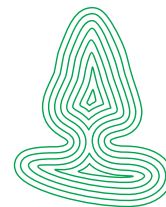


Rapport  
fra Skog og landskap

20/2013



---

**KLIMAGASSUTSLIPP I SKOGBRUKET  
– FRA FRØ TIL INDUSTRIPORT**

skog+  
landskap

NORSK INSTITUTT FOR  
SKOG OG LANDSKAP

---

Vugge-til-port livsløpsanalyse (LCA)  
Prosjektrapport fra KlimaTre

---

Volkmar Timmermann og Janka Dibdiakova



---

# KLIMAGASSUTSLIPP I SKOGBRUKET – FRA FRØ TIL INDUSTRIPORT

Vugge-til-port livsløpsanalyse (LCA)

Prosjektrapport fra KlimaTre

---

Volkmar Timmermann og Janka Dibdiakova



ISBN: 978-82-311-0198-7

ISSN: 1891-7933

Omslagsfoto: Volkmar Timmermann 2012, Skog og landskap

---

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

---

## FORORD

Prosjektet KlimaTre hadde oppstart i 2010 og går over en fireårs periode, og har som hovedmål å dokumentere de skogbaserte verdikjedene i Norge sin betydning for klima og verdiskaping. KlimaTre består av tre delprosjekter; KlimaVerdi, KlimaModell og FramTre. Prosjektet er finansiert av Norges forskningsråd, Skogtiltaksfondet, Treforedlingsindustriens Bransjeforening, Fondet for Treteknisk forskning/ Treindustrien samt av deltagende bedrifter. Prosjekteier og leder av styringsgruppen er Norges Skogeierforbund, og Treteknisk er prosjektkoordinator.

Skog spiller en sentral rolle i diskusjoner om klimaendring, siden skog kan fungere som karbonlager og produsere fornybare produkter som kan erstatte fossile råvarer. Denne rapporten presenterer resultater fra en livsløpsanalyse av de prosessene som inngår i forsyningskjeden fra frø til industriport. Denne rapporten inngår som leveranse i delprosjekt KlimaVerdi.

En stor takk rettes til alle samarbeidspartnere i KlimaTre-prosjektet og andre aktører som velvillig har bistått oss med data og nødvendig informasjon for å komplettere rapporten.

Oktober 2013

Prosjektleder ved Skog og landskap

Lone Ross Gobakken

## SAMMENDRAG

Klimaendringer har vært sterkt i fokus den siste tiden, både nasjonalt og internasjonalt. Det er derfor økende interesse for fornybare energikilder fra forskjellige hold. Økt høsting av biomasse til industri- og energiformål fører til økt energiforbruk og dermed økte CO<sub>2</sub>-utslipp. Ved hjelp av en livsløpsanalyse (Life Cycle Assessment - LCA) kan man beregne klimagassutslipp fra skogbruket. Enkeltfaktorer som bidrar mest til klimagassutslippene kan identifiseres i analysen og forhåpentligvis forbedres.

Prosjektet KlimaTre har som hovedmål å dokumentere de skogbaserte verdikjedenes betydning for klima og verdiskaping i Norge. Denne rapporten er en leveranse i delprosjekt KlimaVerdi og presenterer resultatene fra en livsløpsanalyse (LCA) av de prosessene som inngår i skogbrukets forsyningskjede fra frø til industriport (fra vugge til port). Det presenteres beregninger for årlige klimagassutslipp (klimaregnskap) og annen miljøpåvirkning fra frøproduksjon via ulike skogkulturprosesser til avvirkning og tømmertransport. Klimagassutslipp er beregnet som CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kubikkmeter tømmer som ble avvirket i 2010.

Det samlede klimagassutslippet fra produksjonen av 8,4 millioner m<sup>3</sup> tømmer til industrielle formål var på 150 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i 2010, eller 17,85 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per produsert kubikkmeter tømmer levert ved sagbruk/fabrikk. Dette utgjør 2,4 % av det CO<sub>2</sub> som bindes av 1 m<sup>3</sup> tømmer. Transport med lastebil bidro mest til det samlede klimagassutslippet (nesten 50 %), fulgt av sluttavvirkning (32 %) og tynning (9 %). Leveranse til lokale sagbruk reduserer transportavstandene og dermed CO<sub>2</sub>-utslippet, mens økende sentralisering og nedleggelse av treforedlingsindustrien fører til større transportavstander og dermed CO<sub>2</sub>-utslipp. Utvidet transport av tømmer på jernbanen vil kunne bidra til å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene.

**Nøkkelord:** CO<sub>2</sub>-utslipp, klimagassutslipp, livsløpsanalyse (LCA), skogbruk, tømmertransport

# INNHold

Forord .....	ii
Sammendrag .....	iii
1. Innledning .....	1
2. Materialer og metoder .....	2
2.1. Hensikt og omfang.....	2
2.2. Forutsetninger.....	3
2.3. Begrensninger .....	3
2.4. Livsløpsanalyse .....	3
2.4.1 Skogfrø- og planteproduksjon .....	3
2.4.2 Markberedning .....	4
2.4.3 Skogplanting .....	4
2.4.4 Ungskogpleie .....	5
2.4.5 Sprøyting.....	5
2.4.6 Gjødsling .....	5
2.4.7 Stammekvisting.....	6
2.4.8 Bygging og oppgradering av skogsbilveier .....	6
2.4.9 Tynning.....	7
2.4.10 Terrengtransport ved tynning .....	7
2.4.11 Sluttavvirkning.....	8
2.4.12 Terrengtransport ved sluttavvirkning.....	8
2.4.13 Annen avvirkning .....	8
2.4.14 Tømmertransport på vei (fra skog til jernbaneterminal eller til sagbruk/fabrikk).....	9
2.4.15 Tømmertransport på jernbane (fra jernbaneterminal til fabrikk).....	9
3. Resultater og diskusjon .....	11
3.1. Klimaregnskap.....	11
3.2. Annen miljøpåvirkning .....	16
4. Konklusjoner .....	18
5. Etterord.....	18
Referanser .....	19

# 1. INNLEDNING

Klimaendringer har vært sterkt i fokus den siste tiden, både nasjonalt og internasjonalt. FNs Klimapanel (IPCC) regner det som mer enn 95 % sannsynlig at mesteparten av klimaendringene de siste 50 år er menneskeskapt (IPCC 2013). Dette skyldes hovedsakelig økt konsentrasjon av karbondioksid (CO<sub>2</sub>) i atmosfæren grunnet utstrakt bruk av energi basert på fossilt brensel. Det er derfor økende interesse for fornybare energikilder fra politisk og markedsmessig hold. Skogbasert bioenergi representerer en av disse energiformene.

Skogene spiller en viktig rolle i den globale karbonsyklusen. Skog i vekst tar opp CO<sub>2</sub> og binder karbon gjennom fotosyntesen ved produksjon av biomasse. Beregninger utført av Norsk institutt for skog og landskap viser at nettobindingen i norske skoger tilsvarer rundt 27 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i året (Skog og landskap 2008). Til sammenligning ble de samlede, årlige utslippene av klimagasser i Norge i 2005 beregnet til 54 millioner tonn CO<sub>2</sub> ekvivalenter.

Karbonbindingen økte med 85 % fra 1990 til 2005 (SINTEF 2008). Den betydelige økningen i CO<sub>2</sub>-binding skyldes økt netto tilvekst i norske skoger. Årlig avvirkning til industriell bruk har de siste årene ligget på 8-10 millioner m<sup>3</sup> mens årlig tilvekst nå ligger på omlag 25 millioner m<sup>3</sup> (Granhus et al. 2012).

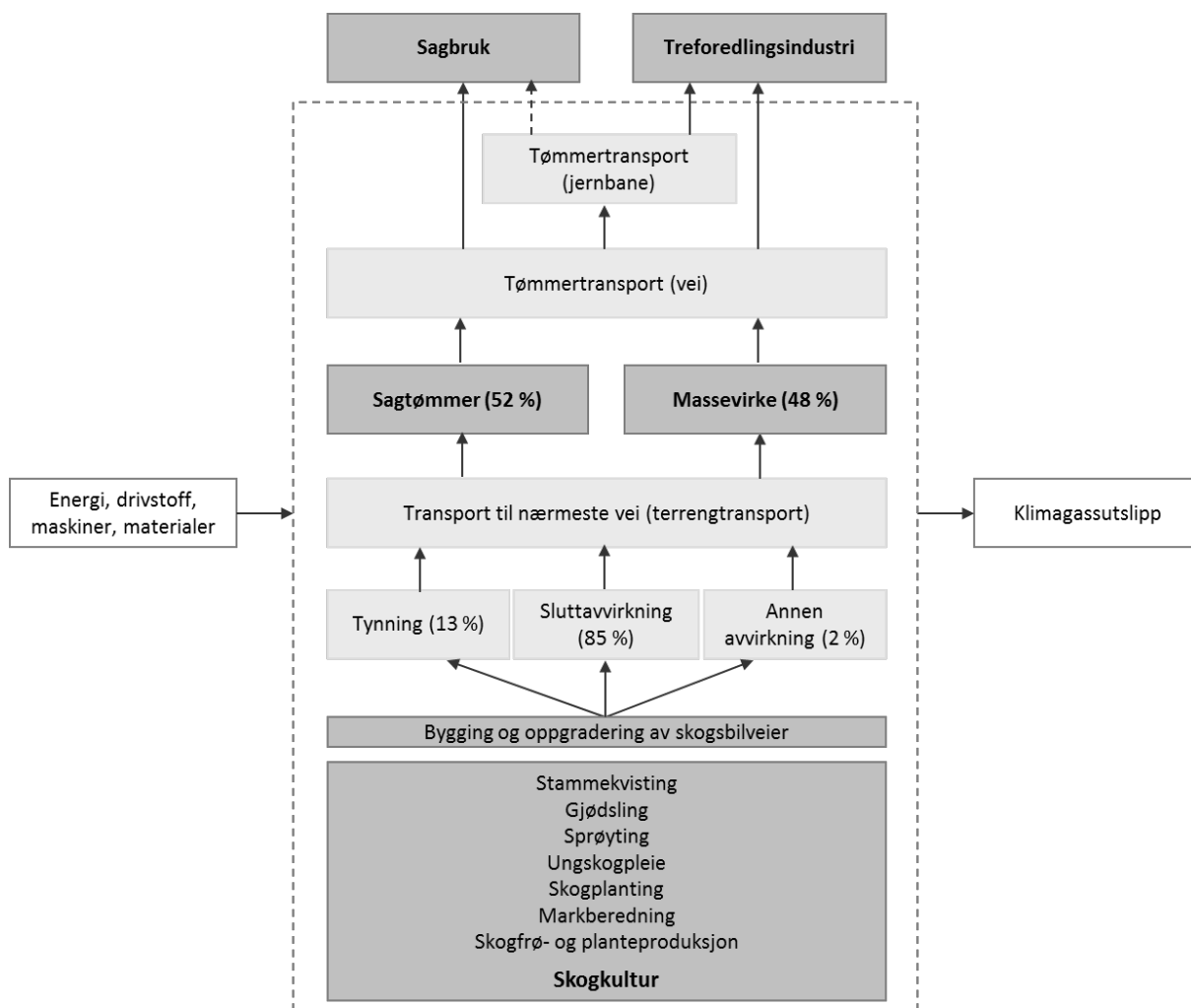
Økt høsting av biomasse til industri- og energiformål fører til økt energiforbruk og dermed økte CO<sub>2</sub>-utslipp fra skogbruket. Ved hjelp av en livsløpsanalyse (Life Cycle Assessment - LCA) kan man beregne klimagassutslipp fra skogbruket. Resultatene fra denne livsløpsanalysen er avhengig av hvilke biomasseressurser man høster og på hvilken måte. Enkeltfaktorer som bidrar mest til klimagassutslippene kan identifiseres i analysen og forhåpentligvis forbedres.

Denne rapporten presenterer beregninger av klimagassutslipp i operasjoner (prosesser) som inngår i skogbrukets forsyningskjede fra frøproduksjon til industriport. Klimagassutslipp er beregnet som CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kubikkmeter tømmer som ble avvirket i 2010.

## 2. MATERIALER OG METODER

### 2.1 Hensikt og omfang

I denne rapporten presenteres resultatene fra en livsløpsanalyse (LCA) av de prosessene som inngår i skogbrukets forsyningskjede fra frø til industri (vugge-til-port analyse, Figur 1). Det presenteres beregninger for årlige klimagassutslipp (klimaregnskap) og annen miljøpåvirkning fra norsk skogbruk. Den viktigste klimagassen er karbondioksid (CO<sub>2</sub>), men også utslipp av lystgass (N<sub>2</sub>O), metan (CH<sub>4</sub>) og noen andre gasser inngår i klimaregnskapet. Alle klimagassutslipp er omregnet til CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.



Figur 1. Modell for livsløpsanalysen (LCA) – fra frø til industriport (fra vugge til port).

Livsløpsanalysen er utført med LCA-verktøyet SimaPro 7.3.3. (SimaPro 2008) og databasen Ecoinvent 2.2 (Ecoinvent 2007). Analysen inkluderer alle operasjoner (prosesser) som utføres fra frøene produseres (vugge) til det avvirkete tømmeret leveres til industrien (port), enten råvarene skal benyttes i sagbruk eller i treforedlingsindustri (Figur 1). Datagrunnlaget for de enkelte prosessene, som presenteres i tabellene under punkt 2.4.1 – 2.4.15, er fra 2010.



## 2.2 Forutsetninger

Referanseår for dataene er 2010. Det betyr at alt tallmateriale (datagrunnlaget) for skogkulturprosessene, tynning, avvirkning og transport som inngår i beregningene er fra 2010. Alle data som brukes i analysen er gjennomsnittstall for hele landet. Drivstofforbruk til skogsmaskiner og tømmerbiler, prestasjonstall (maskinenes driftstid og arbeidernes tidsforbruk) og transportavstander som inngår i beregningene er hentet fra rapporten til Vennesland et al. (2013). Gjennomsnittlig transportavstand (forflytningsavstand) til skogen for både maskiner og arbeidere er forutsatt til å være 20 km per vei i alle prosesser med unntak av taubane- og kabelkrandrift, der gjennomsnittlig transportavstand for maskiner er forutsatt til å være 100 km per vei (Vennesland et al. 2013). All transport av gods er angitt i tonnkilometer (tkm), som er produktet av godsmengde transportert og transportlengde (antall tonn x avstand).

Utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter er beregnet per kubikkmeter (m<sup>3</sup>) tømmer som ble avvirket i 2010. Funksjonell enhet (FU) er 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer under bark. Tetthet for 1 m<sup>3</sup> tømmer er 765 kg (Ecoinvent 2007; SLF/JBV 2010). Avvirkningsvolumet i 2010 var på 8 396 000 m<sup>3</sup> (SLF 2012), hvorav 13 % kom fra tynning, 85 % fra sluttavvirkning og 2 % fra annen hogst (SSB 2009). 52 % av avvirkningsvolumet var sagtømmer (4 354 000 m<sup>3</sup>) og 48 % massevirke (4 042 000 m<sup>3</sup>) (SLF 2012). Industrien som tømmeret ble levert til, omfatter sagbruk og treforedlingsindustri.

## 2.3 Begrensninger

Skogbruksplanlegging, tømmerfrakt med båt, produksjon og transport av flis og ved, returfrakt av biprodukter fra sagbruksindustrien, import og eksport av tømmer, CO<sub>2</sub>-utslipp fra biologiske nedbrytningsprosesser som følge av hogst og markberedning og skogbrukets innvirkning på biomangfoldet er ikke inkludert i analysen.

## 2.4 Livsløpsanalyse

### 2.4.1 SKOGFRØ- OG PLANTEPRODUKSJON

Det ble produsert 300 kg frø (Skogfrøverket 2012) og 20 millioner planter i 2010 (SLF 2012). 75 % av frøene er fra gran, 15 % fra andre bartreslag og 10 % fra løvtrær, hovedsakelig fra frøplantasjer. Skogplanter blir produsert i 15 planteskoler rundt om i landet. Datagrunnlaget for planteproduksjon er fra Flæte (2009) og Aldentun (2012). Det er først og fremst energibruk (elektrisitet og fyringsolje) som er inkludert i SimaPro analysen av frø- og planteproduksjon (Tabell 1).

Tabell 1. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av produksjonen av 1 kg frø og 1000 planter.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Frøproduksjon	1	kg
Input	Elektrisitet	833	kWh
Input	Fyringsolje	20	l
Produkt	Planteproduksjon	1000	stk
Input	Frø	0,02	kg
Input	Elektrisitet	40	kWh
Input	Fyringsolje	20	l
Input	Gjødsel	0,5	kg
Input	Insekticider	0,1	kg



#### 2.4.2 MARKBEREDNING

Markberedning i skogen vil si å blottlegge mineraljorda i flekker eller langflekker på foryngelsesfeltene (feltene der det skal etableres ny skog). Tiltaket øker plantenes evne til å overleve og tilveksten bedres. Svenske forsøk viser at planter på markberedte felt etter 10 år har hatt betydelig større høydevekst enn planter på tilsvarende ikke-markberedte felt (Skogfondet 2012). Markberedning utføres med lassbærer eller traktor påmontert markberedningsaggregat, og ble utført på 43 090 dekar (daa) i 2010 (SLF 2012; SSB 2012). Tabell 2 viser prosessene som er inkludert i SimaPro analysen av markberedning per hektar (ha) behandlet skogsareal.

Tabell 2. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av markberedning per 1 ha behandlet skogsareal.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Markberedning	1	ha
Input	Lassbærer, produksjon	2,3	kg
Input	Lassbærer, driftstid	2	timer
Input	Lassbærer, drivstofforbruk	48	l
Input	Lassbærer, transport (maskinforflytting)	68	tkm
Input	Transport, personbil	11,4	bilkm

#### 2.4.3 SKOGPLANTING

Tilfredsstillende foryngelse (etablering av ny skog) er viktig for å utnytte markas produksjonsevne. I de fleste tilfeller er det riktig å plante etter hogst, og det bør skje så snart det er forsvarlig og praktisk mulig. Myndighetene krever at skogeier sikrer tilfredsstillende foryngelse innen tre år etter hogst. Hogstflater i granskog bør nesten alltid plantes. Ved planting i skog benyttes planter som er produsert i egne skogplanteskoler. Plantene som tilbys er produsert av foredlet plantemateriale, og gir dermed i mange tilfeller bedre vekst enn bestanden hadde i forrige omløp. Alternativet til planting er «naturlig foryngelse». Planting gjør det imidlertid mulig å få etablert ønsket treslag med akseptabel tetthet raskt etter hogst. Tilfredsstillende tetthet er en forutsetning for god tømmerkvalitet. Ved rask etablering av skog kan man fortere oppnå et jevnt hogstkvantum, sammenlignet med den tiden det tar å få opp ny naturlig foryngelse. Tidlig vårplanting eller høstplanting er best for gran. Sein høstplanting bør unngås når det er fare for oppfrost. Planting bør skje når det er gode fuktighetsforhold. Furu og bjørk bør alltid plantes om våren (Skogfondet 2012). Vanlig plantetetthet for gran er 170 planter/daa (Tabell 3). Skogplanting ble utført på 119 380 daa i 2010 (SLF 2012; SSB 2012).

Tabell 3. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av skogplanting per 1 ha skogsareal.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Planting	1	ha
Input	Arbeidere (3), tidsforbruk	4,5	timer
Input	Arbeidere, transport (personbil)	22,7	bilkm
Input	Planter	1 700	stk
Input	Planter, transport til skogen (varebil)	1,7	tkm

#### 2.4.4 UNGSKOGPLEIE

Ungskogpleie (også kalt avstandsregulering eller lauvrydding) har som mål å øke både kvaliteten og volumproduksjonen i bestandet og er derfor en investering med svært god økonomisk avkastning. Ved ungskogpleie settes det igjen et passende antall av det beste treslaget jevnest mulig fordelt i bestandet, og konkurrerende vegetasjon blir fjernet med ryddesag. De treslag som vil gi størst produksjon av god kvalitet, tas vare på før de skades av konkurranse. Tilveksten konsentreres til færre trær, høyde- og diametervekst til disse trærne vil øke og dermed verdien av det framtidige tømmeret, og vekstpotensialet til marka utnyttes bedre. Videre vil gjenstående trær være bedre rustet til å stå i mot vind- og snøbrekk, og råtefrekvensen i granbestand vil reduseres. Det blir enklere å tynne i bestandet om ungskogpleie er blitt utført tidligere i omløpet, og man oppnår dermed høyere netto ved tynningen. Nytt av ungskogpleie avtar imidlertid med økende trehøyde. Ungskogpleie bør utføres når hovedtreslagene er mellom 1,3 og 4 m, og før trærnes høydevekst hindres av overstandere. I vår analyse ble det brukt en modifisert motorsag siden det ikke fantes ryddesag i SimaPro. Ungskogpleie ble utført på 272 330 daa i 2010 (SLF 2012; SSB 2012). Tabell 4 viser prosessene som er inkludert i SimaPro analysen av ungskogpleie.

Tabell 4. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av ungskogpleie per 1 ha behandlet skogsareal.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Ungskogpleie	1	ha
Input	Arbeidere (2), tidsforbruk	5	timer
Input	Arbeidere, transport (personbil)	40	bilkm
Input	Ryddesagbruk	6	timer

#### 2.4.5 SPRØYTING

Sprøyting av skog utføres hovedsakelig for å avlive konkurrerende vegetasjon før planting. Det er spesielt på høye boniteter med god vekst at sprøyting er aktuelt. I Norge sprøytes det med Glyfosat (Roundup) fra helikopter (Vennesland et al. 2013). Sprøyting ble utført på 6 584 daa i 2010 (SLF 2012; SSB 2012). Tabell 5 viser prosessene som er inkludert i SimaPro analysen av sprøyting.

Tabell 5. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av sprøyting per 1 ha behandlet skogsareal.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Sprøyting	1	ha
Input	Helikopter, driftstid	0,04	timer
Input	Piloter, transport (personbil)	0,3	bilkm
Input	Plantevernmiddel (Glyfosat)	3,5	kg
Input	Glyfosat, transport til skogen (varebil)	0,2	tkm

#### 2.4.6 GJØDSLING

Gjødsling utføres for å øke trærnes tilvekst. Gjødsling bør gjennomføres 6-10 år før sluttavvirkning for å oppnå maksimal effekt. Tilveksten vil i denne perioden øke med 0,1-0,2 m<sup>3</sup>/daa per år (SKI 2005). Økningen i tilveksten er ikke tatt hensyn til i analysen da det gjødslete arealet var veldig lite. Den økonomiske avkastningen vil sannsynligvis være i størrelsesorden 10-15 %. Kalkammonsalpeter (kalsiumammoniumnitrat) egner seg best til gjødsling av skog. Anbefalt gjødslingsmengde er 15 kg nitrogen/daa som tilsvarer 55 kg kalkammonsalpeter/daa (SKI 2005, Tabell 6). Det brukes stort sett helikopter til gjødsling. Gjødsling ble utført på 5 723 daa i 2010 (SLF 2012; SSB 2012).

Tabell 6. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av gjødsling per 1 ha behandlet skogsareal.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Gjødsling	1	ha
Input	Helikopter, driftstid	0,05	timer
Input	Piloter, transport (personbil)	0,3	bilkm
Input	Gjødsel (kalsiumammoniumnitrat)	550	kg
Input	Gjødsel, transport til skogen (lastebil)	33	tkm

#### 2.4.7 STAMMEKVISTING

Stammekvisting er en velprøvd og akseptert metode for å bedre virkeskvaliteten (Vennesland et al. 2013). Kvisting som kvalitetsforbedrende tiltak har først og fremst vært myntet på tømmer som skal brukes til spesielle formål, der kvist er uakseptabelt eller bare kan godtas i begrenset utstrekning. Dette gjelder blant annet for finértømmer og tømmer som skal brukes til møbelproduksjon. Kvist er også en betydelig verdireducerende faktor for skur- og høvellast. Sagbruksindustrien ønsker derfor et råstoff med minst mulig kvist. Stammekvisting utføres stort sett manuelt med sag eller greinsaks, og ble utført på anslagsvis 4 200 daa i 2010 (Skog og landskap 2011). Tabell 7 viser prosessene som er inkludert i SimaPro analysen av stammekvisting.

Tabell 7. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av stammekvisting per 1 ha behandlet skogsareal.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Stammekvisting	1	ha
Input	Arbeidere (2), tidsforbruk	20	timer
Input	Arbeidere, transport (personbil)	100	bilkm

#### 2.4.8 BYGGING OG OPPGRADERING AV SKOGBILVEIER

Ved veibygging blir skogen avvirket med hogstmaskin og lassbærer, stubber og jord fjernet med gravemaskin og grus fordelt med veihøvel eller lignende (Skogforsk 2010). Standard veibredde er 4 m. Det brukes 1 800 tonn grus til nybygging og 600 tonn til oppgradering av 1 km skogsbilvei (Tabell 8). Gjennomsnittlig lengde for anleggene var 0,8 km for nybygde veier og 1,4 km for oppgraderte veier (SSB 2012). I 2010 ble det bygget 83 km ny vei og 298 km eksisterende vei ble bygget om (SLF 2012). I analysen er det ikke tatt hensyn til skogsbilveier som ble bygget før 2010, selv om disse fortsatt er i bruk.

Tabell 8. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av bygging og oppgradering av 1 km skogsbilvei.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Skogsbilvei, bygging	1	km
Input	Sluttavvirkning inkl. terrengtransport	92	m <sup>3</sup>
Input	Maskiner, driftstid	102	timer
Input	Maskiner, transport (maskinforflytting)	3 221	tkm
Input	Grus	1 800	tonn
Input	Grus, transport til skogen (lastebil)	36 000	tkm
Input	Transport, personbil	478	bilkm
Input	Arealendring fra skog til vei	0,4	ha

Tabell 8, forts.

Produkt	Skogsbilvei, ombygging	1	km
Input	Maskiner, driftstid	31	timer
Input	Maskiner, transport (maskinforflytting)	515	tkm
Input	Grus	600	tonn
Input	Grus, transport til skogen (lastebil)	12 000	tkm
Input	Transport, personbil	120	bilkm

#### 2.4.9 TYNNING

Tynning er å ta ut en viss andel av trærne for å fristille og gi bedre lys- og vekstforhold for de gjenstående trærne (Vennesland et al. 2013). Ved tynning fristilles et riktig antall av de beste trærne av de beste treslagene jevnest mulig fordelt i bestandet. I tette bestand som ikke tynnes, vil konkurransen mellom trærne etter hvert redusere veksten på noen trær så mye at de dør (såkalt selvtynning) (SKI 1999). Tynning utføres med hogstmaskin. I vår studie forutsettes hogstmaskinen å ha en vekt på 20 tonn og en driftstid på 15 000 timer. I 2010 bidro tynning med 1 091 000 m<sup>3</sup> (13 %) til det totale avvirkningsvolumet (SLF 2012). Gjennomsnittlig uttaksvolum er 5 m<sup>3</sup> per daa (Vennesland et al. 2013). Tabell 9 viser prosessene som er inkludert i SimaPro analysen av tynning.

Tabell 9. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av tynning per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Tynning	1	m <sup>3</sup>
Input	Hogstmaskin, produksjon	0,3	kg
Input	Hogstmaskin, driftstid	0,2	timer
Input	Hogstmaskin, drivstofforbruk	1,9	l
Input	Hogstmaskin, transport (maskinforflytting)	1,6	tkm
Input	Transport, personbil	1,4	bilkm

#### 2.4.10 TERRENGTRANSPORT VED TYNNING

Til terrengtransport ved tynning benyttes små eller mellomstore lassbærere. De minste maskinene vil kreve en mindre stikkveisbredde, men lasstørrelsen er lavere enn for de mellomstore maskinene. I vår analyse forutsettes en vekt på 17 tonn og en driftstid på 15 000 timer for en lassbærer. Midlere kjøreavstand fra skogen til nærmeste skogsbilvei, som benyttes i denne studien, er 300 m (Vennesland et al. 2013). Lessing og lossing av lassbæreren er inkludert i drivstofforbruket (Tabell 10).

Tabell 10. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av terrengtransport ved tynning per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Terrengtransport, tynning	1	m <sup>3</sup>
Input	Lassbærer, produksjon	0,1	kg
Input	Lassbærer, driftstid	0,1	timer
Input	Lassbærer, drivstofforbruk	1	l
Input	Lassbærer, transport (maskinforflytting)	1,4	tkm
Input	Transport, personbil	0,7	bilkm

#### 2.4.11 SLUTTAVVIRKNING

Sluttavvirkning (foryngelseshogst) danner avslutningen på bestandets produksjonsfase, og forbereder starten på neste omløp. Det finnes ulike former for foryngelseshogst, blant annet flatehogst, småflatehogst, frørestillingshogst og skjermstillingshogst (Vennesland et al. 2013). Sluttavvirkningen gjennomføres med samme type hogstmaskin som tynningen. I 2010 bidro sluttavvirkning med 7 137 000 m<sup>3</sup> (85 %) til det totale avvirkningsvolumet (SLF 2012). Gjennomsnittlig uttaksvolum er 23 m<sup>3</sup> per daa (Vennesland et al. 2013). Tabell 11 viser prosessene som er inkludert i SimaPro analysen av sluttavvirkning.

Tabell 11. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av sluttavvirkning per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Sluttavvirkning	1	m <sup>3</sup>
Input	Hogstmaskin, produksjon	0,1	kg
Input	Hogstmaskin, driftstid	0,1	timer
Input	Hogstmaskin, drivstofforbruk	0,9	l
Input	Hogstmaskin, transport (maskinforflytting)	0,4	tkm
Input	Transport, personbil	0,4	bilkm

#### 2.4.12 TERRENGTRANSPORT VED SLUTTAVVIRKNING

Til terrengtransport ved foryngelseshogst benyttes mellomstore eller store lassbærere på samme størrelse som ved tynning. Midlere kjøreavstand fra hogstflata til nærmeste skogsbilvei, som benyttes i denne studien, er 500 m (Vennesland et al. 2013). Lessing og lossing av lassbæreren er inkludert i drivstofforbruket (Tabell 12).

Tabell 12. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av terrengtransport ved sluttavvirkning per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Terrengtransport, sluttavvirkning	1	m <sup>3</sup>
Input	Lassbærer, produksjon	0,1	kg
Input	Lassbærer, driftstid	0,1	timer
Input	Lassbærer, drivstofforbruk	0,8	l
Input	Lassbærer, transport (maskinforflytting)	0,3	tkm
Input	Transport, personbil	0,5	bilkm

#### 2.4.13 ANNEN AVVIRKNING

Hogst med taubanesystem eller kabelkran benyttes i bratt terreng. Trærne felles manuelt med motorsag og fraktes til velteplassen med en taubane eller kabelkran. To systemer er i bruk i Norge: Lassbærer-/traktormontert taubane (Owren 400, Tabell 13) der en hogstmaskin og ofte også en lassbærer brukes i tillegg, og lastebilmontert taubane med kran og påmontert hogstaggregat (Mounty 3000, ikke vist i Tabell 13). Hogstvolumet er per i dag liten i forhold til avvirkning med hogstmaskin og lassbærer. Driftskostnadene er høye grunnet lavere produktivitet, flere tunge maskiner og flere mann i manuelt arbeid. Heltreavvirkning til biobrenselformål utføres med hogstmaskin og lassbærer (ikke vist i Tabell 13) og omfatter bl.a. veikantrydding. Flishogging av biomassen og transport av flis er ikke inkludert i analysen. I 2010 bidro annen avvirkning med ca. 168 000 m<sup>3</sup> (2 %) til det totale avvirkningsvolumet.

Tabell 13. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av sluttavirkning med taubane/kabelkran (Owren 400) per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Hogst med taubane/kabelkran	1	m <sup>3</sup>
Input	Motorsagbruk	0,1	timer
Input	Kabelkran, drivstofforbruk	1,7	l
Input	Hogstmaskin, drivstofforbruk	2,1	l
Input	Lassbærer, drivstofforbruk	0,8	l
Input	Maskiner, produksjon	0,6	kg
Input	Maskiner, driftstid	0,1	timer
Input	Maskiner, transport (maskinforflytting)	15,3	tkm
Input	Transport, personbil	2,8	bilkm

#### 2.4.14 TØMMERTRANSPORT PÅ VEI (FRA SKOG TIL JERNBANETERMINAL ELLER TIL SAGBRUK/FABRIKK)

Tømmertransport på veien utføres i all hovedsak med tømmerbil med henger. Gjennomsnittlig lasstørrelse var 37 m<sup>3</sup> (tilsvarende en totalvekt på 48 t) og gjennomsnittlig drivstofforbruk 0,6 l/km i 2010 (Vennesland et al. 2013). Lessing og lossing av tømmerbilen er inkludert i prosessen (Tabell 14). Rundt 4,4 millioner m<sup>3</sup> av hogstvolumet i 2010 var sagtømmer (SLF 2012). Nesten alt sagtømmer blir kjørt direkte fra skog til sagbruk med tømmerbil. Midlere volumveid kjørelengde var 58 km (Skogdata 2011). Omtrent 4 millioner m<sup>3</sup> av hogstvolumet i 2010 var massevirke (SLF 2012). Gjennomsnittlig transportavstand på vei for massevirke fra skog til fabrikk eller jernbaneterminal var 69 km (Skogdata 2011). Om lag 1/3-del av massevirket ble transportert videre med jernbane.

Tabell 14. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av veitransport per 1 m<sup>3</sup> transportert tømmer.

Kategori	Prosess	Mengde	Enhet
Produkt	Tømmertransport, vei	1	m <sup>3</sup>
Input	Sagtømmertransport	23,1	tkm
Input	Massevirketransport	25,3	tkm
Input	Lessing/lossing, dieselforbruk	0,3	l

#### 2.4.15 TØMMERTRANSPORT PÅ JERNBANE (FRA JERNBANETERMINAL TIL FABRIKK)

Jernbanetransport til fabrikk kommer i tillegg til veitransport med tømmerbil. Norske tømmer tog er vanligvis 400 m lange og kan frakte 800 til 1 000 m<sup>3</sup> tømmer (SLF/JBV 2010). Gjennomsnittlig transportlengde for tømmer er 182 km med dieseltog og 250 km med elektriske tog (SLF/JBV 2010). Rundt 12 % av transporten skjedde med dieseltog og 88 % med elektriske tog i 2010 (Vennesland et al. 2013). Det forutsettes samme fraktavstand for sagtømmer og massevirke i beregningene, og samme fordeling mellom frakt med dieseltog og frakt med elektrisk tog for sagtømmer og massevirke. Det forutsettes videre at elektriske tog går på nordisk el-miks (NORDEL) og at dieseltog ikke har partikkelfilter. Lessing og lossing av togvognene er inkludert i prosessen (Tabell 15). I 2010 ble 34 % (om lag 1,4 millioner m<sup>3</sup>) av massevirket fraktet på jernbane. Noe jernbanetransport av sagtømmer forekom også (1,5 % av volumet, 63 000 m<sup>3</sup>) (SLF/JBV 2010).

Tabell 15. Prosesser som inngår i SimaPro analysen av jernbanetransport per 1 m<sup>3</sup> transportert tømmer.

<b>Kategori</b>	<b>Prosess</b>	<b>Mengde</b>	<b>Enhet</b>
Produkt	Tømmertransport, jernbane	1	m <sup>3</sup>
Input	Sagtømmertransport, el-lok	7,4	tkm
Input	Sagtømmertransport, diesel-lok	0,8	tkm
Input	Massevirkettransport, el-lok	161	tkm
Input	Massevirkettransport, diesel-lok	16,3	tkm
Input	Lessing/lossing, dieselforbruk	0,1	l



### 3. RESULTATER OG DISKUSJON

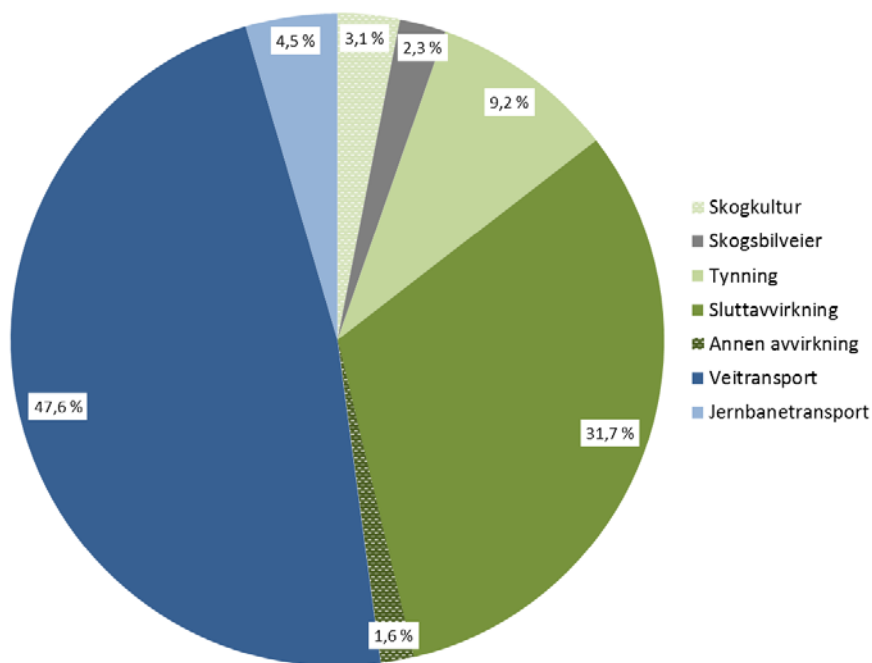
#### 3.1 Klimaregnskap

Input-dataene fra prosessene beskrevet i kapittel 2.4.1-2.4.15 har blitt analysert i SimaPro for å beregne det totale utslippet av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter fra hver enkelt prosess (Tabell 16). Utslippene har så blitt veid i forhold til avvirkningsvolumet for å beregne utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per m<sup>3</sup> produsert tømmer. I 2010 var det totale avvirkningsvolumet i Norge på rundt 8,4 millioner m<sup>3</sup> tømmer. Dette førte til et samlet utslipp på ca. 150 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Omregnet til utslipp per avvirket kubikkmeter tømmer gir dette 17,85 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per m<sup>3</sup> produsert tømmer.

Tabell 16. Utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>-eq.) i kilogram fordelt på skogbruksprosesser i 2010 (sum kg = det totale klimagassutslippet fra hver prosess, kg/m<sup>3</sup> = utslipp per m<sup>3</sup> produsert tømmer).

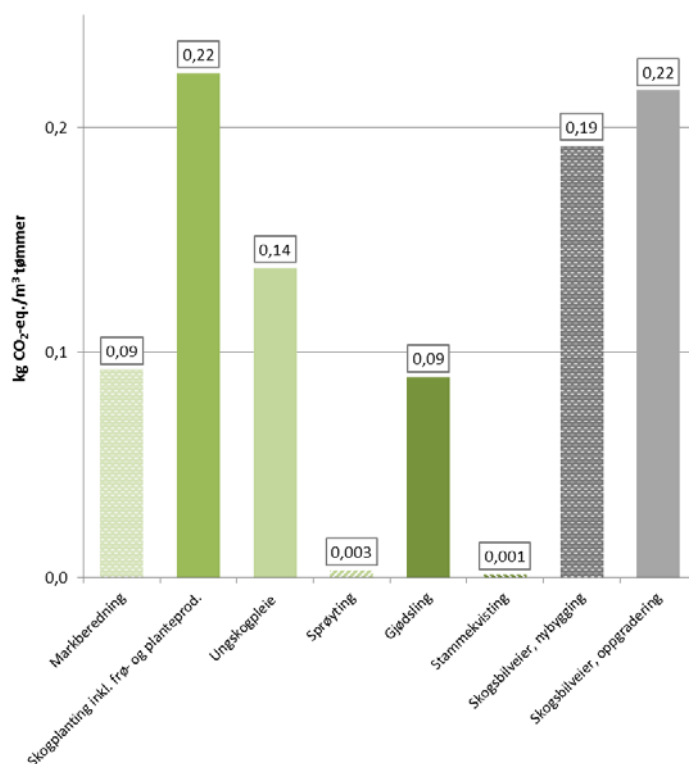
Prosess	CO <sub>2</sub> -eq. sum kg	CO <sub>2</sub> -eq. kg/m <sup>3</sup>
Markberedning	777 327	0,093
Skogplanting inkl. frø og planteproduksjon	1 883 523	0,22
Ungskogpleie	1 155 837	0,14
Sprøyting	26 701	0,0032
Gjødsling	748 492	0,089
Stammekvisting	11 107	0,001
<i>Skogkultur, sum</i>	<i>4 602 987</i>	<i>0,55</i>
Skogsbilveier, nybygging	1 612 635	0,19
Skogsbilveier, oppgradering	1 818 272	0,22
<i>Skogsbilveier, sum</i>	<i>3 430 907</i>	<i>0,41</i>
Tynning	9 074 143	1,08
Terrengtransport, tynning	4 691 320	0,56
<i>Tynning, sum</i>	<i>13 765 462</i>	<i>1,64</i>
Sluttavvirkning	24 086 685	2,87
Terrengtransport, sluttav.	23 444 692	2,79
<i>Sluttavvirkning, sum</i>	<i>47 531 377</i>	<i>5,66</i>
Hogst med taubane/kabelkran	1 752 011	0,21
Heltreavvirkning	699 511	0,08
<i>Annen avvirkning, sum</i>	<i>2 451 522</i>	<i>0,29</i>
Sagtømmertransport, vei	34 165 241	4,07
Massevirkettransport, vei	37 154 487	4,43
<i>Veitransport, sum</i>	<i>71 319 728</i>	<i>8,49</i>
Sagtømmertransport, jernbane	298 962	0,04
Massevirkettransport, jernbane	6 501 242	0,77
<i>Jernbanetransport, sum</i>	<i>6 800 204</i>	<i>0,81</i>
<b>Sum</b>	<b>149 902 187</b>	<b>17,85</b>

Transporten av tømmeret fra skogen utgjør mer enn halvparten av de totale klimagassutslippene i kjeden fra frøproduksjon til industriport, fordelt på veitransport med 47,6 % og jernbanetransport med 4,5 % (Figur 2). Sluttavvirkning inklusive terrengtransport står for om lag en tredjedel (31,7 %) av klimagassutslippene, mens tynning inklusive terrengtransport bidrar med 9,2 % og annen avvirkning med 1,6 %. Skogkulturtiltakene (inklusive frø- og planteproduksjon, markberedning og skogplanting) står for 3,1 % og bygging og oppgradering av skogsbilveier for 2,3 % av de samlede klimagassutslippene.



Figur 2. Utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i prosent fordelt på de grupperte prosessene i 2010.

I Figur 3 presenteres utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i kilogram per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer fra skogkulturoperasjonene og nybygging og oppgradering av skogsbilveier. Det framgår av Figur 2 og Figur 3 at bidragene fra disse prosessene til det samlede utslippet av 17,85 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer er veldig lite.



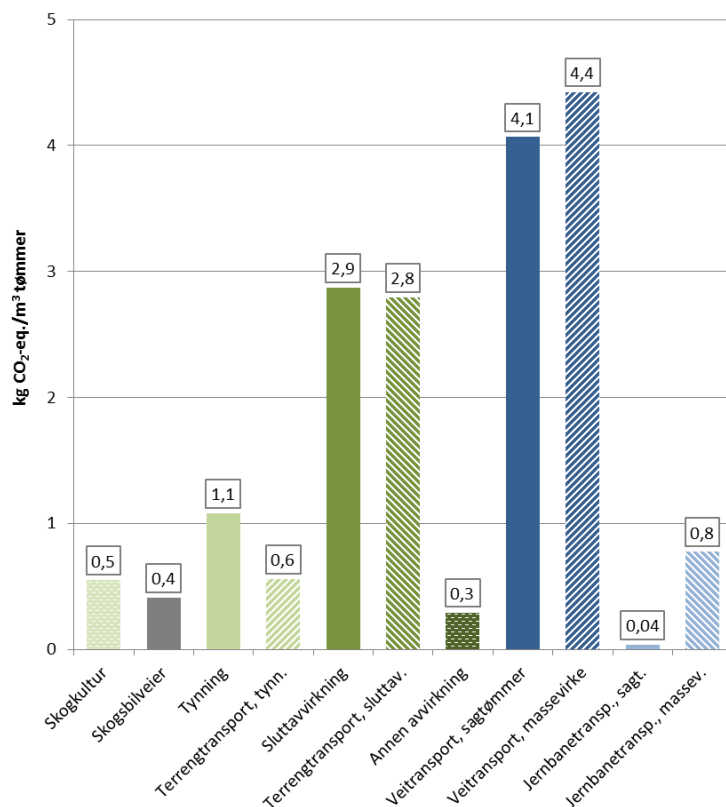
Figur 3. Utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>-eq.) i kilogram per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer fra skogkulturoperasjonene og skogsbilveibygging og oppgradering i 2010.

Beregner man derimot klimagassutslipp fra skogkulturprosessene per ha behandlet skogareal (Tabell 17), ser man at gjødsling fører til vesentlig høyere utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per ha enn de andre skogkulturprosessene på grunn av bruken av kunstgjødsel, som er veldig energikrevende å framstille. Utslippene fra gjødsling per 1 m<sup>3</sup> produsert tømmer (Tabell 16) er likevel lave da det gjødslete skogarealet var på kun 572 ha i 2010. Bygging av skogsbilveier genererer også relativt høye klimagassutslipp per km nybygget vei, nesten 20 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (Tabell 17), som først og fremst skyldes produksjon og transport av grus til bruk i veidekket og flytting av maskinene mellom anleggene. Utslippene fra veibygging per 1 m<sup>3</sup> produsert tømmer er likevel små siden det verken bygges eller oppgraderes særlig mange skogsbilveier i året på landsbasis.

Tabell 17. Utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>-eq.) i kilogram per ha behandlet skogareal og per km skogsbilvei i 2010.

Prosess	CO <sub>2</sub> -eq. kg/ha	Areal ha
Markberedning	180	4 309
Skogplanting inkl. frø og planteproduksjon	158	11 938
Ungskogpleie	42	27 233
Sprøyting	41	658
Gjødsling	1 308	572
Stammekvisting	26	420
<i>Skogkultur, sum</i>		<i>1 755</i>
Prosess	CO <sub>2</sub> -eq. kg/km	Lengde km
Skogsbilveier, nybygging	19 429	83
Skogsbilveier, oppgradering	6 102	298
<i>Skogsbilveier, sum</i>		<i>25 531</i>

I Figur 4 er skogkulturprosessene slått sammen, terrengtransport er skilt ut fra henholdsvis tynning og sluttavvirkning, og klimagassutslippene fra transportprosessene er fordelt mellom sagtømmer og massevirke for både lastebil- og jernbanefrakt. Lastebil- og jernbanetransport av massevirke, som utgjør 48 % av det totale avvirkningsvolumet, står for rundt 30 % (5,2 kg) av de samlede utslippene, mens tilsvarende transport av sagtømmer, som tilsvarer 52 % av hogstvolumet, genererer 23 % (4,1 kg) av de samlede utslippene av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Det forholdsvis høyere bidraget fra massevirketransporten skyldes at massevirke transporteres gjennomsnittlig lenger (69 km) med lastebil enn sagtømmer (58 km) og at rundt en tredjedel (34 %) av massevirket i tillegg vidertransporteres over lengre avstander med jernbanen, mens kun 1,5 % av sagtømmeret fraktes med jernbane.



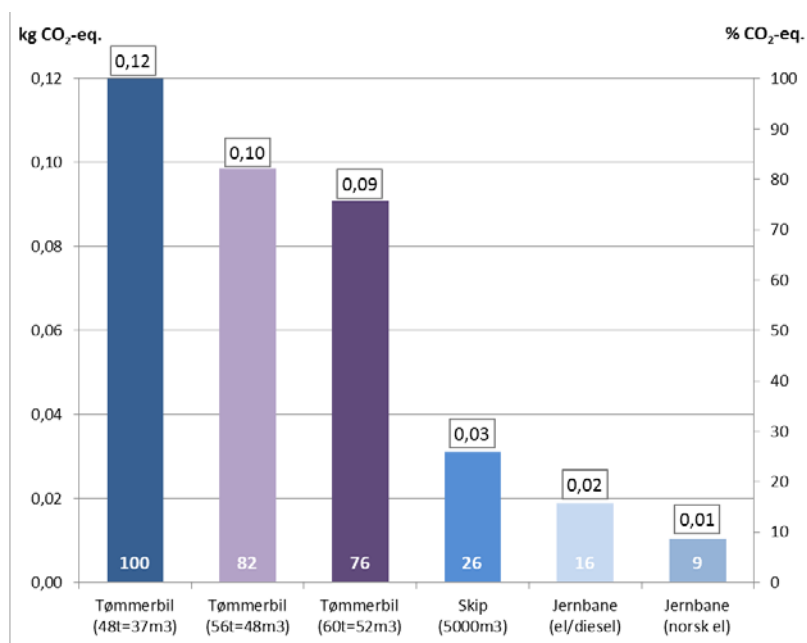
Figur 4. Utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>-eq.) i kilogram fordelt på prosesser per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer i 2010.

Under sluttavvirkningen bidrar terrengtransporten omtrent like mye som selve hogsten til klimagassutslippene (henholdsvis 2,8 og 2,9 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, eller rundt 16 % hver) ved en gjennomsnittlig utkjøringsavstand på 500 m. Kortere kjørelengde vil kunne redusere utslippene fra terrengtransporten, men dette krever bygging av flere skogsbilveier. Utslipp fra sluttavvirkning inklusive terrengtransport kommer noe lavere ut i foreliggende rapport sammenlignet med studien fra Flæte (2009) fordi vi i vår livsløpsanalyse inkluderte lessing/lossing av lastebilen (terminaltid) i biltransportprosessen og ikke i terrengtransportprosessen. Lessing/lossing av lassbæreren er inkludert i drivstofforbruket i terrengtransportprosessen. I tillegg er midlere kjøreavstand for terrengtransport med lassbærer kortere i vår LCA enn i Flæte (2009). Sannsynligvis er en midlere kjøreavstand på 300 og 500 m for terrengtransport ved henholdsvis tynning og sluttavvirkning for kort som landsgjennomsnitt, og mer passende for skogbruket på Østlandet. Michelsen et al. (2008) brukte en gjennomsnittlig utkjøringsavstand på 740 m for å beregne klimagassutslipp fra skogbruket i Midt- og Nord-Norge, og Flæte (2009) brukte 600 m som landsgjennomsnitt. Med en gjennomsnittlig kjøreavstand på 600 m på landsbasis ved både tynning og sluttavvirkning, ville klimagassutslippene for terrengtransport i vår analyse økt med 0,5 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per m<sup>3</sup> produsert tømmer.

Tømmeruttaket ved tynning og sluttavvirkning er angitt å være henholdsvis 5 og 23 m<sup>3</sup>/daa (Vennesland et al. 2013). På grunn av det lavere tømmeruttaket per arealenhet, bidrar tynning forholdsvis mye til det totale klimagassutslippet fra skogbruket. Våre beregninger viser at det å avvike 1 m<sup>3</sup> tømmer ved tynning genererer 2,5 ganger så mye CO<sub>2</sub> som tilsvarende hogst ved sluttavvirkning. Det har blitt diskutert om man kan oppnå samme tømmerkvalitet og volum ved utvidet og gjentatt ungskogpleie istedenfor tynning (Tveite and Braastad 2000). Dette vil kunne redusere både CO<sub>2</sub>-utslipp og driftskostnader for skogbrukeren.

Avvirkning med taubane/kabelkran er både tid- og energikrevende siden denne driftsformen betinger manuell hogst med motorsag, bruken av flere tunge maskiner og større forflytningsavstander mellom driftene. Dette fører til relativt store CO<sub>2</sub>-utslipp per m<sup>3</sup> tømmer som produseres med denne metoden. På landsbasis er andelen av denne driftsformen likevel bare på drøyt 1 %, og har dermed lite å si for skogbrukets totale klimaregnskap.

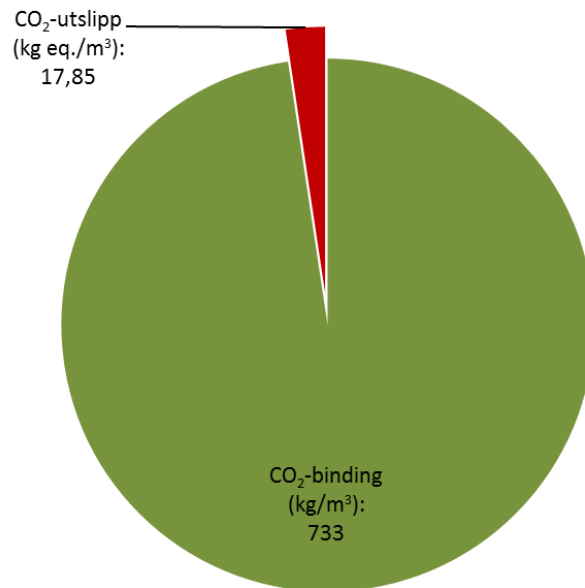
En direkte sammenligning av tømmertransport med ulike transportalternativer (Figur 5) viser at den minste tømmerbilen på 48 t totalvekt, som ble brukt i foreliggende studie da den var mest vanlig i 2010, slipper ut mest CO<sub>2</sub> per kubikkmeter transportert tømmer. En tømmerbil på 60 t totalvekt (som ikke var tillatt i 2010) vil til sammenligning slippe ut ca. ¼-del mindre CO<sub>2</sub>, forutsatt at drivstofforbruket er likt for alle lastebilalternativer (0,6 l/km). Tømmerbilen på 48 t slipper ut 6 ganger så mye CO<sub>2</sub> som et tog per kubikkmeter tømmer som fraktes. Denne beregningen forutsetter en kapasitet på rundt 1 000 m<sup>3</sup> tømmer per tog, en fordeling mellom frakt med diesel- og elektrisk tog på henholdsvis 12 % og 88 %, og at kraften til det elektriske toget stammer fra en nordisk el-miks (stolpen merket el/diesel i figuren). Forutsetter man at all jernbanetransport foregår med elektriske tog med kraft kun fra norske kilder (høyre stolpe i figuren), blir forskjellen i CO<sub>2</sub>-utslipp mellom lastebiltransport og jernbanefrakt enda større (12:1). Mer utstrakt bruk av jernbanen for å transportere tømmer begrenses av flere faktorer, som kapasitetsmangel ved eksisterende virkesteminaler, et overbelastet spornett og dårlig lønnsomhet ved korte transportavstander (SLF/JBV 2010). Et mellomstort lasteskip med en kapasitet på 5 000 m<sup>3</sup> tømmer og et drivstofforbruk på 22,1 l/km, kommer også godt ut av sammenligningen av ulike transportalternativer med ¼-del av CO<sub>2</sub>-utslippet som tømmerbilen på 48 t har. Økt bruk av skip til tømmertransport begrenses imidlertid til en viss grad av manglende infrastruktur i form av tilfredsstillende kaianlegg langs kysten (Nørstebø et al. 2011).



Figur 5. Klimagassutslipp i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>-eq.) ved transport av 1 m<sup>3</sup> tømmer over en avstand på 1 km (=0,765 tkm) ved ulike transportalternativer. Lessing/lossing er ikke inkludert. Venstre akse: kg CO<sub>2</sub>-eq./m<sup>3</sup>/km, høyre akse: % CO<sub>2</sub>-eq./m<sup>3</sup>/km (i forhold til Tømmerbil, 48t), el=elektrisk kraft.

I Figur 6 presenteres klimagassutslipp i kilogram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer som genereres av de undersøkte skogbruksprosessene fra frøproduksjon til industriport, sett i forhold til hvor mye CO<sub>2</sub> som bindes av 1 m<sup>3</sup> tømmer. Karbonbindingen er beregnet til å være 733 kg CO<sub>2</sub> per 1 m<sup>3</sup> grantømmer (Astrup et al. 2010; Søgaard og Granhus 2012).

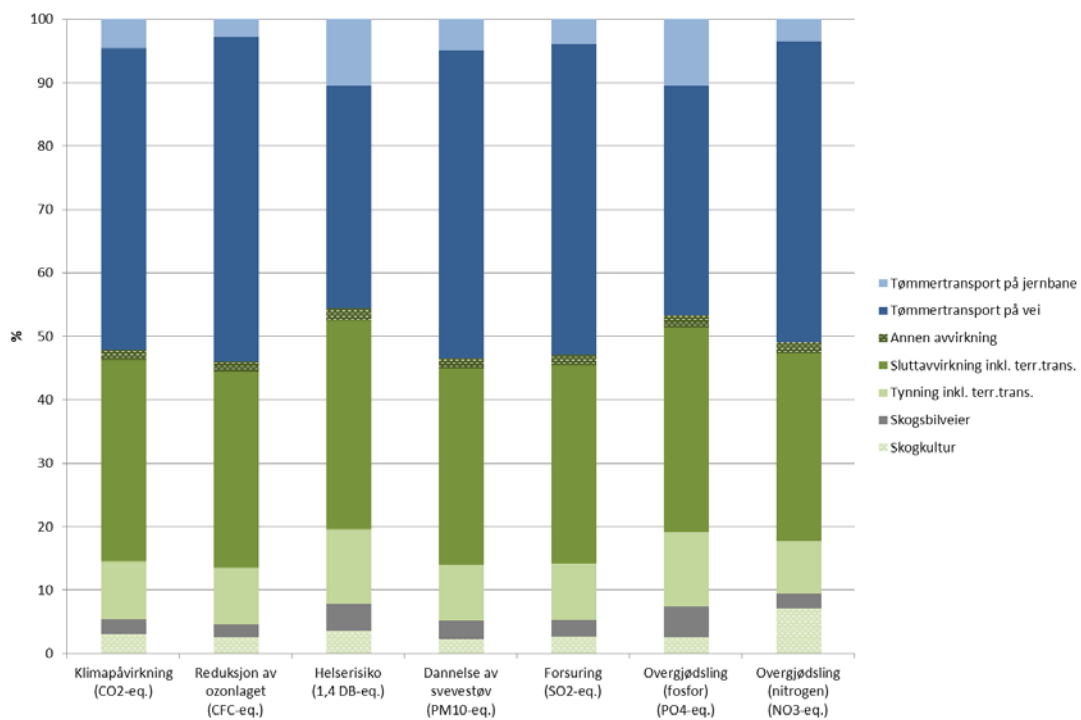
Utslippene av 17,85 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter tilsvarer 2,4 % av mengden CO<sub>2</sub> som bindes av 1 m<sup>3</sup> tømmer.



Figur 6. CO<sub>2</sub>-utslipp i kilogram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter fra frøproduksjon til industriport per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer i 2010 sett i forhold til hvor mye CO<sub>2</sub> som bindes av 1 m<sup>3</sup> tømmer.

### 3.2 Annen miljøpåvirkning

I Figur 7 presenteres påvirkning av ulike miljøkategorier av de operasjoner som er involvert i kjeden fra skog til industri fra livsløpsanalysen i SimaPro. Transport med tømmerbil har den klart største innvirkningen på alle de ulike miljøvariablene, etterfulgt av sluttavvirkning.



Figur 7. Påvirkning av ulike miljøkategorier i prosent fordelt på prosesser per 1 m<sup>3</sup> avvirket tømmer angitt i ekvivalenter (eq.). Klimapåvirkning: CO<sub>2</sub> = karbondioksid. Reduksjon av ozonlaget: CFC = KFK

(klorfluorkarbon)-gasser. Helserisiko: 1,4-DB = 1,4 diklorbenzen. Dannelse av svevestøv: PM10 = partikler < 10 µm. Forsuring: SO<sub>2</sub> = svoveldioksid. Overgjødsling: PO<sub>4</sub> = fosfat, NO<sub>3</sub> = nitrat.

I Tabell 18 er det listet utslipp i tonn av ekvivalenter for de samme miljøkategoriene som i Figur 7. Klimapåvirkning, som denne rapporten først og fremst har analysert, er klimagassutslipp angitt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Her inngår det også utslipp av lystgass (N<sub>2</sub>O), metan (CH<sub>4</sub>) og noen andre gasser, som regnes om til CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i SimaPro. Forbrenning av drivstoff er den største enkeltfaktoren som bidrar her. Kategorien helsерisiko er uttrykt i 1,4 diklorbenzen (1,4 DB)-ekvivalenter. Det totale utslippet av 1,4 DB-ekvivalenter fra skogbruket var på nesten 21 000 tonn, hvorav mesteparten stammer fra tungmetaller og halvparten fra bruken av mangan i jern- og stålproduksjonen. I denne kategorien bidrar jernbanetransporten forholdsvis mye på grunn av anvendelse av jern og stål i produksjon av både jernbanevogner og infrastruktur (skinnegang). Utslipp av svevestøv- (PM10) og svoveldioksid- (SO<sub>2</sub>) ekvivalenter synes også å være korrelert med drivstofforbruk, på samme måte som utslipp av NO<sub>3</sub>-ekvivalenter. I sistnevnte kategori er det verdt å merke seg at det forholdsvis høye bidraget fra skogkulturoperasjonene til utslipp av NO<sub>3</sub>-ekvivalenter ikke skyldes bruken av kunstgjødsel, men bruken av ryddesag i forbindelse med ungskogpleie. En mulig feilkilde til dette kan være at vi brukte motorsag i SimaPro istedenfor ryddesag siden denne ikke fantes i databasen.

Tabell 18. Påvirkning av ulike miljøkategorier, utslipp i tonn (t) ekvivalenter (eq.) av ulike substanser fordelt på prosesser. Forkortelser og kategorier, se Figur 7.

Prosess	Klima	Ozon	Helse	Svevestøv	Forsuring	Overgjød.	Overgjød.
	t CO <sub>2</sub> -eq.	t CFC-eq.	t 1,4-DB-eq.	t PM10-eq.	t SO <sub>2</sub> -eq.	t PO <sub>4</sub> -eq.	t NO <sub>3</sub> -eq.
Skogkultur	4 603	0,0006	742	9	23	0,4	3,7
Skogsbilveier	3 431	0,0004	869	10	22	0,8	1,3
Tynning inkl. terr.trans.	13 765	0,0020	2 476	33	75	1,8	4,4
Sluttavvirkning inkl. terr.trans.	47 531	0,0069	6 850	116	264	5,0	15,7
Annen avvirkning	2 452	0,0004	398	6	13	0,3	0,9
Tømmertransport på vei	71 320	0,0113	7 302	182	414	5,6	25,1
Tømmertransport på jernbane	6 800	0,0006	2 196	18	33	1,6	1,9
<b>Sum</b>	<b>149 902</b>	<b>0,0222</b>	<b>20 832</b>	<b>374</b>	<b>845</b>	<b>15,4</b>	<b>53,0</b>



## 4. KONKLUSJONER

De samlede klimagassutslippene fra produksjon av 8,4 millioner m<sup>3</sup> tømmer i forsyningskjeden fra frøproduksjon til industriport var på 150 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i 2010, eller 17,85 kg per produsert kubikkmeter tømmer levert ved sagbruk/fabrikk. Dette utgjør 2,4 % av det CO<sub>2</sub> som bindes av 1 m<sup>3</sup> tømmer. Transport med lastebil bidrar mest til klimagassutslippene fra skogbruket (nesten 50 %). Bruk av større tømmerbiler vil gi mindre CO<sub>2</sub>-utslipp. Om en større andel av tømmeret kan transporteres med jernbane, vil dette kunne gi en betydelig reduksjon i klimagassutslipp ettersom tog slipper ut vesentlig mindre CO<sub>2</sub> enn tømmerbiler (1/6-del). En kvalitetsforbedring i form av en økt andel sagtømmer vil også kunne redusere CO<sub>2</sub>-utslippene fra transporten noe. Lokale sagbruk reduserer transportavstanden og dermed klimagassutslipp, mens økende sentralisering og nedleggelse av treforedlingsindustrien fører til større transportavstander og dermed større klimagassutslipp. Enkelte skogbruksaktiviteter fører til forholdsvis store utslipp av klimagasser per produsert enhet, men så lenge disse aktivitetene holdes på et lavt nivå i forhold til det totale avvirkningsvolumet, har de lite å si for skogbrukets klimaregnskap.

Skogbruket har også innvirkning på andre miljøvariabler enn klimagassutslipp, og fører til utslipp av flere andre forbindelser og gasser enn CO<sub>2</sub>, særlig fra kjøretøy og maskiner med forbrenningsmotor.

## 5. ETTERORD

Denne rapporten er en leveranse i delprosjekt KlimaVerdi i prosjektet KlimaTre. Vi vil gjerne takke Leif Kjøstelsen og Anders Møyner Eid Hohle for datagrunnlaget til analysen. Videre ønsker vi å takke Lars Gunnar Tellnes, Lone Ross Gobakken, Gry Alfredsen og Per Otto Flæte for deres bidrag til rapporten.

## REFERANSER

- Aldentun, Y. 2012. Life cycle inventory of forest seedling production-from seed to regeneration site. *Journal of Cleaner Production* 10(1):47-55
- Astrup, R., Dalsgaard, L., Eriksen, R. og Hysten, G. 2010. Utviklingsscenarioer for karbonbinding i Norges skoger. Oppdragsrapport fra Skog og landskap 16/10: 31 s.
- Ecoinvent 2007. Overview and Methodology. Ecoinvent report No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007.
- Flæte, P.O. 2009. Energiforbruk og utslipp fra skogproduksjonskjeden med utgangspunkt i aktivitetsdata fra 2007 – fra frø til industritomt. Working paper. Skog og landskap 2009.
- Granhus, A., Hysten, G. og Nilsen, J.E.Ø. 2012. Skogen i Norge. Statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge registrert i perioden 2005-2009. Ressursoversikt fra Skog og landskap 03/12:85
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. In print.
- Michelsen, O., Solli, C. og Strømman, AH. 2008. Environmental impact and added value in forestry operations in Norway. *Journal of Industrial Ecology* 12(1): 69-81.
- Nørstebø, V.S., Johansen, U., Gabriel, H.M., Talbot, B. & Nilsen, J.-E. 2011. Transport av skogsvirke i kyststrøk fra Finnmark til Rogaland. SINTEF Rapport A20874: 141 s.
- SimaPro 2008. Introduction to LCA with SimaPro 7. PRé Consultants 2008.
- SINTEF 2008. MIKADO – Miljøegenskaper for tre- og trebaserte produkter over livsløpet. Prosjektrapport nr. 14 2008.
- SKI 1999. Skogbrukets Kursinstitutt. SKI Resymé nr 6, 1999.  
<http://www.skogkurs.no/Resyme/6/res6.html>
- SKI 2005. Skogbrukets Kursinstitutt. SKI Resymé nr 12, 2005.  
<http://www.skogkurs.no/Resyme/Gjodsling.pdf>
- Skogdata 2011. Statistikk skogkultur, avvirkning og tømmertransport. 2011.
- Skogfondet 2012. <http://www.skogfond.no/>
- Skogforsk 2010. Vägbyggnad. Kostnader och prestationer. Skogforsk, Kunskap direkt.  
<http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Vagbyggnad/Kostnader-och-prestationer/#>.
- Skogfrøverket 2012. Årsmelding 2011. Stiftelsen Det norske Skogfrøverk: 43
- Skog og landskap 2008. Karbonbinding i skog. Fagartikkel.  
[http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2008/karbonbinding\\_i\\_skog](http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2008/karbonbinding_i_skog)
- Skog og landskap 2011. Stammekvisting som kvalitetsforbedrende tiltak. Fagartikkel.  
<http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2011/Stammekvisting>
- SLF/JBV 2010. Statens landbruksforvaltning og Jernbaneverket. Økt virkestransport på jernbane. Utredning til Landbruks- og matdepartementet og Samferdselsdepartementet. November 2010.
- SLF 2012. Statens landbruksforvaltning. <http://www.slf.dep.no/no/statistikk/skogbruk>
- SSB 2009. Statistisk sentralbyrå. <http://www.ssb.no/skogbruk/tab-2009-06-23-01.html>
- SSB 2012. Statistisk sentralbyrå. <http://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri?de=Skogbruk>
- Søgaard, G. og Granhus, A. 2012. Klimaoptimalt skogbruk. En vurdering av utvalgte skogskjøtseltiltak i Akershus fylke. Oppdragsrapport fra Skog og landskap 09/12: IV, 34 s.
- Tveite, B. og Braastad, H. 2000. Tynning i granbestand. Effekten på tilvekst, dimensjonsfordeling og økonomi. Rapport Norsk Institutt for Skogforskning 4:30, ISBN 82-7169-929-6.
- Vennesland, B., Hohle, A.E., Kjøstelsen, L. og Gobakken, L.R. 2013. Prosjektrapport KlimaTre. Energiforbruk og kostnader - Skog og bioenergi. Rapport fra Skog og landskap 14/13: VI, 71 s. ISBN 978-82-311-0194-9.