

**BÆREKRAFTIG BIODRIVSTOFF TIL CIVIL LUFTFART I NORGE -  
BIOMASSETILGANG FRA LANDBASERTE RESSURSER**

**Erik Trømborg, Torjus Folsland Bolkesjø, Even Bergseng  
og Per Kristian Rørstad**

**Institutt for naturforvaltning  
Universitetet for Miljø- og Biovitenskap**

**Oppdragsrapport for Avinor, Oktober 2012**

## Forord

Denne rapporten er utarbeidet av forskere på Institutt for naturforvaltning, Universitetet for miljø- og biovitenskap i forbindelse med prosjektet «Bærekraftig biodrivstoff til sivil luftfart i Norge».

Oppdragsgiver er Avinor. Formålet med arbeidet har vært å analysere det tekniske og økonomiske potensialet for økt uttak av biomasse til energiformål fra skogressursene i Norge, å vise hva som er påregnelige biomassekostnader ved produksjon av biodrivstoff til luftfart i Norge, samt å beskrive klimagassregnskap og klimaeffekter ved bruk av skogråstoff til energiformål.

Vi takker for oppdraget og for gode innspill og godt samarbeid med andre prosjektmedarbeidere og referansegruppen i prosjektet.

Ås, oktober 2012



Torjus Folsland Bolkesjø

prosjektleder

## Sammendrag

Denne studien er utført på oppdrag fra Avinor i forbindelse med prosjektet «Bærekraftig drivstoff til sivil luftfart i Norge. Formålet med rapporten er:

- å analysere det tekniske og økonomiske potensialet for økt uttak av biomasse til energiformål fra landbaserte ressurser, med vekt på trevirke, og under de ulike miljøhensyn skogbruket er underlagt,
- å vise hva som er påregnelige biomassekostnader ved produksjon av biodrivstoff til luftfart i Norge,
- samt å beskrive klimagassregnskap og klimaeffekter ved bruk av skogråstoff til energiformål.

Biomasse fra det produktive skogarealet representerer den viktigste ressursen for økt bruk av biomasse til energiproduksjon i Norge. Biprodukter som bark, avlut og flis i skogindustrien og avfallsforbrenning i fjernvarmeanlegg utgjør i dag ca 1/3 av bioenergiproduksjonen i Norge, men potensialet for økt utnyttelse er begrenset. Det er relativt lite jordbruksareal i Norge og matvaresikkerhet er et viktig fundament i jordbrukspolitikken. En omlegging til produksjon av energivekster er lite sannsynlig på kort og mellomlang sikt. Halm kan utnyttes i større grad, men spredt produksjon og høye transportkostnader gjør ressursen kostbar i store anlegg for biodrivstoffproduksjon. Årlig potensiell energiproduksjon fra andre arealer som kraftgater, kulturbeite, kantsoner, bebygde arealer mv, er beregnet til 1,8 TWh. Bare en mindre andel av dette er økonomisk drivbart.

Landskogtakseringens permanente prøveflater (ca. 8700 stk. i produktiv skog) er utgangspunkt for beregning av avvirkningspotensialene i denne studien. Skogmodellen Gaya-J er brukt til å simulere fremtidig skogutvikling. For å beskrive et scenario hvor dagens avvirkningsnivå fortsetter og danner grunnlaget for tilgangen på hogstavfall og rundvirke til energiproduksjon, har vi lagt restriksjoner på avvirkningen i modellen både nasjonalt og fylkesvis. Nasjonalt er avvirkning i dette scenarioet er begrenset til 12 mill. m<sup>3</sup> per år. Vi gjør i tillegg beregninger av balansekvantum på fylkesnivå som et øvre estimat på potensialet for bærekraftig avvirkning i Norge. Balansekvantumet angir den maksimale mengden tømmer som kan avvirket per år uten å måtte redusere avvirkningen senere. Når vi tar hensyn til vernede arealer og Levende Skog-standardene i avvirkningsberegningene, dvs de miljøkravene som gjelder for skogsdrift i Norge, er balansekvantumet i Norge beregnet til ca 17 mill m<sup>3</sup> pr år. En faktisk avvirkning på dette nivået kan aktualisere økt verneomfang og miljøhensyn sammenlignet med dagens situasjon og slik sett redusere dette potensialet. Samtidig tilsier ikke markedsforholdene i skog- og bioenergisektoren at avvirkning opp mot 17 mill m<sup>3</sup> pr år er sannsynlig på kort eller mellomlang sikt.

Med dagens avvirkningsnivå, og forutsatt uendret tømmerretterspørsel i skogindustrien, er samlet potensial for økt uttak av biomasse fra skog og utmark om lag 7 TWh, hvorav 6,5 TWh er fra hogstavfall. Potensialet for økt bruk av biomasse fra skog i Norge er på nærmere 16 TWh når en tar hensyn til miljørestriksjoner i henhold til levende skog, økt skogvern og avvirkning innenfor balansekvantumskriteriet. Dette tilsvarer en dobling fra dagens bruk. Sentrale forutsetninger for realiseringen av dette potensialet er at forbruket av massevirke i skogindustrien er på dagens nivå og at

sagtømmeret som avvirkes har avsetning til om lag dagens priser. Nærmere 10 TWh av dette potensialet er hogstavfall. Utfordringen ved bruk av hogstavfall er høyt innhold av askestoffer og varierende fuktighet. Hogstavfall har også høyere transportkostnader enn rundvirke og økt utnyttelse er avhengig av utvikling av effektive verdikjeder. I tillegg vil økt bruk av sagtømmer i Norge også gi økt tilgang på biprodukter fra trelastindustrien noe som gir en ytterligere økning i potensialet opp mot 3 TWh.

Dersom ressurspotensialet beskrevet over skal utnyttes må hogstavfallet utnyttes i større grad og/eller avvirkningen øke. Til tross for at skogressurspotensialet er økende har avvirkningen i Norge vært relativt stabil rundt 10 mill m<sup>3</sup> i nesten 100 år. Skogen i Norge eies av ca 120 000 skogeiere som tar individuelle beslutninger ut fra mange kriterier og tømmer tilbudsanalyser som er gjennomført i Norge viser at avvirkningen påvirkes av mange faktorer som tømmerpris, forventninger om prisutvikling, rentenivå, inntekt og tømmerdriftsforhold. Basert på forutsetninger om hvordan økt volum og pris påvirker avvirkningsnivået, viser våre analyser at dersom forbruket i skogindustrien forblir på dagens nivå og verdikjedene utvikles, vil en økt tilgang på 3,5 TWh fra skogressursene være realistisk frem mot 2020 ved en biomassepris levert anlegg tilsvarende 18 øre/kWh for stammeflis. Tilgangen kan øke med ytterligere 2,5 TWh til 6 TWh ved en flispris på 20 øre/kWh og ytterligere fra 3 TWh til 9 TWh ved en flispris på 24 øre/kWh.

Vi har videre analysert virkningene på tømmermarkedet av økt etterspørsel etter virke som følge av utbygging av biodrivstoffanlegg med ulike sammensetninger av råstoff. Analysene er konsentrert om fire geografiske lokaliteter: Hønefoss, Grenland, Elverum og Bergensregionen. Det er tatt utgangspunkt i et anlegg med en årlig produksjon på 50 mill. liter Jet A-1 drivstoff og et virkeforbruk på 1 mill. m<sup>3</sup> flis fra rundtømmer og hogstavfall. I denne analysen har vi anvendt en økonomisk analysemodell, NTM 3.0, for skog- og bioenergisektoren hvor tilbud og etterspørsel av skogråstoff, skogindustri- og bioenergi produkter analyseres på fylkesnivå under ulike forutsetninger om utvikling i nasjonale og internasjonale markeder. Markedsforholdene for tømmer og skogindustriprodukter tilsier ikke vesentlig vekst i massevirkeprisene i Norge frem mot 2020. Enerkiprisnivå og generell utvikling i massevirke markedene i Europa er blant de største usikkerhetsmomentene, og en større vekst enn ventet i disse markedene kan bidra til å endre bildet noe. Modellresultatene gir regionale prisvariasjoner i 2020 med omtrent samme mønster som vi ser i markedet i dag, med generelt høyest priser i øst og lavere vestover i landet. Forskjellene er dog relativt moderate (20-35 kr/m<sup>3</sup>). Enerkiprisen er styrende for bioenergis konkurransevne. Alt annet likt stiger prisen på furu og lauv med om lag 15 % hvis vi forutsetter en energipris i 2020 på 52 øre/kWh i stedet for 38 øre/kWh. Granprisen er mindre følsom for endringer i energipris fordi gran i mindre grad brukes til biovarme.

Resultatene indikerer at et biodrivstoffanlegg i Hedmark vil gi den minste økningen i virkesprisen ved etablering av biodrivstoffproduksjon – men her er samtidig dagens priser opp mot 20% høyere enn på Vestlandet. For de andre lokalitetene vil etablering av biodrivstoffanlegg gi en økning på 10-40 % i massevirkeprisene avhengig av lokalitet og råstoffmiks. Råstoffkostnadene vil i følge våre resultater bli høyest ved lokalisering av et storskalaanlegg (1 mill. m<sup>3</sup>/år) på Vestlandet. Dersom biodrivstoffanlegget baserer seg på bare ett treslag vil prisøkningene bli høyere enn om det kan bruke en blanding av treslag og eventuelt også flis fra hogstavfall. Tilgangen på furu er lavere enn for gran og anlegg kun basert på rundvirke av furu vil gi høyere biomassekostnader enn anlegg basert på gran. Generelt viser analysen at

dagens biomassepriser på i underkant av 20 øre/kWh er sannsynlige for et større biodrivstoffanlegg dersom det baseres seg på en miks av treslag og også kan bruke flis fra hogstavfall og lokaliseres gunstig i forhold til lokal biomassetilgang. Det tas forbehold om usikkerhet knyttet til utviklingen i de internasjonale markedene for biomasse og utviklingen i etterspørselen etter sagtømmer som påvirker tilbudet også av massevirke og GROT.

Klimagasseffektene ved bruk av trevirke til energiformål og produksjon av biodrivstoff avhenger av en rekke faktorer og avveiningen mellom effekter på kort og lang sikt er dessuten helt sentral. Derfor er det heller ikke mulig å trekke bastante konklusjoner omkring klimagasseffektene ved bruk av norsk trevirke til biodrivstoff. Vi kan anta at økt bruk av biomasse til energiformål i Norge kan bestå av en blanding av økt hogst, økt uttak av hogstavfall, økt import av tømmer og flis og en vridning fra tradisjonell treforedlingsindustri til energiformål. Gitt dagens skogskjøtsel og dagens bruk av tømmer i Norge vil økt avvirking i Norge som følge av biodrivstoffproduksjon bidra til økte karbonnivåer i atmosfæren på kort og mellomlang sikt og reduserte nivåer på lang sikt. Dersom avvirkingen holdes fast på dagens nivå i Norge vil gjennomsnittlig alder i norsk skog øke, noe som på sikt reduserer skogens evne til å ta opp karbon fra atmosfæren. Økt uttak av hogstavfall kan ha positive klimagasseffekter også på kort sikt. Økt hogst vil gi økt albedo og derigjennom ha en avkjølende effekt. Dersom det økte uttaket av trevirke brukes til energiformål, tyder ny forskning på at albedoeffekten utligner oppvarmingseffekten som følge av økte utslipp av klimagasser på kort til mellomlang sikt. Det er imidlertid stor usikkerhet knyttet til størrelsen på albedoeffekten.

Klimagassregnskapet påvirkes av effektiviteten i konverteringen av biomasse til energi.

Energieffektiviteten i produksjonen av biodrivstoff ventes å være i størrelsesorden 45-55 % mot 80-90 % ved produksjon av varme eller kraft/varme. Klimagassregnskapet vil følgelig være bedre for bruk av biomasse til varmeproduksjon på kort sikt så lenge økt forbruk av bioenergi fører til redusert bruk av fossil energi. På den andre siden finnes det mange fornybare løsninger for stasjonære formål, mens det finnes få eller ingen fornybare alternativer til biodrivstoff for deler av transportsektoren.

## Innholdsfortegnelse

1	Innledning .....	8
2	Potensialet for økt tilgang på biomasse fra norge.....	9
2.1	Skog som energiressurs.....	9
2.2	Avvirkning og utvikling i stående volum i norsk skog 1918-2012 .....	9
2.3	Analyse av teknisk potensial for norsk trebasert biomasse til energiformål .....	11
2.3.1	Forutsetninger og metoder.....	11
2.3.2	Resultater.....	13
2.3.3	Skogsimuleringsmodellen Gaya-J – kort oppsummering av styrker og svakheter.....	17
2.4	Potensialer fra andre landbaserte ressurser .....	18
2.4.1	Oversikt.....	18
2.4.2	Trebaserte biomasseressurser utenom produktiv skog .....	19
2.4.3	Biomasse fra jordbruksarealer .....	21
2.4.4	Avfall .....	21
3	Tilbudet av skogråstoff til produksjon av biodrivstoff.....	23
3.1	Kostnader ved leveranser av biomasse fra skog.....	23
3.2	Tilbud av energiflis fra skogråstoff.....	24
3.2.1	Materiale og metode.....	24
3.2.2	Resultater.....	26
4	Prognoser for endringer i råstoffpriser som følge av utbygging av biodrivstoffanlegg.....	31
4.1	Lokaliteter vurdert .....	32
4.2	Massevirkepriser i Norge, historisk.....	34
4.3	Regionale variasjoner.....	34
4.4	Metode for analyse av priseffekter.....	36
4.5	Data og spesifikke forutsetninger .....	37

4.5.1	Scenarier .....	38
4.6	Resultater .....	39
4.6.1	Avvirkningsnivå .....	39
4.6.2	Prisnivå i basisscenarioet .....	39
4.6.3	Virkning av endringer i energipris .....	40
4.6.4	Estimerte priseffekter av biodrivstoffanlegg .....	42
4.6.5	Markedsanalyse – oppsummert.....	44
5	Klimagassregnskap og klimagasseffekter.....	45
5.1	Karbonsyklusen.....	45
5.1.1	Skog .....	45
5.1.2	Jordbruksarealer .....	46
5.2	Klimagasseffekter.....	47
5.2.1	Klimagasseffekter av hogst – bestandsnivå .....	47
5.2.2	Klimagasseffekter av økt hogst – nasjonalt nivå .....	50
5.2.3	Klimagasseffekter – jordbruk .....	52
5.3	Albedo .....	53
5.4	Diskusjon og konklusjoner .....	54
5.4.1	Skog .....	54
5.4.2	Landbruksvekster .....	55
6	Oppsummering og konklusjoner .....	56
7	Litteratur .....	58

## 1 INNLEDNING

Biomasse til energiformål i Norge er i dag hovedsak i form av vedfyring og til industrielle formål i skogindustrien. De siste ti årene har det også vært vekst i fjernvarme basert på biomasse, men fjernvarmeproduksjonen er fortsatt beskjedent sammenlignet med tradisjonell vedfyring. Total bioenergibruk i Norge var i 2010 beregnet til ca 17 TWh, eller om lag 8% av totalt energiforbruket i Norge (SSB Energibalansen 2010). Bioenergibruken har økt med 3 TWh siden 2007. Biodrivstoffbruk utgjorde 1,4 TWh i 2010, hovedsakelig i form av biodiesel. Det er store ambisjoner for økt bioenergibruk, både i stasjonære systemer og i transportsektoren. Til forskjell fra småskala vedfyring, er det store skalafordeler i industriell produksjon av bioenergi. Dette gjelder ikke minst i framstilling av biodrivstoff. Råstoffkostnader er en vesentlig del av totalkostnadene ved bioenergiproduksjon og økonomiske analyser av nye prosjekter bør derfor vektlegge sannsynlig utvikling i framtidig råstofftilgang og priser. Analyser av biomassetilgangen må både vurdere den totale råstofftilgangen – som representerer det vi kan kalle et teknisk potensial – og sannsynlig tilbud av råstoff gitt ulike råstoffpriser – som reflekterer økonomiske eller markedsmessige potensialet. Analyser av råstoffsituasjonen er særlig vesentlig i store anlegg hvor økningen i etterspørselen etter virke vil påvirke råstoffprisen. Flere studier har vist at skogsektoren representerer det viktigste potensialet for økt bruk av biomasse til energiformål i Norge. Transportkostnader utgjør en vesentlig del av trevirkekostnadene levert på industritomt, og regionale forskjeller i råstofftilgang er derfor sentralt ved valg av lokalisering av biodrivstoffanlegg.

Formålet med denne studien er å analysere det tekniske og økonomiske potensialet for økt uttak av biomasse til energiformål fra skogressursene i Norge, under hensyntagen til biologisk mangfold og andre miljøverdier, samt å vise hva som er påregnelige biomassekostnader ved produksjon av biodrivstoff til luftfart i Norge. For hensyn til biologisk mangfold og andre miljøverdier er det tatt utgangspunkt i dagens verneomfang av skog og de miljøhensyn som praktiseres på grunnlag av miljøforskrifter og sertifiseringsordninger i skogbruket. Trevirke vies størst oppmerksomhet siden dette regnes som den viktigste råstoffkilden, men andre biomasseresurser er også behandlet. Videre gis det en vurdering av klimaregnskapseffektene ved bruk av biodrivstoff fra trevirke til bruk i norsk luftfart.

Rapporten er organisert slik: Potensialet for biomasse til energiproduksjon fra ulike areal- og biomassetyper under hensyntagen til dagens miljøkrav analyseres i kapittel 2. Mens kapittel 2 er hovedfokus på ressursene går vi i kapittel 3 inn på det faktiske tilbudet av biomasse fra skog, som bestemmes av skogeierens tilbøyelighet til å avvirke. Kapittel 4 viser ulike prognoser for råstoffkostnader basert på ulike forutsetninger om råstoffmix og utbygging av biodrivstoffproduksjon i Norge og utviklingen i energiprisene som påvirker etterspørselen etter biomasse til varmeproduksjon. I kapittel 5 beskriver klimagassregnskap og klimaeffekter ved bruk av skogråstoff til energiformål.



## 2 POTENSIALET FOR ØKT TILGANG PÅ BIOMASSE FRA NORGE

### 2.1 Skog som energiresurs

Det norske skogarealet er omtrent 120 000 km<sup>2</sup>, eller 37 % av det totale landarealet. Av dette regnes omtrent 76 000 km<sup>2</sup> som produktiv skog, det vil si skog som i snitt vokser mer enn 0,1 m<sup>3</sup>/dekar og år (SSB 2012). Fordelingen av biomasse på skogarealet, angitt i TWh er vist i tabell 1 (basert på Løken et al. (2012)). Det er her tatt utgangspunkt i en brennverdi på 5,3 kWh/kg tørrstoff biomasse uansett arealtype og treslag og tallene gjelder for hele Norge unntatt Finnmark. 98,5 % av biomassen og energimengden kommer fra arealer definert som skog eller tresatt areal, mens 1,5 % kommer fra andre arealer. Over 90 % av potensialet kommer fra produktiv skog.

*Tabell 1. Biomasse, areal, biomassetetthet og energimengde for biomasse fra trær fordelt på ulike arealkategorier. Etter miljøhensyn. Kilde: Løken et al. (2012).*

Arealtype	Areal (1000 ha)	Biomasse- tetthet (tonn/ha)	Energi- mengde (TWh)	% av energi- potensial
Produktiv skog	7 620	86,8	3507	90,7
Uproduktiv skog	2 320	22,8	280	7,2
Annet tresatt areal	8 594	0,5	25	0,6
Hyttefelt	47	33,3	8	0,2
Kultarbeite	196	15,5	16	0,4
Kraftlinjer	64	6,1	2	0,1
Kanter vei, jernbane etc.	198	6,3	7	0,2
Bebygde områder	389	6,3	13	0,3
Jordbruksområder	972	1,4	7	0,2
<b>Totalt</b>	<b>20 400</b>	<b>35,7</b>	<b>3865</b>	<b>100</b>

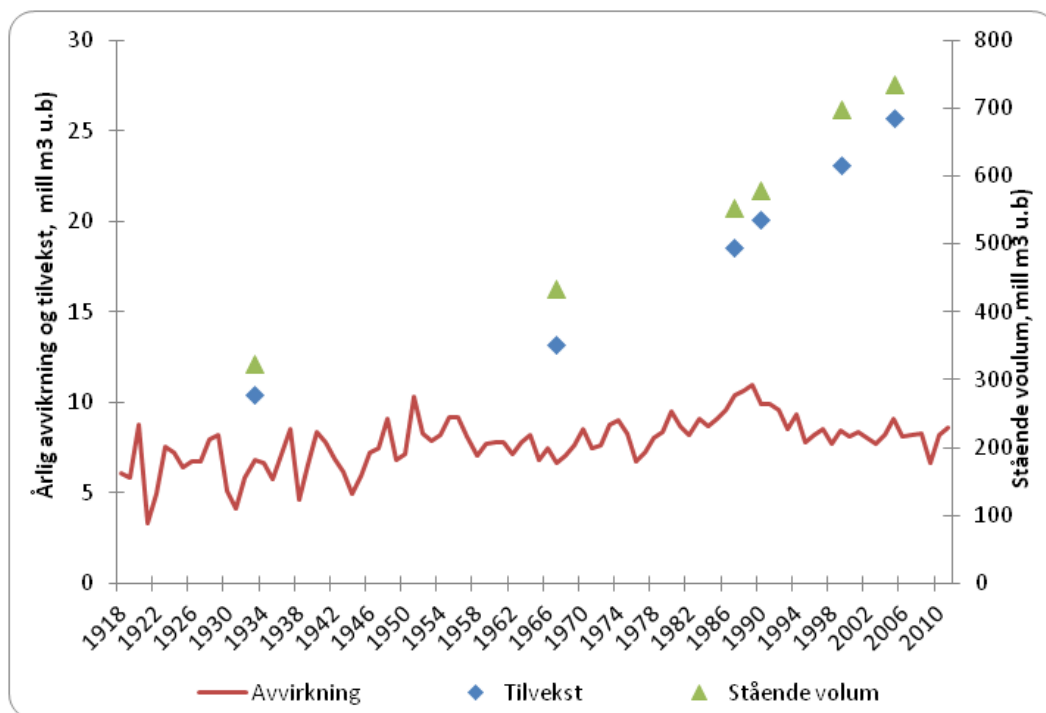
### 2.2 Avvirkning og utvikling i stående volum i norsk skog 1918-2012

Avvirkingen til industriformål i Norge i perioden 1918 til 2011 er vist i figur 1<sup>1</sup>. Gjennomsnittlig årlig avvirking i hele perioden er 7,8 mill. m<sup>3</sup>. Til sammenligning er den årlige tilveksten i Norge i dag på ca. 28 mill. m<sup>3</sup>. Den laveste registrerte avvirkingen i denne perioden var under finanskrisen i 2009 hvor avvirkingen var på 6,6 mill. m<sup>3</sup>. Avvirkingen i 2011 var på 8,6 mill. m<sup>3</sup> (Statistisk sentralbyrå 2012b). Privat avvirking til ved kommer i tillegg til tallene som er med i statistikken etter år 2006. Avvirking til vedfyring er anslått til å være 2,5-3 mill. m<sup>3</sup>. per år, slik at samlet i Norge er nærmere 11 mill. m<sup>3</sup> per år. Som et resultat av lavere avvirking enn tilvekst i skogene, og intensivert skogproduksjon fra 1950-tallet

<sup>1</sup> Landskogstakseringen ble startet opp i Norge i 1918.

<sup>2</sup> Figur 1 viser økningen i stående volum (levende ved) siden 1918. I tillegg til denne økningen har mengden død

har den stående kubikkmassen i norske skoger økt kraftig de siste 100 årene (figur 1)<sup>2</sup>. Økningen i stående volum har ikke medført merkbar økning i avvirkningsnivået. Dette skyldes primært et kraftig fall i realprisene på tømmer i den samme perioden, noe som har bidratt til at det er mindre attraktivt for skogeiere å avvirke.



Figur 1. Avvirking, tilvekst og stående volum under bark 1918-2011. Kilde: Skog og Landskap (2012).

<sup>2</sup> Figur 1 viser økningen i stående volum (levende ved) siden 1918. I tillegg til denne økningen har mengden død ved økt kraftig. I perioden 1996-2010 ble mengden død ved i norsk produktiv skog doblet, og fra 1925 til 2010 er død-ved mengden firedoblet (Storaunet et al (2011)). Død ved er et viktig livssubstrat for mange sjeldne og truede arter.

## 2.3 Analyse av teknisk potensial for norsk trebasert biomasse til energiformål

### 2.3.1 Forutsetninger og metoder

#### *Energiinnhold*

Energiinnholdet i trevirke er avhengig av innholdet av tørrstoff og fuktighet. Basisdensiteten angir forholdet mellom tørr masse og rått volum (kg tørrstoff per fastkubikkmeter, kg t.s./m<sup>3</sup>), og varierer mellom treslag og med beliggenhet, høyde over havet, alder på treet mv.

Rent og tørt trevirke har en typisk brennverdi på 5,32 kWh/kg t.s., mens bark har en brennverdi på 5,11 kWh/kg t.s. Effektiv brennverdi ( $H_e$ ) pr kubikkmeter (m<sup>3</sup>) trevirke kan angis med formelen;

$$H_e = (5,32 - 0,69 * (F_r / (1 - F_r)) * M$$

Hvor  $F_r$  er fuktighetsinnholdet (som andel, dvs kg vann per kg total biomasse) og  $M$  er basisdensiteten.

Tabell 2 viser effektive brennverdier brukt i analysene i denne rapporten.

**Tabell 2. Brennverdier anvendt i analysene. Det er forutsatt 30% fuktighetsinnhold på flis fra rundvirke og 35% på greiner, rot og topp.**

Råstoff	Basisdensitet kg t.s./m <sup>3,3</sup>	Anvendt effektiv brennverdi pr m <sup>3</sup>
Gran	380	1 900
Furu	440	2 200
Lauvvirke	490	2 500
Greiner og topp	400	2 000
Bark	325	1 600

#### *Simulering av tilgangen på rundvirke – forutsetninger og kort vurdering av metode*

Landskogtakseringens permanente prøveflater benyttes som datagrunnlag for beregningene av det tekniske/biologiske potensialet (Skog og Landskap 2012). Over hele landet med er det lagt ut permanente prøveflater i et systematisk forband på 3x3 km. Totalt er det ca. 16 000 prøveflater under barskoggrensen, hvorav ca 8 700 i produktiv skog. Skogen i Finnmark blir nå også taksert av Landskogstakseringen, men resultater for Finnmark blir først tilgjengelig høsten 2012 og er ikke med i våre beregninger.

Skogsimuleringsmodellen Gaya-J anvendes for beregning av framtidig vekst<sup>4</sup>. Basert på et sett av regler for skogbehandlingen (foryngelse, ungsogpleie, tynning, avvirkning osv) beregner modellen mulige

<sup>3</sup> m<sup>3</sup> brukes som fastkubikkmeter i denne rapporten, lm<sup>3</sup> for løskubikkmeter for flis.

utviklingsbaner for hvert flate som inngår i datagrunnlaget. Framskriving av skogens utvikling baserer seg på et sett funksjoner. Skogbehandlingen optimaliseres i modellen ved at skogens økonomiske verdi maksimeres under gitte restriksjoner for utvikling i avvirkning over tid og miljøhensyn. Tømmerpriser, driftskostnader og kapitaliseringsrentefot er eksogent gitt. Vi har forutsatt et avkastningskrav er 3% p.a. Tømmerpriser er satt til 450 og 300 kr/m<sup>3</sup> for henholdsvis skurtømmer og massevirke, og 300 og 100 kr/m<sup>3</sup> for lauv skurtømmer og sams virke. Driftskostnadene tar utgangspunkt i forutsatte maskinkostnader på 1250, 1300 og 800 kroner/time for henholdsvis hogstmaskin, taubaneutstyr og lassbærer. Vern og miljøhensyn i henhold til kravene som ligger i skogbrukets miljøsertifiseringssystem – Levende Skog – er implementert i modellen ). Det betyr at det tas hensyn til vernede arealer<sup>5</sup> (ikke-hogst eller begrensninger avhengig av vernekategori) og at skogbehandlingen er i henhold til Levende Skog standardene. For reduksjon i potensielt virkesuttak representerer følgende hensynene de viktigste restriksjonene innenfor Levende skog standardene<sup>6</sup>:

- Ikke-hogst i nøkkelbiotoper
- Ikke-hogst i områder med myr og sumpskog.
- Ikke hogst i kantsoner mot vann og vassdrag, myr, våtmark og kulturlandskap
- Minimum 10% lauv-skogandel på fylkessnivå

Se for øvrig Sjøgaard et al (2012) for fullstendig oversikt over Levende skog-hensyn og andre miljøhensyn som er registrert på Lanskogtakseringens prøveflater og implementert i analysen. Se Ask et al. (2005) for utførlig beskrivelse av operasjonaliseringen av miljøhensyn i Gaya-J.

Optimal skogbehandling gitt disse forutsetningene finnes ved hjelp av lineær programmering. Vi har definert to scenarier som er analysert i Gaya-J:

- 1) 12 mill m<sup>3</sup>: I dette scenariet setter en restriksjon om at avvirkningen ikke skal overstige dagens nivå (ca 12 mill m<sup>3</sup>). For hvert fylke er øvre grense for avvirkningen satt til 20% over historisk gjennomsnittlig avvirkning for perioden 1980 til 2009 som beskrevet i Tabell 4 for. Utover i periodene får avvirkningen variere med ±10% mellom 10-årsperiodene analysert i modellen. For fylkene Rogaland, Hordaland, Sogn og fjordane og Møre og Romsdal, kan avvirkningen øke med inntil 20% mellom perioder.
- 2) Balansekvantum: Balansekvantumet angir den maksimale mengden tømmer som kan avvirkes per år uten å måtte redusere avvirkning på noe senere tidspunkt. Maksimeringen av skogens

---

<sup>4</sup> Se for eksempel Bergseng et al. (2012) for nærmere dokumentasjon og drøfting av modellen.

<sup>5</sup> Omfatter nasjonalparker, naturreservat, landskapsvernområder, biotopvernområder, utvalgte naturtyper og områder med prioriterte arter i henhold til naturmangfoldloven.

<sup>6</sup> I tillegg omfatter Levende skog standardene – og dermed vår analyse - ulik grad av hensyn i forhold til områder som defineres som: Biologisk viktige områder (BVO), inngrepsfrie naturområder - INON (vegbygging ikke tillatt), kulturminner og kulturmiljø, fjellskog, viltbiotoper og friluftsområder.

verdi gjøres i balansekvantumsberegningen derfor under forutsetning om at avvirkingen ikke skal synke i noen av fylkene<sup>7</sup>.

Miljøhensynene er de samme i begge scenariene (vernede områder pluss Levende Skog som definert over).

### *Sekundære biomasseressurser fra skog*

Grovt regnet blir bare 50% av trebiomassen tatt ut av skogen ved tømmerhogst. Biomassen som ikke blir tatt ut som tømmer er omtrent likt fordelt mellom stubber/røtter og andre tredeler (greiner, bar, topper og lignende -GROT). Disse tredelene kan brukes til energiformål, men utnyttelsen i Norge er liten selv om bruken er økende. I våre naboland (Sverige og Finland) er bruken betydelig. I Sverige var bidraget fra disse kildene 8,9 TWh i 2010 (Skogforsk 2012). Det er i første rekke topper, greiner og bar det er aktuelt å utnytte. Uttak av stubber og røtter skjer i Sverige og Finland, men dette er foreløpig ikke aktuelt i Norge på grunn av kostnader og miljøhensyn. Vi baserer derfor våre beregninger på uttak av greiner, topper og andre stammedeler som ikke kan utnyttes til (tradisjonell) industriproduksjon.

Potensialet for GROT til energiformål bestemmes i stor grad av avvirkningsnivået og vi analyserer derfor GROT tilgangen under begge scenariene beskrevet over.

## **2.3.2 Resultater**

### *Rundvirke*

Nasjonalt balansekvantum uten hensyn til miljørestriksjoner er beregnet til 19 mill. m<sup>3</sup>/år, altså 7-8 mill. m<sup>3</sup>/år over dagens avvirkningsnivå. Årsaken til at balansekvantumet ligger under dagens tilvekst (ca 28 mill m<sup>3</sup>, jmf fig. 1) er at en andel av tilveksten er i yngre skog som ikke bør sluttavvirkes og at en andel går bort i topper, avkapp, råte mv. Når vi inkluderer miljørestriksjoner i henhold til Levende Skog standardene og skogvern reduseres nasjonalt balansekvantum til omtrent 17 mill. m<sup>3</sup>/år. Miljøhensyn gir med andre ord en reduksjon på omkring 12 % i avvirkningsvolum. En faktisk avvirkning på dette nivået kan aktualisere økt verneomfang og miljøhensyn sammenlignet med dagens situasjon og slik sett redusere dette potensialet. Samtidig tilsier ikke markedsforholdene i skog- og bioenergisektoren at avvirkning opp mot 17 mill m<sup>3</sup> pr år er sannsynlig på verken kort eller mellomlang sikt. Tabell 3 viser estimert mengde tilgjengelig masse- og energivirke i 2020, 2030 og 2050 på fylkesnivå i balansekvantumssimuleringen. Vi forutsetter her at skogsindustriens forbruk av tømmer er det samme i fremtiden som i dag og energivirke framkommer da som massevirkekvantum i perioden fratrukket

---

<sup>7</sup> Summen av dette viser seg å bli svært lik det nasjonale balansekvantumet, men ved balansekvantumsberegning på nasjonalt nivå vil avvirkningskvantumet i hvert fylke variere en god del fra periode til periode.

dagens omsatte massevirkekvantum. Dersom avvirkingen økes til balansekvantumet vil mellom 6 og 7 TWh mer rundvirke være tilgjengelig til bioenergi sammenlignet med dagens nivå. Det beregnede potensialet for økte leveranser fra rundvirke er relativt stabilt rundt 7-8 mill m<sup>3</sup>/år i perioden 2020-2050.

**Tabell 3. Avvirking av massevirke og ved, samt beregnet tilgjengelig energi (TWh) fra rundvirke i 2020, 2030 og 2050 for fylkesvis balansekvantum. Fremkommer som massevirke i hver periode fratrukket dagens leveranser av massevirke til skogindustri og vedforbruk fra produktiv skog. Antatt brennverdi: 2000 kWh/m<sup>3</sup>.**

	Fylke	Avvirking av massevirke, gjennomsnitt 2001-2010, 1000 m <sup>3</sup>	Antatt mengde rundvirke til energiformål 2010, 1000 m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>	Potensiale for økt leveranser av rundvirke til energiformål, TWh		
				2020	2030	2050
1	Østfold	230	47	0,27	0,21	0,30
2	Akershus	257	78	0,33	0,65	0,54
3	Oslo	12	5	0,07	0,07	0,08
4	Hedmark	915	2259	0,91	0,92	0,77
5	Oppland	473	160	0,62	0,43	0,70
6	Buskerud	434	151	0,18	0,45	0,51
7	Vestfold	144	95	0,10	0,17	0,08
8	Telemark	280	217	0,32	0,50	0,49
9	Aust-Agder	139	66	0,38	0,45	0,33
10	Vest-Agder	69	72	0,41	0,56	0,49
11	Rogaland	28	48	0,20	0,21	0,28
12	Hordaland	30	75	0,58	0,48	0,60
14	Sogn og fjordane	19	67	0,33	0,38	0,53
15	Møre og Romsdal	26	133	0,46	0,44	0,42
16	Sør-Trøndelag	110	76	0,35	0,35	0,39
17	Nord-Trøndelag	221	75	0,69	0,58	0,42
18	Nordland	69	121	0,50	0,31	0,20
19	Troms	6	169	0,30	0,21	0,08
20	Finnmark <sup>2)</sup>	-	50	0,05	0,05	0,05
	<b>Totalt</b>	<b>3 462</b>	<b>1 962</b>	<b>7,1</b>	<b>7,4</b>	<b>7,3</b>

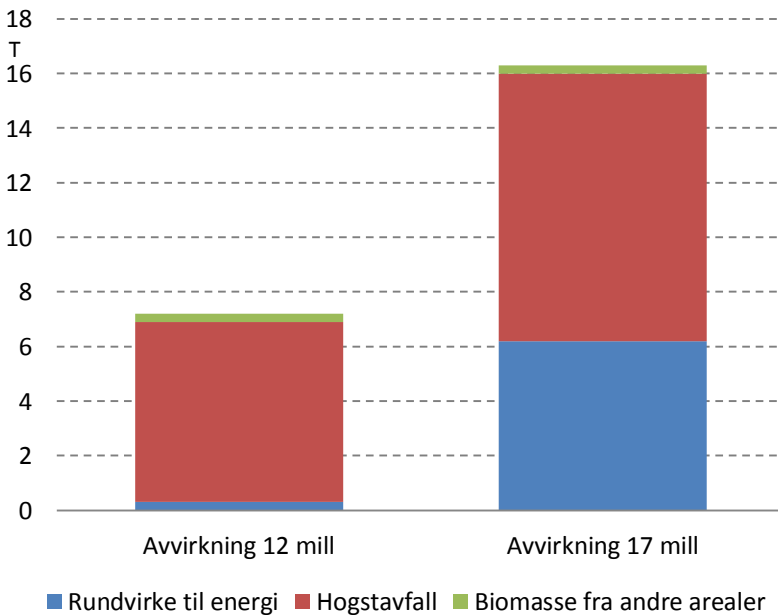
- 1) Leveranser av ved fra skog er forutsatt å være 50% av tilveksten for lauv, 5% for gran og 10% av for furu innen hvert fylke.
- 2) Arealstatistikk for Skog og Landskap viser at det produktive skogarealet i Finnmark er på 660 000 daa, dvs ca 0,9% av den produktive skogen i Norge. Finnmark har til nå ikke vært med i datamaterialet fra Landskogtakseringen. Dette er endret og fylkestall for Finnmark skal etter planen publiseres i løpet av 2012. Foreløpige tall viser at årlig tilvekst på produktiv skog i Finnmark er ca 160 000 m<sup>3</sup>. Troms har til sammenligning en tilvekst på ca 560 000 m<sup>3</sup>. SSB rapporterer nyttiggjort energi fra ved i Finnmark på 50-80 GWh, som tilsvarer en avvirking på ca 35-55 000 m<sup>3</sup>. Lang transport og lav biomassetthet per areal begrenser det økonomiske potensialet i Finnmark, et estimat er at potensialet for økt biomasseutak er 40-50 000 m<sup>3</sup> eller om lag 50 GWh.

## Hogstavfall

Basert på Løken et al. (2012) er mengden hogstavfall i gjennomsnitt for alle skogtyper ca 0,56 m<sup>3</sup> hogstavfall per m<sup>3</sup> tømmer, eller 0,226 tonn t.s./m<sup>3</sup> tømmer. Med en brennverdi på 5 kWh/kg t.s., er det teoretiske potensialet fra hogstavfall 13,6 TWh/år ved en hogst på 12 mill. m<sup>3</sup>/år og 19,2 TWh/år ved en hogst på 17 mill. m<sup>3</sup>/år. Det er imidlertid ikke teknisk eller økonomisk mulig å høste alt hogstavfallet på ei hogstflate (normalt 60 – 80 %). I tillegg vil det av miljøhensyn og produksjonshensyn (næringsstoff) ikke være aktuelt å ta ut hogstavfall på hele hogstarealet. Det teknisk/miljømessige potensialet vil derfor ligge betydelig lavere, anslagsvis 50-60 % av det teoretiske potensialet.

### Samlet ressursmessig potensiale fra skog innenfor bærekraftige rammer

Figur 2 viser potensialet for økt uttak av biomasse fra skog i Norge 2030. Vi har her utelukket GROT med transportavstander som innebærer flispriser over 30 øre/kWh levert anlegg. Det er videre tatt utgangspunkt i at virkesforbruket fra norske skogressurser i skogindustrien er på dagens nivå. Dersom avvirkingen ikke øker, ligger potensialet for energiproduksjon i økt bruk av hogstavfall og reallokering av massevirket som i dag går til skogindustrien. Avvirkning på netto balansekvantumsnivå gjør at leveranser av biomasse kan økes med 16 TWh i tillegg til dagens leveranser til ved og skogindustri. Tabell 4 viser fylkesvise potensialer for økt uttak av biomasse til energiformål ved en sluttavvirkning på 17 mill m<sup>3</sup> (balansekvantumsberegning med miljørestriksjoner).



**Figur 2. Potensialet for økt uttak av biomasse til energiformål i 2030 ved antatt avvirkning på hhv 12 (tilsvarende dagens uttak) og 17 (tilsvarende beregnet balansekvantum) mill. m<sup>3</sup> og flispris levert industritomt på 30 øre/kWh**

*Tabell 4. Potensialet for økt uttak av biomasse fra skog og andre trebevokste arealer fordelt på fylke, gitt årlig avirkning på 17 mill kbm. Forutsatt flispris levert industritomt på maks 30 øre/kWh (TWh).*

		Rundvirke	Hogstavfall	Biomasse fra trær på andre arealer	Sum økt potensial til energiformål
1	Østfold	0,27	0,55	0,00	0,83
2	Akershus	0,33	0,67	0,02	1,02
3	Oslo	0,07	0,13		0,20
4	Hedmark	0,91	1,84	0,01	2,76
5	Oppland	0,62	1,07	0,01	1,70
6	Buskerud	0,18	0,86	0,01	1,05
7	Vestfold	0,1	0,31	0,01	0,42
8	Telemark	0,32	0,68	0,01	1,01
9	Aust-Agder	0,38	0,45	0,01	0,83
10	Vest-Agder	0,41	0,43	0,01	0,84
11	Rogaland	0,2	0,21	0,02	0,42
12	Hordaland	0,58	0,40	0,03	1,01
14	Sogn og fjordane	0,33	0,28	0,01	0,62
15	Møre og Romsdal	0,46	0,39	0,02	0,87
16	Sør-Trøndelag	0,35	0,41	0,01	0,76
17	Nord-Trøndelag	0,69	0,66	0,01	1,36
18	Nordland	0,5	0,36	0,02	0,88
19	Troms	0,3	0,15	0,01	0,46
20	Finnmark	0,05	0	0	0,05
	<b>Totalt</b>	<b>7,1</b>	<b>9,8</b>	<b>0,2</b>	<b>16,9</b>



### 2.3.3 Skogsimuleringsmodellen Gaya-J – kort oppsummering av styrker og svakheter

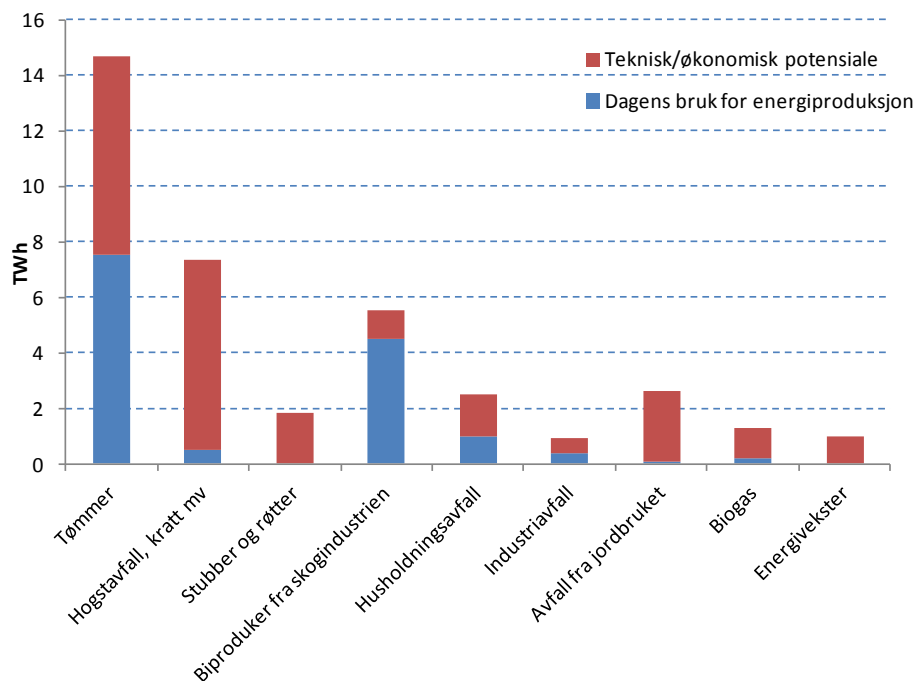
Gaya-J er omfattende, velprøvd og dokumentert gjennom flere tidligere forskningsprosjekter. Det er et brukt et omfattende datamateriale gjennom et landsdekkende og representativt nett av prøveflater som dekker alle typer skogbehandling og alle skogforhold i Norge. Selv om det alltid vil være usikkerhet knyttet til prognoser, er estimatene for framtidig biomasse og energiproduksjon presentert i rapporten basert på et solid empirisk fundament. Forutsetninger om tømmerpriser, kalkulasjonsrente og driftskostnader påvirker avvirkningsnivå og fordeling mellom sagtømmer og massevirke som beregnes i modellen. I basisscenarioet (scenario 1) med nasjonalt avvirkningsnivå på 12 mill m<sup>3</sup> påvirkes avvirkningen i mindre grad av disse forutsetningene, fordi avvirkningsnivået er lavt sammenlignet med potensialet og det dermed er nok økonomisk drivbar skog å ta av for å avvirke dette kvantumet. Ved avvirkning av balansekvantum vil disse forutsetningene ha større innvirkning på avvirkningen. Avstanden fra avvirkningssted til veg er bestemt av dagens vegnett som er registrert av Landskogtakseringen. Økt vegbygging kan gi lavere kostnader, men det bygges i dag såpass lite skogsbilveger at det er vanskelig å anta reduserte kostnader. Videre vil fremtidig hogst i stor grad foregå i områder som er hogd tidligere og som har god veidekning. I begge scenarioene vil forutsatte priser på sagtømmer og massevirke i modellen bestemme fordelingen av disse sortimentene og dermed det estimerte potensialet for bioenergi.

Den metodiske hovedutfordringen i GAYA-J er imidlertid at prognosene for fremtidig hogst er basert på en modell som optimerer avvirkningen ut fra maksimering av nåverdi, gitt kalkulasjonsrent, tømmerpris og definerte restriksjoner på avvirkningsmulighetene. I realiteten eies skogen i Norge av ca 120 000 skogeiere som tar individuelle beslutninger ut fra mange kriterier som bare delvis fanges opp av dette normative modellapparatet. Som vist i resultatene er det et teknisk/økonomisk potensial for å øke avvirkningen til om lag 17 mill m<sup>3</sup> i Norge, mens samlet avvirkning inkludert ved har vært drøye 10 mill m<sup>3</sup> i mange tiår. Det er derfor nødvendig med store endringer i adferd eller rammebetingelser dersom dette potensialet skal realiseres. Dette er nærmere analysert i kapittel 3 og 4.

## 2.4 Potensialer fra andre landbaserte ressurser

### 2.4.1 Oversikt

Flere studier viser at skogsektoren representerer det viktigste potensialet for økt bruk av biomasse til energiformål i Norge. Berg et al. (2003) fant at potensialet for økt anvendelse av biomasse til energiformål var ca 30 TWh, hvorav 12-16 TWh skogbrensel, 3,7 TWh biprodukter i trelastindustrien, 4,5 TWh halm og kornavrens og 3 TWh biogass fra avfall. Bernard og Bugge (2006) fant at innenfor en kostnadsramme på 20 øre per kWh var potensialet for økt bruk av biomasse mellom 22 og 26 TWh. Av dette potensialet utgjorde skogbrensel 12-16 TWh, flis fra trelastindustri 3,7 TWh og halm og kornavrens 2,5 TWh. De pekte på at kostnadene ved økt avvirkning og barrierer for økt avvirkning sammen med muligheter for å øke kapasiteten og etterspørselen etter sagtømmer i trelastindustrien var viktige ubesvarte spørsmål for økt utnyttelse av biomasse i Norge. Langerud et al. (2007) anslo potensialet fra jordbruk og avfall til å være om lag 5 TWh og at biomassebruk utover dette kan komme fra skogsektoren. I Klimakur (Norges vassdrags- og energidirektorat 2010) vurderes potensialet for bioenergi, og det pekes på at det vil være mulig å øke tilgangen på bioenergiressurser med 9 TWh til en kostnad under 30 øre/kWh, men også at økt etterspørsel etter bioenergi vil gi flere markedseffekter. Prisen på råstoffet vil øke, som igjen vil øke uttaket av råstoff på norsk jord og øke importen, samtidig som prisene på alternativ anvendelse av ressursen vil øke. Hamnaberg og Sidelnikova (2011) mener 14 TWh mer fra biomasse vil være mulig å realisere innenfor en kostnadsramme på 30 øre/kWh, men det krever økt hogst, tynning og utnyttelse av greiner og topper. Det pekes på at mens ressurspotensialet er godt kartlagt, er kostnadsestimaterne svært usikre, og markedsf forholdene gjør at en kostnadskurve for ulike biomassetyper ikke er det samme som en tilbudskurve for bioenergi. Figur viser bruken av biomasseressurser fra Norge i 2010 og estimater for potensiell tilgang.



*Figur 3. Bruk av trevirke i 2010 og potensiell tilgang på biomasseressurser fra Norge (TWh/år). Potensialer basert på KanEnergi (2006) og Langerud et al (2007).*

#### 2.4.2 Trebaserte biomasseressurser utenom produktiv skog

I Løken et al (2012) og Bergseng et.al (2012) analyseres tilgangen på biomasse fra skog og utmark fordelt på ulike arealkategorier. Tabell 5 viser potensiell årlig energiproduksjon fra disse "andre" arealene. Her er det forutsatt omløpstider på 10 år for skog i kraftlinjer og for kanter langs vei og jernbane, mens omløpstiden er satt til 50 år for alle de andre arealtype. Det framgår av tabellen at potensiell årlig energiproduksjon fra disse arealene er estimert til 1,8 TWh. Det er selvsagt usikkerhet i disse anslagene for biomasse og potensiell energiproduksjon, først og fremst knyttet til det relativt lave antallet prøveflater som ligger bak de enkelte arealtype og forutsetningene for omløpstider. Anslaget i tabellen inkluderer ikke arealer som etter Landsskogtakseringen er definert som skog beliggende langs veier og dyrket mark. Det er åpenbart at det finnes en god del biomasse på slike arealer, men en må altså være klar over at størsteparten allerede er inkludert i de vanlige skogarealene.

*Tabell 5. Årlig potensiell bioenergiproduksjon fra "andre" arealer i Norge.*

Arealtype	Biomasse (mill. tonn tørrstoff)	Biomassetetthet (tonn/ha)	Potensiell årlig energiproduksjon (TWh)
Hyttfelt	1,6	33,3	0,17
Kulturbeite	3,0	15,5	0,32
Kraftlinjer	0,4	6,1	0,21
Kanter vei, jernbane etc .	1,3	6,3	0,66
Bebygde områder	2,5	6,3	0,26
Jordbruksområder	1,4	1,4	0,15
<b>Totalt</b>	<b>10,1</b>	<b>5,4</b>	<b>1,8</b>

1,8 TWh er et absolutt maksimumstall for potensiell årlig energiproduksjon og er i praksis lite realistisk. For det første vil det for en del av arealene være driftsteknisk umulig å ta ut biomassen. Det er selvsagt heller ikke sikkert at alle hytte- og hageeiere ønsker å ta ut biomasse fra eiendommene sine. Kostnadene ved uttaket av biomassen vil imidlertid være den viktigste årsaken til at anslaget må reduseres. En andel av dagens vedforbruk og flis som omfattes av flistilskuddsordningen kommer fra hyttfelt, kulturbeite og bebygde områder, slik at en andel av potensialet allerede er utnyttet.

Det er ikke ut fra Landsskogtakseringens prøveflater forsvarlig å dele inn de ulike arealkategoriene i mindre geografiske enheter, for eksempel i fylker. Til det er antall prøveflater som ligger bak tallene altfor lavt. I Bergeng et al. (2012) er det gjort noen enkle analyser som viser resultater på fylkesnivå for arealene som er knyttet til kraftlinjer, jordbruksarealer (åker), beitearealer (eng) og veier/jernbane.

Ulike driftsmetoder kan være aktuelle ved uttak av biomasse fra slike områder. I Norge har vi liten erfaring med slike driftsmetoder og kostnads- og produksjonstall mangler. Det er imidlertid lav biomassetetthet for slike arealer, noe som tilsier at driftskostnadene blir høye. For en del av arealene er det i korte driftsveilegder (for arealer knyttet til veier og jernbane, jordbruksområder og delvis beiteområder), mens for kraftlinjer er driftsveilegdene mer likt det en ser i vanlig skogsdrift. For alle disse arealkategoriene vil produksjonen måtte foregå over «spredte» områder slik at relativt mye tid vil gå med til flytting av maskiner og oppstart av drifter. Også dette tilsier høye driftskostnader. I Bergseng et al. (2012) pekes det på at biomassetetthet/ha er svært førende for kostnadene, mens driftsveilegden relativt sett har mindre betydning. Eksempelvis varierer kostnadene for tresatte arealer knyttet til jordbruksarealer, som har svært lav biomassetetthet, mellom 119 og 121 øre/kWh avhengig av driftsveilegde, mens de varierer fra 24 til 26 øre/kWh for arealer knyttet til kulturbeite.

### 2.4.3 Biomasse fra jordbruksarealer

Jordbruksarealene kan brukes til produksjon av energivækster som raps og rybs, salixarter og muligens også energigress som elefantgress (*Miscanthus*) som har vært forsøkt i Danmark. Potensialet for slike energivækster i Norge kan være opp mot 1 TWh per år. Matvaresikkerhet er imidlertid en så viktig del av norsk jordbrukssikkerhet at det er lite sannsynlig at det vil foregå noen omlegging fra mat til brenselproduksjon på jordbruksarealene i Norge. Potensialet er derfor i praksis begrenset til bruk av biprodukter som halm og husdyrgjødsel.

Berg et al. (2003) vurderte det teoretiske potensialet for kornavrens til 80 GWh og halm til 4,5 TWh. Ut fra hensyn til bærekraftig uttak bør uttaket av halm muligens begrenses til 50%, noe som reduseres potensialet til ca 2-3 TWh. I følge Eltun (2012) bidrar nedmolding av halm til å opprettholde jordas moldinnhold, men mindre enn ved bruk av husdyrgjødsel, og langt mindre enn ved å ha eng i vekstomløpet. Ved bruk av husdyrgjødsel og/eller eng i vekstomløpet kan ca. halvparten av halmen trolig fjernes uten fare og basert på Eltun (2012) er potensialet for halm da anslått til ca 200 tusen tonn t.s. (ca 1 TWh). Kostnadene for innsamling (pressing og transport til lager på gården) ser ut til å ligge i intervallet 500 - 650 kr/tonn t.s. Dette tilsvarer en kostnad på 10 - 14 øre/kWh (Belbo 2011). Bruk av halm i stort omfang til biodrivstoffproduksjon krever omfattende vegtransport fra gårdsbruk til anlegg, og ser ut fra overstående ikke ut til å være konkurransedyktig med bruk av flis fra rundtømmer eller GROT.

### 2.4.4 Avfall

Avfallsmengden i Norge har økt med over 30% siden 1995. Avfallsmengden fra industri er nedadgående, mens mengden øker fra husholdninger og andre næringer. Avfallsmengden var samlet på 9,5 mill tonn i 2010. Ca 40% av avfallet materialgjenvinnes og 20% energigjenvinnes. Forbrenningen av avfall er omtrent doblet de siste 10 årene; i 2001 ble 675 000 tonn avfall i Norge forbrent, mens mengden var 1 165 000 tonn i 2010. Av dette var nærmere 80% husholdningsavfall og i overkant av 20% industriavfall (SSB 2012). 1. juli 2009 innførte myndighetene forbud mot å deponere biologisk nedbrytbart avfall som papir, tre og matrester. Det ble gitt betydelig dispensasjoner i 2009 og deler av 2010, og enkelte kommuner har dispensasjon til å deponere husholdningsavfall fram til 2012.

Skullerud og Eika (2012) beregnet avfallsmengden fremover og fant et omfang på  $11,3 \pm 0,6$  millioner tonn ordinært avfall i 2020. industrien utgjør en betydelig mindre andel av avfallet i 2020 enn tilfellet er i dag. Husholdningene, bygge- og anleggsnæringen og tjenesteytende næringer ventes derimot å øke sine andeler av den samlede avfallsmengden vesentlig. Denne utviklingen skyldes dels at avfallsmengden fra industrien antas å øke mindre enn avfallsmengdene fra de tre andre kildene ved en gitt økonomisk vekst, og dels at industriens andel av BNP avtar i beregningene mens de tre andre kildene øker sine andeler. Materialfordelingen vil ikke forandre seg stort fram mot 2020.

Det er bygd ut flere fjernvarmeanlegg basert på avfall i Norge de siste årene, blant annet stor kombinerte kraft-varmeanlegg i Fredrikstad og Kristiansand. I perioder har det vært vanskelig for flere av avfallsanleggene å få nok avfall til å utnytte sin kapasitet. Både fordi veksten i avfallsmengden er begrenset årene som kommer og det er god kapasitet til å håndtere denne veksten i eksisterende forbrenningsanlegg for avfall, er potensialet for avfall til biodrivstoffproduksjon i Norge begrenset med de biomassemengdene slike anlegg krever.

### 3 TILBUDET AV SKOGRÅSTOFF TIL PRODUKSJON AV BIODRIVSTOFF

Mens kapittel 2 fokuserer på tekniske/ressursmessige potensialer vil kapittel 3 inneholde en utvidet analyse med vurderinger av kostnader og faktisk tilbud av tømmer som funksjon av pris.

#### 3.1 Kostnader ved leveranser av biomasse fra skog

Rundvirke må bearbeides før det kan brukes i bioenergianlegg og aktuelle biobrensler til varme og kraftproduksjon er energiflis og ved. Rundvirke flises vanligvis på terminal eller ved større anlegg. Mellomlagring på terminal innebærer ekstra losse- og lesekostnader og lagerkostnader. Kostnaden for flising av massevirke på terminal eller større anlegg er i størrelsesorden 50-80 kr pr m<sup>3</sup> eller 2,5-3,5 øre pr kWh. Omlastingskostnadene er i størrelsesorden 30 kr pr m<sup>3</sup> (1,5 øre/kWh) og øvrige terminal/lagringskostnader 1-3 øre/kWh. Bruk av terminal kan også innebære økt transportavstand. Samlet sett kan terminalkostnadene være i størrelsesorden 2 til 6 øre pr kWh. Samlede kostnader for energiflis levert anlegg vises i Tabell 5. Som det fremgår av tabellen kan kostnadene for energiflis levert anlegg komme ned mot 16 øre pr kWh ved kort transport og uten bruk av terminal.

*Tabell 6. Kostnader for energiflis basert på rundvirke (basert på Bergseng et al. 2012).*

Kostnadsfaktor	Kostnad kr/m <sup>3</sup>	Kostnad øre/kWh
Massevirke levert bilveg	200-250	10-12,5
Transport	30-80	1,5-4
Flising	50-80	2,5-3,5
Terminalkostnader	(0)50-90	2,5-4,5
<b>Sum</b>	<b>330-500</b>	<b>16,5-25</b>

Skog og bioenergisektorene er transportintensive bransjer. Massevirke transporteres i gjennomsnitt om lag 70 km på bil, mens sagtømmer transporteres om lag 60 km. Transportavstanden for rundvirke til bioenergi vil variere fra fylke til fylke avhengig av skogtilstand og befolkningstetthet. Vi har i denne rapporten brukt følgende funksjon for beregning av transportkostnad for rundvirke pr kubikkmeter:

$$24kr + 0,6 kr/km$$

Det innebærer at 40 km vegtransport koster kr 48 pr kubikkmeter eller om lag 2,4 øre pr kWh, mens 100 km biltransport koster 84 kr eller 4,2 øre pr kWh. Transport med jernbane innebærer at tømmeret må på bil først, men lavere kostnad pr km gjør at bruk av jernbane er lønnsomt over ca 130 km transportavstand. I 2010 ble ca 15% av flisa og 30% av massevirket i Norge transportert på bane. De fleste transportene på bane skjer på Østlandet og i Trøndelag (Statens landbruksforvaltning og Jernbaneverket 2010). Transport på båt koster fra kr 100 pr m<sup>3</sup>, men krever leveranser av større partier (anslagvis 3000 m<sup>3</sup>).

Energiflis har lavere energitetthet enn rundvirke, men kan transporteres i containere og ikke på spesialbygde tømmerbiler. Basert på data fra bioenergibransjen har vi estimert følgende kostnadsfunksjon for flis pr løskubikkmeter:

$$12,3/kr + 0,25kr/km$$

Dette gir en kostnad på 2,4 øre pr kWh ved 40 km vegtransport for energiflis.

## 3.2 Tilbud av energiflis fra skogråstoff

### 3.2.1 Materiale og metode

#### *Rundvirke*

Mesteparten av skogen i Norge eies av ikke-industrielle private skogeiere, og det er i hovedsak disse eiernes beslutninger som bestemmer hvordan tømmerressursene disponeres. Flere undersøkelser har analysert hvilke faktorer som er avgjørende for tømmertilbudet, eller avvirkningsnivået, fra norske skogeiere (Rørstad & Solberg, 1992; Løyland, Ringstad & Øy, 1995; Bolkesjø & Baardsen, 2002; Bolkesjø & Solberg, 2003). Disse undersøkelsene viser at flere faktorer er med på å avgjøre skogeiers avvirkningsnivå, men i alle studiene er tømmerprisen en sentral faktor. Priselastisiteten (prosentvis økning i avvirkning når prisen øker med en prosent) er i de fleste studier estimert til å være mellom 0,5 til 1,0. Samtidig er det slik at økte skogressurser, alt annet likt, gir økt avvirkning. Økningen i stående volum forklarer sammen med lavere driftskostnader at tømmeravvirkningen i Norge har holdt seg relativt stabil til tross for lavere tømmerpriser. Ut fra estimerte priselastisiteter i tømmertilbudet, og data fra Landsskogstakseringen og SSB beregner vi her tilbudet av rundvirke til økt energiproduksjon i 2020 basert på følgende forutsetninger:

- Forbruket av innenlands virke i skogindustrien er på dagens nivå (gjennomsnitt av massevirke 1996-2010)
- Priselastisiteten til biovirke og massevirke er forutsatt å være 1,0 (1% prisøkning gir 1% økning i avvirkningen)
- Kostnadene ved administrasjon, transport 40 km, flising og lagring er satt til kr 120 kr/m<sup>3</sup>
- Nettotilveksten på skogarealene med transportavstand under 2 km gir en økning i tilbudet med en faktor på 0,6 med utgangspunkt i dagens avvirkning til massevirke og halvparten avvirkningen til ved
- For å beregne samlet tilgang på biomasse fra skog til energiformål ved ulike flispriser, har vi tatt utgangspunkt i analysen for rundvirke over og lagt til flis fra hogstavfall analysert i kapittel 4.1 og biomasse fra andre arealer i kapittel 4.2 og 4.3. For å reflektere at flis fra hogstavfall er et mer krevende produkt enn flis fra stammeflis, er flis fra hogstavfall gitt et tillegg på 2 øre pr kWh.



## Hogstavfall

I hvilken grad hogstavfall blir brukt til energiformål vil avhenge av priser og kostnader – i tillegg til at det må være et marked/avtakere for biomassen. Siden utnyttelse av hogstavfall må sies å være i startfasen i Norge, finnes det ikke markedsdata som kan brukes til å estimere tilbud og etterspørsel etter flis produsert fra hogstavfall. Vi har derfor brukt en teknisk tilnærming til problemstillingen, og vi vil bare se på tilbudssiden. Metoden er beskrevet i detalj i Rørstad et al. (2010) og i Bergseng et al. (2012).

Kostnader til administrasjon, flising, terminalkostnader og lignende er basert på Skogforsk (2011). Når det gjelder veitransport viser litteraturen fra Skandinavia en variasjon i området 0,03 – 0,04 øre/kWh-km. Vi har valgt å bruke en kostnad på 0,04 øre/kWh-km og 40 km transportavstand. Det siste er basert på Skogforsk (2010). Den samlede kostnaden for håndtering av hogstavfall fra velteplass ved bilvei til sluttbruker blir med disse forutsetningene 14,3 øre/kWh (effektiv brennverdi), se Tabell 7. Vi har forutsatt at kostnadene er de samme for alle arealer, dvs er like over hele landet, og vi har ikke tatt hensyn til dagens støtteordning som beskrives i eget avsnitt nedenfor.

**Tabell 7. Økonomiske forutsetninger for beregning av kostnader for produksjon av energiflis fra hogstavfall, , kr per kWh og kr per løskubikkmeter.**

<b>Kostnadskomponent</b>	<b>kr/kWh</b>	<b>kr/lm<sup>3</sup></b>
Kompensasjon til skogeier	0,029	25
Administrasjon og andre kostnader	0,020	17
Flising og terminalkostnader	0,066	57
Veitransport	0,028	24
<b>Sum eks innsamling og fremkjøring</b>	<b>0,143</b>	<b>123</b>

Differansen mellom prisen levert anlegg (energi prisen) og kostnadene skal dekke kostnadene for å hente ut hogstavfallet fra hogstflata. Denne differansen er med andre ord det som bestemmer om det er lønnsomt å hente ut hogstavfall fra den enkelte hogstflata, eller med andre ord tilbudet av energiflis fra hogstavfall.

### 3.2.2 Resultater

#### Rundvirke

Tabell 8 viser beregnet økt tilgang på energiflis produsert av rundvirke ved ulike flispriser levert anlegg.

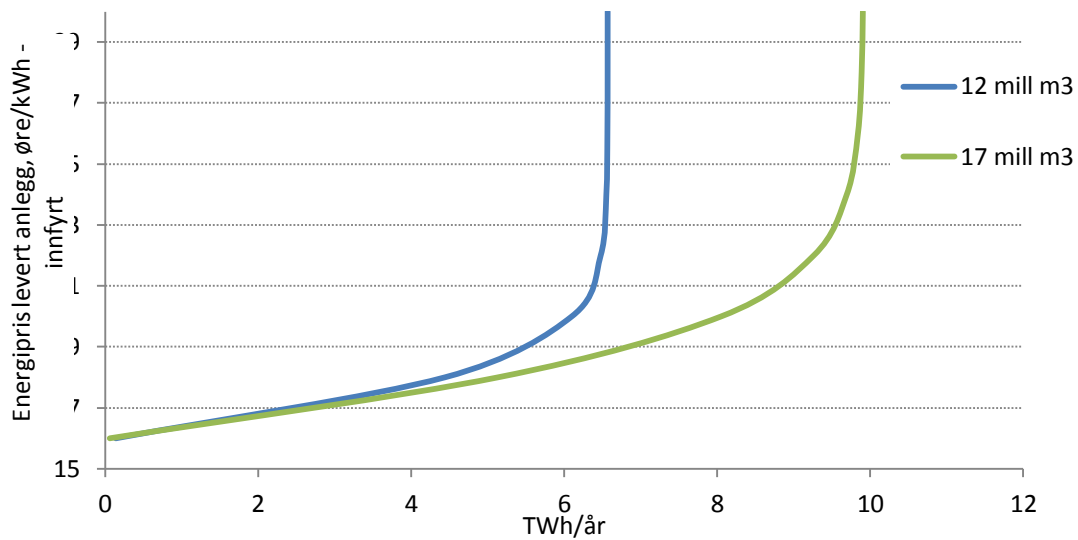
**Tabell 8. Beregnet tilbudet av energiflis basert på rundvirke i år 2020 i GWh. Prisene er levert anlegg og forutsatt 40 km vegtransport. Dagens forbruk av biomasse fra skog er ikke inkludert.**

Rundvirke	14	16	18	20	22	24	26	28
01 Østfold	32	62	121	197	271	343	412	479
02 Akershus/Oslo	41	69	152	233	311	387	461	533
04 Hedmark	178	331	642	954	1255	1547	1829	2101
05 Oppland	49	90	240	389	534	676	815	950
06 Buskerud	76	138	269	411	550	686	817	945
07 Vestfold	65	92	167	224	279	332	382	430
08 Telemark	151	234	384	519	652	782	909	1032
09 Aust-Agder	45	81	141	199	257	313	369	422
10 Vest-Agder	34	58	115	155	195	235	274	312
11 Rogaland	18	29	66	87	108	128	148	167
12 Hordaland	21	38	89	116	143	170	196	223
14 Sogn og Fjordane	29	45	85	109	133	157	180	203
15 Møre og Romsdal	57	88	142	184	224	265	305	344
16 Sør-Trøndelag	28	47	97	143	189	234	279	323
17 Nord-Trøndelag	21	34	106	178	248	316	384	450
18 Nordland	31	58	108	151	194	237	279	320
19 Troms	63	106	150	192	234	275	316	357
<b>Sum GWh</b>	<b>939</b>	<b>1600</b>	<b>3072</b>	<b>4443</b>	<b>5780</b>	<b>7083</b>	<b>8353</b>	<b>9590</b>

#### Hogstavfall og biomasseressurser fra andre trebevokste arealer

Figur 4 viser sammenhengen mellom kostnad levert bilvei og energipotensialet (innfyrt – dvs effektiv brennverdi) ved en nasjonal tømmeravvirkning på hhv på 12 mill m<sup>3</sup> og balansekvantumet på ca 17 mill m<sup>3</sup>. Som vi ser er kurvene relativt flate i et stort intervall og kostnadene stiger sterkt når vi nærmer oss maksimalt mulig uttak. Dersom vi holder andre kostnader konstante – slik vi forutsetter her – er det økonomiske potensialet svært følsomt for energiprisen (pris levert anlegg). Grovt regnet vil hele potensialet utløses innenfor et prisintervall på 4 – 6 øre/kWh.

Beregnet tilbud av energiflis fra hogstavfall på fylkesnivå i 2020 for de to avvirkningsscenarioene og ulike energipriser levert anlegg, er vist i Tabell 9 og 10. Det må understrekes at det er betydelig usikkerhet i estimatene grunnet mange forutsetninger – blant annet i metoden for å beregne kostnadene knyttet til transport av hogstavfall ut av skogen. Usikkerheten er størst for lave energipriser.



*Figur 4. Nasjonal tilgang på energiflis i 2020 (TWh/år) fra hogstavfall som funksjon av energipris for to ulike scenarier for samlet avvirkningsnivå i Norge (mill m3). Pris levert anlegg inkl. flising og transport (midlere transportavstand).*

**Tabell 9. Estimert tilbud av energiflis fra hogstavfall i 2020 basert på en hogst på 12 mill. m<sup>3</sup>/år. GWh.**

<b>Fylke/øre pr Kwh</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>30</b>
1 Østfold	46	241	318	347	357	361	362	363
2 Akershus	98	468	531	541	543	543	543	543
3 Oslo	- <sup>a)</sup>	-	-	-	-	-	-	-
4 Hedmark	0	1172	1538	1597	1605	1607	1607	1607
5 Oppland	30	675	815	832	834	834	834	834
6 Buskerud	0	451	645	691	700	702	703	703
7 Vestfold	5	249	290	297	298	299	299	299
8 Telemark	31	318	498	546	556	558	558	558
9 Aust-Agder	0	163	260	293	303	305	306	306
10 Vest-Agder	-	-	-	-	-	-	-	-
11 Rogaland	-	-	-	-	-	-	-	-
12 Hordaland	-	-	-	-	-	-	-	-
14 Sogn og fjordane	-	-	-	-	-	-	-	-
15 Møre og Romsdal	-	-	-	-	-	-	-	-
16 Sør-Trøndelag	0	104	218	230	230	230	230	230
17 Nord-Trøndelag	0	192	404	463	473	474	474	474
18 Nordland	33	68	113	117	118	118	118	118
19 Troms	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>20 Norge<sup>b)</sup></b>	<b>139</b>	<b>4440</b>	<b>6100</b>	<b>6477</b>	<b>6551</b>	<b>6565</b>	<b>6567</b>	<b>6568</b>

<sup>a)</sup> – i tabellen betyr at det ikke er nok data til å estimere tilgangen på fylkesnivå

<sup>b)</sup> Tallene for hele Norge er estimert separat og er ikke lik summen av fylkestallene.

Tabell 9 og 10 viser hvordan tilgangen er svært følsom for flisprisen. Ved en hogst på 12 mill. m<sup>3</sup>/år vil en pris på 16 øre/kWh gjøre flis fra hogstavfall ulønnsomt, mens en pris på 20 øre/kWh vil gjøre det lønnsomt å hente ut over 90 % av det totale potensialet i nesten alle fylker. Ved en hogst av balansekvantumet (17 mill. m<sup>3</sup>/år) kreves en pris på 22 øre/kWh for å utløse over 90 % av potensialet.

**Tabell 10. Estimert tilbud av energiflis fra hogstavfall i 2020 basert på en hogst av nasjonalt balansekvantum (17 mill. m<sup>3</sup>/år). GWh.**

Fylke/øre pr Kwh	16	18	20	22	24	26	28	30
1 Østfold	37	413	525	549	553	554	554	554
2 Akershus	69	419	593	649	664	668	669	670
3 Oslo	0	83	116	126	128	129	129	129
4 Hedmark	0	1213	1720	1820	1837	1840	1840	1840
5 Oppland	27	679	926	1018	1051	1063	1067	1069
6 Buskerud	0	460	707	806	844	858	863	864
7 Vestfold	0	240	293	305	307	308	308	308
8 Telemark	31	356	590	659	674	676	677	677
9 Aust-Agder	35	139	344	430	444	446	446	446
10 Vest-Agder	62	217	340	397	417	424	426	426
11 Rogaland	12	79	174	202	206	207	207	207
12 Hordaland	0	72	296	390	401	402	402	402
14 Sogn og fjordane	75	101	186	258	276	279	279	279
15 Møre og Romsdal	50	175	297	361	383	389	391	392
16 Sør-Trøndelag	0	174	328	386	401	405	405	406
17 Nord-Trøndelag	17	220	425	558	622	648	658	662
18 Nordland	0	143	236	293	326	345	356	363
19 Troms	7	12	52	129	150	153	153	153
<b>Norge<sup>b)</sup></b>	<b>60</b>	<b>5134</b>	<b>8053</b>	<b>9262</b>	<b>9694</b>	<b>9839</b>	<b>9887</b>	<b>9903</b>

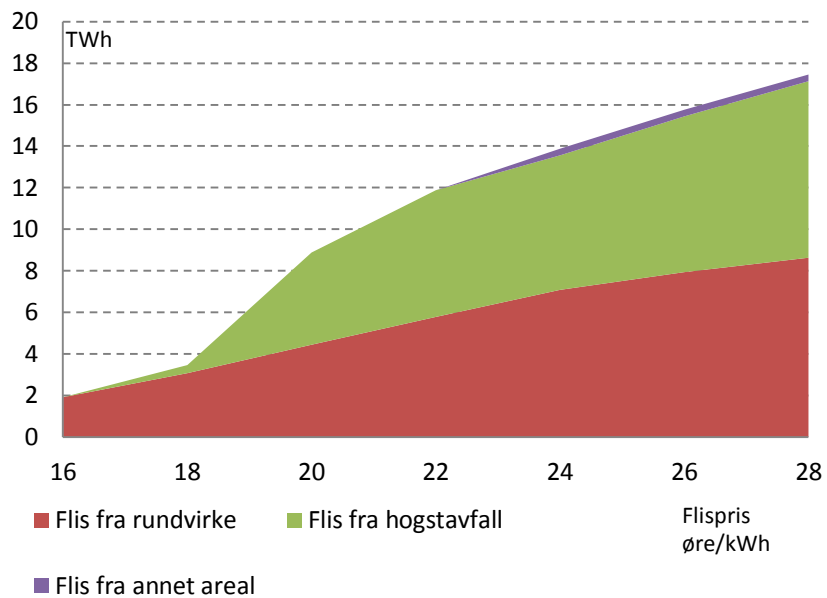
<sup>a)</sup> – i tabellen betyr at det ikke er nok data til å estimere tilgangen på fylkesnivå

<sup>b)</sup> Tallene for hele Norge er estimert separate og er ikke lik summen av fylkestallene.

Årlig potensiell energiproduksjon fra andre arealer som kraftgater, kulturbeite, kantsoner, bebygde arealer mv, er beregnet til 1,8 TWh. Bare en mindre andel av dette er økonomisk drivbart. For det første vil det for en del av arealene være driftsteknisk umulig å ta ut biomassen. Det er selvsagt heller ikke sikkert at alle hytte- og hageeiere ønsker å ta ut biomasse fra eiendommene sine. Kostnadene ved uttaket av biomassen vil imidlertid være den viktigste årsaken til at anslaget må reduseres. En del av dagens vedforbruk og flis som omfattes av flistilskuddsordningen kommer fra hyttefelt, kulturbeite og bebygde områder, slik at en del av potensialet allerede er utnyttet.

#### *Samlet tilgang på biomasse fra skog*

Beregnet tilbud av energiflis levert industritomt ved ulike flispriser er vist i figur 5 (basert på analysene over). Ved en pris på 20 øre pr kWh kommer ca halvparten av råstoffet fra hogstavfall og halvparten fra stammeflis. Ved flispriser under 20 øre/kWh vil det i følge våre forutsetninger være lite tilbud av flis fra hogstavfall.



*Figur 5. Beregnet tilbudet av energiflis fra skogråstoff i år 2020 ved ulike flispriser levert anlegg. Det er forutsatt ved 40 km vegtransport. Dagens forbruk av biomasse fra skog er ikke inkludert.*

#### **4 PROGNOSE FOR ENDRINGER I RÅSTOFFPRISER SOM FØLGE AV UTBYGGING AV BIODRIVSTOFFANLEGG**

Dette kapitlet inneholder en analyse av virkningene på tømmermarkedet av økt etterspørsel etter virke som følge av utbygging av biodrivstoffanlegg basert på trevirke. Analysene er konsentrert om fire geografiske lokaliteter: Hønefoss, Grenland, Elverum og Hordaland. Det er tatt utgangspunkt i et anlegg med en årlig produksjon på 50 mill liter Jet A-1 drivstoff og et virkeforbruk på om lag 1 million fastkubikkmeter flis fra rundtømmer eller hogstavfall.

Tømmer omsettes i et velfungerende marked hvor prisene bestemmes av rådende tilbud og etterspørsel. Under presenteres noen grunnleggende forhold ved tømmermarkedene i de fire utvalgte regionene.

## 4.1 Lokalteter vurdert

**Tabell 11. Sammenstilling av nøkkeltall for dagens tømmermarkeder i Buskerud, Hedmark, Telemark og Hordaland**

	Buskerud	Hedmark	Hordaland	Telemark
Avvirkning av massevirke til industriformål (gjennomsnitt 2001-2010) (m <sup>3</sup> )	430 000	920 000	30 000	280 000
Tilgang flis trelastindustri (m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	110 000	390 000	35 000	30 000
Sum lokal tilgang (m <sup>3</sup> )	540 000	1 280 000	65 000	310 000
Virkesforbruk massevirke og flis 2012 (m <sup>3</sup> )	1 050 000	50 000	15 000	110 000
	Hellefoss (130 000 m3 gran), Sødra Cell ca 600 000 m3 gran og 320 000 m3 furu + eucalyptus.	Forestia Braskereidfoss. Ca50 000 m3 gran, (+ ca 370 000 m3 kutterflis og sagflis)	Forestia Braskereidfoss (massevirke furu og noe gran)	Vafoss (ca 110 000 m3 gran)
Anslag flis til energiproduksjon 2012 (m <sup>3</sup> )	70 000	100 000	15 000	30 000
Tømmerpris massevirke 2011 (NOK/m <sup>3</sup> )	293	302	287	288
Transportkostnad i regionen <sup>2</sup> (NOK/m <sup>3</sup> )	55	48	50	55
Råstoffpris pr kbm inkludert flising (50 kr)	398	400	387	393
Anslått råstoffpris levert anlegg pr øre/kWh per 2012	19,9	20,0	19,4	19,7

- 1) Det er forutsatt at sagflis og bark går til egen varmeproduksjon, her er flis fra bakhun inkludert (0,67 m3 pr m3 produsert skurlast).
- 2) Hentet fra Skog Data med utgangspunkt i sagtømmer. Kostnadene er fra 2008.
- 3) For beregning av tilgang ved 18 øre er det tatt utgangspunkt i 40 km transport. Flis fra GROT og rundvirke er gitt samme verdi.
- 4) Lokal tilgang tar kun hensyn til tilgang og bruk i eget fylke minus dagens forbruk i treforedling og varmeforbruk i 2020.

Tabell 11 sammenstiller en del nøkkeltall på fylkesnivå for de fire lokalitetene. Det må understrekes at et storskala biodrivstoffanlegg sannsynligvis må basere seg på innkjøp av virke fra andre fylker og fra utlandet, så tallene i tabellen vil bare i begrenset grad beskrive råstofftilgangen. Noen særtrekk ved de ulike lokalitetene bør likevel nevnes.

### Hønefoss

Et biodrivstoffanlegg på Hønefoss vil trolig hente råstoff fra innkjøpsområdene til Norske Skog Follum som ble nedlagt tidligere i år – dvs Buskerud, Telemark og deler av Oppland med mer. Det nedlagte



papirfabrikanlegget på Follum hadde et virkesforbruk på om lag 650 000m<sup>3</sup>. Import fra utlandet kan også være aktuelt, men logistikkmessig er dette mindre gunstig enn for lokaliteter nærmere kysten eller Sverige. Nærområdene til Follum har store virkesressurser og den langsiktige virkestilgangen ser også gunstig ut (tabell 1). En del tømmer fra Telemark og Oppland kan også hentes med moderate transportkostnader.

## **Elverum**

Elverum ligger i hjertet av skog-Norge med store skogressurser i nærområdene. Tabell 10 viser noen nøkkeltall for ressursituasjonen i Hedmark fylke. I tillegg til det lokale råstoffet i Hedmark er det selvsagt aktuelt å hente råstoff fra Oppland og Akershus, og å importere fra Sverige. Regionen har lite treforedlingsindustri som utnytter lavkvalitetsvirke. Mesteparten av grana og en del furu transporteres på jernbane eller bil ut av fylket, først og fremst til treforedlingsindustrien i Østfold, men også til Sverige. En god del furu og mesteparten av lauvtretømmeret brukes allerede til bioenergiformål (primært ved). Regionen har stor trelastproduksjon og dermed god tilgjengelighet til store kvanta biprodukter som industriflis, sagflis og bark.

## **Grenland**

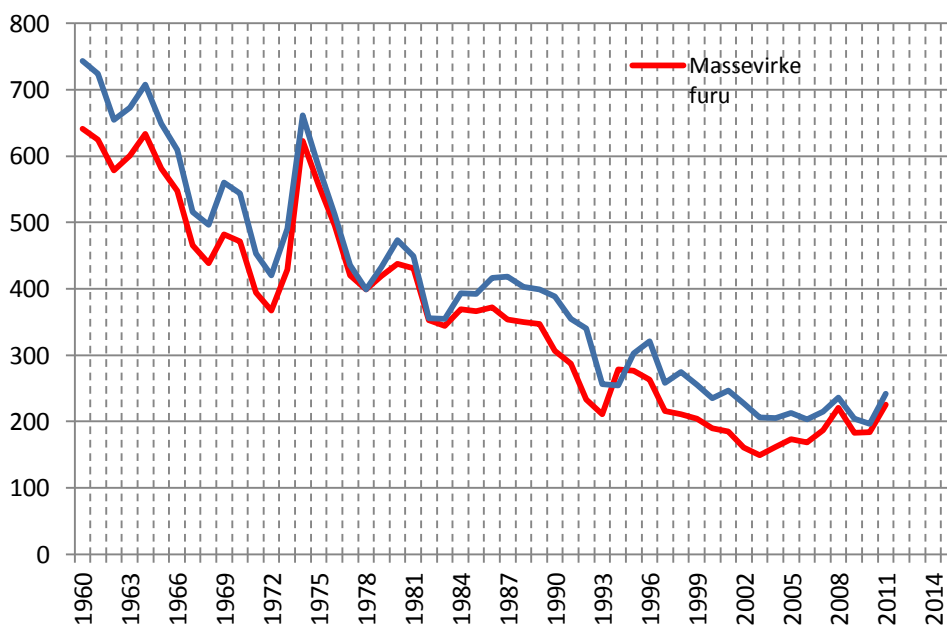
Nedleggelsen av Union i Skien har gitt et overskudd av massevirke i Telemark som i dag transporteres ut av regionen. Lokalisering ved havn vil muliggjøre en kombinasjon av lokal og importert biomasse. Aust-Agder har også en økende tilgang på biomasse og lav lokal avsetning som gjør at et biodrivstoffanlegg kan planlegge med biomasse også fra dette fylket.

## **Hordaland**

Skogvolumet på Vestlandet øker raskt og det vil være ressurser nok til etablering av et biodrivstoffanlegg hvis Vestlandsfylkene sees samlet. Avvirkingen i Hordaland økte fra 35 000m<sup>3</sup> i 2002 til 146 000 m<sup>3</sup> i 2011, men er fortsatt bare om lag 25% av balansekvantumet i fylket, sammenlignet med en avvirking til industriformål på om lag 50% av balansekvantumet på nasjonal basis. Det ligger en usikkerhet i om avvirkningsnivået vil fortsette å øke og om hvordan infrastruktur og driftskostnader vil påvirke ressursutnyttelsen og om avsetningen til sagtømmer er høy nok til å "dra med seg" de lavere prisede sortimentene som masse- og energivirke. Et større drivstoffanlegg må på kort sikt basere seg på importert biomasse mens større tilgang fra Vestlandsfylkene kan være en mulighet på litt lengre sikt. I forhold til import vil lokalisering i Hordaland være fordelaktig. Det er et relativt stort potensial for mer fjernvarme i Hordaland som kan gi konkurranse om lokal biomasse, men for sjønære anlegg vil varmepumper muligens dempe denne konkurransen.

## 4.2 Massevirkepriser i Norge, historisk

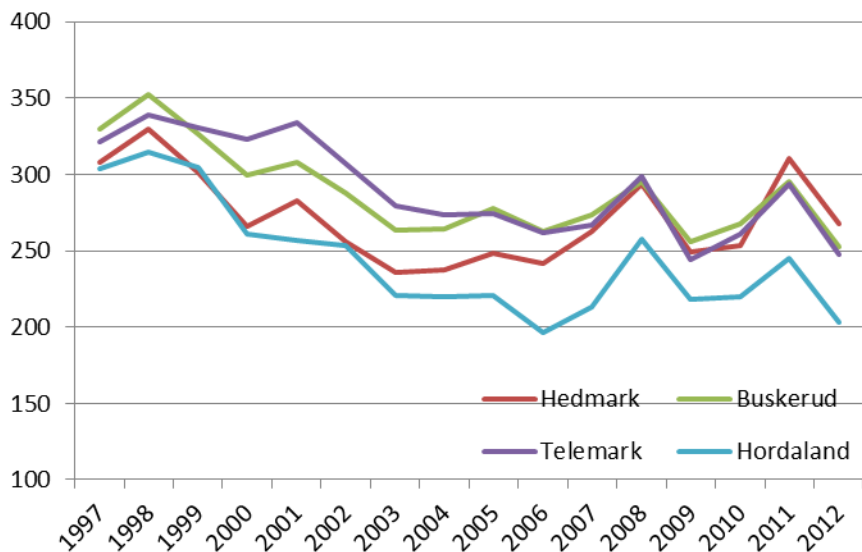
Figur 6 viser utviklingen i gjennomsnittlige massevirkepriser i Norge fra 1960 til 2011, målt i faste 1998-kroner. Det har vært en kraftig fallende trend i realprisene for begge treslag i denne perioden, primært som følge av redusert etterspørsel etter norsk virke fra treforedlingsindustrien og økende tilbud fra norske skogeiere som resultat av stigende stående tømmer volum. Synkende priser har bidratt til at en gradvis mindre andel av avvirkningspotensialet er blitt utnyttet gjennom denne perioden, jmf figur 1.



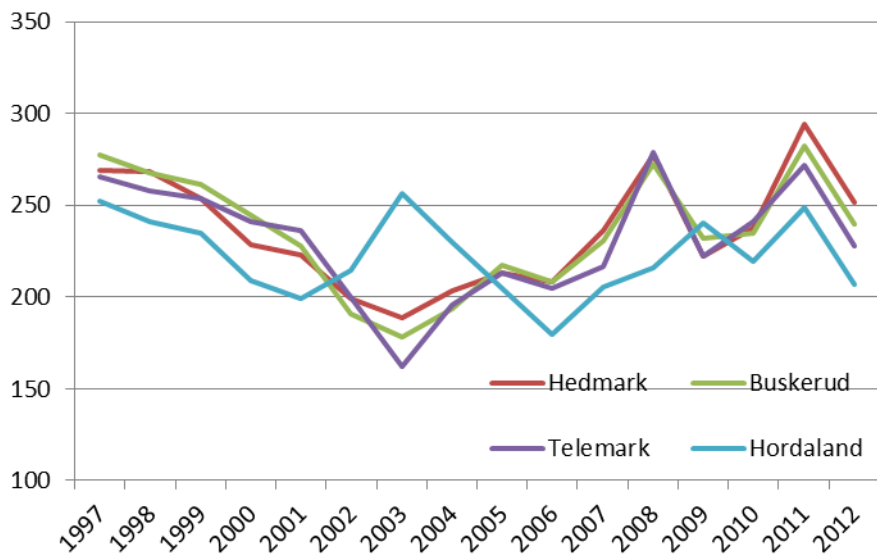
Figur 6. Pris for massevirke gran og furu 1960-2011 (kr/m<sup>3</sup>, i faste 1998 kroner) (SSB, 2012b).

## 4.3 Regionale variasjoner

Figur 7 og 8 viser massevirkepriser for henholdsvis gran og furu i de fire fylkene Hedmark, Buskerud, Telemark og Hordaland i perioden 1996-2012, målt i faste 1998 kroner. Tallene for 1996-2011 er hentet fra SSB (2012b) og for 2012 er prisene stipulert basert på informasjon fra skogeierforeningene. Prisene i Hordaland har tradisjonelt vært lavere enn på Østlandet, men ellers er det relativt små forskjeller. Tidlig på 2000-tallet var massevirkeprisene i Telemark og Buskerud høyere enn i Hedmark, men etter nedleggelse på Union i Skien og Follum ved Hønefoss var Hedmarksprisen høyest i 2011. Prisøkningen fra 2010 til 2011 erstattes av en prisnedgang fra 2011 til 2012.



Figur 7. Prisutvikling for massevirke furu, levert bilvei, i perioden 1996-2011 i de fire utvalgte fylkene (NOK/m<sup>3</sup>, omregnet til faste 2010 NOK).



Figur 8. Prisutvikling for massevirke furu, levert bilvei, i perioden 1996-2011 i de fire utvalgte fylkene (NOK/m<sup>3</sup>, omregnet til faste 2010 NOK).

#### 4.4 Metode for analyse av priseffekter

For å vurdere effektene av økt etterspørsel etter trevirke til energiformål er det nødvendig å analysere samspillet mellom skogbruket, skogindustrien og energisektoren, og å ha kunnskap om prisfølsomheten på tilbuds- og etterspørselssiden i tømmermarkedet. I denne analysen har vi anvendt en økonomisk analysemodell, NTM 3.0, som består av fire delmodeller:

- 1, En modell for tømmertilbudet hvor avvirkningsnivået er en stigende funksjon av tømmerprisen, og tilbudet endres periodevis som følge av endringer i det stående volumet.
- 2, En modell for skogindustriproduksjonen hvor det antas at bedriftene maksimerer profitt og dermed øker produksjonskvantumet til kostnaden for å produsere siste enhet er lik inntektene av den siste enheten. Produksjonen endres over tid som følge av endrede rammevilkår for eksisterende industri, kapasitetsutvidelser eller nedleggelse. I denne analysen er de aktuelle investeringsalternativene (biodrivstoffanlegg) lagt eksogent inn i modellen, dvs at anlegget «tvinges inn i modellen og at produksjon vil være konstant uavhengig av lønnsomhet i anlegget. Industriflis fra trelastindustrien regnes som et perfekt substitutt for massevirke og prises likt. Områder med mye trelastindustri vil derfor ha et ekstra stort tilbud av råstoff til treforedlingsindustrien eller bioenergiformål.
- 3, En modell for etterspørselen etter skogindustriprodukter hvor konsumet av trelast, plater, papp og papir synker med økende priser. Etterspørselen etter disse produktene endres over tid som følge av generell økonomisk vekst. Når det gjelder bioenergi så er det antatt at prisene på olje og elektrisitet styrer markedet og at produksjonsnivået for bioenergi ikke påvirker det generelle energiprisnivået.
- 4, En modell for handelen med tømmer og sluttprodukter mellom regionene. Handel mellom regioner medfører at prisforskjellene mellom regioner aldri blir større enn transportkostnaden per enhet mellom de to regionene. Denne komponenten er av stor betydning i den aktuelle analysen siden den åpner for import av råstoff fra andre regioner i Norge og fra utlandet.

I modellen er markedet delt i 21 regioner - 19 norske, Sverige, en region for øvrig import /eksport. Produktspekteret i norsk skogsektor er aggregert til i alt 19 produkter: 6 tømmer-sortimenter, 3 trelastprodukter, 2 platetyper, 3 massekvaliteter og 5 papirtyper, i tillegg til ulike typer biovarme. Modellen anvender faktiske priser og kvantum fra basisåret 2008, prisfølsomhetsestimater som er statistisk beregnet ut fra historiske data, og innsamlet informasjon om kostnadsstrukturen i skogindustrien. Likevektsløsningen i første periode gir (for alle tømmer-sortimenter og produkter i alle regioner) - sammen med endringer i tømmer-tilbud, kostnadsnivå, kapasiteter og etterspørsel - inngangsdata for beregning av likevektsløsningen i neste periode. En nærmere beskrivelse av modellen finnes i Bolkesjø (2004) og Sjølie & Trømborg (2011).

## 4.5 Data og spesifikke forutsetninger

NTM 3.0 modellen krever en stor mengde data om priser, kvanta, markedsforhold og teknologier. Det er ikke rom for å presentere alle inputdata i dette dokumentet, isteden går vi inn på de aller viktigste parameterne for det spesifikke problemet. Øvrige inngangsdata for modellen er dokumentert i Sjølie og Trømborg (2011). Priseffekten av skift i tømmerretterspørselen avhenger blant annet av prisfølsomheten i tømmertilbudet. Under utviklingen av NTM er ganske stor innsats satt inn på å estimere prisfølsomheten i tømmertilbudet i ulike deler av landet. Basert på disse analysene av norsk tømmertilbud er følgende priselastisiteter<sup>8</sup> lagt til grunn i beregningene (Tabell 12).

*Tabell 12. Priselastisiteter i tilbudet av massevirke i de tre aktuelle regionene*

Region	Priselastisitet
Vest-Agder	0,6
Hedmark	0,6
Telemark	0,6
Hordaland	0,5

Tømmertilbudet skifter avhengig av endringer i stående volum i hver enkelt region med en volumelastisitet på 0,6 (dvs hvis volumet øker 1% så øker tilbudet med 0,6% - alt annet likt).

Observerte volum og priser i 2008 er brukt som basis for simuleringene. Endringer i etterspørselen etter skogprodukter, som følge av forventet økonomisk vekst og spesifikke inntektselastisiteter for hver produktgruppe er drivende for etterspørselen etter tømmer fra trelast og treforedlingsindustrien (for detaljer, se Sjølie og Trømborg (2011)). For utbygging av bioenergi er det en eksogent bestemt elektrisitetspris, inklusiv påslag for nettleie og avgifter som bestemmer produksjonsnivået. I basisscenarioet har vi antatt en elpris (eks avgifter og nettleie) på 38 øre/kWh, målt i faste kroner. Med dette elprisenivået er det samsvar mellom faktisk og modellert varmeproduksjon i basisåret 2010. Vi mener også at dette reflekterer et realistisk elprisenivå mot 2020, men usikkerheten er stor. Handel med utlandet er inkludert ved å definere Sverige som en egen region og annen handel via regionen «rest of the world» (ROW). Handel mellom regioner (fylker i Norge, pluss Sverige og ROW) skjer i modellen hvis prisforskjellene mellom to regioner er større enn transportkostnaden for den aktuelle varen. Transportkostnadene er fastsatt som gjennomsnittstall fra fylkessentrum til fylkessentrum for alle mulige handelsstrømmer og må betraktes som gjennomsnittsverdier for de enkelte fylkene.

<sup>8</sup> Priselastisiteten sier hvor mange prosent tilbudet (avvirket kvantum) endres med når prisen endres med én prosent.

#### 4.5.1 Scenarier

Informasjonen om råstoffkrav til et eventuelt biodrivstoffanlegg var mangelfull da modellsimuleringene ble gjennomført, og på bakgrunn av dette har vi definert følgende scenarier for råstoffmiks. I hvert tilfelle har vi forutsatt et anlegg som forbruker 1 million m<sup>3</sup> med virke. De nylige nedleggelsene av Peterson Moss og Norske Skog Follum er inkludert i alle scenariene.

Basis	Biodrivstoffanlegg bygges ikke
Gran	Biodrivstoffanlegget baserer seg utelukkende på rundvirke av gran
Furu	Biodrivstoffanlegget bygges og baserer seg utelukkende på rundvirke av furu
Miks med GROT	Biodrivstoffanlegget bygges og baserer seg 40 % rundvirke av gran, 20 % rundvirke av furu, 10 % rundvirke av lauv og 30 % GROT
Miks uten GROT	Biodrivstoffanlegget bygges og baserer seg 50 % rundvirke av gran, 30 % rundvirke av furu, 20 % rundvirke av lauv

## 4.6 Resultater

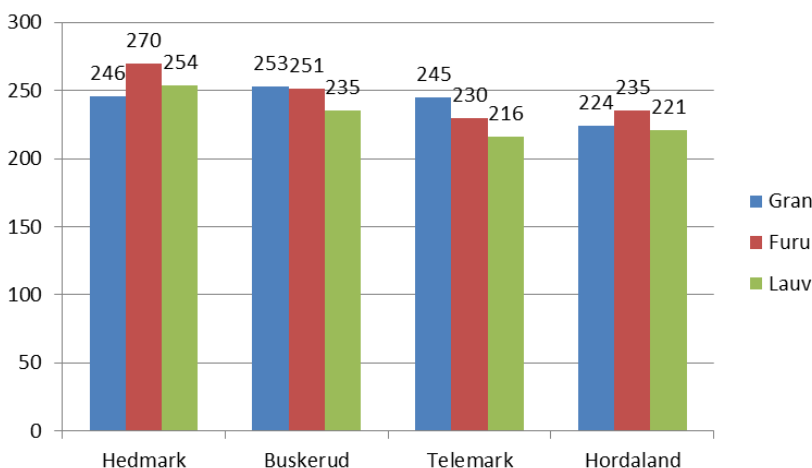
### 4.6.1 Avvirkningsnivå

Avvirkningsnivået i basisscenarioet – uten nye nedleggelse i treforedlingsindustrien, med relativt moderat vekst i etterspørselen etter norskproduserte skogprodukter og en elpris på 38 øre/kWh – er 10,3 mill m<sup>3</sup> (Figur 9). Til sammenligning øker total norsk avvirkning til 10,9 mill m<sup>3</sup> i scenariet der vi forutsetter et biodrivstoffanlegg på Follum med et totalt tømmerforbruk på 1 mill m<sup>3</sup>. Årsaken til at avvirkningen øker mindre enn tømmerforbruket er at noe virke importeres, og at annen treforbrukende industri reduserer forbruket når prisen stiger.



Figur 9. Modellert avvirkning i Norge (1000 m<sup>3</sup>) i 2020 i «Basis» og «Miks uten GROT» med anlegg på Follum.

### 4.6.2 Prisnivå i basisscenarioet



Figur 10. Modellsimulerte massevirkepriser levert anlegg i 2020 i basisscenarioet (NOK/m<sup>3</sup>).

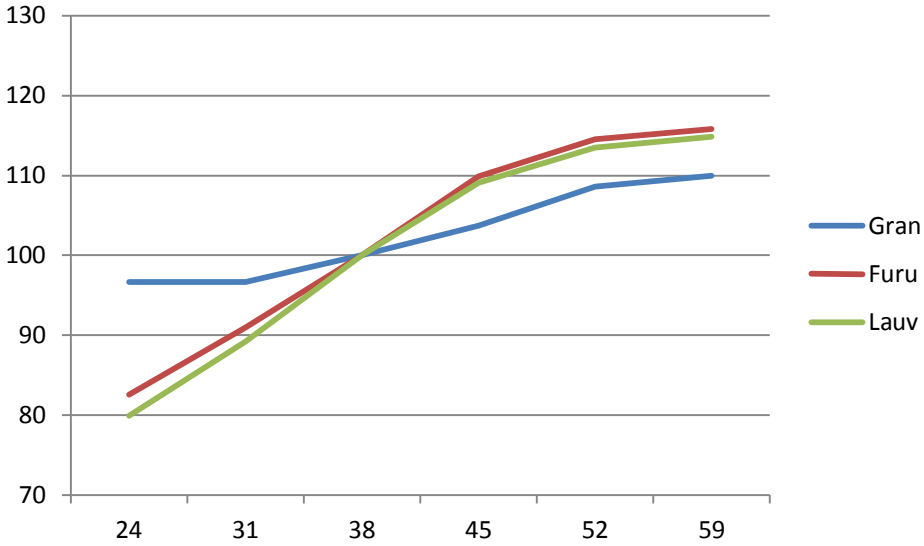
Figur 10 viser modellsimulerte massevirkepriser i de på de ulike lokalitetene i basisscenarioet. Det må understrekes at prisnivåer og regionale forskjeller avhenger av mange modellforutsetninger med betydelig usikkerhet. Et par grunnleggende forhold kan likevel trekkes frem:

- 1) Med våre forutsetninger er det lite som tyder på kraftig vekst i massevirkeprisene mot 2020. Energiprisnivå og generell utvikling i massevirkemarkedene i Europa er blant i største usikkerhetsmomentene i så måte.
- 2) Modellresultatene gir regionale prisvariasjoner med omtrent samme mønster som vi ser i markedet i dag, med generelt høyest priser i øst og lavere vestover i landet. Forskjellene er relativt moderate.

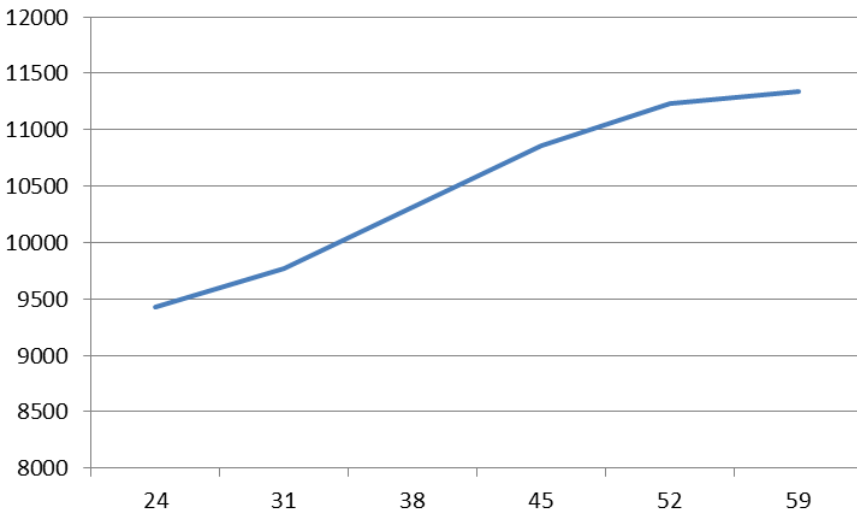
#### 4.6.3 Virkning av endringer i energipris

Basisscenarioet forutsetter en fast elpris på 38 øre/kWh. Energiprisen er styrende for bioenergiens konkurranseevne. For å illustrere betydningen av energiprisen har vi kjørt scenarier med energipriser på varierende fra 24 øre/kWh til 59 øre/kWh (figur 11). Gitt øvrige forutsetninger for basisscenarioet så øker prisen på furu og lauv med om lag 15 % hvis vi forutsetter en energipris i 2020 på 52 øre/kWh i stedet for 38 øre/kWh. Granprisen er mindre følsom for endringer i energipris fordi gran i mindre grad brukes til biovarme. Når elprisen når ca 50 øre/kWh er potensialet for videre utbygging av biovarme begrenset, derfor er økningen i virkespriser mindre når elprisen stiger utover dette nivået. Denne følsomhetsanalysen illustrerer viktigheten av forutsetninger for energipris – og dermed etterspørsel etter biomasse til biovarmeformål – i modellprognosene for tømmerprisene framover. Økt produksjon biovarmeproduksjon vil bidra til økt avvirkningen. Denne sammenhengen, slik den er simulert i NTM modellen er vist i figur 12. Ved en elpris på 38 øre/kWh er avvirkningen som nevnt over estimert til 10,3 mill m<sup>3</sup>. I alternativene med elpriser på hhv 24 øre/kWh og 59 øre/kWh er estimert avvirkning hhv 9,4 mill m<sup>3</sup> og 11,3 mill m<sup>3</sup>. Det er med andre ord lite som tyder på at en høy elpris alene vil utløse avvikningsnivåer i nærheten av balansekvantumsestimatet gitt miljørestriksjoner på ca 17 mill m<sup>3</sup>.





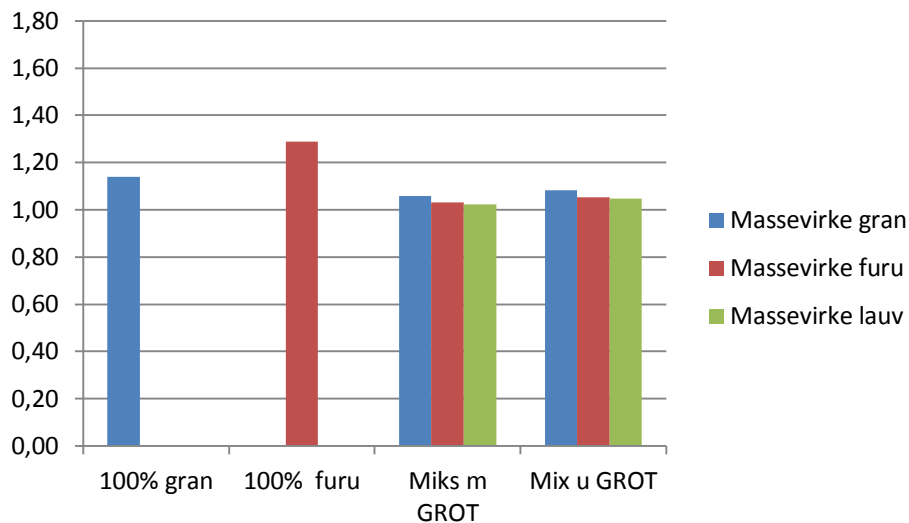
Figur 11. Modellert sammenheng mellom massevirkepriser (100= prisnivået ved elpris på 38 øre/kWh på, y-aksen) og el i 2020 (øre/kWh, x-aksen) gitt forutsetninger som beskrevet for basisscenarioet.



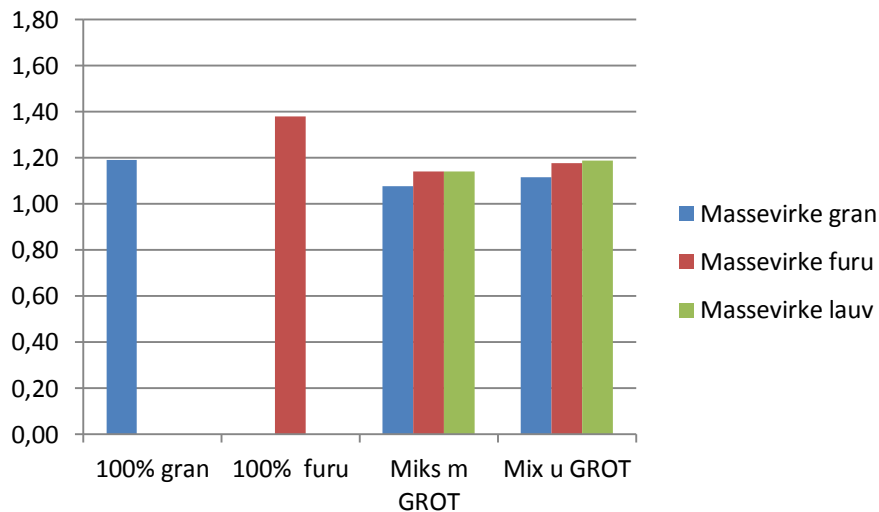
Figur 12. Modellert sammenheng mellom avvirkning i Norge (i 1000 m<sup>3</sup>) og ulike elpriser i 2020 (øre/kWh, x-aksen) gitt forutsetninger som beskrevet for basisscenarioet.

#### 4.6.4 Estimerte priseffekter av biodrivstoffanlegg

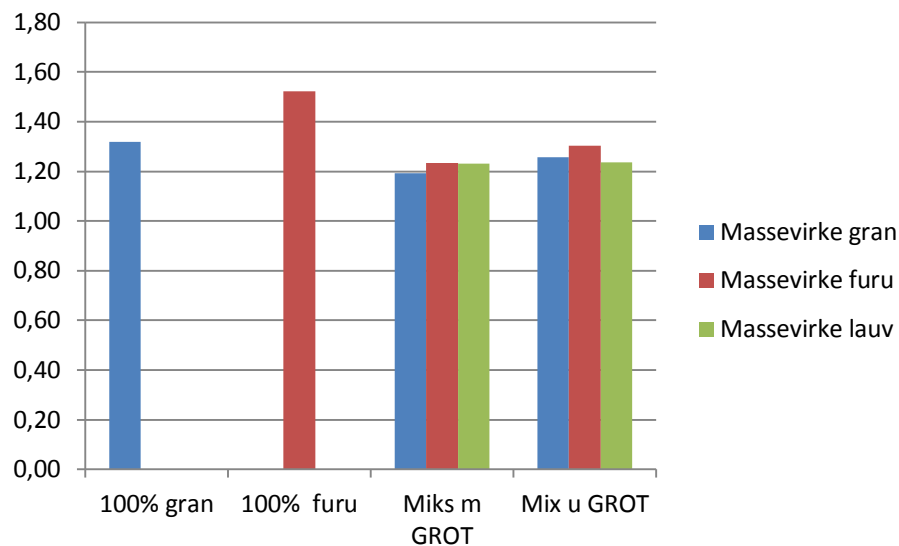
Figur 13a-13d viser estimerte priseffekter av biodrivstoff gitt ulike forutsetninger for råstoff på de ulike lokalitetene. Absolutte prisnivåer i de ulike scenariene er i vedlegg 1.



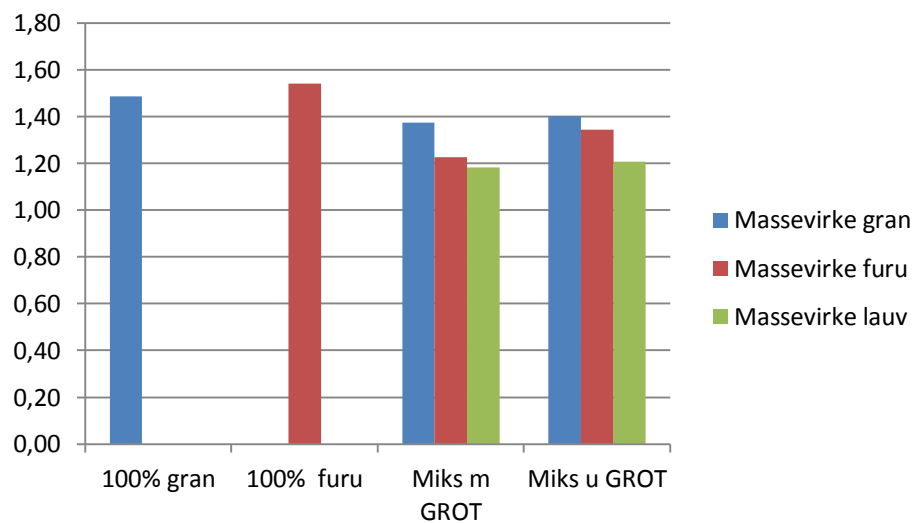
Figur 13a. Modellert endring i pris som følge av biodrivstoffanlegg i Hedmark i 2020 (1,0 = pris i basisscenarioet) (NOK/m<sup>3</sup>).



Figur 13b. Modellert endring i pris som følge av biodrivstoffanlegg i Buskerud I 2020 (1,0 = pris i basisscenarioet) (NOK/m<sup>3</sup>).



Figur 13c. Modellert endring i pris som følge av biodrivstoffanlegg i Telemark i 2020 (1,0 = pris i basisscenarioet) (NOK/m<sup>3</sup>).



Figur 13d. Modellert endring i pris som følge av biodrivstoffanlegg i Hordaland i 2020 (1,0 = pris i basisscenarioet) (NOK/m<sup>3</sup>).

Case-studiene viser at prisveksten ved etablering av anlegg vil være størst i Hordaland og gradvis mindre lengre østover i landet. Dette skyldes hovedsakelig at råstofftilgangen (tilbudet) totalt sett er større i Hedmark/øst-Norge enn på Vestlandet og det relativt skiftet i tømmerretterspørselen er dermed mindre. Prisøkningen er vesentlig større i scenarier som forutsetter at kun ett treslag kan anvendes i alle regioner.

#### 4.6.5 Markedsanalyse – oppsummert

Vurdering av markedsutvikling på lang sikt er alltid beheftet med betydelig usikkerhet og det gjelder også i denne analysen. Utviklingen i tømmermarkedene i Nord-Europa påvirker i stor grad virkesprisnivået i Norge, og dette sammen med usikkerhet omkring framtidige energipriser, kapasitetsendringer i skogindustrien og generell etterspørsel etter skogprodukter utgjør de viktigste usikkerhetsmomentene med tanke på virkesprisnivået mot 2020 og 2025. I tillegg vil prisen på sagtømmer, som i stor grad styres av markedene for trelast og norsk trelastindustri sin konkuranseevne, påvirke tilbudet av både sagtømmer, massevirke og GROT. Selv om mange usikkerhetsfaktorer påvirker prisbildet, mener vi at analysene av de relative priseffektene ved etablering av biodrivstoffanlegg er relativt robuste. Regionale forskjeller behandles også på en konsistent, men dog noe grov, måte i modellen som er anvendt. Basert på en analyse av modellresultatene og vurdering av vesentlige usikkerhetsfaktorer mener vi følgende konklusjoner kan trekkes:

- Uten større investeringer er det lite som tyder på en vesentlig prisoppgang på masse-/energivirke i Norge. Utviklingen i virkesmarkedene i Europa for øvrig er imidlertid avgjørende for dette.
- Det er lite som tyder på at avirkningen vil stige opp i nærheten av estimatet for balansekvantum (under hensyntagen til miljørestriksjoner) mot 2020 og 2025.
- Energiprisnivået ventes i økende grad å påvirke prisutviklingen for lavkvalitetsvirke fordi energiprisen bestemmer etterspørselen fra biovarmesektoren. Prisen på lauvtrevirke og furu vil generelt være mer følsom enn gran for endringer i energiprisene.
- Råstoffprisene vil øke mindre prosentvis hvis biodrivstoffanlegget kan benytte alle treslag og GROT. I våre analyser stiger prisen med opptil 50 % hvis vi forutsetter at anlegget bare bruker furu i Telemark og Hordaland, men priseffektene er langt mer moderate når flere råstofftyper inngår i miksen.
- Modellanalysene indikerer at biomasseprisene forblir marginalt høyere øst i landet og minker vestover i et scenario uten biodrivstoffanlegg. På den andre siden så er estimert prisøkning ved bygging av storskala biodrivstoffanlegg minst i Hedmark og størst i Hordaland.

## 5 KLIMAGASSREGNSKAP OG KLIMAGASSEFFEKTER

### 5.1 Karbonsyklusen

#### 5.1.1 Skog

Netto total karbonfluks – dvs både menneskeskap og ”naturlig” – mellom atmosfæren og den terrestriske (landbaserte) biosfæren er omtrent 60 Pg C eller 220 milliarder tonn CO<sub>2</sub> (Grace 2004; UNEP/GRID-Arendal 2005; Watson et al. 2000). Det er antatt at omtrent 90% av utveksling av karbon mellom atmosfæren og terrestriske systemer foregår i skog (Winjum et al. 1993). Ser vi bort fra menneskelig aktivitet (bruk av fossilt karbon og arealbruksendringer) er utveksling av karbon mellom jorda og atmosfæren omtrent i balanse. Bruken av fossile drivstoffer og nettoeffekten av arealbruksendringer (i hovedsak avskoging) gir et årlig utslipp på anslagsvis 6,5 Pg C, eller under 1% av den anslåtte totale mengden karbon i atmosfæren (basert på UNEP/GRID-Arendal (2005)).

I Norge er karbonmengden i biomasse i skog er beregnet til ca 0,45 Pg C totalt, hvorav 0,32 Pg C i levende trær, 0,09 røtter og 0,04 Pg C i døde trestammer og strø. Om lag 95 % av karbonmengden finnes innenfor det arealet som dekkes av Landsskogtakseringen. Karbonmengden i skogsjord er estimert til 1,33 Pg C innenfor Landsskogtakseringens dekningsområde. Inkludert fjellskog og skog i Finnmark antas skogsjord i Norge å inneholde mellom 1,4 og 1,7 Pg C (Grønlund et al. 2010a). Klima- og forurensingsdirektoratet (2011b) oppgir noe lavere tall: henholdsvis 0,4 og 1,1 Pg C for levende biomasse og skogsjord. Totalt inneholder norske skoger et sted mellom 1,5 og 2,0 Pg C.

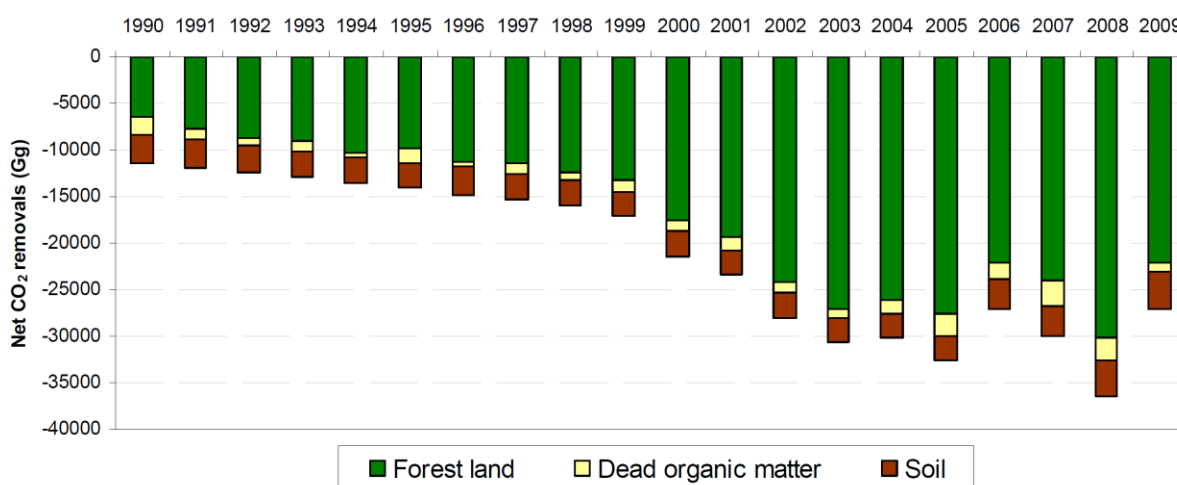
Når det gjelder flukser er det estimert at mellom 5 og 20% av det globale antropogene utslippet av klimagasser kommer fra skog (Denman et al. 2007; Harris et al. 2012; Houghton 2008; Nabuurs et al. 2007). Nesten alt dette utslippet skyldes avskoging (hovedsakelig for oppdyrking) og andre former for ikke bærekraftig bruk av skog i tropiske områder (FAO 2010). Opptak i terrestriske systemer antas likevel å være større enn utslippet som følge av arealbruksendringer. Sarmiento et al. (2010) har beregnet at netto opptak i terrestriske systemer i gjennomsnitt var 1,2 Pg/år i perioden 1989 – 2007. Deres beregninger viser også at nettoopptaket har økt over tid. Bruttoopptaket i Nord-Amerika og Eurasia er for begge beregnet til å være 0,5 Pg C/år, mens det i tropiske områder er beregnet til å være 1,4 Pg.

For Europa har Goodale et al. (2002) beregnet at nettoopptaket i skog på tidlig 90-tall var i størrelsesorden 0,13 Pg/år hvorav om lag 70% av opptaket var i levende biomasse. Flere studier tyder også på at produktiviteten i europeiske skoger – og dermed opptaket av CO<sub>2</sub> – øker, se for eksempel Spiecker (1999). Han peker på to mulige hovedårsaker for den økende veksten: endret skogforvaltning (hogst, foryngelse og treslagsvalg) og naturlige årsaker slik som endret CO<sub>2</sub>konsentrasjon og nedfall av nitrogen.

Som vist tidligere i denne rapporten har det skjedd en stor økning i stående volum i norske skoger gjennom de siste 100 årene. Stående volum (dvs stammevolum) er mer enn doblet fra 1930-tallet frem til i dag, fra ca 300 mill m<sup>3</sup> til dagens nærmere 850 mill m<sup>3</sup>. Dette betyr at mengden karbon lagret i skogene har økt kraftig. Oppbyggingen av biomasse (og karbon) i skogene er en følge av at hogsten hele tiden har vært lavere enn tilveksten. Hogsten har ligget relativt stabilt rundt 10 mill. m<sup>3</sup>/år med årlige

variasjoner som i hovedsak er grunnet endringer i prisforhold. Tilveksten har økt fra ca 10 mill m<sup>3</sup>/år på 1930-tallet til dagens om lag 25 mill m<sup>3</sup>. Denne økningen skyldes først og fremst tilplanting i 50-, 60- og 70-tallet. I perioden 1955 til 1992 ble det i gjennomsnitt plantet mer enn 60 mill. skogsplanter hvert år (Klima- og forurensingsdirektoratet 2010a).

Netto opptak i norske skoger er i størrelsesorden 25 – 30 mill tonn CO<sub>2</sub>/år (6,8 – 8,2 Tg C/år) – se figuren. Dette betyr at skogen tar opp om lag halvparten av det årlige menneskeskapte utslippet i Norge.



Figur 14. Årlig netto opptak (negativt utslipp) i skog og skogsjord 1990 – 2009. Kilde: Klima- og forurensingsdirektoratet (2011a).

Enkelt forklart er nettopptaket tilveksten (bruttoopptaket) minus hogsten pluss endringer i dødt organisk materiale og karbon i jord. En årlig hogst på 10 mill m<sup>3</sup> tømmer tilsvarer ca 7,3 mill tonn CO<sub>2</sub> (2 Tg C/år). Bruttoopptaket er med andre ord i størrelsesorden 9 -10 Tg C/år. Fra Figur ser vi at endringene i levende biomasse (trær) er størst. Selv om endringene i jord er relativt små, er det viktig å understreke at mengden karbon i jord er stor, og at tiltak i skog over tid vil kunne påvirke dette lageret.

### 5.1.2 Jordbruksarealer

Jordbruksarealet utgjør om lag 3% av landarealet i Norge. Mengden karbon i biomasse på jordbruksareal varierer over året og mellom ulike vekster. På grasmark vil det på årsbasis være bundet mer enn tre ganger så mye karbon i biomassen som med åkervekster. Totalt er det anslått at det er bundet 4,2 Tg C (millioner tonn) i jordbruksbiomassen. Det er anslått at det bindes 2,8 Tg C årlig gjennom fotosyntesen på jordbruksarealer i Norge og at 1,8 Tg C av dette tilbakeføres til jorda (Grønlund et al. 2008; Grønlund et al. 2010a).

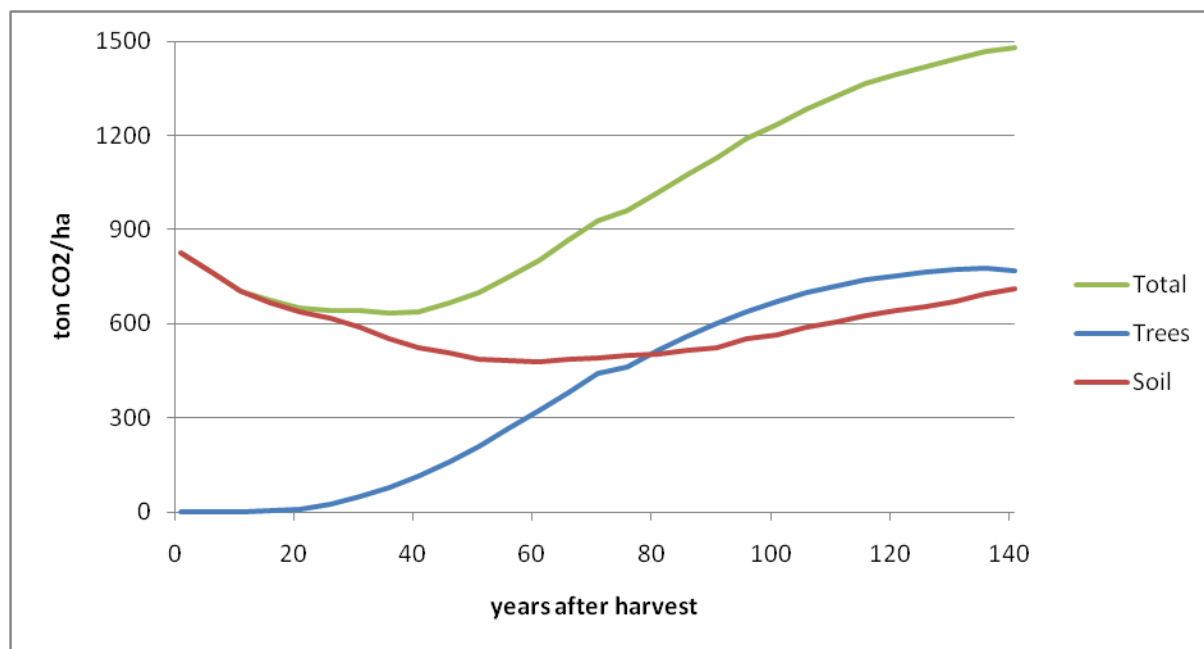
Det er estimert at total mengde karbon i jordbruksjord i Norge er anslått til ca 0,2 Pg C (Grønlund et al. 2008). Eng og beite gir langt større lager av karbon i jord enn åpen åker (korn, grønnsaker osv). Dette skyldes stor rotmasse, lang vekstperiode og dannelse av aggregater i jorda som beskytter det organiske materiale mot nedbryting (Grønlund et al. 2010b). Vekstvalg og driftsform (særlig jordarbeiding) påvirker utviklingen i karbonlageret i jord over tid. Ensidig dyrking av åkervekster og jordarbeiding ser

generelt ut til å føre til en nedgang i karbonmengden over tid. Det er observert en nedgang i karboninnholdet i jordbruksjord på Kise i Hedmark fra 50-tallet frem til i dag (Riley & Bakkegard 2006). Nedgangen frem til 80-tallet skyldes antakeligvis endrede driftsformer (økt pløyedyp og grøfting), mens endringen etter dette antakeligvis skyldes klimaendringer (økt jordtemperatur). Grønlund et al. (2010a) anslår at den årlige nedgangen i karbon i jord ved ensidig åkerdyrking er 125 Gg C (tusen tonn) for hele Norge.

## 5.2 Klimagasseffekter

### 5.2.1 Klimagasseffekter av hogst – bestandsnivå

For å kunne analysere effektene av tiltak i skog – særlig hogst – må vi gå utover det mer statiske perspektivet som er presentert ovenfor. I de følgende vil vi bruke samme utgangspunkt som i Klima- og forurensingsdirektoratet (2011b): et typisk granbestand (bonitet G14) som blir hogd ved 90 års alder og arealet blir forynget ved planting med normal planteavstand. Vi forutsetter også at skogen vil vokse som nå, dvs. at eventuelle klimaendringer ikke er inkludert. For å forenkle fremstillingen vil vi se på to grove karbonlagre: jord og trær (inklusive alle deler). Utviklingen over tid i lagret karbon er vist i figuren under (målt som tonn CO<sub>2</sub>/ha).



*Figur 15. Utviklingen av biomasse i et typisk norsk granbestand (bonitet G14). Det er antatt at det foregående bestandet ble hogd ved 90 års alder. Kilde: Klima- og forurensingsdirektoratet (2011b) og Astrup (pers.med.).*

Det er store forskjeller i vekstforholdene i skog og mellom ulike treslag. Dette vil blant annet påvirke hvor fort skogen vokser og hvor mye karbon som lagres i skogen og jorda. Forløpet på utviklingen over tid vil imidlertid i stor grad ha samme form som i figuren ovenfor. Enkelt forklart vil aksene i figuren ha annen skala under andre forhold. Den valgte skogtypen (G14) er den som utgjør den største andelen av norsk skog med om lag 10% av arealet, men den er ikke nødvendigvis representativ for norske skoger.

Dette siden det er mange ikke-lineære prosesser for er forskjellige mellom ulike skogtyper. Denne skogtypen er valgt for å illustrere de prinsipielle sidene av karbondynamikken i skog.

I modellen ovenfor er hogstavfall (topper, greiner, stubbe, røtter og andre tredeler som ikke er egnet for industrielt bruk) antatt å bli overført til lageret i jord ved hogst. Biomassen i jord blir brutt ned etter hogst og frigjør dermed karbon til atmosfæren. Hogst påvirker prosessene i jord gjennom endret innstråling, vannbalanse, temperatur, osv. Dette øker nedbrytningen av organisk materiale i jorda. Over periode på omtrent 70 år er nedbrytningen i jord høyere enn strøfallet fra de voksende trærne. Mengden karbon i jord er tilbake til samme nivå som før hogsten over omløpet, dvs når det nye bestandet blir 90 år.

Utviklingen av biomasse i trærne over tid har en sigmoid form. Som vi ser av figuren, er tilveksten lav i starten, men øker frem til ca 75 års alder for siden å avta igjen. Det er betydelig usikkerhet knyttet til veksten i gammel skog. Vi har derfor begrenset analysen til 140 år. Vekstmodellen som er brukt i dette eksemplet viser et maksimum ved rundt 135 år. Siden vi primært ser på klimagasseffekter av hogst, er 140 år en tilstrekkelig lang periode for våre analyser samtidig som vi holder oss innenfor en tidshorisont det er vitenskapelig belegg for å analysere. Det må også nevnes at klimaendringer vil endre vekstforholdene, og at en derfor skal være varsom med langsiktige vurderinger basert på en modell som ikke eksplisitt tar hensyn til dette.

Total biomasse vil synke en periode etter hogst. Dette skyldes høy nedbrytning av særlig hogstavfall samtidig som tilveksten er lav. Etter en periode vil tilveksten i trærne bli større enn nedbrytningen av organisk materiale, og det blir en netto akkumulering av biomasse (karbon). I vårt eksempel skjer dette etter ca 40 år. Dette betyr at hogst for vår eksempelskog medfører at klimagasskonsentrasjonene øker i ca 40 år – isolert sett. Når skogen når 90 års alder, vil lagret karbon i skogen være lik mengden karbon i skogen på hogsttidspunktet. (Startpunktet på den grønne kurven pluss karbon som ble fjernet ved hogst.)

Vekst i skog og prosesser i jorda er påvirket av en lang rekke eksterne faktorer slik som klima, topografi, hydrologi, næringsstofftilstanden i jorda osv. Utviklingen i lagret biomasse over tid vil derfor variere fra bestand til bestand og innen ett bestand. Det er utenfor rammen av denne rapporten å diskutere dette i detalj.

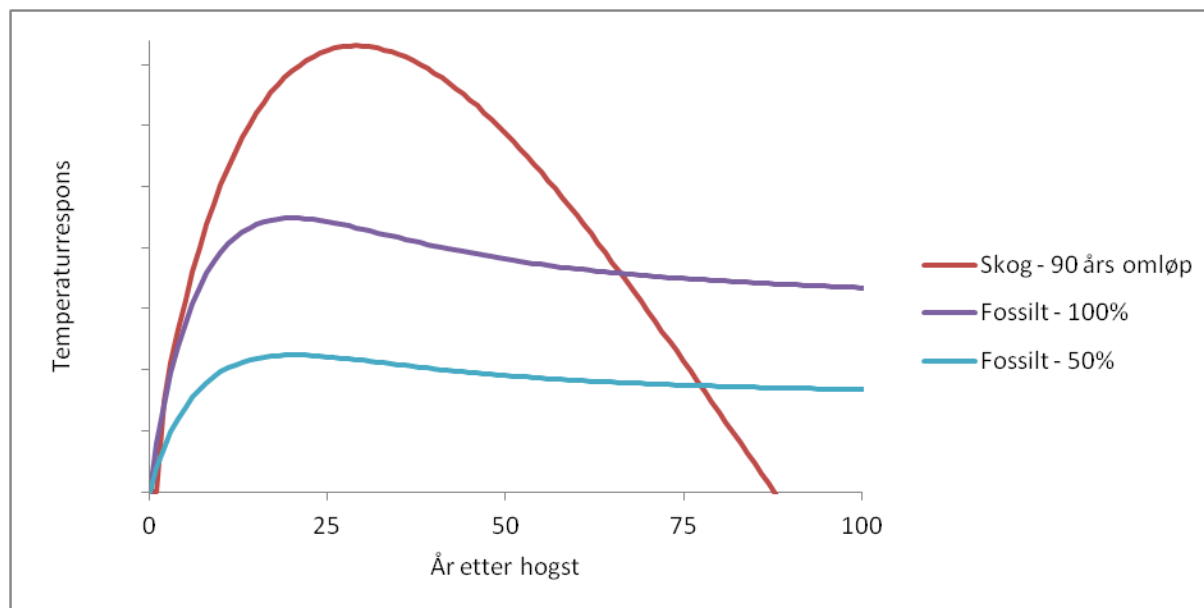
Som vi har sett vil hogst føre til nettoutslipp av klimagasser – når vi bare ser på skogen – i en periode, etterfulgt av en periode med nettoopptak. Holdes omløpstiden konstant – dvs bestandet hogges ved samme alder i hvert omløp – vil klimagassregnskapet for skogen være i balanse over omløpet.

Vi har så langt sett på effektene på lagret karbon i skogen og implisitt behandlet uttak av biomasse som et (punkt) utslipp. Bruken av tømmer og andre deler av biomassen i skog kan imidlertid redusere utslippene fra andre (fossile) kilder og karbonet i tømmeret kan være lagret i produkter over en relativt lang periode. Trelast utgjør imidlertid ved dagens bruk en relativt liten andel (<10%) av den totale karbonmengden i skogen ved hogst. Når det gjelder substitusjon kan dette skje hovedsakelig på to måter: direkte ved at fossile energikilder (olje, gass og kull) erstattes med skogbaserte energibærere (ved, flis, pellets og biodrivstoff), eller indirekte ved at treprodukter erstatter produkter produsert med



stor innsats av fossil energi (for eksempel stål og betong). For detaljer, se for eksempel Klima- og forurensningsdirektoratet (2011b).

Det er mulig å beregne temperatureffekten av hogst (se for eksempel Boucher and Reddy (2008); Fuglestad et al. (2010); Cherubini et al. (2011)). I figuren nedenfor er det forutsatt at tømmeret som hentes ut fra skogen ender opp som CO<sub>2</sub> i atmosfæren umiddelbart, for eksempel brukt til produksjon av biodrivstoff. Til sammenligning viser figuren også temperatureffekten over tid av to fossile utslipp. I det øverste (100%) er det forutsatt at det fossile utslippet tilsvarer karboninnholdet i tømmeret som blir tatt ut av skogen. I det andre fossile alternativet er det forutsatt at det fossile utslippet er halvparten av karbonmengden i tømmer. Dette kan reflektere lavere karbonintensitet pr energienhet og/eller høyere effektivitet i konverteringsprosesser for fossilt drivstoff.



**Figur 16. Temperaturrespons over tid ved hogst og to fossile alternativer. Kilde: Rørstad (2011b).**

Figur 16 viser at utnyttelse av skog gir en høyere oppvarmingseffekt enn de fossile utslippene i en periode, men at over omløpet gir hogst av skog en lavere oppvarmingseffekt.

Ovenfor har vi antatt at det bare er tømmeret som blir utnyttet. Utnyttelse av for eksempel hogstavfall vil gi et gunstigere klimagassregnskap. Hogstavfall brytes relativt raskt ned (Næsset 1999; Repo et al. 2011) hvis det blir liggende i skogen. Klimagasseffekten ved utnyttelse av hogstavfall er derfor i hovedsak en relativt kort flytting av utslipp i tid. Samtidig gjør substitusjonseffekten at den såkalte tilbakebetalingstiden blir relativt kort – i størrelsesorden 10 – 20 år (Rørstad 2011a).

Den enkle analysen ovenfor kan gi nytting innsikt om karbondynamikken i skog, men er gjort på bestandsnivå. Denne tilnærmingen er lite egnet til å gjøre analyser på et mer aggregert nivå slik som å se på klimagasseffekter av økt hogst på nasjonalt nivå. Det er dette vi nå vil se på.

### 5.2.2 Klimagasseffekter av økt hogst – nasjonalt nivå

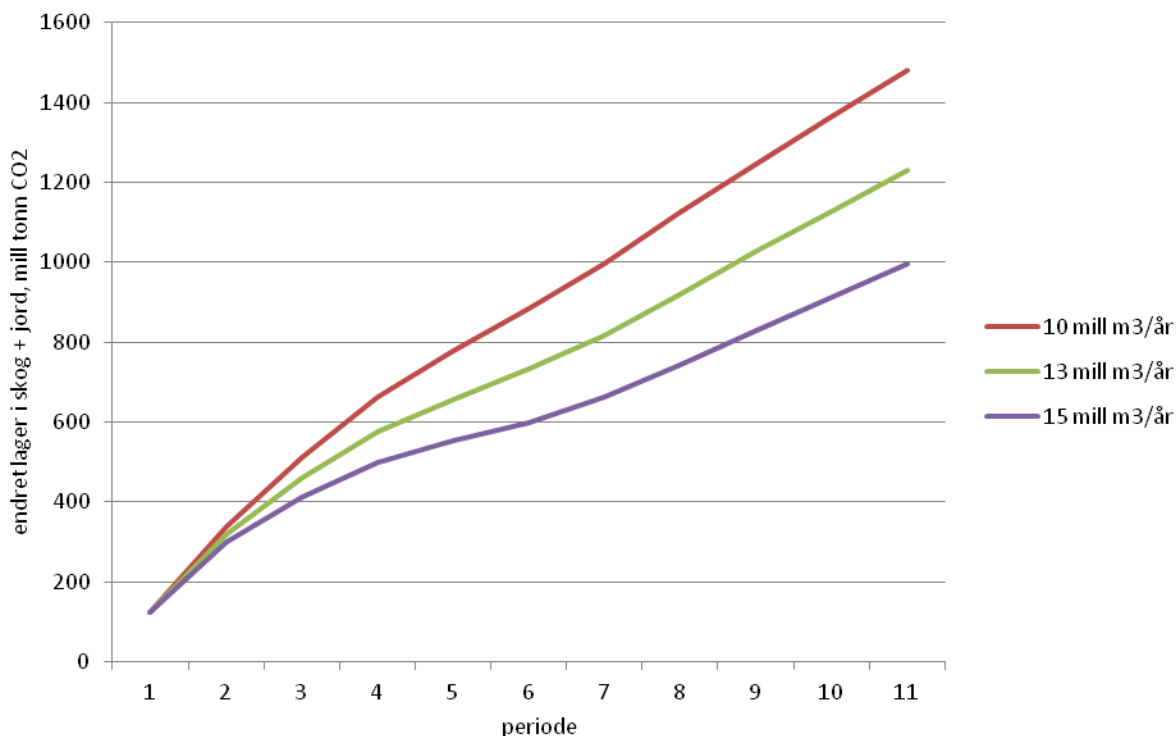
Effektene på aggregert (nasjonalt) nivå er summen av effektene på bestandsnivå – slik den (forenklet) er beskrevet ovenfor. Det er derfor ingen prinsipiell forskjell i måten å analysere problemstillingen på. I denne delen av rapporten vil vi presentere beregninger av effektene av økt hogst på karbonlager i skog.

Hogsten har som tidligere nevnt vært bemerkelsesverdig stabil i nesten 100 år – rundt 10 mill m<sup>3</sup>/år. Dette er langt under både dagens tilvekst (ca 25 mill m<sup>3</sup>) og beregnet bærekraftig uttak (balansekvantum med miljørestriksjoner, 17 mill m<sup>3</sup>/år). Det er med andre ord rom for å øke hogsten uten at det går ut over det langsikte høstingspotensialet. Imidlertid, det er mulig å produsere biodrivstoff innenfor dagens hogstnivå, men det vil bety en annen allokering av tømmeret enn dagens. Effektene av dette vil ikke bli grundig vurdert i denne rapporten, men blir kort diskutert senere.

Økt hogst fra ett nivå til ett annet – eller mer generelt endret hogstnivå – vil påvirke mengden lagret karbon i skogen på kort og lang sikt. Dette fordi skogene vil følge andre utviklingsbaner når hogsten øker. Permanent økt hogst vil føre til en reduksjon i lagret karbon i norske skoger. Dette kan enkelt forklares ved at økt hogst betyr at et større areal må hogges hvert år, noe som igjen betyr at hogstaldere går ned (sammenlignet med å holde hogsten konstant på dagens nivå). Som vi ser av figuren ovenfor øker karbonlageret med skogens alder inntil alderen blir så høy at nedbrytningsraten blir høyere enn brutto tilvekst. Reduseres hogstaldere må også mengden karbon lagret gå ned – så lenge vi ser bort fra effekten av eventuelle klimaendringer. Det er ingen uenighet om denne effekten, men det skal ikke legges skjul på at det har vært en debatt om stor denne effekten er. I hvilken grad reduksjonen i lagret karbon i skogene vil føre til økt konsentrasjon av klimagasser i atmosfæren, vil avhenge i første rekke av substitusjonseffekten og tidsperspektivet. Holtsmark (2012) finner for eksempel at det vil ta flere hundre år før økt hogst brukt til biodrivstoff vil gi en positiv klimagasseffekt. Hans modell har imidlertid en relativt enkel beskrivelse av utviklingen i skog, og den forutsetter nokså moderat nedbrytningstakt i gammel skog – selv på god mark.

Noe av nedgangen i lagret karbon kan kompenseres ved andre tiltak i skog som for eksempel tettere planting, gjødsling, skogreising osv. Slike tiltak er ikke vurdert i denne rapporten, men for en prinsipiell vurdering av dem, se Trømborg et al. (2011) og for beregninger av klimagasseffektene, se Klima- og forurensingsdirektoratet (2010b).

Ved bruk av skogmodellen Gaya-J, som beskrevet tidligere i rapporten, har vi beregnet utviklingen i lagret karbon (målt som CO<sub>2</sub>) i skogene på nasjonalt nivå for ulike avvirkningsnivåer. Systemgrensen for analysen er med andre ord skogene. Bruken av tømmeret – lagring i produkter og substitusjonseffekter er ikke inkludert i analysen. I simuleringene er det brukt 10-årsperioder, og hogst er antatt å skje midt i periodene. Figuren nedenfor viser utviklingen i lagret karbon fra dagens nivå.



**Figur 17. Utviklingen fra dagens nivå i lagret karbon (mill. tonn CO<sub>2</sub>) i skog for tre hogstnivåer i de ulike 10-årsperiodene. Basert på egne beregninger.**

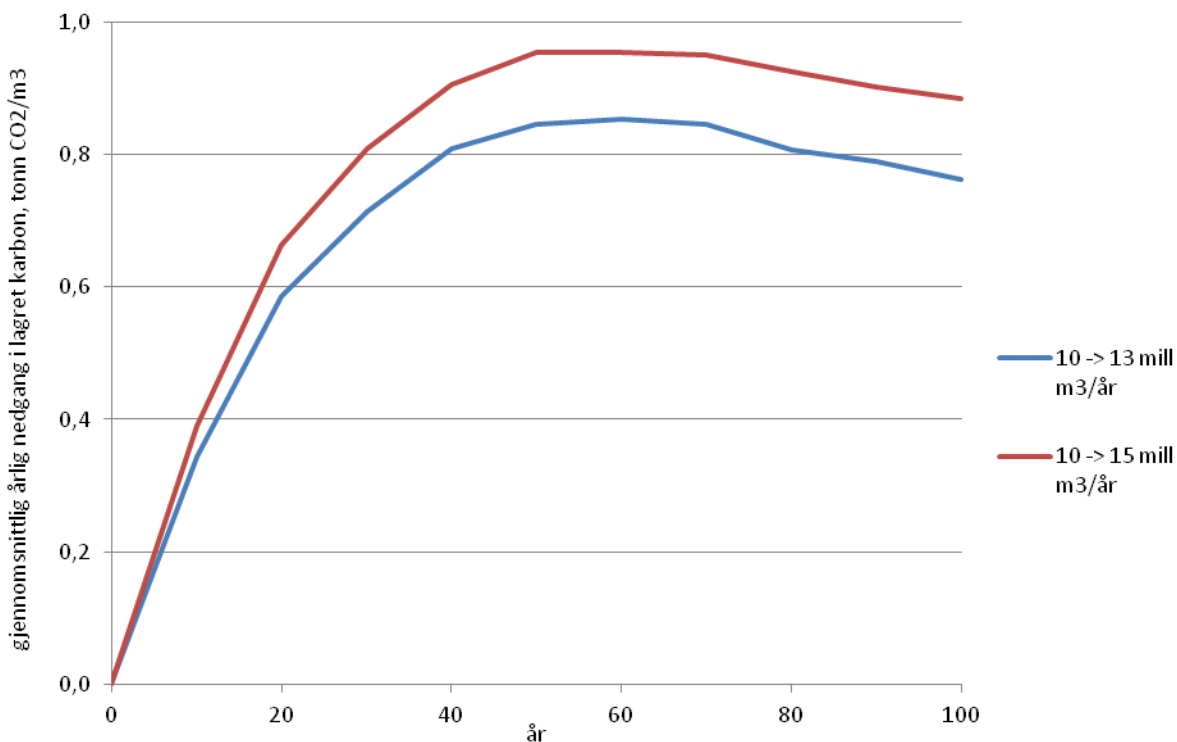
Som 17 viser, vil mengden lagret karbon reduseres når hogsten øker, men for alle hogstnivåer vil karbonlageret øke over tid, dvs at det skjer et nettopptak av CO<sub>2</sub> i skog. På lang sikt (kanskje et par hundre år) vil karbonlageret under de ulike hogstnivåene nå ett tilnærmet stabilt nivå. Dette er en effekt av det konstante avvirkningsnivået.

Differensen mellom den øverste kurven – hvis vi bruker dagens avvirkningsnivå som referanse – og de to andre er reduksjonen i lagret karbon som følge av økt hogst. Dette tapet kalles ofte karbondjeld ("carbon debt"). Innenfor analyseperioden som er brukt, er tapet i lagret karbon økende. I siste periode er karbondjelden henholdsvis ca 250 og 490 mill tonn CO<sub>2</sub> for en økning i årlig hogst på henholdsvis 3 og 5 mill m<sup>3</sup>. Til sammenligning finner Holtsmark (2012) en karbondjeld som er ca 20 % høyere innenfor den samme tidshorisonten for en hogst på 13 mill m<sup>3</sup>/år.

Siden lageret på ett eller annet tidspunkt utenfor analyseperioden vil stabilisere seg, vil det være en øver grense for hvor stort tapet kan bli, gitt ett konstant nivå for økt hogst. Dette betyr at klimagassregnskapet går i pluss på ett eller annet tidspunkt så lenge det er en positiv substitusjonseffekt (dvs. økt hogst fører til redusert bruk av fossilt karbon).

Det må nevnes at gjennomsnittsalderen i skogen vil øke mest dersom avvirkningen opprettholdes på dagens nivå. Vi vet foreløpig for lite om risikoen for store kalamiteter i svært gammel skog. Overholdelse av gammel skog øker også risikoen for råte og vindskader – noe som reduserer virkets verdi som trelast som kan erstatte stål og betong og hvor karbonet kan lagres i lang tid etter hogst.

I forlengelsen av dette er det interessant å se på hvor stor substitusjonseffekten må være for at vi skal få et positivt klimagassregnskap over tidshorizonten (drøyt 100 år) dersom råstoffet til biodrivstoffproduksjon forutsettes å komme fra økt hogst. En måte å gjøre dette, er å dividere nedgangen i lagret karbon med akkumulert økt hogst. På denne måten får vi et uttrykk for gjennomsnittlig tapt lager pr  $m^3$  økt hogst. Dette er vist i figuren nedenfor.



**Figur 18.** Gjennomsnittlig reduksjon i lagret karbon (tonn  $CO_2/m^3$  økt hogst) ved økning av hogst utover 10 mill.  $m^3/år$ . Basert på differansen mellom kurvene i foregående figur.

Fra figur 18 ser vi at effekten øker med økende hogst. Dette skyldes at reduksjonen i hogstalder øker med økende hogst og at utviklingen i lagret karbon i skogbestand er konkav.

Klima- og forurensingsdirektoratet (2011b) presenterer substitusjonseffekter for en rekke ulike tiltak. For annengenerasjons biodrivstoff er substitusjonseffekten noe under  $0,3$  tonn  $CO_2/m^3$  trevirke. Bright et al. (2010) oppgir ikke substitusjonseffekten pr  $m^3$ , men basert på deres resultater ser det ut til at FT-diesel har en substitusjonseffekt noe over  $0,2$  tonn  $CO_2/m^3$  trevirke. Dette betyr at økt hogst brukt til biodrivstoff ikke vil ha en positiv klimagasseffekt innenfor ett tidsperspektiv på 100 år.

### 5.2.3 Klimagasseffekter – jordbruk

Klimagasseffektene for de aktuelle jordbruksressursene – i første rekke halm fra kornproduksjon – er langt enklere å analysere enn for skog. Dette er ettårige vekster hvor utslippet ved bruk av ressursen et år i stor grad vil bli i fanget tilbake i veksten neste år. Vekstforholdene vil variere mellom år, noe som

betyr at en ikke nødvendigvis får balanse mellom to år. Over noen år vil en imidlertid være i tilnærmet balanse når vi bare ser på karbonet i høstet biomasse. I motsetning til for skog vil vi ikke få en langvarig karbondjeld.

Fjerning av halm medfører at nærings- og vannbalansen i jord endres. Dette kan igjen føre til behov for økt gjødsling. Produksjon av kunstgjødsel er energiintensivt og gir relativt store utslipp av klimagasser. Denne effekten vil imidlertid være beskjed sammenlignet med den positive effekten ved bruk av biodrivstoff i stede for fossilt drivstoff.

### 5.3 Albedo

Mens klimagasser påvirker utstrålingen av langbølget stråling fra jorda til verdensrommet, påvirker de ikke kortbølget stråling. Avhengig av egenskapene på jordoverflaten reflekteres en viss andel av kortbølget stråling tilbake til atmosfæren – albedo. Hvor stor andel som til slutt forsvinner ut i verdensrommet, avhenger av ulike prosesser i atmosfæren hvor blant annet skyer spiller en rolle. Det viktige i vår sammenheng er at hogstflater har en høyere albedo enn skog siden lyse overflater reflekterer mer stråling enn mørke. Dersom hogstflata er snødekt når det er høy innstråling, vil forskjellen være betydelig. Viktigheten av å inkludere albedo når tiltak analyseres, er understreket i en lang rekke publikasjoner (Arora & Montenegro 2011; Bala et al. 2007; Betts 2000; Betts et al. 2007; Bonan 2008; Gibbard et al. 2005; Schwaiger & Bird 2010; Thompson et al. 2009).

Dersom en øker hogsten, vil det medføre et større hogstflateareal, noe som vil øke den totale albedoen og dermed gi en avkjølende effekt. Bright et al. (2011) har beregnet oppvarmingseffekten (både klimagasser og albedo er inkludert) som følge av økt hogst. De har forutsatt at den økte avvirkningen brukes til produksjon av biodrivstoff. Beregningene deres viser at økt hogst har en avkjølende virkning i ca 50 år. Den akkumulerte effekten over 100 år er i studien tilnærmet lik null. En skal være varsom med å trekke vidtgående konklusjoner fra en studie, men albedo synes viktig å inkludere i analyser av klimaeffekter av økt hogst. Samtidig er det viktig å understreke at den store effekten av endret albedo i boreal skog i hovedsak skyldes snødekke i perioden mars – mai. Dersom klimaendringer fører til mindre snødekke i denne perioden, vil albedoeffekten bli betydelig redusert.

Ulike tiltak i skogen vil også kunne påvirke albedo mer indirekte. Tiltak vil kunne påvirke evotranspirasjon. Økt evotranspirasjon vil kunne øke mengde lave skyer og dermed øke albedo på toppen av atmosfæren (TOA). Gjennom utslipp av biogene flyktige organiske forbindelser som skaper sekundære organiske aerosoler (SOA), påvirker skogen TOA albedo gjennom kondensering og dråpeantall (CDNC) noe som igjen øker albedo og levetiden for skyer. Schwaiger and Bird (2010) påpeker viktigheten av å inkludere slike ikke-klimagass-effekter i studier av klimaeffekter av arealbruksendringer og bruk av biogene produkter.

## 5.4 Diskusjon og konklusjoner

### 5.4.1 Skog

Det er lagret betydelige mengder karbon i norske skoger: i størrelsesorden 2 mrd. tonn hvorav tre firedeler finnes i jord. Tiltak i skog – inklusive hogst – påvirker både mengden karbon i trærne og i jorda. Etter hogst av et bestand vil mengden karbon i jorda reduseres i en viss periode. Sammen med utslippet som følge av bruken av trevirke, vil dette føre til en midlertidig økt konsentrasjon av klimagasser i atmosfæren. Når skogen igjen når samme alder som ved hogst, vil mengden karbon i bestandet normalt være minst tilbake til samme nivå som ved forrige hogst. Ved hogst av glisne bestand og en aktiv skogskjøtsel kan karbonmengden kunne økes over et omløp. Klimagasseffektene avhenger ikke bare av tidshorizonten vi ser på, men også av hva slags produkter som erstattes – i dette tilfellet fossile oljeressurser.

Et grunnleggende forhold ved produksjon av biodrivstoff fra norske skogressurser er at et bærekraftig uttak ikke vil påvirke total mengde karbon i karbonkretsløpet, i motsetning til bruk av oljeressurser som bidrar til å tilføre kretsløpet mer karbon fra fossile lagre.

Klimagasseffektene ved bruk av trevirke til energiformål avhenger av en rekke faktorer og avveiningen mellom effekter på kort og lang sikt er helt sentral. Derfor er det heller ikke mulig å trekke bastante konklusjoner omkring klimagasseffektene ved bruk av norsk trevirke til biodrivstoff. Vi kan anta at økt bruk av biomasse til energiformål i Norge kan bestå av en blanding av økt hogst, økt uttak av hogstavfall, økt import av tømmer og flis og en vridning fra tradisjonell treforedlingsindustri til energiformål. Følgende forhold kan da betraktes som generelle:

- Norsk og utenlands tømmer er i stor grad substitutter. Det er per i dag liten kunnskap om klimagasseffektene av en stor eller liten andel importtømmer – såkalt karbonlekkasje.
- Gitt dagens skogskjøtsel og dagens bruk av tømmer i Norge vil økt avvirkning i Norge som følge av biodrivstoffproduksjon bidra til økte karbonnivåer i atmosfæren på kort og mellomlang sikt og reduserte nivåer på lang sikt.
- Økt uttak av hogstavfall kan ha positive klimagasseffekter også på kort sikt.
- Uttak av skog med relativt høy alder er gunstigere i klimasammenheng enn uttak av ung skog.
- Dersom avvirkningen holdes fast på dagens nivå i Norge vil gjennomsnittlig alder i norsk skog øke – noe som på sikt reduserer skogens evne til å ta opp karbon fra atmosfæren.
- Albedoeffekten er foreløpig usikker, men ny forskning tyder på at den av relativt så stor betydning at den motvirker de kortsiktige negative klimagasseffektene ved økt uttak av trevirke til energiformål.
- Bruk av biomasse til erstatning for fossilt karbon vil på ett eller annet tidspunkt gi en positiv klimagass- og klimaeffekt. Det sentrale spørsmålet i denne sammenheng er hvordan en skal veie eventuelle negative effekter på kort sikt mot de langsiktige positive effektene.
- Klimagassregnskapet påvirkes av effektiviteten i konverteringen av biomasse til energi. Energieffektiviteten i produksjonen av biodrivstoff ventes å være i størrelsesorden 45-55% mot 80-90% ved produksjon av varme eller kraft/varme. Klimagassregnskapet vil følgelig være bedre

for bruk av biomasse til varmeproduksjon på kort sikt. Samtidig finnes det ikke fornybare alternativer til biodrivstoff for deler av transportsektoren.

#### **5.4.2 Landbruksvekster**

Med dagens landbrukspolitik er det lite aktuelt å dyrke energivekster i Norge. Dette betyr at utnyttelse av halm er det mest aktuelle. Siden korn er en ettårig vekst vil utslippet av karbon som følge av energimessig utnyttelse av halm i stor grad bli fanget tilbake i neste års vekst. Fjerning av halm vil redusere mold-/karboninnholdet i jorda over tid. Dette kan føre til redusert vekst og økt behov for bruk av gjødsel – med medfølgende økte utslipp av klimagasser. Det er likevel vår vurdering at bruk av halm til energiformål vil gi en positiv klimaeffekt.

## 6 OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER

Årlig bruttotilvekst i norsk skog er om lag 28 mill m<sup>3</sup>. Innledningsvis i denne rapporten beregnes balansekvantumet (dvs årlig avvirkningsnivå gitt en restriksjon om at avvirkningen ikke vil måtte reduseres på noe framtidig tidspunkt) til om lag 17 mill m<sup>3</sup>. Det er da lagt til grunn miljøhensyn i hht gjeldene standard i norsk skogbruk – dvs at vernede arealer unntas fra hogst og at skogbehandlingen for øvrig er i henhold til Levende Skog-standard. I tillegg til dette vil beregningen av balansekvantum utelukke avvirkning på arealer som ikke er økonomisk drivverdige, gitt dagens tømmerpriser og driftskostnader. Balansekvantumet angir et avvirkningspotensial i Norge, men det har vært, og er, stort avvik mellom hogstpotensialet og faktisk avvirkning. Mens tilvekst og balansekvantum har økt kraftig de siste 50 årene har avvirkningskvantumet vært relativt konstant rundt 10-12 mill m<sup>3</sup> per år. Synkende realpriser på tømmer er hovedårsaken til at avvirkningen ikke har økt i takt med avvirkningspotensialet. I kapittel 3 tar vi hensyn til denne prisfølsomheten i tømmertilbudet og beregner sannsynlig tilbudt kvantum av rundtømmer og GROT til energiformål på fylkesnivå for ulike prisnivå. Det forutsettes da at framtidig virkesforbruk i skogindustrien forblir på dagens nivå. Tilbudt volum varierer fra 2 TWh/år (tilsvarende om lag 1 mill m<sup>3</sup> virke) ved en flispris på 16 øre/kWh levert industritomt, til 17 TWh (tilsvarende ca 8,5 mill m<sup>3</sup> virke) ved flispris på 28 øre/kWh (figur 5). I kapittel 4 analyseres sannsynlig utvikling i tømmermarkedet mot 2020 og 2025 og effekter av etablering av biodrivstoffanlegg på fire ulike lokaliteter (Hedmark, Buskerud, Telemark og Hordaland). Med våre forutsetninger er det lite som tyder på vesentlig vekst i massevirkeprisene mot 2020. Energiprisnivå, etterspørsel etter trelast produsert i Norge og generell utvikling i massevirkemarkedene i Europa er blant de største usikkerhetsmomentene i denne markedsanalysen. Avvirkningen i 2020 er anslått til 10.3 mill m<sup>3</sup> uten bygging av biodrivstoffanlegg og 10.9 mill m<sup>3</sup> (dvs 0,6 mill m<sup>3</sup> økning) ved bygging av et anlegg med virkesforbruk på 1 mill m<sup>3</sup> på Østlandet (de resterende 0,4 mill m<sup>3</sup> hentes via import og/eller i form av redusert virkesforbruk i annen treforedling). Eventuelt økte elpriser vil bedre konkurranseevnen for biovarme og dermed kunne øke virkespriser og avvirkning. I vår analyse øker virkesprisene for furu og lauv med ca 15 %, og nasjonal avvirkning med drøyt 1 mill m<sup>3</sup> når vi forutsetter en elpris på 52 øre/kWh i stedet for 38 øre/kWh som i basisscenarioet.

Det ligger utenfor rammene til prosjektet å vurdere økologiske aspekter ved et bærekraftig norsk skogbruk og det er i analysene tatt utgangspunkt i dagens miljøkrav og verneomfang. Vi slår imidlertid fast at det er svært lite sannsynlig at norsk avvirkning vil øke dramatisk, og avvirkningen vil høyst sannsynlig ligge langt under nivået for balansekvantumet (ca 17 mill m<sup>3</sup>) på kort og mellomlang sikt (vår analyse går til 2025). Det betyr at stående volum og mengde død ved vil fortsette å stige relativt kraftig. Etter nedleggelse på Follum og Peterson Moss er markedsutsiktene for tømmer i Norge relativt dystre og spørsmål knyttet til økonomisk bærekraft i skognæringen vil sannsynligvis få økt aktualitet dersom det ikke etableres ny virkesforbrukende industri.

Modellresultatene gir regionale prisvariasjoner med omtrent samme mønster som vi ser i markedet i dag, med generelt høyest priser i øst og lavere vestover i landet. Resultatene indikerer at et biodrivstoffanlegg i Hedmark vil gi den minste økningen i virkesprisen ved etablering av biodrivstoffproduksjon – men her er samtidig dagens priser opp mot 20% høyere enn på Vestlandet. For de andre



lokalitetene vil etablering av biodrivstoffanlegg gi en økning på 10-40 % i massevirkeprisene avhengig av lokalitet og råstoffmiks. Råstoffkostnadene vil i følge våre resultater også bli høyest ved lokalisering av et anlegg på Vestlandet, når anlegget krever 1 million m<sup>3</sup> per år. Dersom biodrivstoffanlegget baserer seg på bare ett treslag vil prisøkningene bli høyere enn om det kan bruke en blanding av treslag og eventuelt også flis fra hogstavfall. Tilgangen på furu er lavere enn for gran og anlegg kun basert på rundvirke av furu vil gi høyere biomassekostnader enn anlegg basert på gran. Generelt viser analysen at dagens biomassepriser på i underkant av 20 øre/kWh er sannsynlige for et større biodrivstoffanlegg dersom det baseres seg på en miks av treslag og også kan bruke flis fra hogstavfall og lokaliseres gunstig i forhold til lokal biomassetilgang. Vi tar forbehold om usikkerhet knyttet til utviklingen i de internasjonale markedsforholdene for biomasse og avsetningsmulighetene for sagtømmer som er en forutsetning for økt avvirkning.

I kapittel 5 drøftes klimagasseffektene ved bruk av trevirke til energiformål og produksjon av biodrivstoff. Disse effektene avhenger av en rekke forhold og ikke minst avveiningen mellom effekter på kort og lang sikt. Derfor er det heller ikke mulig å trekke bastante konklusjoner omkring klimagasseffektene ved bruk av norsk trevirke til biodrivstoff. Vi kan anta at økt bruk av biomasse til energiformål i Norge kan bestå av en blanding av økt hogst, økt uttak av hogstavfall, økt import av tømmer og flis og en vridning av biomassebruk fra tradisjonell treforedlingsindustri til energiformål. Gitt dagens skogbehandling og dagens bruk av tømmer i Norge vil økt avvirkning i Norge som følge av biodrivstoffproduksjon bidra til økt karbonkonsentrasjon i atmosfæren på kort og mellomlang sikt og reduserte nivåer på lang sikt. Dersom avvirkningen holdes fast på dagens nivå i Norge vil gjennomsnittlig alder i norsk skog øke, noe som på sikt reduserer skogens evne til å ta opp karbon fra atmosfæren. Økt uttak av hogstavfall kan ha positive klimagasseffekter også på kort sikt. Det er også slik at uttak av skog med relativt høy alder er gunstigere i klimasammenheng enn uttak av ung skog, men i et helhetlig perspektiv må dette ses i sammenheng med miljøverdier som finnes i gammel skog. Økt hogst vil gi økt albedo og derigjennom ha en avkjølende effekt. Dersom det økte uttaket av trevirke brukes til energiformål, tyder ny forskning på at albedoeffekten utligner oppvarmingseffekten som følge av økte utslipp av klimagasser på kort til mellomlang sikt. Det er imidlertid stor usikkerhet knyttet til størrelsen på albedoeffekten.

## 7 LITTERATUR

- Arora, V. K. & Montenegro, A. (2011). Small temperature benefits provided by realistic afforestation efforts. *Nature Geoscience*, 4 (8): 514-518.
- Ask, J.A., Bergseng, E., Framstad, E., Gobakken, T. & Hoen, H.F. (2005). Effekter på økonomi og skogstruktur ved skogbehandling tilpasset bevaring av biologisk mangfold i skog. I Vatn, A., Framstad, E & Solberg, B. (red) 2005, Virkemidler for forvaltning av biologisk mangfold. Delrapport 3: Tiltak for vern av biodiversitet og våtmarker. Delrapport 3. TemaNord 2005:563. [http://www.norden.org/sv/publikationer/publikationer/2005-563/at\\_download/publicationfile](http://www.norden.org/sv/publikationer/publikationer/2005-563/at_download/publicationfile)
- Bala, G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T. J., Lobell, D. B., Delire, C. & Mirin, A. (2007). Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104 (16): 6550-6555.
- Belbo, H. (2011). Halm som biobrensel. Høste-, innsamlings-, transport- og lagringsmetoder for optimal fyringskvalitet og kostnadseffektivitet i områder med kort og fuktig innhøstingssesong. Rapport 22/2011 fra Skog og Landskap
- KanEnergi (2007). Biomasse – nok til alle gode formål? Tilgjengelig på [http://www.kanenergi.no/oslo/kanenergi.nsf/Attachments/biorapport.pdf/\\$FILE/biorapport.pdf](http://www.kanenergi.no/oslo/kanenergi.nsf/Attachments/biorapport.pdf/$FILE/biorapport.pdf)
- Berg, L.N., Jørgensen, P.F., Heyerdahl, P.H., og Wilhelmsen, G., (2003). Bioenergiressurser i Norge. Oppdragsrapport nr 7/2003, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.
- Bernhard, P og Bugge, L. 2006. Biomasse – nok til alle gode formål? Rapport for Norges vassdrags- og energidirektorat. Kanenergi.
- Bergseng, E., Eid, T., Rørstad, P.K. & Trømborg, E. (2012). Bioenergiressurser i skog – kartlegging av økonomisk potensial. Oppdragsrapport for NVE juni 2012. Institutt for naturforvaltning, UMB.
- Betts, R. A. (2000). Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo. *Nature*, 408 (6809): 187-190.
- Betts, R. A., Falloon, P. D., Goldewijk, K. K. & Ramankutty, N. (2007). Biogeophysical effects of land use on climate: Model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142 (2-4): 216-233.
- Bolkesjø, T.F. (2004). Modeling supply, demand and trade in the Norwegian forest sector. Dr. Scient. Thesis 2004:10. Agricultural University of Norway.
- Bolkesjø, T. F., Baardsen, S., (2002). Roundwood supply in Norway: Micro-level analysis of self-employed forest owners. *Forest Policy and Economics* 4, 55-64.
- Bolkesjø, T. F., Solberg, B., (2003). A panel data analysis of nonindustrial private roundwood supply with emphasis on the price elasticity. *Forest Science* 49, 530 – 538.
- Bonan, G. B. 2008. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320 (5882): 1444-1449.
- Boucher, O. & Reddy, M. S. (2008). Climate trade-off between black carbon and carbon dioxide emissions. *Energy Policy*, 36 (1): 193-200.
- Bright, R. M., Strømman, A. H. & Hawkins, T. R. (2010). Environmental Assessment of Wood-Based Biofuel Production and Consumption Scenarios in Norway. *Journal of Industrial Ecology*, 14 (3): 422-439.
- Bright, R. M., Strømman, A. H. & Peters, G. P. (2011). Radiative forcing impacts of boreal forest biofuels: a scenario study for Norway in light of albedo. *Environ Sci Technol*, 45 (17): 7570-80.

- Cherubini, F., Peters, G. P., Berntsen, T., Stromman, A. H. & Hertwich, E. (2011). CO<sub>2</sub> emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming. *Global Change Biology Bioenergy*, 3 (5): 413-426.
- Denman, K. L., G. Brasseur, A. Chidthaisong, P. Ciais, P.M. Cox, R.E. Dickinson, D. Hauglustaine, C. Heinze, E. Holland, D. Jacob, et al. (2007). Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. I: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & Miller, H. L. (red.) *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press,.
- FAO. (2010). *Global forest resources assessment 2010 : main report*. FAO forestry paper. Rome: FAO. XXXI, 340 s. s.
- Fuglestvedt, J. S., Shine, K. P., Berntsen, T., Cook, J., Lee, D. S., Stenke, A., Skeie, R. B., Velders, G. J. M. & Waitz, I. A. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Metrics. *Atmospheric Environment*, 44 (37): 4648-4677.
- Gibbard, S., Caldeira, K., Bala, G., Phillips, T. J. & Wickett, M. (2005). Climate effects of global land cover change. *Geophysical Research Letters*, 32 (23).
- Goodale, C. L., Apps, M. J., Birdsey, R. A., Field, C. B., Heath, L. S., Houghton, R. A., Jenkins, J. C., Kohlmaier, G. H., Kurz, W., Liu, S., et al. (2002). Forest carbon sinks in the Northern Hemisphere. *Ecological Applications*, 12 (3): 891-899.
- Grace, J. (2004). Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology*, 92 (2): 189-202.
- Grønlund, A., de Zarruk, K. K., Rasse, D., Riley, H., Klakegg, O. & Nystuen, I. (2008). Kunnskapsstatus for utslipp og binding av karbon i jordbruksjord. *Bioforsk rapport vol. 3 Vol. 5 Nr. 5*. Ås: Bioforsk. 47 s.
- Grønlund, A., Bjørkelo, K., Hysten, G. & Tomter, S. (2010a). CO<sub>2</sub>-opptak i jord og vegetasjon i Norge - Lagring, opptak og utslipp av CO<sub>2</sub> og andre klimagasser. *Bioforsk Rapport vol 5 no 162*. Ås: Bioforsk.
- Grønlund, A., de Zarruk, K. K. & Rasse, D. (2010b). Klimatiltak i jordbruket – binding av karbon i jordbruksjord. *Bioforsk rapport Vol. 5 Nr. 5*. Ås: Bioforsk.
- Hamnaberg, H. og Sidelnikova, M. (red.) (2011). Bioenergi i Noreg. Mot ein kostnadskurve for meir uttak. Noregs vassdrags- og energidirektorat, Rapport nr 25-11.
- Harris, N. L., Brown, S., Hagen, S. C., Saatchi, S. S., Petrova, S., Salas, W., Hansen, M. C., Potapov, P. V. & Lotsch, A. (2012). Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions. *Science*, 336 (6088): 1573-1576.
- Holtmark, B. (2012). Harvesting in boreal forests and the biofuel carbon debt. *Climatic Change*, 112 (2): 415-428.
- Houghton, R. (2008). Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes: 1850-2005. I: *TRENDS: A Compendium of Data on Global Change*. Oak Ridge, Tenn.: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy.
- Klima- og forurensingsdirektoratet. (2010a). National Inventory Report 2010 Norway - Greenhouse Gas Emissions 1990-2008. TA 2639 Oslo: Klima- og forurensingsdirektoratet.
- Klima- og forurensingsdirektoratet. (2010b). Tiltak og virkemidler for økt opptak av klimagasser fra skogbruk - Klimakur 2020 - Sektorrapport skogbruk TA 2596 Oslo: Klima- og forurensingstilsynet.
- Klima- og forurensingsdirektoratet. (2011a). National Inventory Report - Greenhouse Gas Emissions 1990-2009. TA 2789 Oslo: Klima- og forurensingsdirektoratet.

- Klima- og forurensingsdirektoratet. (2011b). Skog som biomasseressurs. TA 2762. Oslo: Klima- og forurensingsdirektoratet.
- Langerud, B., Størdal, S., Wiiig, H. & Ørbeck, M. (2007). Bioenergi i Norge – potensialer, markeder og virkemidler. ØF-rapport nr. 17/2007, Østlandsforskning.
- Løken, Ø., Eriksen, R., Astrup, R. & Eid, T. (2012). *Den totale biomassen av trær i Norge. En tabellsamling.* Ressursoversikt fra Skog og Landskap 1/12:1-37.
- Løyland, K., Ringstad, V. & Øy, H. (1995). Determinants of forest activities - A study of private nonindustrial forestry in Norway. *Journal of Forest Economics* 1, 219-237.
- Nabuurs, G. J., O. Masera, K. Andrasko, P. Benitez-Ponce, R. Boer, M. Dutschke, E. Elsiddig, J. Ford-Robertson, P. Frumhoff, T. Karjalainen, et al. (2007). *Forestry*. I: B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave & Meyer, L. A. (red.) *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Norges vassdrags- og energidirektorat (2010). Tilgangen til fornybar energi i Norge - et innspill til Klimakur 2020.
- Næsset, E. (1999). Decomposition rate constants of *Picea abies* logs in southeastern Norway. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 29 (3): 372-381.
- Repo, A., Tuomi, M. & Liski, J. (2011). Indirect carbon dioxide emissions from producing bioenergy from forest harvest residues. *Global Change Biology Bioenergy*, 3 (2): 107-115.
- Riley, H. & Bakkegard, M. (2006). Declines of soil organic matter content under arable cropping in southeast Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 56 (3): 217-223.
- Rørstad, P. K., & Solberg, B. (1991). A tobit analysis of the nonindustrial private timber supply behaviour in Norway. In: Solberg, B (ed.): Proceedings of the biennial meeting of the Scandinavian Society of Forest Economics, Gausdal, Norway, April 1991. *Scandinavian Forest Economics* 33, 352-371.
- Rørstad, P. K., Trømborg, E., Bergseng, E. & Solberg, B., 2010. Combining GIS and Forest Modelling in Estimating Regional Supply of Harvest Residues in Norway. *Silva Fennica* 44(3), 435-451.
- Rørstad, P. K. (2011a, 31. august 2010). Bioenergi kan gi klimagevinst raskt. [www.forskning.no](http://www.forskning.no).
- Rørstad, P. K. (2011b). *Skog og klima – ikke bare karbon*: Inst. for naturforvaltning, UMB. Upublisert manuskript.
- Sarmiento, J. L., Gloor, M., Gruber, N., Beaulieu, C., Jacobson, A. R., Mikaloff Fletcher, S. E., Pacala, S. & Rodgers, K. (2010). Trends and regional distributions of land and ocean carbon sinks. *Biogeosciences*, 7 (8): 2351-2367.
- Schwaiger, H. P. & Bird, D. N. (2010). Integration of albedo effects caused by land use change into the climate balance: Should we still account in greenhouse gas units? *Forest Ecology and Management*, 260 (3): 278-286.
- Sjølie, H. & Trømborg, E. (2011). Data applied in the forest sector models NorFor and NTM III. INA Fagrapport 17. Institutt for naturforvaltning, UMB.
- Skogforsk, (2010). *Skogsbränsl: metoder, sortiment och kostnader 2009*. Resultat från Skogforsk, Nr 12, 2010.
- Skogforsk, (2012). Skogsbränslen i Sverige. <http://www.skogforsk.se/sv/Om-oss/Organisation-/Forskning/Skogsbränsl/Skogsbränslen-i-Sverige/> (Besøkt 14.05.2012)
- Skog og Landskap (2012). Landsskogtakeringen. Tilgjengelig på [http://www.skogoglandskap.no/temaer/statistikk\\_fra\\_landsskogstakeringen](http://www.skogoglandskap.no/temaer/statistikk_fra_landsskogstakeringen).
- Skullerud, H. & Eika, T. (2020): Fremskrivning av ordinært avfall 2011 og 2020. Notater 20/2012 fra Statistisk Sentralbyrå.

- Spiecker, H. (1999). Overview of Recent Growth Trends in European Forests. *Water, Air, & Soil Pollution*, 116 (1): 33-46.
- SSB 2012. Jordbruksarealer 2011. <http://www.ssb.no/emner/10/04/10/jordbruksareal/tab-2011-11-17-03.html>
- SSB (2012b). Skogavirkninge for salg. Endelige tall 2011. <http://www.ssb.no/skogav/>
- Statistisk sentralbyrå (2012c). Temaside avfall: <http://www.ssb.no/avfall/>
- Storaunet, K.O., Eriksen, R. Rolstad, J. (2011) Mengde og utvikling i død ved i produktiv skog i Norge. Med basis i data fra Landskogtakseringens 7., 8. og 9. takst. Oppdragsrapport fra Skog og landskap 15/11
- Thompson, M. P., Adams, D. & Sessions, J. (2009). Radiative forcing and the optimal rotation age. *Ecological Economics*, 68 (10): 2713-2720.
- Trømborg, E., Sjølie, H. K., Bergseng, E., Bolkesjø, T. F., Hofstad, O., Rørstad, P. K., Solberg, B. & Sunde, K. (2011). Carbon cycle effects of different strategies for utilisation of forest resources - a review. *INA fagrapport 19*. Ås: Institutt for naturforvaltning, Universitetet for miljø- og biovitenskap.
- UNEP/GRID-Arendal. (2005). Vital Climate Graphics - Update. Arendal: UNEP/GRID-Arendal. 24 s.
- Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J. & Dokken, D. J. (2000). *Land use, land-use change, and forestry*. Cambridge, UK: Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change by Cambridge University Press. 377 p. s.
- Winjum, J. K., Dixon, R. K. & Schroeder, P. E. (1993). Forest Management and Carbon Storage - an Analysis of 12 Key Forest Nations. *Water Air and Soil Pollution*, 70 (1-4): 239-257.