonen i omløpstiden mellom boniteter og treslag og gir en indikasjon på hvordan ulike boniteter og tresorter påvirker trærnes hogstmodenhetsalder.

Tabell 4-2 Nedre alder (total husholdningsalder) for hogstklasse 5 (hogstmodne trær)¹

Bonitetsklasse (H40)	Bjørk	Gran/Furu
23	40	60
20	50	70
17	60	80
14	70	90
11	70	100
8	70	110
6	80	120

¹Tallene i tabellen er hentet fra Norsk skogbrukshåndbok 1998 og viser den nedre aldersgrense for hogstklasse 5. Fra produksjonstabellen er hogstklasse 5 på G14 hogstmodne etter 100 år. Et senere hogsttidspunkt vil gi kortere tid før vi oppnår klimagevinst ved avvirkning.

Kilde: Heje og Nygaard 1998

Tabell 4-2 viser når henholdsvis bjørk og gran/furu er forventet å være hogstmoden, gitt ulike boniteter. For boniteten G14 er trærne forventet å være hogstmodne tidligst etter rundt 90 år (Heje og Nygaard 1998), som er det vi har tatt utgangspunkt i i våre beregninger. På samme bonitet for bjørk, ser vi at trærne er forventet å være hogstmodne tidligere, etter 70 år. Økt avvirkning på områder med høy bonitet kan forventes å gi en kortere tilbakebetalingstid enn avvirkning på lavere boniteter.

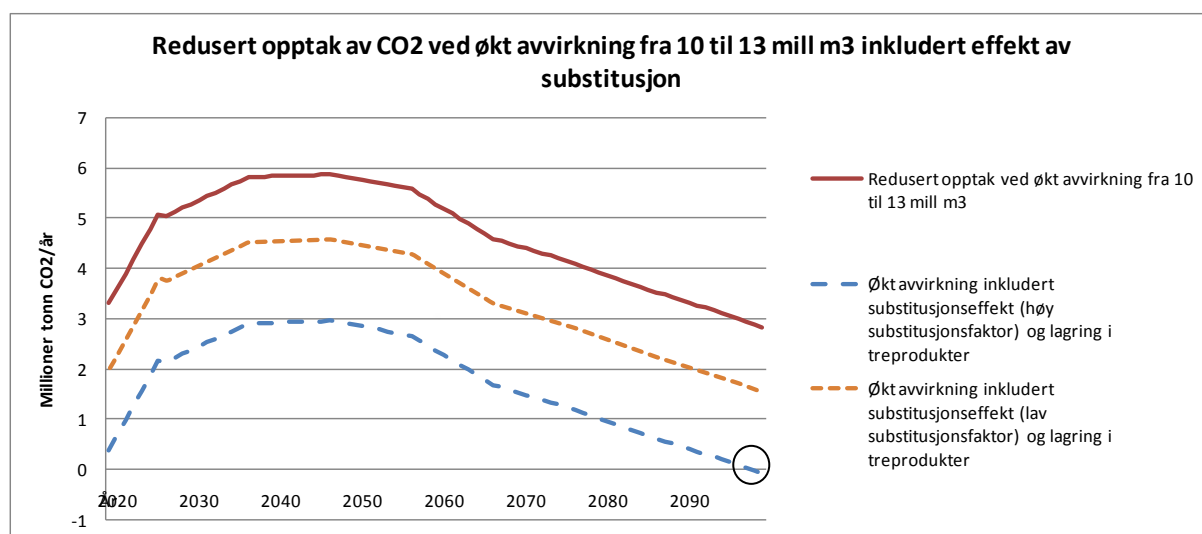
For å kunne si noe om tilbakebetalingstid ved permanent økt avvirkning på nasjonal basis, har vi benyttet oss av framskrivningene av årlig opptak av CO₂ i skogen, gitt ulike avvirkningsnivåer, som presentert i Klimakur 2020 og gjengitt i kapittel 3 i denne rapporten.

Siden framskrivningene omfatter hele skogen er det en representativ modell, men den bygger på mange antagelser, noe som gjør usikkerhetene store. Usikkerhetene rundt utviklingen i

karboninnholdet i gammel skog og i jordsmonn er særlig store, men også rundt hvilke skogtyper som antas å avvirkkes og hvilken skogbehandling som gjennomføres.

Som påpekt i kapittel 3, pågår det arbeid for å forbedre disse framskrivningene, spesielt knyttet til bedre å modellere utviklingen i karboninnhold de første årene etter avvirkning og i gammel skog. Endringer i utviklingen i gammel skog kan ha stor effekt på den beregnede tilbakebetalingstiden. Framskrivningene presentert i Klimakur 2020 benyttes likevel, siden det er det beste utgangspunktet vi har per dags dato. De benyttes her for å illustrere tilbakebetalingstiden ved permanent økt avvirkning.

Figur 4-13 viser redusert opptak av CO₂ gitt en økt avvirkning på 3 millioner kubikkmeter. Dette generer total biomasse på 7,4 TWh (inkludert uttak av 70 prosent skogsavfall) som kan anvendes til energiformål, og 0,6 millioner kubikkmeter som kan anvendes i treprodukter.



Figur 4-13 Redusert opptak av CO₂ ved permanent økt avvirkning med 3 millioner kubikkmeter, inkludert effekt av substitusjon. Basert på framskrivningene i Klimakur 2020. Millioner tonn CO₂ per år.
Kilde: Klimakur 2020

Den heltrukne linjen i figuren viser redusert opptak av CO₂ per år for en økt avvirkning fra 10 til 13 millioner kubikkmeter per år. Dette er beregnet ved å se på avstanden mellom avvirkning på 13 og 10 millioner kubikkmeter i figur 3.4 i kapittel 3. De stiplede linjene viser effekten dersom 80 prosent av avvirket trevirke og 70 prosent av hogstavfallet benyttes til å substituere fossile energibærere, samtidig som 20 prosent av trevirket brukes til treprodukter som forlenger karbonlagringen. Dette er de samme forutsetningene som ble benyttet i figur 4-8 over, der vi så på effektene av å avvirke et granbestand en gang.

Ved en høy substitusjonseffekt på 0,34 kg CO₂ per kWh vil det ta mellom 80–90 år før økt avvirkning fra 10 til 13 millioner kubikkmeter gir et årlig opptak av CO₂. Det kan være rimelig å anta at tiden det tar før akkumulert årlig utslipp er oppveiet av årlig opptak kan opp mot fordobles, men det kan også være kortere. Siden framskrivningene ikke går lengre enn til år 2100, kan vi ikke se når dette vil inntreffe.

Resultatet avhenger av hva som skjer med gammel skog, og hvordan den totale skogen forvaltes i framtiden. Dette bør inngå i nye modellberegninger. Om vi antar en relativ lineær sammenheng også etter 2100 år, kan vi anta at tilbakebetalingstiden vil opp mot fordobles.

4.7 Sammenligning med andre studier

4.7.1 Tilbakebetalingstid

Det er gjennomført flere studier det siste året som har sett på tilbakebetalingstid knyttet til avvirkning av skog og utnyttelse av biomasse fra skogen.

Rørstad et al. (2010) har sett på klimaeffekten av å benytte hogstavfall som grener og topper til bioenergiformål. Rørstad et al. (2010) finner at det i det løpende klimagassregnskapet vil ta 7–12 år før energiutnyttelsen av hogstavfall gir et positivt bidrag, avhengig av substitusjonseffekten. Når han ser på det akkumulerte utslippet, gir energiutnyttelse av hogstavfall et positivt bidrag etter 15–25 år. Dette er i samme størrelsesorden som vi har funnet i kapittel 4 i denne studien. Rørstad et al. (2010) antar et uttak av om lag 25 prosent av total mengde hogstavfall.

For en enkelt avvirkning viser Holtsmark (2010b) at det vil ta 80 år før utslipp ved avvirkning er tilbakebetalt. Dette er i samme størrelsesorden som vi har kommet fram til i våre beregninger.

Holtsmark (2010b) ser også på tilbakebetalingstid ved permanent økt avvirkning av boreal skog for bioenergiformål. Han forutsetter en avvirkning i skogen på 13 millioner kubikkmeter per år (en økning med 3 millioner kubikkmeter fra dagens avvirkning), i en skog med blandet alderssammensetning og et uttak av hogstavfall (grener og topper). Holtsmark har tatt utgangspunkt i en modell som viser framskrivning av karbonlageret i skogen. Denne modellen er forholdsvis enkel – den forutsetter kun ett treslag, og er laget for å illustrere effektene knyttet til karbonlagring i skogen gitt ulike scenarioer. Beregningene hans viser at tilbakebetalingstiden vil være 150–230 år, avhengig av hvordan biomassen anvendes. Dette gjelder både under hans forutsetning om at økt avvirkning skjer ved å redusere omløpstiden i skogen, og ved å avvirke på nye arealer. Det blir lavest tilbakebetalingstid om en anvender trepellets til å erstatte fossilt kull og høyest tilbakebetalingstid ved å erstatte fossil drivstoff med annen generasjon biodrivstoff.

Holtsmark illustrer også at tiltak som gir raskere omløpstid, vil ha positiv effekt på karbonregnskapet.

Vår modell går ikke langt nok fram i tid for å kunne svare på hvilken tilbakebetalingstid permanent økt avvirkning vil gi, men vi ser at resultatet kan være i samme størrelsesorden.

4.7.2 Implikasjoner av regelverk for beregning av klimanytte fra skog

Også internasjonalt begynner debatten om effektene knyttet til økt uttak av biomasse fra skogen å reises. I rapporten ”The upfront carbon debt of bioenergy” fra Joanneum Research (Zanchi et al. 2010) pekes det på at forutsetningen for karbonnøytralitet for biomasse bør differensieres knyttet til hvor raskt tilvekst etter foryngelse kan absorbere den mengden CO₂ som frigjøres ved avvirkning.

De introduserer begrepet karbonnøytralitetsfaktor (carbon neutrality factor, CN), som brukes til å beskrive forholdet mellom netto reduksjon/økning av CO₂-utslipp i bioenergisystemet med CO₂-utslipp fra det fossile energisystemet, som kan erstattes med bioenergi over en gitt periode.

Deres resultater viser at:

- Ved større uttak og anvendelse av hogstavfall enn i dag, vil utslippene reduseres med 10–40 prosent i en 20 års periode, sammenlignet med å la det brytes ned i skogen ($CN=0,6-0,9$).
- Økt avvirkning vil kunne gi økte utslipp til atmosfæren over en periode på 20–50 år ($CN < 0$) selv om fossile utslipp reduseres. De økte utslippene vil ikke være tilbakebetalt før etter 200–300 år.
- For planting av skog på nye arealer er resultatet avhengig av hvilke endringer som skjer i karbonlagre på grunn av endret arealbruk. Hvis endringene i karbonlageret er null eller positive (for eksempel hvis skog plantes på tidligere landbruksareal), kan anvendelse av biomasse fra nye plantasjoner være karbonnøytral i et kort tidsperspektiv. Hvis det er et initielt karbontap, (for eksempel ved omgjøring av naturskog til plantasje), vil biomassen som produseres ha en tilbakebetalingstid på 150–200 år.

Rapporten peker på at dagens systemer for beregning av klimagassutslipp/reduksjoner for bioenergi er mangelfulle. Den peker videre på hvordan et internasjonalt bokføringssystem kan forbedres for å oppveie disse begrensningene. Noen strategier som diskuteres er å få til en mer helhetlig inkludering av skog og landområder og bokføre karbonlager og opptak av CO_2 fra skog i forhold til hvordan trevirket faktisk anvendes, samt å anvende verdikjedetilnærminger og bærekraftskriterier.

Også disse resultatene er i tråd med hva vi finner – økt avvirkning gir en lang tilbakebetalingstid.

4.8 Virkemidler for økt etterspørsel og tilbud av biomasse

4.8.1 Virkemidler for økt etterspørsel etter bioenergi

Tømmerprisen er avgjørende for hvor mye det er lønnsomt for skogeierne å ta ut av skogen. Prisen bestemmes av tilbud og etterspørsel i tømmermarkedet. Det er utstrakt internasjonal handel med trevirke og verdensmarkedsprisen vil derfor være avgjørende for hvilken pris norsk tømmer kan selges for både på hjemmebane og internasjonalt.

Som beskrevet i kapittel 1 er det, som en oppfølging av Regjeringens bioenergiestrategi, allerede innført en rekke virkemidler for å øke etterspørselen etter bioenergi. Enova forvalter store midler til investeringsstøtte for innfasing av fornybar varme i varmesentraler og industri. Enovas midler er i en størrelsesorden slik at det vil ha stor betydning for å øke etterspørsel etter biomasse i Norge, gjennom å finansiere deler av investeringene som er nødvendig for å utnytte biomasseressursene. I tillegg til direkte stimulering av etterspørselen etter bioenergi bidrar avgifter på fossile energibærere også til økt etterspørsel etter bioenergi.

Gitt virkemiddelsatsingen og eksisterende og planlagt næringsvirksomhet, kan vi forvente en økning i etterspørsel etter biomasse fra skogen framover. Mye av råvarene som etterspørres vil imidlertid importeres og det er lite trolig at den økte norske etterspørselen vil være tilstrekkelig til at prisen på verdensmarkedet øker. Men, liknende virkemiddelbruk i andre land vil kunne øke den samlede etterspørselen på verdensmarkedet nok til at prisen øker. Selv uten økning i prisen vil det kunne skje en økning i tilbudet av råvarer fra norsk skogbruk. Økt etterspørsel etter bioenergi vil redusere risikoen for at markedet faller bort og kan gjøre at flere aktører vil være villige til å ta risikoen og gjøre nødvendige investeringer. Flere aktører som etterspør bioenergi ulike steder i landet vil også kunne gjøre at flere lokale aktører vil

kunne konkurrere til verdensmarkedspris ved å operere med lave transportkostnader og mer effektive logistikkjeder for bioenergi.

4.8.2 Virkemidler for klimamessig gunstig drift av skogen

Mens det er bevilget store midler for å øke etterspørsel etter biomasse, er betydelig mindre bevilget for å stimulere til økt uttak av norske biomasseressurser. Ut ifra resultatene i denne rapporten vil det være gunstig i et klimaperspektiv å øke uttaket av norsk hogstavfall som GROT og stimulere til økt gjennomføring av skogskjøtselstiltak.

Eksempler på virkemidler på tilbudssiden som kan settes inn for å:

- ***Bidra til økt uttak av GROT fra hogstmarka***

Kostnadene ved å ta ut GROT er høyere enn det som er bedriftsøkonomisk lønnsomt ved dagens råvarepriser. Dersom potensialet som ligger i økt anvendelse av GROT og annet skogsavfall skal utnyttes, vil det være behov for ytterligere virkemidler. Dette kan være enten økonomiske eller juridiske virkemidler, eller en kombinasjon av disse.

- ***Stimulere til skogskjøtselstiltak som ellers ikke ville blitt gjennomført***

Ikke alle skogskjøtselstiltak er bedriftsøkonomisk lønnsomme. Virkemidler for å fremme skogeiers avkastning ved avvirkning og forvaltning av skogen er beskrevet i Klimakur 2020s skograpport (Klima- og forurensningsdirektoratet 2010b).

- ***Forhindre avvirkning av ikke-hogstmoden skog***

Dersom en ønsker å øke avvirkningen, er det viktig at dette skjer i hogstmoden skog (hogstklasse 5). En kan risikere at bedre økonomiske rammebetingelser fører til økt avvirkning i områder der avvirkningen i dag allerede ligger opp mot optimalt nivå. Dette kan stimulere til avvirkning i hogstklasse 4 – skog som ikke enda er hogstmoden. Dette er ikke ønskelig i et klimaperspektiv, ettersom det betyr at skog som vil fortsette å ha et høyt CO₂-opptak i mange år avvikles. En bør ta hensyn til dette i utformingen av nye virkemidler.

- ***Bidra til at rydningsvirke tas ut og benyttes***

Det er i dag ikke bedriftsøkonomisk lønnsomt å ta ut rydningsvirke og bruke det til bioenergiformål. Dersom virkemidler kommer på plass kan en få tilgjengeliggjort bioenergi med en tilbakebetalingstid som er sammenliknbar som for GROT.

4.9 Oppsummering

I dette kapittelet har vi sett på utslipp som følge av økt uttak av hogstavfall og som følge av økt avvirkning. Videre har vi sett på hvordan ulik anvendelse av biomassen kan bidra til å redusere utslippet og på den måten gi en kortere tilbakebetalingstid. Vi har brukt minimumsverdier og maksimumsverdier for substitusjonseffekter, som beskrevet og diskutert i kapittel 2.

Tabell 4-3 oppsummerer resultatene av våre beregninger.

Tabell 4-3 Oppsummering av resultater ved ulik anvendelse av biomasse fra skogen

	Tilbakebetalingstid (år)
Økt uttak av GROT	
- Lav substitusjonseffekt (0,12 kg CO ₂ /kWh)	15
- Høy substitusjonseffekt (0,34 kg CO ₂ /kWh)	<5
Avvirkning – et granbestand	
- UTEN uttak av GROT	
- Lav substitusjonseffekt (0,12 kg CO ₂ /kWh)	>110
- Høy substitusjonseffekt (0,34 kg CO ₂ /kWh)	100
- MED uttak av GROT	
- Lav substitusjonseffekt (0,12 kg CO ₂ /kWh)	>110
- Høy substitusjonseffekt (0,34 kg CO ₂ /kWh)	95
- Høy substitusjonseffekt og lagring i treprodukter	95
- Høyere substitusjonseffekt gjennom substitusjon av byggematerialer	90
Permanent økt avvirkning – i skogen som helhet	
- Lav substitusjonseffekt (0,12 kg CO ₂ /kWh)	Usikkert, >110
- Høy substitusjonseffekt (0,34 kg CO ₂ /kWh)	Usikkert, >90

5. Konklusjon

Hovedformålet med denne rapporten har vært å se nærmere på hvordan skogen kan utnyttes til det beste for klimaet. Vi har vurdert effekter på karboninnholdet i atmosfæren ved å se på scenarioer med ulike forutsetninger i forhold til avvirkning, uttak av hogstavfall og anvendelse av biomassen opp mot å la produksjonsskog stå urørt. Videre har vi vurdert hvilke anvendelse av biomasse, etter at den er tatt ut av skogen, som vil gi størst utslippsreduksjon per enhet og hvilken anvendelse som er mest kostnadseffektiv.

Anvendelse av biomasse fra skogen

Vi har funnet at bioenergi med lav foredlingsgrad som erstatter fossil energi, gir størst reduksjon i utslipp av klimagasser per kubikkmeter trevirke. Å erstatte fossil energi med bioenergi med lav foredlingsgrad er også oftest mer kostnadseffektivt enn å erstatte fossil energi med flytende bioenergi, som har høy foredlingsgrad.

For noen utslippskilder er det få andre alternative energibærere enn bioenergi som kan bidra til å redusere klimagassutslippene, som for tungtransport og fly. I tillegg til en vurdering av absolutte utslippsreduksjoner og kostnadseffektivitet, kan mangel på alternative tiltak være med på å bestemme hvor biomasseressursene bør allokteres.

Bruk av biomasse til treprodukter gir forlenget lagring av karbon i tillegg til muligheten til å anvende materialet til energiproduksjon etter bruk. All bruk av treprodukter med lang levetid vil forsinke utslipp av CO₂ til atmosfæren. Det har imidlertid vist seg å være vanskelig å kvantifisere effekten substitusjon av byggematerialer som stål og betong vil gi over livsløpet. Vi har sett på et eksempel der trebjelke erstatter stålbjelke.

Tilbakebetalingstid

Avvirkning og forbrenning av trevirket vil gi et utslipp av klimagasser til atmosfæren. Det vil være en tidsforskyvning til dette utslippet et tatt opp igjen av ny skog som plantes etter avvirkning. Selv ved beste anvendelse av trevirket til lagring i treprodukter og substitusjon av fossile råvarer vil det bli en tidsforskyvning – her omtalt som tilbakebetalingstid.

Tilbakebetalingstiden ved bruk av biomasse fra skogen er svært avhengig av hvilke råvarer som blir benyttet. Anvendelse av skogsavfall til bioenergi vil kunne gi reduksjoner i karboninnholdet i atmosfæren på relativt kort sikt. Dersom potensialet som ligger i økt anvendelse av GROT og annet hogstavfall skal utnyttes, vil det imidlertid være behov for ytterligere virkemidler.

Avvirkning av trevirke har en betydelig lengre tilbakebetalingstid, men tilgjengeliggjør mer biomasse som kan anvendes blant annet for å erstatte fossil energi og produkter. Vi har bare beregnet effekter av en enkelt avvirkning av ett bestand og ett enkelt uttak av hogstavfall (grener og topper). En permanent økning i avvirkningsnivå eller uttak av hogstavfall vil gi lengre tilbakebetalingstid, kanskje oppimot en fordobling i forhold til våre resultater.

Dersom en avvirker, vil det være viktig å gjennomføre skogskjøtselstiltak som rask foryngelse etter avvirkning, økt plantetetthet og skogplanteforedling. Disse tiltakene vil gi større tilvekstrate, raskere karbonlagring og dermed kortere tilbakebetalingstid. Slike tiltak vil være viktig uansett avvirkningsnivå for å snu framtidig forventet trend med redusert årlig opptak av CO₂. Skogtiltak kan imidlertid komme i konflikt med biologisk mangfold og andre

naturverdier. Det vil være nødvendig med endrede rammebetingelser i skogbruket dersom skogskjøtselstiltakene skal utløses.

Modellen vi har benyttet viser at en omløpstid på 90 år ikke nødvendigvis er optimal i et klimaperspektiv, og at en forlenget omløpstid kan vurderes. Forlenget omløpstid utover det som er økonomisk optimalt for skogeier, vil kunne gi kortere tilbakebetalingstid, og kan være positivt for det biologiske mangfoldet. Dersom omløpstiden blir forlenget er det imidlertid større risiko for råteskader som vil redusere kvaliteten på trevirket. Dette vil redusere lønnsomheten for skogeier.

Når det gjelder spørsmålet om tilbakebetalingstid kommer både Holtsmark (2010) og Zanchi et al. (2010) til samme resultater som vi har vist i denne rapporten – at økt avvirkning gir et utslipp som det tar lang tid å vinne tilbake med påfølgende forynging på samme arealer.

Resultatene fra Zanchi et al. og Holtsmark er i samme størrelsesorden selv om de framkommer fra ulike modeller og forutsetninger. De viser at tilbakebetalingstiden er opp mot et århundre eller mer (avhengig av hva trevirket anvendes til) – og minst 150 år før karbonregnskapet blir positivt gitt permanent økt avvirkning.

Zanchi et al. (2010), Rørstad et al. (2010) og denne rapporten har sammenfallende resultater når det gjelder tilbakebetalingstiden ved uttak og anvendelse av hogstavfall.

Drøfting av resultatene

Hva som er den klimamessig beste bruken av skogen blir derfor en avveining mellom kortsiktige og langsiktige hensyn. Gjennom enkle modellberegninger har vi vist at avvirkning vil gi umiddelbare utslipp av klimagasser til atmosfæren som det vil ta tid å vinne tilbake, selv med god ”klimamessig” anvendelse av trevirket. Så lenge årlig tilvekst er større enn årlig avvirkning, vil karbonlageret fortsette å øke. Men dersom vi øker avvirkningen i forhold til dagens nivå vil karbonlageret øke saktere. Dette kan være et argument for å unngå et større avvirkningsnivå enn i dag, og på den måten i enda større grad enn i dag bruke skogen som karbonlager. Dette kan være viktig dersom en ønsker å bruke skogen for å redusere tilførselen av klimagasser til atmosfæren på kort sikt. Et begrenset avvirkningsnivå vil også være bra for det biologiske mangfoldet.

Med bakgrunn i dette kan det derfor argumenteres for at en skal unngå å øke avvirkningen fra dagens nivå. Imidlertid er det også argumenter som kan tale mot en slik strategi:

- En utfordring med å la skogen eldes og på den måten bruke den som karbonlager er at det er stor usikkerhet knyttet til størrelsen på karbonlageret i gammel skog og hvor stabilt et slikt karbonlager faktisk er. Hvor lenge vil skogen holde på karbonet, og hvor lang tid vil det ta før forråtnelsesprosesser fører til utslipp av klimagasser? Det er behov for ytterligere forskning for å bedre kunnskapen om endring i karbonlager i gammel skog.
- Det er viktig at vi i framtiden kan dekke vårt energibehov gjennom alternative teknologier som eksempelvis sol- og jordvarme og bølgekraft. Men selv om dette skjer vil det trolig fortsatt gjenstå flere områder der det ikke finnes andre alternative løsninger enn bruk av bioenergi for å redusere klimagassutslippene. Vi blir også flere mennesker på jorda, slik at behovet for energi og andre produkter er økende, noe som tilsier et større behov for å anvende skogen som en energiressurs i framtiden. For at skogen skal kunne levere produkter i et langsiktig perspektiv, både til treprodukter, papir og energi, er det viktig å

forvalte skogen på en bærekraftig måte i dag. Dersom skogen ikke avvirknes og forynges ved nyplanting, blir den gammel, og kvaliteten på trevirket vil forringes, for eksempel av råte – noe som gir færre produkter og lavere lønnsomhet og mindre forvaltning av skogen.

- Trevirke er en internasjonal råvare, og redusert avvirkning i Norge kan oppveies av økt import av tømmer og biobrensel fra land som ikke har lik praksis for nyplanting og skogskjøtsel som i Norge. Dette vil i så fall gi en negativ klimaeffekt. Dersom vi derimot kun importerer fra land som har rasktvoksende skog og god skogskjøtsel, får vi en kortere tilbakebetalingstid enn ved avvirkning i Norge. ”Karbonlekkasje”-problematikken er en like sentral problemstilling i denne som i andre sektorer.

FNs klimapanel skriver i 4. Hovedrapport (IPCC 2007b) at en på lang sikt vil oppnå størst karbongevinst fra skogen dersom gjennom bærekraftig skogforvaltning opprettholder eller øker karboninnholdet i skogen, samtidig som skogen leverer tilstrekkelige mengder tømmer og energivarer. Dette er i tråd med de vurderinger vi har gjort.

For å nå langsiktige klimamål vil det være nødvendig både å redusere fossile utslipp og utnytte skogens potensial som karbonsluk. Det er kunnskapshull knyttet til forståelse av utvikling av karboninnholdet i gammel skog, og det er behov for at det utvikles bedre modeller for å kunne studere dette nærmere. Men selv med bedre modeller og bedre kunnskap om fremtidig utvikling vil det ikke kunne gis et komplett bilde. Endret klima vil eksempelvis kunne påvirke effektene utover det vi klarer å forutse med modeller. Bedre kunnskap er viktig for å kunne innrette virkemidler og tiltak dersom skogen fortsatt skal være det karbonsluket og karbonlageret det er i dag, og samtidig levere råvarer til produkter vi trenger.

6. Referanser

- Alfredsen, G., B.R. Asbjørnsen, P.O. Flæte og E. Larnøy (2008). Miljøeffekter ved bruk av tre. Sammenstilling av kunnskap om tre og treprodukter. Oppdragsrapport fra Skog og landskap, 03/2008.
- Brekke A., I.S. Modahl og H.L. Raadal (2009). Livsløpsanalyse av cellulose, etanol og lignin og vanillin fra Borregaard, Sarpsborg. Østfoldforskning, OR0909
- de Wit H.A. og S. Kvindesland (1999). Carbon stocks i Norwegian forest soils and effects of forest management of carbon storage. Rapport fra Skogforskningen – Supplement 14.
- DFT (2009). Department for Transport sine internettsider:
<http://www.dft.gov.uk/pgr/roads/environment/research/cqvcf/internationalresourcecostsof3833?page=4#a1010>.
- EUs direktiv om fornybar energi (2009). Direktiv 2009/28/EC. Tilgjengelig fra: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009L0028:en:NOT>
- Enova (2010a). Informasjon på Enovas internettsider: www.enova.no
- Enova (2010b). Informasjon på Enovas internettsider:
<http://hjemme.enova.no/sitepageview.aspx?articleID=3254>
- Energihuset (2010). Brosjyre fra Energihuset om pelletskaminer.
http://www.energihuset.no/arkiv/brosjyre/pellets/BrosjyreWodtke_pelletskaminer.pdf
- Framstad, E., H. Berglund, V. Gundersen, R. Heikkilä, N. Lankinen, T. Peltola, O. Risbøl og M. Weih (2009). Increased biomass harvesting for bioenergy – effects on biodiversity, landscape amenities and cultural heritage values. TemaNord 2009:591.
- Gjølshj, S. og K. Hobbeldstad (2009). Energipotensialet fra skogen i Norge. Oppdragsrapport fra Skog og landskap 09/2009.
- Gobakken, T., N.L. Lexerød og T. Eid (2008). A forest simulator for bioeconomic analyses based on models for individual trees. Scandinavian journal of forest research, 2008, 23:250–265.
- Goksøyr H., B. Holtsmark, O. Norem og T. Refsdal (2010). Vil økt bruk av biobrensel fra norsk skog øke CO₂-utslippene? (Debattinnlegg). Forsking.no, 20. mars. 2010.
- Goksøyr, H. (2007). Skogvirke som brensel øker CO₂-problemet (Debattinnlegg). Teknisk Ukeblad 22. august 2007.
- Heje, K. K. og J. Nygård (1998). Norsk skogbrukshåndbok. Landbruksforlaget.
- Holtsmark, B. (2010a). Om tømmerhogst og klimanøytralitet. Økonomiske analyser 3/2010, 49-56.

Holtmark, B. (2010b). Use of wood fuels from boreal forests will create a biofuel carbon debt with a long payback time, Discussion papers 637, Statistics Norway Research Department, 2010.

IEA/OECD (2008). From 1st to 2nd generation biofuel technology – An overview of current industry and RD&D activities, November 2008.

IPCC (2007a). Climate Change 2007. Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Eds. Pongy, M.L., O.F. Canziani, P.J. van der Linden and C.E. Hanson]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2007b). Climate Change 2007. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Eds. Metz, B., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave and L.A. Meyer]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Johnson, K., F.N. Scatena, Y. Pan (2010). Short- and long-term responses of total soil organic carbon to harvesting in a northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management* 259, 1262-1267.

Kalnes, T., K.P. Koers, T. Marker, D.R. Shonnard (2009). A technoeconomic and environmental life cycle comparison of green diesel to biodiesel and syndiesel. *Environmental Progress & Sustainable Energy* 28(1): 111-120.

KanEnergi/ INSA (2009). Vurdering av biodrivstoff i transportsektoren, tiltak, virkemidler, effekter og kostnader i 2020 og 2030. Rapport. KanEnergi/INSA, 2009.

Klimaforliket (2008). Arbeiderpartiet, Sosialistisk Venstreparti, Senterpartiet, Høyre, Kristelig Folkeparti og Venstre – Avtale om klimameldingen og merknader til St. meld. nr. 34 (2006-2007) Norsk Klimapolitikk, Oslo, 17. januar 2008.

Klima- og forurensningsdirektoratet (2010a). National Inventory Report 2010. Norway. Greenhouse Gas Emissions 1990-2007 reported according to the UNFCCC Reporting Guidelines. Hentet fra:
http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/5270.php

Klima- og forurensningsdirektoratet (2010b). Tiltak og virkemidler for økt opptak av klimagasser fra skogbruk. Sektorrapport Klimakur 2020. TA-nr. 2596/2010.

Klima- og forurensningsdirektoratet/ KanEnergi (2007). Bioenergiprojektet – Klimamessige vurderinger ved utnyttelse av biomasse fra skogen. Internt arbeidsnotat.

Klima- og forurensningsdirektoreatet, Oljedirektoratet, NVE, Veidirektoratet og SSB (2010). Tiltak og virkemidler for reduserte utslipp av klimagasser i Norge mot 2020 og senere. Hovedrapport Klimakur 2020. TA-nr. 2590/2010.

Langerud, B., S. Størdal, H. Wiig og M. Ørbeck (2007). Bioenergi i Norge – potensialer, markeder og virkemidler. ØF-rapport nr. 17/2007.

- Laser, M., E. Larson, B. Dale, M. Wang, N. Greene og L.R. Lynd (2009). Comparative analysis of efficiency, environmental impact, and process economics for mature biomass refining scenarios. [Eds. Wyman, C.E. og G. Huber]. *Biofuels, Bioproducts and. Biorefining* 2009 Vol. 3 No. 2 pp 247–270.
- Liski, J., T. Palosuo, M. Peltoniemi, R. Sievanen (2005). Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling*, 189:168–182.
- Lunnan, A., S. Navrud, P.K. Rørstad, K. Simensen og B. Solberg (1991). Skog og skogproduksjon i Norge som virkemiddel mot CO₂-opphoping i atmosfæren. *Aktuelt fra Skogforsk*, nr. 6-1991.
- Luyssaert, S., E.D. Schulze, A. Börner, A. Knohl, D. Hessenmöller, B.E. Law, P. Clais and J. Grace (2008). Old-growth forests as global sinks. *Nature* Volum 455/11, september 2008.
- Lyng, K-A., A. Brekke, B.I. Vold, I. Saur Modahl og A. Rønning (2010). Skog som biomasseressurs. Livsløpsdata for utslipp av klimagasser for skog til ulike formål. Østfoldforskning, OR3010.
- NFR (2007). Foresight rapport. Biodrivstoff og bioenergi. Norges Forskningsråd, 2007.
- Nilsen, P., K. Hobbelstad og N. Clark (2008). Opptak og utslipp av CO₂ i skog. Vurdering av omløpstid, hogstmetode og hogstfredning for CO₂-binding i jord og trær. Oppdragsrapport fra Skog og landskap 06/2008.
- Norsk institutt for skog og landskap (2010). *Langsiktig løft for kunnskap om framtidens energi*. http://www.skogoglandskap.no/forskningsartikler/2010/langsiktig_loft_for_framtidens_energi. Hentet ut: 15.01.2011.
- NS 3031 (2007). Beregning av bygningers energiytelse – metode og data. Standard Norge.
- Nurmi, J. (2007). Recovery of logging residues for energy from spruce (*Picea abies*) dominated stands. *Biomass and Bioenergy*, 31/2007, 375-380.
- NVE (2007). Håndbok 1-2007. Kostnader ved produksjon av kraft og varme. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE (2010a). Tilgang til fornybar energi i Norge. Et innspill til Klimakur 2020. Norges vassdrags- og energidirektorat, 2010.
- NVE (2010b). Tiltak og virkemidler for redusert utslipp av klimagasser fra norske bygg. Sektorrapport Klimakur 2020. TA-nr. 2599/2010.
- OED (2008). Strategi for økt utbygging av bioenergi. Olje- og energidepartementet, Oslo.
- Palosuo, T., M. Peltoniemi, A. Mikhailov, A. Komarov, P. Faubert, E. Thürig and M. Lindner (2008). Projecting effects of intensified biomass extraction with alternative modelling approaches. *Forest Ecology and Management* 255, 1423-1433.

Rørstad, P.K., E. Trømborg, E. Bergseng og B. Solberg (2010). Combining GIS and forest modelling in estimating regional supply of harvest residues in Norway. *Silva Fennica* 44(3): 435–451.

Wolfgang, O. og B. Mo (2007). Reduserte CO₂ utslipp som følge v økt fornybar kraftproduksjon i Norge. SINTEF Energiforskning AS, november 2007.

Monsen, B.E., A.P. Ratvik, E. Skybakmoen, T. Strøm, H. Kolderup, A.B. Øye, H. Justnes, L. Kolbeinsen og T. Lindstad (2009). Tiltak og virkemidler for reduksjon av klimagasser i norsk prosessindustri. Rapport A11606. SINTEF, 2009

SSB (2010a). Avvirkning av industrivirke for salg, alle treslag, etter kjøpergruppe og fylke. 2007. m3. <http://www.ssb.no/emner/10/04/20/skogav/2007/tab-2008-10-23-02.html>. Hentet ut: 09.09.2010.

St. meld. nr. 26 (2006–2007). Regjeringens miljøpolitikk og rikets miljøtilstand. Miljøverndepartementet.

St. meld. nr. 34 (2006–2007). Norsk klimapolitikk. Miljøverndepartementet.

St. meld. nr. 39 (2008–2009). Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen. Landbruks- og matdepartementet.

Sverdrup-Thygeson, A. og E. Framstad (2007). Bioenergitiltak og effekter på biomangfold. NINA Rapport 311.

Sveriges Lantbruksuniversitet (2010). Statistik om skog från Riksskogstaxeringen. Avverkning. <http://www.slu.se/sv/webbtjanster-miljoanalys/statistik-om-skog/avverkning/>. Hentet ut: 10.02.2011.

Tijmensen, M.J.A., A.P.C. Faaij, C.N. Hamelinck and M.R.M van Hardeveld (2002). Exploration of the possibilities for production of Fischer Tropsch liquids and power via biomass gasification. *Biomass and Bioenergy*, 23/2002, 129-152.

Verenium (2009). Informasjon på Verenium sine nettsider: www.verenium.com

Zanchi, G., N. Pena og N. Bird (2010). The upfront carbon debt of bioenergy. Joanneum Research, 2010.

7. Vedlegg

7.1 Vedlegg 1 – Definisjoner

Avskoging: Arealbruksendring fra skog til et annet formål.

Avvirkning: Avvirkning er det samme som hogst. Avvirkning blir ofte påfulgt av foryngelse for å opprettholde skogarealene.

Brutto balansekvantum: Brutto balansekvantum er det høyeste jevne kvantum vi kan avvirke i dag ved et gitt skogbehandlingsprogram, uten at vi behøver å senke det i framtiden.

Betinget fornybar ressurs: En betinget fornybar ressurs er en ressurs som er fornybar gitt at den forvaltes riktig. Skog er fornybar dersom det sørges for foryngelse etter avvirkning.

Bonitet: Bonitet er et uttrykk for markas evne til å produsere trevirke. Jo høyere bonitet, jo bedre produksjonsevne.

GROT: Grener og topper.

Hogstavfall: Grener og topper (GROT), nåler/lauv, bar, røtter og stamme.

Karbonnøytral energi: Begrepet karbonnøytral energi benyttes her for bioenergi der bioenergiressursene i sin levetid tar opp like mye CO₂ som den slipper ut.

Klimaeffekt: Klimaeffekt betyr hvordan karboninnholdet i atmosfæren påvirker det klimatiske systemet og hvordan temperaturen endrer seg.

Kostnadseffektivitet: Oppnå et mål til lavest mulig samfunnsøkonomisk kostnad.

Kostnadseffektivitetsbrøk: Redusert utslipp av fossil CO₂ per krone.

Massevirke: Massevirke er tømmer som ikke holder kvalitetskravene til sagbrukene, og som derfor sendes til treforedling. Der blir massevirket kjemisk eller mekanisk behandlet til papirmasse.

Naturskog: Naturskog er definert som naturlig forynget skog av naturlig, lokalt genmateriale. De naturlige økologiske prosessene er styrende for skogens struktur, sammensetning og utvikling. Inngrep kan ha forekommet (for eksempel plukkhogst), men aldri så mye at prosessene er sterkt undertrykket og de økologiske forholdene vesentlig endret.

Netto balansekvantum: Netto balansekvantum finner en ved å ta utgangspunkt i brutto balansekvantum og trekke fra de skogarealene som er økonomisk vanskelig å drive på grunn av avstand til skogsbilvei (over 1,5 km) og en bratthet på 90 prosent samt et generelt fratrekk på 10 prosent av miljøhensyn.

Omløpstid: Tiden det tar fra planting til avvirkning.

Produksjonsskog/kulturskog: Defineres som skog preget av skogkultur som tynning, planting, grøfting og så videre. Skogen får ofte et monokulturpreg, der alle trærne er omtrent like gamle.

Ressurseeffektivitet: Ressurseeffektivitet vil si hvor mye utslippene blir redusert per kubikkmeter biomasse. Det samme som substitusjonseffekt.

Skogbehandlingsprogram: Et skogbehandlingsprogram inkluderer et bestemt sett av skogskjøtselstiltak som for eksempel tynning og gjødsling.

Skogplanteforedling: Produsere og bruke frømateriale som gir planter med optimal tilpasning til ulike klimaforhold, god stamme- og vedkvalitet og høy tilvekst.

Skogskjøtsel: Tiltak som øker produktiviteten og dermed CO₂-opptaket i skogen.

Skogsavfall: Hogstavfall, tynningsvirke, rydningsvirke, med mer.

Skurtømmer: Skurtømmer er tømmer med beste kvalitet og som kan brukes til trelast.

Substitusjonsfaktor/substitusjonseffekt: Hvor store utslipp av klimagasser fra fossil energi som kan erstattes per enhet bioenergi, uttrykt som kg CO₂-ekvivalenter redusert utslipp per kubikkmeter trevirke eller per kWh energi.

Syngasser/syntesegasser: Syngass eller syntesegass er en gassblanding bestående av karbonmonoksid, karbondioksid og hydrogen. Syngass er et viktig utgangspunkt for mange prosesser i kjemisk industri. Syngass framstilles som oftest ved reformering av et karbonholdig flytende eller gassformig brensel som for eksempel naturgass eller diesel. Syngass kan også framstilles av faste brenslere som kull og tre. Forholdet mellom karbonmonoksid og hydrogen som benyttes i produksjonen. Syngass brukes både til brensel og som råvare i kjemisk industri.

Uttak av biomasse: Uttak av biomasse inkluderer innsamling, transport og opparbeiding av biomasse fra skogen.

Virkningsgrad: Virkningsgrad er forholdet mellom avgitt effekt og tilført effekt. Virkningsgrad både i produksjon og i anvendelse.

Tilbakebetalingstid: Antall år fra avvirkning til karboninnholdet i atmosfæren er det samme som om det ikke ble avvirket. Utslippsreduksjoner som følge av substitusjon av fossil karbon er inkludert.

7.2 Vedlegg 2 – Anvendelse av biomasse fra skog for å redusere klimagassutslipp

Dette kapitlet gir en detaljert beskrivelse av de ulike tiltakene knyttet til bruk av biomasse som ble utredet som tiltak i Klimakur 2020, inkludert forutsetninger om virkningsgrader.

7.2.1 Fast biobrensel til direkte varmeproduksjon eller til fjernvarme

Fast biobrensel brukes til varmeformål og omfatter både, pellets, flis, briketter, ved og bark.. Her vil vi konsentrere oss om flis, og pellets/briketter, fordi de anses som de viktigste formene for fast biobrensel.

Flis

Flis er en type uedlet fast biobrensel. De viktigste råstoffkildene er av industrielle biprodukter, slik som rivningsvirke, heltre, tynningsvirke eller GROT. Råvarene blir sendt til en flishogger enten i eller utenfor skogen. Flis har et relativt høyt fuktighetsinnhold, derfor inngår tørking som en viktig del av produksjonen. Tørr flis er et lagringsdyktig brensel, men fuktig flis begynner å kompostere hvis en lar den ligge for lenge. I Norge benyttes mye flis og spon fra trelast-/trevareproduksjon som innsatsfaktor i produksjon av bygningsplater, mens dette i Sverige i langt større grad brukes til produksjon av foredlet biobrensel som trepellets og -briketter til varmeproduksjon.

I Klimakur 2020 ble det sett på tiltak innen konvertering av oljekjeler til flis i varmeproduksjon i industrien eller til leveranse til næringsbygg. Det er også blitt utredet bruk av flis i næringsmiddelindustri og annen industri og i landbrukssektoren som erstatning for olje, propan og el. I nærings- og servicebygg kan det være god økonomi å anvende flis i anlegg fra ca. 300 kW. På landbrukseiendommer er det vanlig med fliskjeler fra ca. 50 kW. I industrien ble det utredet tiltak for fast biobrensel som til erstatning for oljefyr.

Produksjonsvirkningsgrad.

Det er svært lite konverteringstap i forbindelse med produksjon av flis, dermed er produksjonsvirkningsgraden nær 100 prosent (vi har lagt inn 98 prosent).

Virkningsgrad for bruk

I Klimakur 2020 ble det forutsatt at virkningsgraden for bruk i eksisterende pelletskjeler i bygg er 72 prosent mens det for nybygg er 78 prosent. For tiltakene i industrien ble det antatt at kjel for fast biobrensel erstatter oljekjel. Det forutsettes at ny biokjel har samme virkningsgrad som oljekjel (90 prosent). Det vil imidlertid kunne være at eldre oljekjel har lavere virkningsgrad enn dette, og at det kan oppnås en gevinst i favør av kjel for fast biobrensel.

Pellets og briketter

Briketter er biobrensel som er komprimert eller presset til stavformede ”kubber” med diametre større enn 50–75 mm. Lengden på brikettene varierer fra noen få centimeter opp til 20 cm avhengig av produksjonsprosessen. På samme måte som briketter er pellets sammenpresset flis, men basert på en mer finmalt råvare og med lengder mindre enn 25 mm. Standarddiametre er 6, 8 og 12 mm.

Råvarer og produksjon

Flisen som brukes til å produsere pellets og briketter er i all hovedsak biprodukter fra trevareindustrien eller egen produksjon av flis. Tørre og oppmalte råvarer kan presses direkte,

mens andre råvarer som bark og rivningsavfall må kuttes til mindre flis, homogeniseres og tørkes før de kan presses. Materiale som skal pelletteres må være under en viss dimensjon, normalt ikke større enn 3–6 mm, derfor må det kvernes. Videre skal pelletsen presses. Det er viktig at pelletsen har et bestemt fuktighetsnivå i pelletspressene og for å kompensere for materiale som er for tørt kan en tilsette fuktighet gjennom vann- eller dampinjeksjon. Når pelletsen kommer ut av pelletspresseren er den varm og myk og må kjøles ned for å bli herdet. Videre må den soldes før den går til ferdigvarelager.

Produksjonsvirkningsgrad

Produksjonsvirkningsgraden til pellets er høy I Klimakur 2020 ble det forutsatt at produksjonsvirkningsgraden for pellets i dag og fram mot 2020 er 95 prosent.

Bruken av pellets

Pellets konkurrerer delvis i samme marked som el og olje, det vil si i private hjem og i små og mellomstore varmesentraler. Til oppvarming av boliger er det vanligste anlegget enten en pelletskjel, det vil si en kjel koblet til et vannbårent varmedistribusjonssystem (sentralvarme) eller en pelletsovn/-kamin (punktvarme). I enkelte små fjernvarmeanlegg (blant annet Røros, Holmen og UMB i Ås) brukes det pellets. Pellets har bruksegenskaper (transport, lagring og regulering av forbrenningen) som ligner på olje. Derfor kan oljefyrte anlegg ofte forholdsvis enkelt konverteres til pelletsfyring.

Pellets og briketter har en rekke fordeler i forhold til uforedlet biobrensel (som ved og skogsflis). Pellets og briketter har 3–4 ganger høyere energiinnhold per volumenhet enn flis. Dette gir lavere transportkostnader og redusert lagerbehov. Pellets og briketter er også homogent brensel, noe som gir enklere regulering av forbrenningen. Videre har pellets og briketter stabile lagringsegenskaper og minimale tap ved lagring over lenger tid. Investeringskostnaden på forbrenningssiden er også lavere enn ved for eksempel flis, og det er enklere for brukere å konvertere oljefyrte anlegg til foredlet biobrensel.

Virkningsgraden i bruk er høy. Vi ser at ulike kilder oppgir ulike virkningsgrader. I Klimakur 2020 ble NS 3031(2007) lagt til grunn for i forutsetninger av virkningsgrader. For pelletskaminer ble det forutsatt virkningsgrad på henholdsvis 68 prosent og 73 prosent på eksisterende og nye boliger/næringsbygg. Andre kilder operer med høyere virkningsgrader for bruken. I følge Enova (2010b) har en pelletskjel en virkningsgrad på opptil 95 prosent, mens en pelletskamin har virkningsgrad på 85 prosent. Til sammenligning har ved en virkningsgrad på rundt 60 prosent. Virkningsgraden kan øke når størrelsen på kjelanlegg og pelletskaminer øker. Pelletskaminer med vannvarming kan også ha høyere virkningsgrad (opp mot 90 prosent) (Energihuset 2010).

Barrierer for bruken av pellets

Markedet for pellets har generelt økt de siste årene, men det er et umodent marked som er sårbart for svingninger i råstofftilgang og -priser, samt for endringer i offentlig støttenivå. Overgang til fornybare energikilder i husholdningene er en prosess som vil ta tid. Pelletskaminer er dyrere i innkjøp enn vedovner. Installering av pelletskaminer krever også ny pipe (ved bruk av eksisterende pipehull må det brukes reduksjonsoverganger på grunn av ulik diameter). Videre er det høyere driftskostnader enn vedkjeler og varmpumper. Det er også nødvendig med vedlikehold og oppfølging, for eksempel må brennerhodet rengjøres jevnlig. Enkelte kaminer har noe viftestøy og ved påfylling av trepellets kan det støve noe. Det er nødvendig med strømkobling for pelletskaminer, og de fungerer derfor ikke som backup ved strømbrytning.

Ved

Klimakur 2020 utredet også tiltaket konvertering fra parafinovn til vedovn, kombinert med panelovner i boliger. Prisen for ved er lav, men tiltakskostnaden er likevel høy på grunn av høye partikkelutslipp som bidrar til lokal luftforurensning.

7.2.2 Virkningsgrader benyttet i byggtiltakene

Ved anvendelse av biomasse vil utforming av kjeler og ovner avgjøre hvor godt energien utnyttes. Følgende virkningsgrader ble benyttet i tiltaksvurderingene i byggstudien i Klimakur 2020 (NVE 2010b).

Tabell V2-1 Virkningsgrader benyttet i tiltaksvurderingene i byggstudien i Klimakur 2020.

	Virkningsgrad boliger		Virkningsgrad næringsbygg	
	Eksisterende	Nybygg/rehabilitering	Eksisterende	Nybygg/rehabilitering
Oljekjel	72 %	77 %	72 %	77 %
Gasskjel	77 %	81 %	77 %	81 %
Parafinkamin	72 %	77 %	72 %	77 %
Elkjel	86 %	88 %	86 %	88 %
Panelovn	98 %	98 %	98 %	98 %
Fjernvarme	86 %	88 %	86 %	88 %
Vedovn	60 %	75 %		
Pellets-kamin	68 %	73 %	68 %	73 %
Pellets/flis-kjel			72 %	77 %
VP vann-vann	208 %	226 %	208 %	226 %
VP luft-luft	198 %	216 %	198 %	216 %

Kilde: NVE 2010b

7.2.3 Biodrivstoff

Biomasse fra skogen kan brukes til å lage andregenerasjons biodrivstoff. Andregenerasjons biodrivstoff regnes for å være bedre enn førstegenerasjons biodrivstoff når det gjelder reduksjonspotensial for utslipp av klimagasser, arealeffektivitet, krav til benyttet landareal og konkurranse i forhold til matproduksjon. Teknologier for å produsere andregenerasjons biodrivstoff er mer avanserte enn dagens første generasjons biodrivstoff. Det er hovedsakelig to hovedruter innen for produksjon av andregenerasjons biodrivstoff: Termokjemisk konvertering til biodiesel og biokjemisk konvertering til celluloseetanol.

Produksjonsvirkningsgrad

Andregenerasjons biodrivstoff har relativt lav virkningsgrad i produksjonen. I dag konverteres kun 35–50 prosent av energimengden i råstoffet ved produksjon av andregenerasjons biodiesel, og kun 25 prosent av råstoffet ved produksjon av andregenerasjons bioetanol (Kanenergi/ INSA 2009). Til sammenligning har førstegenerasjons biodrivstoff basert på sukker, stivelse og vegetabiliske planteoljer en typisk virkningsgrad på 60–90 prosent. Selv om teknologier på lab- eller pilotstadiet viser potensial for høye virkningsgrader, er det ikke dokumentert at prosessene med høyt utbytte fungerer i industrielle anlegg.

Det er flere faktorer som kan bidra til å øke virkningsgraden for andregenerasjons biodrivstoff. For det første vil virkningsgraden kunne øke dersom produksjon av andregenerasjons biodrivstoff integreres med andre prosesser, for eksempel i et bio-raffineri

slik at en får utnyttet biproduktene, eks lignin ved produksjon av bioetanol. Bioraffinering kan også integreres med petroleumsraffinerier, produksjon av kraft og varme og CO₂-håndtering. Laser et al. (2009) har gjennomført en studie hvor det ble undersøkt synergieffekter ved ulike integrasjonsmuligheter i bioraffinerier og hvordan dette ville øke virkningsgraden. En annen mulighet for å øke virkningsgraden er å utnytte spillvarmen. Produksjon av andregenerasjons biodiesel med ekstern utnyttelse av spillvarmen, for eksempel til fjernvarme til erstatning for olje kan komme opp mot 70 prosent i følge Norges Naturvernforbund. Dette er en optimistisk forutsetning som forutsetter at det er behov for varme store deler av året, og at det er olje som erstattes av denne spillvarmen. Gassrensning er en mulig vei å gå for å øke virkningsgraden. Ved å rense varm syntesegass, slipper en å kjøle ned gassen før synteseprosessen (NFR 2007). Tabell V2-2 viser en oppsummering av ulike rapporters anslag for virkningsgrader for biodrivstoff.

Tabell V2-2 Variasjon i virkningsgrader for produksjon av andregenerasjons biodrivstoff

	2010	2020	Referanser
<i>Andregenerasjons biodiesel</i>			
	40 %	50 %	Klimakur 2020 (KanEnergi/ INSA (2009))
	50 %		Informasjon fra Choren i KanEnergi/ INSA (2009)
		12–35 %	IEA/OECD (2008)
		52 %	Kalnes et al. (2009)
		40 %	Tijmensens (2002)
<i>Celluloseetanol</i>			
		12–35 %, teoretisk 51 %	IEA/OECD (2008)
	25 %	44 % (2015)	Verenium (2009)
		opptil 55 %	Laser et al. (2009)
		49 % 73 %*	DFT (2009) Brekke et al. (2009)

*forutsettes produsert i bioraffineri hvor det også produseres bioprodukter

I våre beregninger har vi valgt å legge til grunn en virkningsgrad på 50 prosent for syntetisk biodiesel og 35 prosent for celluloseetanol. Dersom etanolen blir produsert i et bioraffineri forutsetter vi en virkningsgrad på 73 prosent.

Barrierer for produksjon av andregenerasjons biodrivstoff

I dag finnes det ingen produksjonsanlegg for andregenerasjons biodrivstoff i fullverdig kommersiell størrelse. Det er usikkert om det er mulig å industrialisere andregenerasjons drivstoff i noe særlig omfang før 2020. En viktig årsak til dette er at teknologiene fremdeles er på et tidlig modenhetsstadium. Det er fremdeles betydelig behov for forskning, utvikling og demonstrasjon for å vise driftssikkerhet, forbedre ytelse og redusere kostnader. Selv om de fleste delprosessene både for produksjon av syntetisk diesel og celluloseetanol allerede er kjent, har de et potensial for å bli mer effektive.

Utslippsreduksjoner, kostnader og kostnadseffektivitet

I Klimakur 2020 ble det forutsatt at alt biodrivstoff ble importert. Det ble likevel sett på et regneeksempel hvor en så på norsk produksjon av andregenerasjons biodiesel og bioetanol.

Det ble her forutsatt at produksjonen av biodrivstoff ville foregå i et bioraffineri hvor en også produserte andre bioprodukter (eksempelvis biomaterialer, bioplast osv). Det er hovedsakelig kostnader knyttet til uttak av råvarer som medfører at norskprodusert andregenerasjons biodrivstoff blir dyrere importert. I Klimakur 2020 ble det lagt til grunn at det ble brukt furu massevirke og at kostnaden for råvaren (uttak og transportert) til bioraffineriet vil være 0,20 kroner per kWh i 2020. Dette er dobbelt så høye råvarekostnader som raskt voksende skog i tropiske områder. Forutsatt samme konverteringsteknologi og kostnader som i andre land, gir dette en merkostnad på 490 kroner per tonn CO₂ redusert. Det er i regneeksempelet forutsatt at et norsk fullskalaanlegg er ferdigbygd i 2025, mens det andre står ferdig i 2030. Det forutsettes at hvert anlegg skaleres opp slik at de til sammen bruker 14 TWh tømmer. Årlig utslippsreduksjon i 2025 og 2030 blir i dette eksempelet da 1,05 millioner tonn og 2,1 millioner tonn i 2030. Det ble her forutsatt at dette biodrivstoffet kunne brukes i alle transportsektorene.

Dersom vi ser for oss at vi ser for oss at det blir brukt andregenerasjons biodrivstoff i basert på norsk skog i tiltakene som er utredet innen Klimakur 2020 vil kostnadene bli noe høyere og utslippsreduksjonen noe lavere enn det som er vises i tabellen. Dette er fordi det i Klimakur 2020 ble forutsatt at alt biodrivstoffet er importert og dermed har 100 prosent klimagassgevinst. Hvorvidt det er mulig å bruke norsk andregenerasjons biodrivstoff avhenger blant annet av tidspunkt for kommersialisering og råvaretilgangen. I 2030 er det forutsatt en økning til 20 prosent i bruken av biodrivstoff i alle sektorer utenom jernbane.

7.2.4 Produksjon av biokull og lagring i jordbruksjord

Råstoff, typer og mengder

Det er i Klimakur 2020 utredet tiltak for produksjon av biokull enten av halm eller av skogsavfall. Tiltaket som omhandler bruk av skogsavfall forutsettes det at 750 000 tonn skogsavfall med et energiinnhold på 3,5 TWh, omdannes til biokull og bioolje. Skogsavfall kan imidlertid, på samme måte som tømmer og ved, i stedet benyttes til energiproduksjon.

Teknologi og produksjonsvirkningsgrader

Trekull dannes av biomasse, og skjer enten ved skogbranner eller styrte prosesser. Teknologien har vært anvendt i mange hundre år til å lage trekull og tretjære. I nyere tid er det utviklet mer kontrollerte og industrialiserte prosesser for å fremstille trekull, gass og bioolje. I pyrolyseprosessen varmes biomassen opp til 500–600 grader ved lav oksygentilgang. I prosessen omdannes ca. 50 prosent av karbonet til biokull, 30 prosent til bioolje og 20 prosent til såkalte syngasser¹⁶.

Energien i syngassene brukes til å drive pyrolyseprosessen og et eventuelt overskudd kan muligens utnyttes til oppvarmingsformål. Omtrent halvparten av oljen kan utnyttes som drivstoff i kjøretøyer (andregenerasjons biodrivstoff) og resten til oppvarmingsformål. Mobile pyrolyseanlegg er under utprøving i Sverige. Slike anlegg vil ha store fordeler ettersom biokullet da kan produseres i nærheten av det området der det skal spres. Ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) på Ås utprøves mikrobølgeteknikk og en fabrikk basert på denne teknologien er under bygging (med EU-støtte) på Notodden. Kapasiteten er på 15–20 000 tonn biomasse/år.

¹⁶ Syngassene er en blanding av CO₂, CO og CH₄ og mindre mengder av andre gasser.

Ettersom utvikling av en teknologi for produksjon av biokull ved pyrolyse er i en tidlig fase, er det knyttet stor usikkerhet til kostnadene og kostnadseffektiviteten.

Virkningsgrad for biokull for binding i jord og som jordforbedringsmiddel ligger i intervallet 40–80 prosent avhengig av fordelingen mellom biokull, bioolje og syngasser. Denne virkningsgraden omfatter både produksjon og bruk.

Bruksområder

Både åker og eng er aktuelle spredningsarealer for biokull med en antatt jordforbedrings-effekt. Ved et anslått lagringspotensial på 20 tonn karbon per dekar og 10 millioner dekar åker og eng blir det totale potensialet 200 millioner tonn C¹⁷. Det vil i så fall kunne lagres 2 millioner tonn karbon per år i 100 år tilsvarende en CO₂-reduksjon på vel 7 millioner tonn per år. Det er derfor i utgangspunktet råstofftilgangen som begrenser dimensjoneringen av tiltaket. Skulle det av ulike årsaker være grunner til å begrense spredningen av biokull på jordbruksjord, kan lagring i deponi være et alternativ.

Det antas at biokull har en positiv effekt som jordforbedringsmiddel. Effektene kan bestå i alt fra forbedret jordstruktur, evne til å absorbere vann og utnyttelse av nitrogen som plantenæringsstoff til mulige immobilisering av plantevernmidler. Forbedret utnyttelse av plantenæringsstoffer kan utnyttes til å opprettholde avlingsnivå ved redusert mengde gjødsling, med tilhørende lavere utslipp av klimagasser. Alternativt kan en hente ut økt avling uten å redusere gjødslingen.

Eksport av biokull for forbrenning i kullkraftverk er også en mulighet, men vil ikke bedre den norske utslippsbalansen. Biomasse kan dessuten alternativt tilføres kullkraftverk *i form av briketter/pellets*. Sett i lys av dette er det derfor tvilsomt om det er kostnadseffektivt først å bruke energi og kapital/arbeidskostnader til pyrolysen

Utslippsreduksjon, kostnader og kostnadseffektivitet

Hvor mye karbon som kan lagres i biokull vil avhenge av mengde råstoff (skogsavfall, halm). Klimakur 2020 tok utgangspunkt i mengder som kan bidra til å lagre over en million tonn CO₂-ekvivalenter. Kostnadseffektiviteten er svært usikker, men kan komme ned mot 300 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter for skogsavfall, men det forutsetter store enheter og prosess teknisk forbedring.

Bygging av større pyrolysefabrikker vil trolig senke enhetskostnadene betydelig. Samlokalisering og drift sammen med andre aktiviteter, som produksjon av biogass fra gjødsel og våtorganisk avfall og biprodukter fra jordbruket som avlingsrester, gress og ensilasje med dårlig kvalitet, vil også kunne gi muligheter til rasjonalisering, bedre ressursutnyttelse og kostnadsreduksjon.

Alternativt kan en gå for mobilt pyrolyseutstyr som vil redusere kostnadene til innsamling og transport vesentlig. Den store fordelen ligger i pyrolyse av skogsavfall samtidig eller i samme operasjon som en samler det inn og spredning av biokull i én og samme operasjon. Ved mobil pyrolyse mister en imidlertid synergien ved samlokalisering med biogassanlegg, slik at fordeler og ulemper må veies mot hverandre.

Barrierer og hindringer

¹⁷ Det må imidlertid forskes mer på hvilke jordtyper som egner seg til spredning av biokull, dette arealet er nevnt som et eksempel på potensialet.

Utslippsreduksjonene i forbindelse med tiltaket krediteres ikke med dagens internasjonale regelverk i utslippsregnskapet. Med stor internasjonal fokus og forskning som dokumenterer biokullets inerte egenskaper, vil beregningsmetodikken for skog, arealbruk og arealbruksendringer kunne endres fram mot 2020, slik at utslippsreduksjoner kan godskrives.

En annen hindring er at den kommersielle teknologien er lite moden, på tross av at pyrolyse som sådan har vært kjent lenge. Dette betyr også at kostnadene er lite avklart.

7.2.5 Biokull til reduksjonsmidler

Biokull kan også benyttes som reduksjonsmiddel i industrien, der det erstatter bruk av fossilt kull. Energiinnholdet i biokull er ca. 8,5 kWh per kg. Energiinnholdet i biokull fra 700 000 tonn halm (tørrestoff) tilsvarer ca 1,21 TWh. Det brukes i liten grad biokull i norsk industri i dag, hovedsakelig blir det brukt kull og koks. Klimakur 2020 har utredet flere tiltak for substitusjon av fossile reduksjonsmidler i ferrolegeringsindustrien (produksjon av ferrosilisium, silisiummetall, ferromangan og silikomangan).

Trekull (biokarbon) er en type foredlet biobrensel som kan brukes som brensel erstatning av fossile reduksjonsmidler i ferrolegeringsindustrien som omfatter både. I dag brukes det hovedsakelig koks og kull til dette formålet. Trekull blir produsert ved termokjemisk omdanning av biomasse uten tilførsel av oksygen (pyrolyse).

I Klimakur 2020 ble det identifisert et potensial for utslippsreduksjoner på 1,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter fra trekulltiltakene. Dette utgjorde en stor andel av potensialet for reduksjoner innen industrien. Ikke alle tiltakene kan innføres sammen, men at noen er alternativer til hverandre. Også innen anodeproduksjon er det identifisert tiltak som innebærer bruk av trekull som pakkoks.

Det er forutsatt at virkningsgraden er henholdsvis 54 prosent for erstatning av koks og 43 prosent for erstatning av kull. Virkningsgradene som er lagt inn i Klimakur 2020 er basert på hele verdikjeden fra uttak i skog til erstatning av fossile reduksjonsmidler.

Barrierer og hindringer

I dag brukes det trekull i liten grad i ferrolegeringsindustrien. Overgang til bruk av trekull i stort omfang krever at bedriftene i ferrolegeringsbransjen får tilgang til tilstrekkelige mengder trekull av en kvalitet som oppfyller de strenge kravspesifikasjonene som industrien stiller til reduksjonsmidlene, og at prisen på trekull blir konkurransedyktig med prisen på fossilt kull og koks. Videre gjenstår det å demonstrere i full skala at en eventuelt kan opprettholde god drift på ovnene med en høy andel trekull som reduksjonsmiddel og at produktkvaliteten ikke påvirkes negativt. Det må derfor påregnes tid til nødvendig utvikling og utprøving av teknologien.

Videre er det tekniske begrensninger knyttet til hvor stor trekullandel som er realistisk uten av det får konsekvenser for kvaliteten på det ferdige produktet. Trekullet må også være av rett kvalitet for at dette skal la seg gjennomføre. I ferrosilisium- og silisiummetallbransjen er det utfordrende å redusere andelen fossile reduksjonsmidler til under 20 prosent (Monsen et al. 2009).

7.2.6 Bioolje

Som nevnt over er bioolje et produkt fra pyrolyse og kan brukes til å erstatte fyringsolje til oppvarming. Den kan også brukes til drivstoff eller som råvare i produksjon av andregenerasjons biodiesel. I Klimakur 2020 ble det sett på et tiltak med bioolje til

oppvarming av bygg. Det ble sett på konvertering oljekjeler til bioolje i boliger og næringsbygg. I tillegg er det sett på tiltak innen fjernvarmeanlegg, hvor innført energi enten kan være bioolje, flis eller olje. Tiltakene innen fjernvarme kommer ut som samfunnsøkonomisk lønnsomme, mens konverteringstiltakene i bolig- og næringsbygg har en positiv kostnad.

Virkningsgraden for produksjon av bioolje ble i Klimakur 2020 forutsatt til å ligge i intervallet 58–88 prosent. Virkningsgradene for produksjon av fjernvarme som ble lagt til grunn i Klimakur 2020 er basert på gjennomsnittlig fjernvarmeproduksjon i Norge i 2008. Innfyrt energi både flis, avfall og olje. I 2010 er denne satt til 70 prosent mens det for 2020 er forutsatt en økning til 75 prosent.

7.2.7 Prisforutsetninger for beregning av kostnadseffektivitet i Klimakur 2020

Prisene på fossil energi er beregnet ut fra en råoljepris på 400 kroner per fat og kvotepris på 350 kroner per tonn. Prisene for bioråvare er tatt fra NVEs håndbok 1-07 eller på sist observerte listepriis (NVE 2007) Tabell V2-3 gir en oversikt over noen viktige prisforutsetninger benyttet i Klimakur 2020. Prisene er uten avgifter.

Tabell V2-3 Energipriser benyttet i Klimakur 2020

	Ren energipris (kr/kg eller kr/liter)	Ren energipris per energienhet (kr/kWh)
Lettolje (småforbruker)	4,65	0,46
Lettolje (storforbruker)	4,65	0,42
Bensin	3,89	0,43
Diesel	4,24	0,42
Skogsflis, bulk	0,45	0,19
Pellets, bulk	1,41	0,29
Varmesalg, fra sentral	0,51	0,51
Ved	0,66	0,26
Biodiesel til private	7,53	0,71
Biodiesel til storforbrukere	6,77	0,64
Kraft, spot		0,48 (i tillegg kommer nettkostnad og nettleie)

7.3 Vedlegg 3 – Forutsetninger for tiltak i livsløpsanalysen

For alle verdikjedene i livsløpsanalysene er utslippsendringen regnet om til utslipp i kg CO₂ per uttatt fastkubikkmeter (fm³) biomasse. Utgangspunktet er furu med 40 prosent fuktighet, brennverdi på 2 138 kWh per fm³ og tetthet på 440 kg tørrstoff (TS) per fm³. Dette er samme forutsetninger som er gjort for tiltakene fra Klimakur 2020 i tabell 4.1. Det antas videre at utslippet knyttet til selve uttaket av biomasse fra skogen (hogstmaskiner etc.) er likt for alle alternativene. Opprinnelig data for uttak fra de individuelle studiene er derfor erstattet med en beregnet verdi på 6,75 kg CO₂-ekvivalenter per fm³.

Varmeproduksjon

For biomasse til varmeproduksjon er det sett på forbrenning i vedovn. Antar en virkningsgrad på 50 prosent, vil utslippet fra verdikjeden være 65 kg CO₂ per fm³. Erstatte en gasskraft, vil en spare 183 kg CO₂ per fm³, mens en ved å erstatte vannkraft vil få et utslipp på 63 kg CO₂ per fm³. Utslippsdata relatert til vannkraftproduksjon er hentet fra en publisasjon fra 1998 (Vold et al. 1998), og er den mest komplette studien som er gjort til nå.

Varme- og kraftproduksjon

Det er blitt sett på to typer anlegg: Ett lite anlegg med avsetning til boligformål og ett anlegg som er tilknyttet til industrien. Det lille anlegget ligger i nærheten av skogen, slik at transportavstanden er liten. Det antas at trevirket omdannes til flis. Produksjonsanlegget har en elektrisk effekt på 1 MW. Dersom en antar at el-virkningsgraden er 16 prosent, og varmevirkningsgraden er 64 prosent vil en ved substitusjon av oljefyring og gasskraft spare 516 kg CO₂ per fm³.

Erstatte en fjernvarmemiks og vannkraft vil substitusjonseffekten være 181 kg CO₂ per fm³. Den lave substitusjonseffekten er et resultat av lavere virkningsgrad på varme i fjernvarmenettet på 19 prosent. Behovet for varme varierer over året, slik at det i noen perioder vil være lavere produksjon. El-virkningsgraden er 36 prosent.

Anlegget som er antatt å være tilknyttet industrien, ligger lenger bort fra skogen og har dermed høyere utslipp relatert til transportfasen. Det er her antatt at trevirket omdannes til pellets og at produksjonsanlegget har en elektrisk effekt på 100 MW. Det antas videre at el-virkningsgraden er 27 prosent og at varmevirkningsgraden er 63 prosent.

Substitusjonseffekten vil være 729 kg CO₂ per fm³ dersom en erstatte oljefyring og el. En erstatning av fjernvarmemiks og vannkraft vil til sammenligning gi en substitusjonseffekt på 211 kg CO₂ per fm³.

Biodiesel

Mengde produsert biodiesel per fastkubikk uttatt trevirke og mengde konvensjonell diesel som erstattes per fastkubikk er beregnet på grunnlag av mengde produsert energi per kg tørt trevirke.

I produksjonen av biodiesel kan en anvende både bioenergi og fossil energi. Bruker en bioenergi inn i produksjonen vil en ved å erstatte konvensjonell diesel spare 265 kg CO₂ per fm³. Til sammenligning vil bruk av fossil energi inn i produksjonen gi et utslipp ved substitusjon på 69 kg CO₂ per fm³. Det er i dette tilfellet forskjellen i direkte CO₂-utslipp i produksjonen som er betydningsfull. Det antas at det er det produseres Fischer Tropsch (FT)

diesel i begge tilfellene. Virkningsgraden for FT-anlegget er på 58 prosent. Dette er en høy virkningsgrad sammenlignet med litteraturkilder.

Bioetanol

Når det gjelder bioetanol, er det blitt sett på to ulike verdikjeder; en med bioetanol fra fokusert prosess (dvs. hvor formålet kun er å produsere etanol) og en med bioetanol fra bioraffineri.

For førstenevnte verdikjede er effekten av å erstatte bensin er 368 kg CO₂ per fm³. Det er da antatt at virkningsgraden i produksjonsanlegget er 36 prosent. Til sammenligning er substitusjonseffekten 738 kg CO₂ per fm³ dersom bioetanol fra bioraffineri erstatter bensin, der virkningsgraden i produksjonsanlegget er antatt å være 73 prosent. I bioraffineri har en en god utnyttelse av trestokken ved at en bruker biprodukter fra produksjonen. Det forklarer den høye virkningsgraden.

Bærebjelke i tre

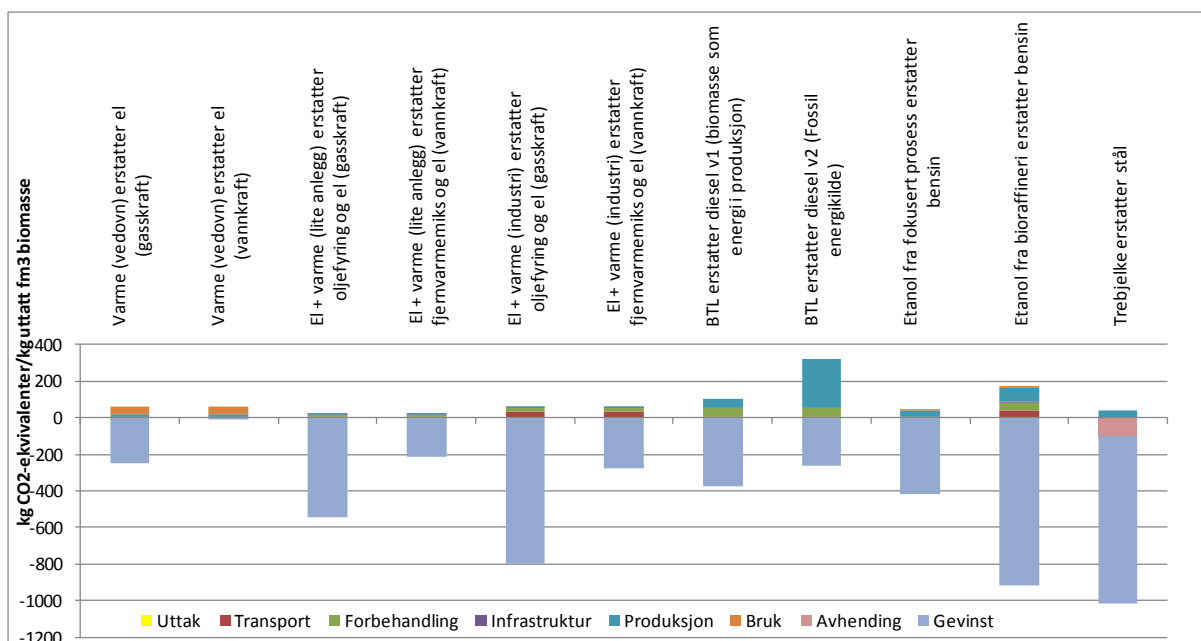
Når det gjelder bruk av tre som byggematerialer, har Norsk institutt for skog og landskap på oppdrag fra Landbruks- og matdepartementet gjort en litteraturstudie der de har sett på miljøeffekter ved bruk av tre (Alfredsen et al. 2008). I 60 prosent av studiene de har gjennomgått (12 studier) finner de at tre er det beste miljøalternativet, i 35 prosent av studiene (7 studier) var det ingen eller liten forskjell, mens 5 prosent av studiene (1 studie) viste at alternative materialer var best. De fleste av disse studiene er "cradle to gate" studier som ikke får med seg bruksfasen til byggene der materialene brukes. Det betyr at en ikke får med energibruken og levetiden og vedlikeholdsbehovet til bygget noe som kan gjøre disse resultatene mangelfulle. Vi har derfor valgt kun å se på substitusjon av materialer der materialbruken ikke påvirker energibruk, levetid eller vedlikeholdsbehov i særlig grad.

Bærebjelke i tre er et byggematerial som verken påvirker byggets energibruk gjennom levetiden eller valg av tilliggende materialer. Det antas at trebjelken etter endt levetid inngår i bioenergiproduksjon som erstatter oljefyring.

Erstatter en en stålbjelke er det beregnet en innsparing på 964 kg CO₂ per fm³. I tillegg vil karboninnholdet i trevirket forbli lagret i bjelkens levetid. Dette kan naturlig nok endres ut fra andre forutsetninger knyttet til produksjon av materialene og håndtering etter bruk. Det må derfor sees som et eksempel på et mulig nivå.

Oppsummering av livsløpsanalysene

Figur V3-1 illustrerer effekten av bruk av biomasseresurser fra skog gjennom de ulike delene av livsløpet og utslippsgevinst ved erstatning av andre produkter. Utslipp knyttet til uttak er her bare knyttet til hogstmaskinger i skogsbruket. (Utslipp av biologisk karbon fra avvirkningen av tømmer eller uttak av avfallsprodukter og tynningsvirke inkluderes i beregningene i kapittel 4).



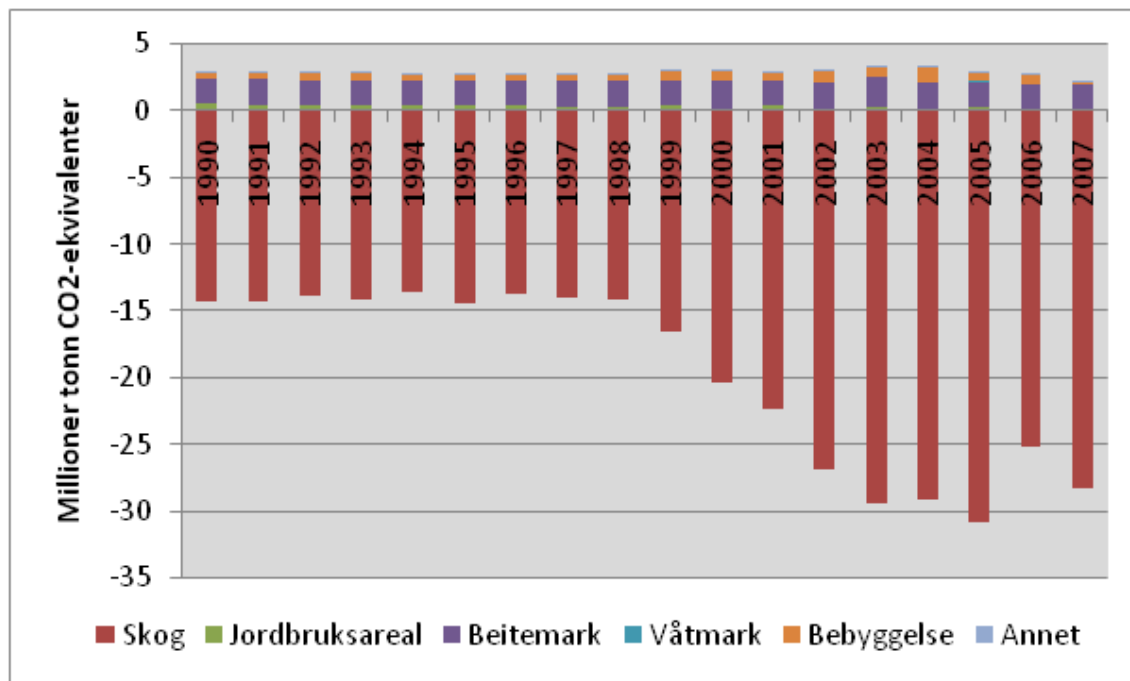
Figur V3-1 Illustrasjon av effekter over ulike deler av verdikjeden (Lyng et al. 2010).

Figuren viser at det er gevinst ved substitusjon av andre energibærere som bidrar mest for det totale utslippsregnskapet for alle systemer. Om biodiesel fra trevirke (Biomass to liquid, BTL) produseres med bruk av fossil energi vil produksjonsleddet bidra med større utslipp enn substitusjonen. Om BTL produseres med bioenergi som energivare, blir utslipp fra produksjonen mye lavere, og ved substitusjon med fossilt drivstoff gir dette en total utslippsreduksjon av fossil energi.

7.4 Vedlegg 4 – Historisk opptak av CO₂ i skogen og framskrivninger

7.4.1 Metode for beregning av historisk opptak av CO₂ i skogen

Figur 3-2 og Figur 3-3 i kapittel 3 viser historisk opptak av klimagasser i norske skoger og forholdet mellom tilvekst og uttak. Figurene er gjengitt under.



Figur V4-1 Årlig utslipp av CO₂ fra LULUCF-sektoren i perioden 1990–2007. Merk at negative tall er opptak

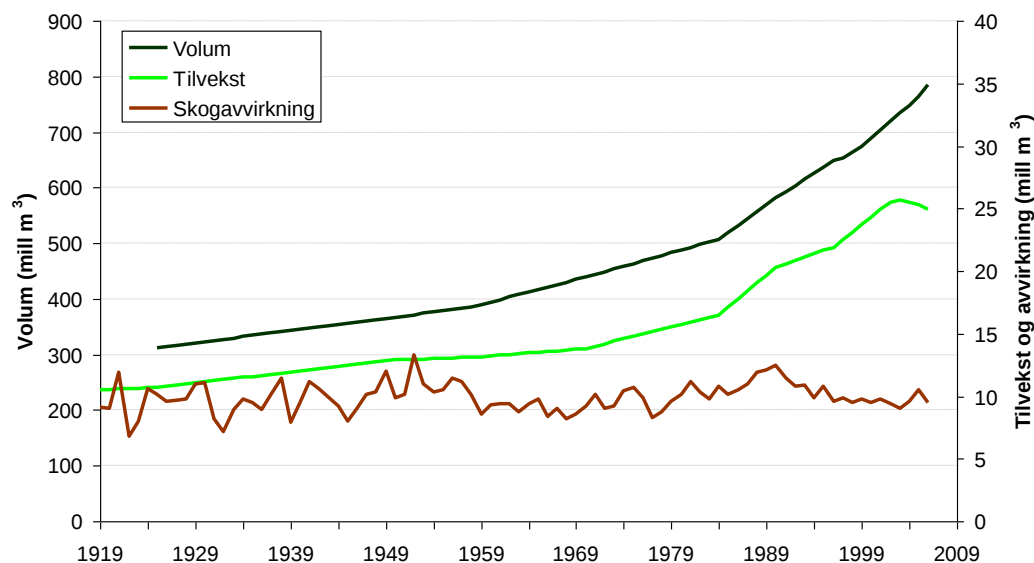
Kilde: Norsk institutt for skog og landskap

Figur V4-1 viser at opptaket av klimagasser i norsk skog har vært relativt stabilt fra 1990 til 1998, før vi får en kraftig vekst i det årlige opptaket. Kalkuleringen av karbonopptak i levende biomasse er basert på datainnhenging fra permanente prøveflater. Det nåværende systemet med permanente prøveflater ble etablert mellom 1986 og 1993, region for region. Fra 1994 har en innhentet data ved å besøke de samme prøveflatene hvert femte år. Det vil si at 1/5 av alle prøveflatene besøkes hvert år.

Det er ingen data tilgjengelig for årene mellom 1990 og 1998. Estimatenes for årene 1991 til 1997 er derfor framkommet ved bruk av lineær intrapolering basert på verdier for 1990 og 1998. Estimer for 1990 er basert på observasjoner i perioden 1986–1993, mens estimer for 1998 er basert på observasjoner i femårsperioden 1994–1998.

Verdier på opptak etter 1998 er basert på observasjoner hentet fra de permanente prøveflatene hvert femte år.

Figur V4-2 viser utvikling i volum, årlig tilvekst og skogavvirkning i perioden 1919–2007.



Figur V4-2 Utvikling i volum, årlig tilvekst og skogavvirkning i perioden 1919–2007. Volum leses av fra venstre akse i figuren og tilvekst og hogst fra høyre akse.

Kilde: Statistisk sentralbyrå og Norsk institutt for skog og landskap

Årlig CO₂-opptak er avhengig av mange faktorer, slik som vekstvilkår, alderssammensetning, avvirkningsnivå og arealbruksendringer. Spesielt variasjon i årlig avvirkningsnivå har mye å si for det årlige CO₂-opptaket. Figur 2 viser forholdet mellom årlig tilvekst og årlig avvirkning. Årlig tilvekst har økt mye de siste ti-årene på grunn av aktiv skogskjøtsel rundt 1950, da årlig plantetall var rundt 100 millioner planter, mot dagens 23 millioner planter. Tilveksten er også et resultat av noe økt skogareal, spesielt på Vestlandet.

Vekstfunksjonen til et tre er utformet som en S, med en lav vekstrate de første årene, før den etter noen år skyter fart og avvtar etter hvert som treet blir eldre. Trærne som ble plantet rundt 1950 har nå nådd sin mest produktive fase med en høy tilvekstrate. Det forklarer den sterke veksten i årlig tilvekst.

7.4.2 Usikkerhet i framskrivningene for opptak av CO₂ i skog

Som for alle typer prognoser er det flere forhold som gjør at det reelle opptaket i skogen vil bli forskjellig fra det som er vist i scenarioene i Figur 3-4. Modellkjøringene er usikre og dette skyldes til dels at forutsetninger lagt til grunn er usikre og endres over tid, eller det kan skyldes samspillet mellom modellstrukturen og usikkerhet rundt de anvendte parametre.

Følgende 3 forhold har stor betydning for scenarioene:

- (1) Modellstruktur og parametre: modellverktøyet ble utviklet for å lage prognoser for skog med aktiv skjøtsel (avvirkning, tynning etc.). I disse scenarioene blir det i en stor del av skogen ikke drevet aktiv skjøtsel, noe som betyr at en oppnår en stor andel gammel skog. Modellverktøyet har stor usikkerhet med hensyn til utvikling i gammel skog. Siden mange faktorer slik som råte, insektskader, vindfall ikke direkte er representert i modeller er det kanskje en tendens til at karbonbindingen i gammelskog overvurderes.
- (2) Klimaeffekter: modellen inkluderer en forventning om en økt tilvekst i skogen på grunn av et varmere framtidig klima. Det er usikkerheter knyttet til både hvordan klimaet utvikler seg de neste 100 år og effekten av klimaendringer på skog. Scenarioene inkluderer tilvekstøkning

som følge av et varmere klima, men inkludere ikke mulige negative effekter av et endret klima slik som økt skade og kalamitets frekvens. I prinsippet gir dette kanskje også en tendens til overvurdering av karbonbinding i gammel skog.

(3) Avvirkning: hvilken alder og skogtype som i framtiden kommer til å bli avvirket har veldig stor effekt på CO₂-opptaket. Konkrete antagelser om hvor i landet og hvilke skogtyper som avvirkes er derfor sentrale for scenarioene. I disse senarioene antas det at den regionale fordeling av avvirkningen er ganske lik dagens fordeling. Dette er ikke nødvendigvis korrekt siden framtidens ressurstilgjengelighet, med mye hogstmoden granskog på vestlandet, kanskje kommer til å endre dette. Det er vanskelig å si hvilken effekt dette har på senarioene og flere analyser som avdekker denne effekten bør foretas.

7.5 Vedlegg 5 – Skogskjøtselstiltak utredet i Klimakur 2020

Tabell V5-1 viser en oversikt over skogskjøtselstiltakene som ble utredet i Klimakur 2020. Den viser årlig opptak av CO₂, tidshorisont og tiltakskostnad.

Tabell V5-1 Oppsummering av alle tiltak som bidrar til økt opptak og redusert utslipp av karbon i skog

Tiltak	Årlig opptak av CO ₂ (millioner tonn CO ₂ -ekv)		Tidshorisont (år)	Tiltakskostnad ¹ (kr/tonn)
	2020	Slutten av omløpstiden		
1. Økt plantetetthet på eksisterende arealer med 1000 planter /ha	0,022	2,0	100	190
2. Planting av skog på nye arealer:				
1 million dekar (50000 planter /år i 20 år)	- 0,017	2,2–0,5 (2,0)	50 til 70 (100)	-10
5 millioner dekar (100 000 planter per år i 50 år)	-0,009	8,0–8,4	50 til 100	-10
3. Gjødsling av skog 10 år før hogging	0,45	0,45	10	- 13 til 0
4. Skogplanteforedling- 15 prosent foredlingsgevinst ²	0,00067	1,41	100	0
5. Redusert avskoging (reduisert omdisponering av skog til annen arealbruk) ³	0,3	Ikke kvantifisert		Ikke kvantifisert
6. Endret avvirkningsnivå⁴				
6a) Økt avvirkning til 15 millioner kubikkmeter	-2,2	-1,9	100	Ikke kvantifisert
6b) Redusert avvirkning til 10 millioner kubikkmeter	3,3	2,82	100	Ikke kvantifisert

¹Eksterne effekter knyttet til for eksempel biologisk mangfold er ikke inkludert i beregningene.

²I dette eksemplet har vi forutsatt økt avvirkning og dagens plantetetthet. Effekter av skogplanteforedling med forutsetninger om andre plantetall og andre foredlingsgevinster er beskrevet i skograpporten til Klimakur 2020.

³Det er lagt til grunn at avskogingsraten halveres fra dagens nivå, som tilsvarer et utslipp på om lag 0,6 millioner tonn CO₂. Dette er kun ment som en illustrasjon på et mulig reduksjonspotensial. Det er ikke foretatt noen grundig analyse av kostnader og muligheter.

⁴Økt eller redusert avvirkning vil endre tilgangen på bioenergi og byggeråstoff som dermed påvirker utslippstallene i andre sektorer.

Kilde: Klimakur 2020

Den lange omløpstiden i norske skoger, på normalt mellom 70–120 år, gjør at plantetiltakene vil ha liten effekt på klimagassregnskapet i 2020, men stor effekt på lengre sikt. Bare gjødsling er forventet å gi full effekt innen 2020. Dersom alle tiltakene gjennomføres er det forventet et meropptak av CO₂ på mellom 5,9 og 12,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter årlig ved slutten av omløpstiden, avhengig av ambisjonsnivå. Endret avvirkningsnivå er da ikke inkludert.

Effektene som er inkludert i beregningene er begrenset til de som vil gi effekt i skogsektoren, og de er beregnet ut fra en forutsetning om at avvirkningsnivået, gitt allerede implementerte virkemidler, vil være 13 millioner kubikkmeter i året i 2020.

Endret avvirkningsnivå vil gi umiddelbar effekt på klimagassregnskapet og vil også påvirke effekten til noen av tiltakene over. Økt avvirkning vil føre til at større arealer frigjøres for optimal produksjon, slik at effekten av tiltakene over, som økt plantetetthet og skogplanteforedling, vil være større. Redusert avvirkning vil gi motsatt effekt

Sektorrapporten på skog i Klimakur 2020 beskrev også tiltak som økt lagring av karbon i treprodukter, redusert utslipp av CO₂ pga endret kjørestil i skogbruket, samt skogvern ved å øke vern av skogareal fra dagens 3 prosent av skogarealene. Disse tiltakene ble imidlertid ikke kvantifisert i rapporten.

Det er viktig å merke seg at enkelte skogtiltak vil kunne påvirke andre samfunnsinteresser, som naturmiljøet. I følge St. meld. nr. 34 (2006–2007) *Norsk klimapolitikk* skal en generelt prioritere tiltak som har positiv effekt både for å motvirke klimaendringer og for bevaring av biologisk mangfold og andre viktige miljøverdier. Før en iverksetter tiltak er det derfor viktig å lage konkrete interesseavveininger.

Det vises til sektorrapporten for nærmere beskrivelse av tiltakene (Klima- og forurensningsdirektoratet 2010b).

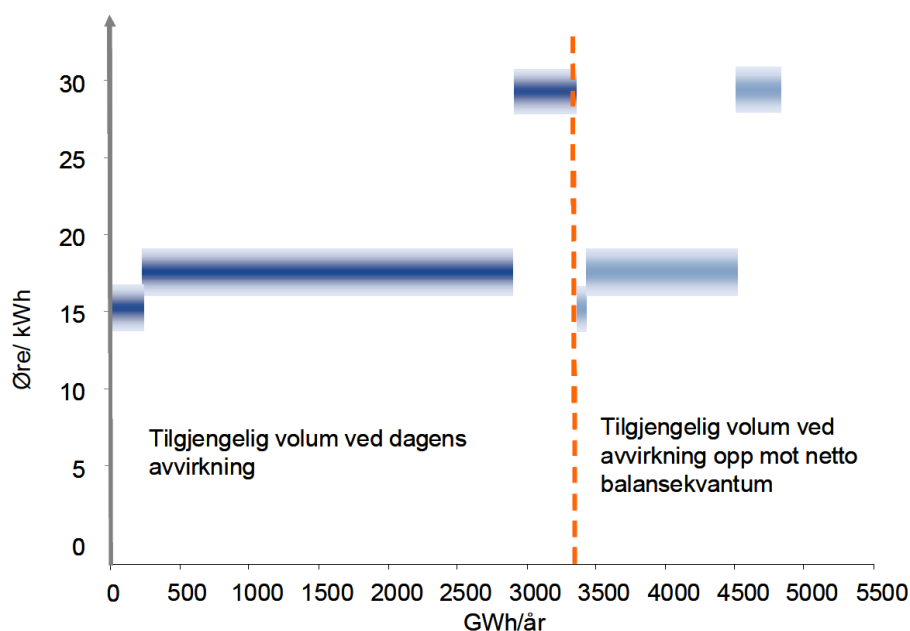
7.6 Vedlegg 6 – Avfallsfraksjoner fra skog: kostnader og biologiske konsekvenser ved økt uttak

GROT

GROT har lavere salgsverdi enn annet trevirke og blir i stor grad derfor liggende igjen etter avvirkning som avfall. Transportkostnadene ved å ta ut GROT vil være større enn for annet trevirke med mindre det for eksempel kan flises opp på hogststedet. Uttak av mye GROT vil redusere tilsig av næringsstoffer til jorda som kan redusere produktiviteten til skogen, dette vil i så fall medføre en ytterligere kostnad forbundet med økt uttak av GROT.

I NVE (2010) er det estimert at ved dagens avvirkning vil ytterligere 3–3,5 TWh GROT kunne tas ut til en marginalkostnad på 12,8–26,5 øre per kWh. Det meste av potensialet vil kunne tas ut til en kostnad rundt 17 øre per kWh. Dersom det er behov for mellomlagring ved sentral er kostnadene estimert til 19,4–33,1 øre per kWh. Dersom avvirkningen økes til balansekvantum øker potensialet med ytterligere 1,5 TWh. Det er imidlertid nye studier som er underveis som vil kunne gi ytterligere kunnskap til dette temaet (CenBio prosjekt, Rørstad et al. 2010).

Kostnadene ved å øke uttaket av GROT vil stige når uttaket øker ettersom mindre tilgjengelig GROT hentes ut. NVE (2010) skisserer følgende kostnadskurve for økt uttak av GROT:



Figur V6-1: Kostnadskurve for bioenergi fra GROT

Kilde: NVE 2010

Kostnadene som er oppgitt er beregnet for verdikjeden fra samling og håndtering fram til anvendelse, inkludert flising. Kostnader knyttet til avvirkning og kvisting er ikke medregnet fordi dette er kostnader som er knyttet til uttak av tømmeret som GROTen stammer fra. Det er mye hogstmoden skog på Vestlandet og i Nord-Norge, hvor arealene kan være vanskeligere tilgjengelig enn arealene som avvirknes i dag. Skal en øke avvirkningen i disse områdene vil en muligens måtte ta i bruk andre typer hogstsystemer. En kan anta at en del av den hogstmodne skogen som finnes på Vestlandet vil vinsjes med kvisten på til en standplass.

Da vil det være lettere å utnytte større andel av GROTen, enn om en måtte hente det ut separat.

Siden en stor del av næringen i treet finnes i nålene, vil en kunne redusere næringstilgangen til jorda dersom en tar ut GROT fra skogen. Tap av næringstilgang kan kompenseres ved å tilbakeføre aske fra forbrenningen av biobrensel. Asken må behandles og renses for tungmetaller for at dette skal være mulig.

Å ta ut GROT kan også påvirke biodiversiteten og endre artssammensetningen. Sverdrup-Thygeson og Framstad (2007) og Framstad et al. (2009) konkluderer med at uttak av hogstavfall, inkludert fra tynning, er akseptabelt i forhold til biologisk mangfold, men at det er nødvendig med retningslinjer for å sikre at uttaket foregår skånsomt i forhold til viktige habitatressurser for arter og økosystemfunksjoner. En må sikre at næringsbalansen i jorda opprettholdes og at Skogbrukets miljøsyn ivaretas.

Uttak av GROT vil ha marginale effekter på kulturarv og en positiv effekt på landskap og rekreasjon (Framstad et al. 2009).

Uttak av GROT er vanligere i Finland og Sverige, der GROT tas ut på rundt 20–25 prosent av hogstarealene. Det er imidlertid store regionale variasjoner (Framstad et al. 2009). I Finland bruker de som tommelfingerregel at 30 prosent av hogstavfallet bør ligge igjen på hogstflata (Langerud et al. 2007). Dette øker effektiviteten i høstingen og bidrar til redusert tap av næringsstoffer. I Sverige er det vanlig å la virket ligge til tørk på hogstflata, med den følge at nåler og småkvist faller av. På den måten unngår en tap av næringsstoffer til jorda. Avhengig av utstyr er det praktisk mulig å ta ut 60–80 prosent av GROTen (Nurmi 2007). Nilsen et al. (2008) antar det vil være mulig å ta ut GROT på 60–70 prosent av de avvirkede arealene.

Prosjektet Ecobrem ”Økologiske virkninger av økt biomasseuttak fra skog i Norge” er på nåværende tidspunkt i gang med å undersøke konsekvensene av økt biomasseuttak i Norge (Norsk institutt for skog og landskap 2010).

Tynningsvirke

Om lag 10–15 prosent av tømmeret som hentes ut av skogen hentes ut gjennom tynningshogst. Uttaket henger sammen med forholdene i skogbruket generelt, og med etterspørsel fra treforedlingsindustri og andre aktører som benytter råstoffet i dag. Trevirke fra tynning i eldre skog blir ofte solgt som energivirke, mens trevirke fra tynning i ung skog egner seg best til produksjon av bioenergi. Uttak av tynningsvirke har høyere kostnader enn uttak ved flatehogst. De felte trærne har mindre dimensjoner og det er færre trær per arealenhet.

Kostnadene ved å øke uttaket av tynningsvirke med 3,5 TWh er estimert til å ha en kostnad mellom 21–30 øre per kWh for heltrær og 23–27 øre per kWh for rundrundvirke (stammevirke). Kostnadene er beregnet for opparbeiding og transport av flis.

Gjennom utviklingen av et skogbestand vil det i mange skogtyper være ønskelig å avstandsregulere ung bestand ved å ta vekk trær med liten framtidig verdi. Det er også aktuelt å tynne mer utviklede bestand for å sikre de gjenværende trærne bedre levekår. Tynningsaktivitetene blir i dag sett på som en ren omkostning siden virket gir dårlig økonomisk utbytte. I Norge er tynningsaktiviteten derfor vurdert til å være underoptimal (Framstad et al. 2009).

Ved tynning kan en miste verdifulle vertstrær, og det krever mer kjøring og bruk av hogstmaskiner som kan påvirke jorda. Tynning kan også åpne lukkede bestand, slik at trær som kan fungere som viktig habitat for ulike arter blir fristilt. Dersom økt tynningsaktivitet styres til tette monokulturer i barskog, vil dette langt på vei være positivt for det biologiske mangfoldet (Sverdrup-Thygeson og Framstad 2007). Tynning i slike bestand kan gi mer variasjon, mulighet for økt lauvinnslag og mulighet til å legge til rette for miljøhensyn ved senere sluttavvirkning. I andre typer skog vil det imidlertid være viktig å beholde tette bestand, der selvtynning gir store mengder død ved som er viktige habitater for ulike arter.

Tynning gir en mer åpen skogstruktur, noe som er positivt for friluftsliv og landskap.

Biomasse fra kulturlandskap

Gjengroing av kulturlandskap forårsakes ofte av ulike typer lauvtrær, busker og kratt som er lite etterspurt som råstoff til sagbruk og treforedling. Dette er biomasse som kan brukes til produksjon av bioenergi, først og fremst til ved og flis. Biomasse fra busker og kratt vil på samme måte som GROT ha høyere transportkostnader enn tømmer, men dersom det kan flises ved hogststedet vil disse kostnadene kunne reduseres. Dersom denne ressursen ble utnyttet vil det kunne gi et potensial på 0,5–1 TWh. Kostnaden ved å ta ut dette potensialet er usikker.

Marginal jordbruksmark som har gått ut av produksjon, vil gro igjen ved etablering av stedegne busker og trær fra omgivende naturarealer. Slike gjengroingsprosesser anses som uheldige for både landskapsvariasjon og arter knyttet til det opprinnelige jordbrukslandskapet, med generelt lokalt tap av biomangfold som følge. Å ta ut biomasse fra gjengrodd kulturlandskap vil i følge Framstad et al. (2009) ha positive effekter på friluftsliv, kanskje også på biologisk mangfold. Sverdrup-Thygeson og Framstad (2007) lister ulike forutsetninger som må være oppfylt for at høsting av busker og trær fra kulturlandskap skal ha positiv effekt for biologisk mangfold. Noen av disse forutsetningene listes under:

- Gjengroing bør foregå spontant med lokale arter av trær og busker og ikke påskyndes (ved gjødsling) for å øke gjengroingshastigheten.
- Høsting av busker og trær bør foregå før suksesjonen har kommet for langt.
- Busker og trær i kantsoner mot vassdrag og våtmark bør få utvikle seg og skjøttes for å ivareta deres økologiske funksjoner.

Stubber og røtter

Biomasse fra stubber og røtter er lite brukt til bioenergiformål i Norge i dag, men benyttes i andre land som for eksempel Sverige og Finland. Kostnadene ved å benytte denne biomasseressursen er betydelig høyere enn for GROT og tynningsvirke grunnet større kostnader ved å hente ressursen ut i tillegg til at den må behandles mer før den kan flises opp og forbrennes. Klimakur 2020 har ikke estimert potensialet eller kostnaden forbundet med å ta ut denne ressursen.

Fjerner en stubber og røtter øker en risikoen for jordskred, for mindre organisk materie i jorda, og for å redusere substrater som er viktige for noen arter. Sistnevnte kan muligens kompenseres ved at det settes igjen grov, død ved som grove lauvtrær som synes å huse et betydelig antall rødlistede biller på hogstflatene.

Det har vært få studier som sier noe om de biologiske effektene, og hvordan uttak av stubber og røtter vil påvirke det biologiske mangfoldet er fortsatt uvisst. I følge Framstad et al. (2009)

vil uttak av stubber og røtter påvirke det visuelle inntrykket til skogen, og vil dermed ha negativ effekt spesielt på landskap og kulturarv.

Det finnes foreløpig ingen retningslinjer for uttak av hogstavfall og biomasse under jorda, men en forventer at slike retningslinjer vil bli utviklet i framtiden som del av en sertifiseringsstandard.

Rydding kraftlinjer, veikant og jernbane

I Norge finnes om lag 200 000 km med luftlinjer for elektrisitet og nettselskapene pålegges å rydde vegetasjon langs kraftlinjene. Det offentlige jernbanenettet er på vel 4 000 km. Også her er rydding pålagt av hensyn til framkommelighet og sikkerhet. I dag blir biomassen fra rydding stort sett liggende igjen på bakken, men kan brukes til bioenergiproduksjon.

Vegetasjonsrydding langs jernbanen og kraftlinjer er imidlertid kostbart, og kostnaden vil stige ytterligere om biomassen skal flises opp og leveres slik at den er tilgjengelig for brenselkunder. Det er grunn til å tro at kostnaden ved uttak av vegetasjon langs vei vil være noe lavere ettersom det vil være lettere å transportere trevirket. Basert på en antagelse om at det kan tas ut biomasse fra 10 prosent av landets offentlige veinett, beregner NVE (2010a) et samlet volum på 0,56 TWh.

Kostnadene ved å utnytte denne biomasseressursen er som for tynningsvirke og kraftgater kun knyttet til transport og flising ettersom avvirkningen vil finne sted uansett.

Transportkostnadene langs vei er naturlig nok lavere enn for rydding av jernbanelinjer, men forutsetter at egnet utstyr er tilgjengelig. Kostnadene vil i stor grad være avhengig av nærhet til vei og hvor lett det er å transportere ressursen ut fra jernbanelinjene.

Det er viktig å bemerke at det er stor usikkerhet rundt de estimerte potensialene som presenteres her.

Dersom en følger visse retningslinjer, vil rydding under kraftlinjer og i veikanter ha begrensede effekter på biologisk mangfold og er derfor også akseptabelt (Framstad et al. 2009). Treveksten på disse arealene må uansett begrenses, av hensyn til henholdsvis el-sikkerhet og sikt. Rydding av disse arealene handler dermed om å ta vare på og utnytte energien fra busker og småtrær som uansett må kuttes ned.

Energivirke

Energivirke er trevirke uten økonomisk verdi, som skadede trær, trær med roteskader, for små trær etc. Effekten på miljøet av å ta ut slikt trevirke avhenger av hvilken type trevirke det gjelder og i hvilke mengder.

Edellauvtrær er viktige for biodiversiteten siden mange rødlistede arter er knyttet til dem. Ved avvirkning av slik skog er det viktig at verken trevirket eller hogstavfallet som skal benyttes til bioenergi blir liggende sommeren over og utgjøre en eggleggingsplass for rødlistede arter, for så å bli fjernet før insektene er ferdig utviklet og forlater virket. Hogst av denne type skog bør derfor unngås (Sverdrup-Thygeson og Framstad 2007). Grove boreale lauvtrær bør heller ikke tas ut til bioenergiformål.

Uttak av energivirke vil ha positiv effekt på landskapsbildet, siden det gjør skogen mer tilgjengelig og ”renere” i den forstand at trevirket vil gi et forstyrrende inntrykk. Ny forskning

viser at denne type trevirke er mer akseptabelt å la bli stående i en naturskog (Framstad et al. 2009).

**Klima- og forurensnings-
direktoratet (Klif)**
Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo
Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00
Telefaks: 22 67 67 06
E-post: postmottak@klif.no
Internett: www.klif.no

Utførende institusjon Klima- og forurensningsdirektoratet	Kontaktpersoner Hege Haugland og Elin Økstad	ISBN-nummer
--	--	-------------

	Avdeling Klima- og industriavdelingen	TA-nummer TA-2762/2011
--	---	-------------------------------

Oppdragstakers prosjektansvarlig	År 2011	Sidetall 101	Klifs kontraktsnummer
----------------------------------	----------------	---------------------	--------------------------

Forfatter(e) Hege Haugland, Elin Økstad, Magnus Utne Gulbrandsen, Ingrid Strømme, Per Fjeldal og Harold Leffertstra.
Tittel - norsk og engelsk Skog som biomasseressurs
Sammendrag – summary Rapporten ser på effekter på karboninnholdet i atmosfæren ved ulik anvendelse av skog i et klimaperspektiv, ved både å se på skogens rolle som karbonlager og leverandør av råstoff til treprodukter og bioenergi.

4 emneord Grener og topper, avvirkning, bioenergi, tilbakebetalingstid	4 subject words
---	-----------------

Klima- og forurensningsdirektoratet

Postboks 8100 Dep,
0032 Oslo

Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00

Telefaks: 22 67 67 06

E-post: postmottak@klif.no

www.klif.no

Om Klima- og forurensningsdirektoratet

Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) er fra 2010 det nye navnet på Statens forurensningstilsyn. Vi er et direktorat under Miljøverndepartementet med 325 ansatte på Helsefyr i Oslo. Direktoratet arbeider for en forurensningsfri framtid. Vi iverksetter forurensningspolitikken og er veiviser, vokter og forvalter for et bedre miljø.

Våre hovedoppgaver er å:

- redusere klimagassutslippene
- redusere spredning av helse- og miljøfarlige stoffer
- oppnå en helhetlig og økosystembasert hav- og vannforvaltning
- øke gjenvinningen og redusere utslippene fra avfall
- redusere skadevirkningene av luftforurensning og støy

TA-2762 /2011