

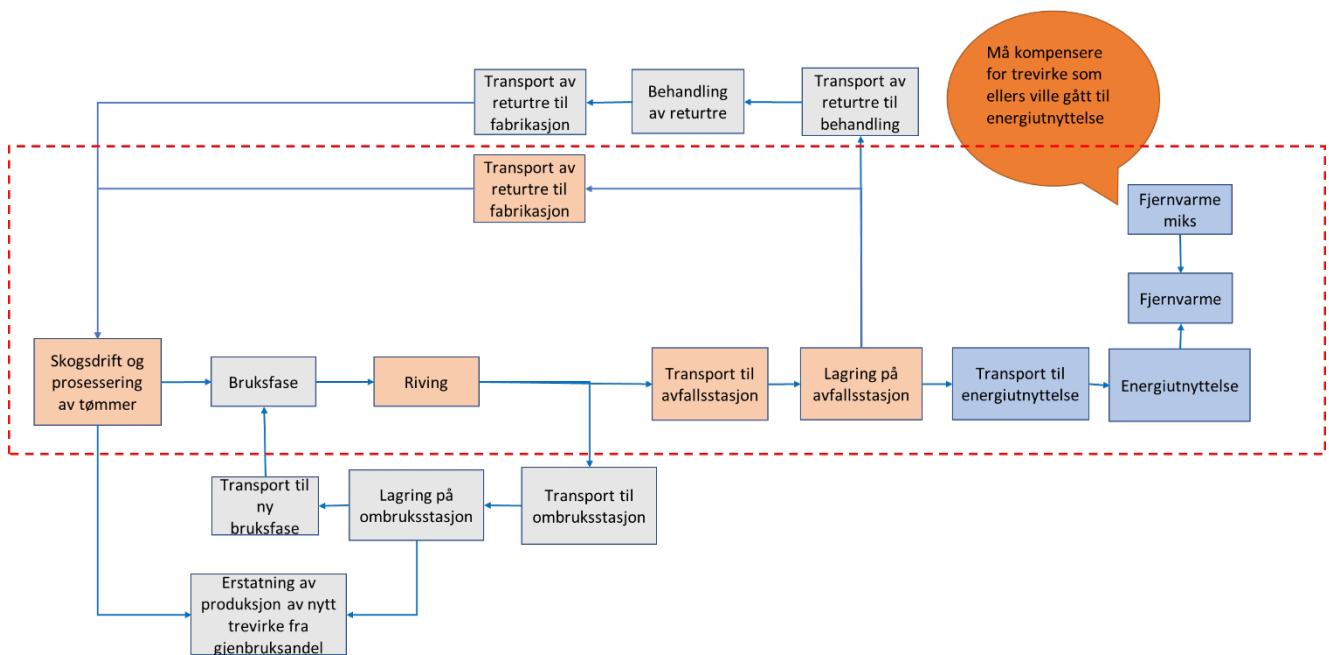
2023

ISSN 2535-2806

MINA fagrapport 91

Livsløpsanalyse av ombruk av returtre

Mathias Røed Hanssen
Tom Erik Thorkildsen
Anders Q. Nyrud



Hanssen, M.R., Thorkildsen, T.E., Nyrud, A.Q. 2023. **Livsløpsanalyse av ombruk av returtre.** – MINA fagrapport 91. 35 s.

Ås, januar 2024

ISSN: 2535-2806

RETTIGHETSHAVER

© Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU)

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Forskningsutvalget, MINA, NMBU

OPPDRAKSGIVER

CircWood

FORSIDEBILDE

LCA-modell, faksmile av Figur 4 i rapporten.

NØKKEWORD

LCA, trevirke, treindustri, returtre, ombruk av tre, konstruksjonsvirke, bioenergi

KEY WORDS

LCA, sawnwood, wood industry, reclaimed wood, reuse of wood, structural wood, bioenergy

Mathias Røed Hanssen, Tom Erik Torkhildsen, Anders Q. Nyrud (anders.qvale.nyrud@nmbu.no):
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås.

Forord

Rapporten inngår i prosjektet Circular use of wood for increased sustainability and innovation (CircWOOD). Dette prosjektet inngår i Grønn plattform-prosjektet SirkTre. CircWOOD skal undersøke aspekter ved trebruk i den norske økonomien, med særlig vekt på ombruk av returtre som råstoff i dagens treindustri. Forskningsresultater, spesielt knyttet til ressurstilgang og materialstrømmer skal kobles mot tilrettelegging av sirkulær vareflyt, håndtering, miljøpåvirkning, design og produksjon av tre i, og mot, relevante markeder i inn- og utland. CircWOOD vil følge livsløpet til norsk returtre og finne nye måter for effektiv bruk av denne ressursen. CircWOOD består av 6 arbeidspakker og 14 bedrifter og FoU-institusjoner deltar i prosjektet.

Denne rapporten sammenligner klimapåvirkning av ombrukbart returtre med bruk av nyprodusert trelast.

Studien er utført av forsker Mathias Røed Hanssen, PhD stipendiat Tom Erik Thorkildsen og Professor Anders Q. Nyrud. Takk til Per J. Johannessen (Plan- og strategisjef), Paul Karamé (Prosjektleder) og Andreas Brønmo (Digitaliseringsansvarlig) fra Ragn-Sells for informasjon om praksis i Ragn-Sells. Takk til Michel Wolfstirn fra Pådriv for informasjon om informasjon om drift ved Ombrukssentralen. Takk til Johann Kristian Næss fra Treteknisk for nyttige kommentarer om datakvalitet og utforming av modellen. Vi ønsker også å takke Førsteamanuensis Per Kristian Rørstad for kritisk gjennomlesning av tidligere manuskript.

Mathias Røed Hanssen

Tom Erik Thorkildsen

Anders Q. Nyrud

Ås, 30. Januar 2024

Sammendrag

Denne rapporten sammenligner klimapåvirkning av ombrukbart returtre med bruk av nyproduisert trelast. Analysene i rapporten tar utgangspunkt i et referansescenario for vanlig praksis for avfallshåndtering av returtre i Norge i 2022, og legger til grunn at alt returtre går til energiutnyttelse ved fjernvarmeanlegg. Deretter skisseres tre ulike ombruksscenarioer der det antas at 20 prosent av returreet ombrukes.

Livsløpsanalysene forutsetter at alt returtre kommer fra riving av typisk norsk trehusbebyggelse, og all trelast som brukes i byggeprosessen samt ombrukbart returtre benyttes i oppføring av tilsvarende bygninger. Ombruksscenarioene har forskjellige forutsetninger om hvordan ombrukbart returtre rives eller demonteres, sorteres og bearbeides, og transporteres tilbake til bruksfasen.

Produksjonsfasen (fase A) baserer seg på modellert produksjon av sagtømmer i et generisk norsk sagbruk, utviklet av Norsk Treteknisk Institutt (Treteknisk). Resten av modelleringen er basert på opplysninger fra bransjeaktører, egne analyser, og eksplisitte antagelser. Modelleringen er gjennomført i SimaPro Flow (Database and Support Teams at PRé Sustainability, 2023). Øvrige generiske data er hentet fra ecoinvent-biblioteket (Wernet et al., 2016) i SimaPro.

Den funksjonelle enheten er definert som: *1 m³ trelast egnet for bindingsverkskonstruksjoner med levetid på 60 år, uten behov for overflatebehandling, utskifting eller annet vedlikehold, med påfølgende riving eller demontering og avfallsbehandling.*

Det er laget modeller for fire scenarier, som inkluderer ett referansescenario uten ombruk, og tre ombruksscenarier. Alle scenarier resulterer i netto unngåtte utslipp av klimagasser, og utslippene i ombruksscenarioene er lavere utslipp enn i referansescenarioet. Rapporten konkluderer dermed med at ombruk av returtre er en bedre klimaløsning enn forbrenning av returtre til energiutnyttelse. I ombruksscenarioet som gir størst unngåtte utslipp av klimagasser blir ombrukbart returtre brukt på nytt uten bearbeiding og går til ombrukssentral som ligger i nærheten av nybygningsaktiviteten.

Ombruksscenarioet som legger til grunn at ombrukbart returtre som utsorteres ved avfallsanlegg og krever kapping og økt maskinarbeid sammenliknet med de øvrige scenarioene, resulterer i klart større unngåtte utslipp enn i referansescenarioet.

Følsomhetsanalysene tar utgangspunkt i ombruksscenarioet med gjenbruk av returtre fra ombruksstasjon, og viser at en økning i ombruksandelen fra 20 prosent til 80 prosent kan resultere i omtrent 50% større unngåtte utslipp av klimagasser.

Rapporten inngår i arbeidspakke 4 i CircWOOD knyttet til SirkTRE som er prosjektfinansiert gjennom Grønn plattform. Flere private aktører med relevant kunnskap og erfaring har tilgjengeliggjort ulike typer informasjon som har formet scenarier, modeller og data.

Innholdsfortegnelse

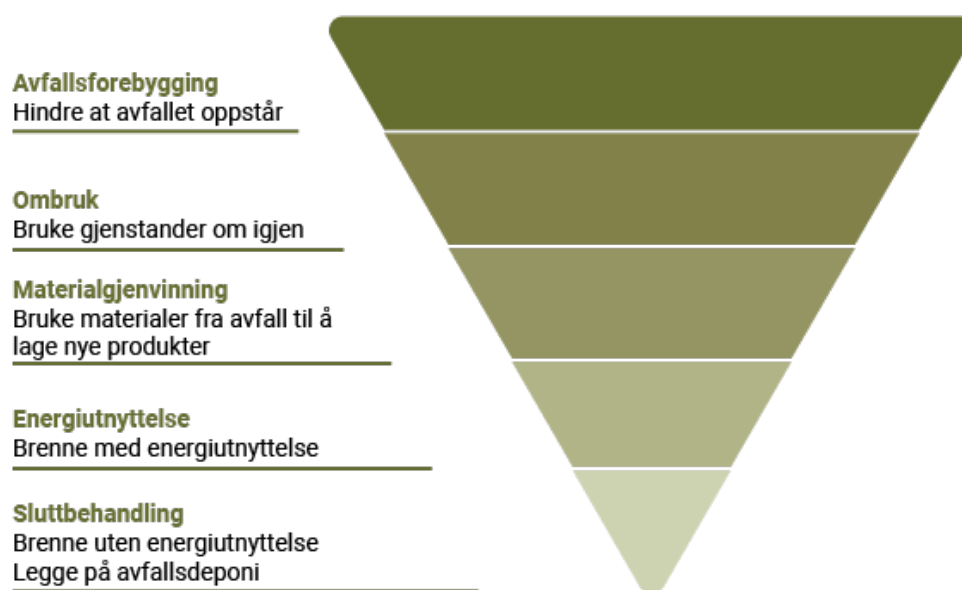
1	Innledning	6
2	Scenariobeskrivelser	8
2.1	Forenklinger og antagelser	8
2.2	Samlet oversikt over livsløp (A-D) Trevirkets livsløp	8
2.3	Scenario 0 (referansescenario).....	9
2.4	Ombruksscenario 1.....	9
2.5	Ombruksscenario 2.....	10
2.6	Ombruksscenario 3.....	11
3	Metode	13
3.1	Produktspesifikke regler	13
3.2	Mål og hensikt	13
3.3	Funksjonell enhet	13
3.4	Allokering.....	13
3.5	Miljøpåvirkninger	14
4	Prosessbeskrivelse og systemgrenser.....	15
4.1	Sagbruksmodell for trelastproduksjon av jomfruelig trevirke.....	15
4.2	Riving av bygg	15
4.3	Logistikk og transport	16
4.4	Avfallshåndtering og avfallsbehandling.....	17
4.5	Prosessering av trevirke til gjenbruk	17
5	Datakvalitet og representativitet.....	18
6	Datagrunnlag	19
6.1	Beregninger og forutsetninger for transport.....	19
6.2	Beregninger og forutsetninger for prosessering av trevirke	19
6.3	Referansescenario	20
6.4	Ombruksscenario 1.....	21
6.5	Ombruksscenario 2.....	22
6.6	Ombruksscenario 3.....	23
7	Resultater.....	25
7.1	Sammenlikning av klimapåvirkning i alle scenarioer	25
7.2	Resultater for referansescenariet (scenario 0).....	26
7.3	Resultater for ombruksscenario 1	28
7.4	Resultater for ombruksscenario 2	29
7.5	Resultater for ombruksscenario 3	31
8	Følsomhetsanalyse	33
9	Konklusjon	34
10	Referanser.....	35

1 Innledning

Denne rapporten er et bidrag fra arbeidspakke 4 i CircWOOD. CircWOOD er en integrert del av SirkTRE, et prosjekt som har som mål å etablere den helsirkulære verdikjeden for tre i Norge.

I henhold til Miljødirektoratets oversettelse av EUs avfallshierarki danner *avfallsforebygging*, *materialgjenvinning*, *energiutnyttelse* og *sluttbehandling* fem adskilte nivåer av interaksjon for å minimere avfall (Miljødirektoratet, 2019). I denne rapporten fokuseres det på returtre som ombrukes eller forbrennes med energiutnyttelse. Ombruk av returtre er gjenbruk der funksjonalitet og bruksområde for trevirket beholdes intakt med beskjeden eller ingen form for prosessering. Materialgjenvinning skiller seg fra ombruk ved at returreet prosesseres i større grad, og at det gjerne inngår i et nytt produkt som har ulik funksjonalitet og bruksområde enn sitt utgangspunkt. Et typisk eksempel på materialgjenvinning av returtre er når heltreprodukter kvernes til flis og inngår i sponplateproduksjon. Når returtre kvernes til treflis for å benyttes til produksjon av fjernvarmeanlegg regnes dette som forbrenning med energiutnyttelse.

AVFALLSHIERARKIET



Kilde: Miljødirektoratet 2016 / Miljøstatus.no

Figur 1. Avfallshierarkiet (Klima- og miljødepartementet, 2016).

Avfallsregnskapet for Norge viser at i overkant av 90 prosent av alt avfallsbehandlet trevirke ble levert til forbrenning i gjennomsnitt de seneste ti årene (Statistisk sentralbyrå, 2023). I henhold til avfallsforskriftens § 10-10 skal avfallsforbrenning skje med energiutnyttelse så langt det er praktisk gjennomførbart (Avfallsforskriften, 2004). Fra 2019 til 2021 har andelen returtre registrert levert til materialgjenvinning økt fra 6 prosent til 27 prosent i Norge. I samme periode har andelen returtre levert til forbrenning med energiutnyttelse endret seg fra 93 prosent til 72 prosent (Statistisk sentralbyrå, 2023).

Dette viser at norsk praksis for avfallsbehandling av returtre er i dreining fra energiutnyttelse til materialgjenvinning. I denne rapporten ønsker vi imidlertid å analysere en situasjon der vanlig praksis (energiutnyttelse) dreies mot økt ombruk. Dette skyldes både at analyser av ombruk er mindre komplekst enn analyser av materialgjenvinning, og fordi vi har hatt god tilgang på informasjon fra SirkTRE-partnere som jobber mot økt ombruk.

Verdikjedene for ombruk i Norge er under etablering. Ombrukssentraler er i planleggingsfasen eller på vei til å åpne i nærhet til flere av de tettest befolkede områdene i Norge. På den ene siden finnes det nærmest ingen publiserte data for ombruk i Norge. På den annen side er det ønskelig for SirkTRE å analysere en hypotetisk situasjon med økt ombruk for å vurdere samfunnsmessig nytteverdi og bedriftsøkonomisk mulighetsrom før man investerer store midler i nyetablering og teknologi. Selv om det finnes noen initiativer innen norsk treindustri som er i ferd med å etablere og oppskalere treplateproduksjon der returtre inngår som innsatsfaktor, blir returtre som leveres til materialgjenvinning stort sett eksportert til andre land i Europa.

2 Scenariobeskrivelser

2.1 Forenklinger og antagelser

Livsløpsanalysene og scenariobeskrivelsene i denne rapporten bygger på noen vesentlige forenklingene antagelser:

1. Skogforvaltningen er homogen og bærekraftig, og klimanøytral med unntak av beskrevet maskinbruk.
2. Alt nytt trevirke er trelast produsert på sagbruk i Norge.
3. Alt returtre stammer fra riving eller demontering av typisk norsk trehusbebyggelse av bindingsverk.
4. Alt trevirke som brukes eller ombrukes, går til oppføring av samme type bygninger som rives.
5. All ny trelast, og alt ombrukt returtre, har en kvalitet som gjør at det er egnet til konstruksjonsvirke til oppføring av typisk norsk trehusbebyggelse.
6. Alle trehus som bygges og rives, krever identisk mengde konstruksjonsvirke.
7. I bruksfasen skjer det ingen klimapåvirkning.
8. Trevirkets levetid er 60 år.
9. Nyprodusert trelast og ombrukt returtre har identisk levetid, kvalitet og bruksområde.
10. All avfallsbehandling av trevirke innebærer energiutnyttelse ved fjernvarmeanlegg.
11. Ingen fraksjoner materialgjenvinnes.
12. Det er ingen juridiske hindringer for å ombruke returtre som først er levert på avfallsstasjon.

2.2 Samlet oversikt over livsløp (A-D) Trevirkets livsløp

Trevirkets livsløp kan deles inn i fire faser (A, B, C og D). Se tabell 1 for oppsummering.

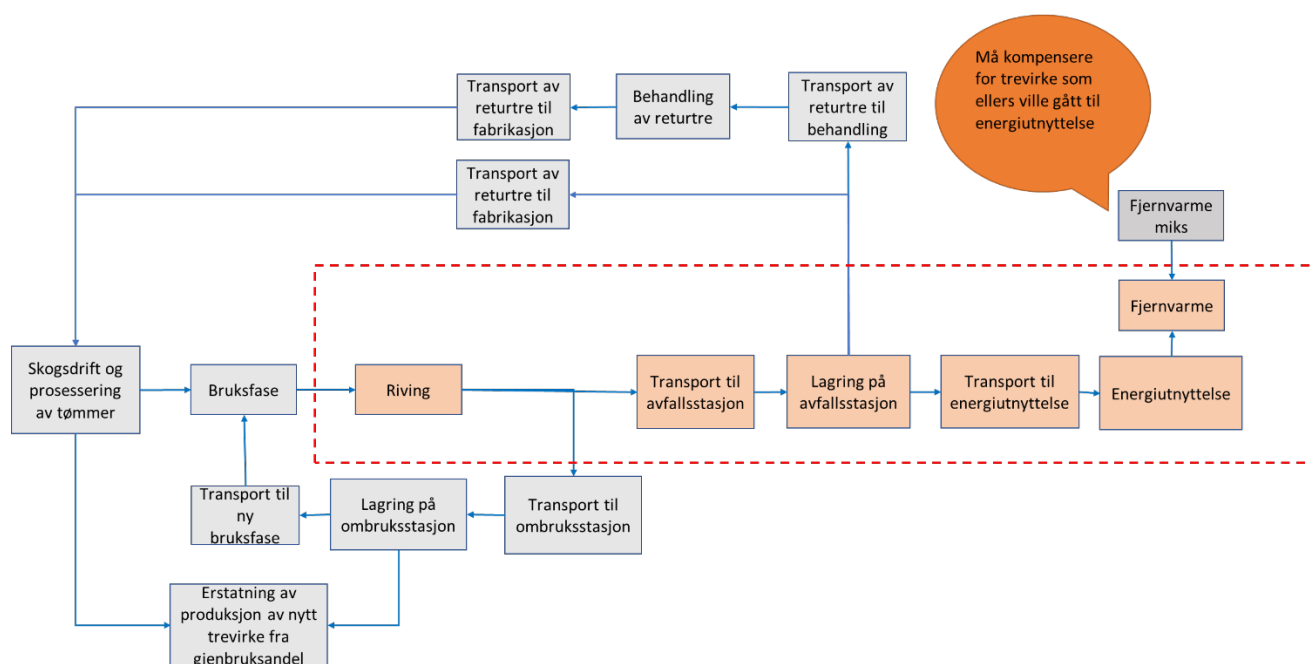
Tabell 1. Oppsummering av medregnede og utelatte prosesser for hver fase.

Fase	Medregnet	Utelatt
A – Produksjonsfasen	<ul style="list-style-type: none">• Planting og skogkultur• Hogst og transport til velteplass• Transport fra velteplass til sagbruk• Prosessering fra tømmer til trelast• Energiutnyttelse og annen bruk av biprodukter	<ul style="list-style-type: none">• Skogforvaltningen forøvrig
B – Bruksfasen		<ul style="list-style-type: none">• Oppføring av trehus• Overflatebehandling• Utskiftning• Annet vedlikehold
C – Avfallshåndtering	<ul style="list-style-type: none">• Hugging av returtre til flis• Transport av flisemaskin• Transport fra avfallsanlegg til fjernvarmeanlegg• Forbrenning ved fjernvarmeanlegg	<ul style="list-style-type: none">• Internt transportarbeid på avfallsanlegg• Forbrenning uten energiutnyttelse• Deponering• Kompostering
D – «Nytt liv»	<ul style="list-style-type: none">• Ombrukt returtre uten prosessering• Ombrukt returtre med beskjeden prosessering (kapping og rensing)	<ul style="list-style-type: none">• Avfallsforebygging• Materialgjenvinning
Transport	<ul style="list-style-type: none">• Transport mellom fasene A-D	

2.3 Scenario 0 (referansescenario)

I referansescenarioet rives trehusbebyggelsen etter dagens praksis, og returtreet grovsorteres i en fraksjon på byggeplassen. Returtreet transporteres i containere til avfallsanlegg. På avfallsanlegget blir returtreet lagret i utendørs hauger. Med jevne mellomrom ankommer en mobil flisemaskin som kverner og sorterer ut metall. Treflisen blir siden transportert til fjernvarmeanlegg for energiutnyttelse.

Figur 1 viser medregnede prosesser som omtalt over i oransje bokser, mens utelatte prosesser er grå. Stiplet rød linje markerer systemgrensen for referansescenariet (scenario 0).



Figur 2. Referansescenario (scenario 0): Medregnede prosesser illustrert i oransje, utelatte prosesser i grått, og systemgrenser med stiplet rød linje.

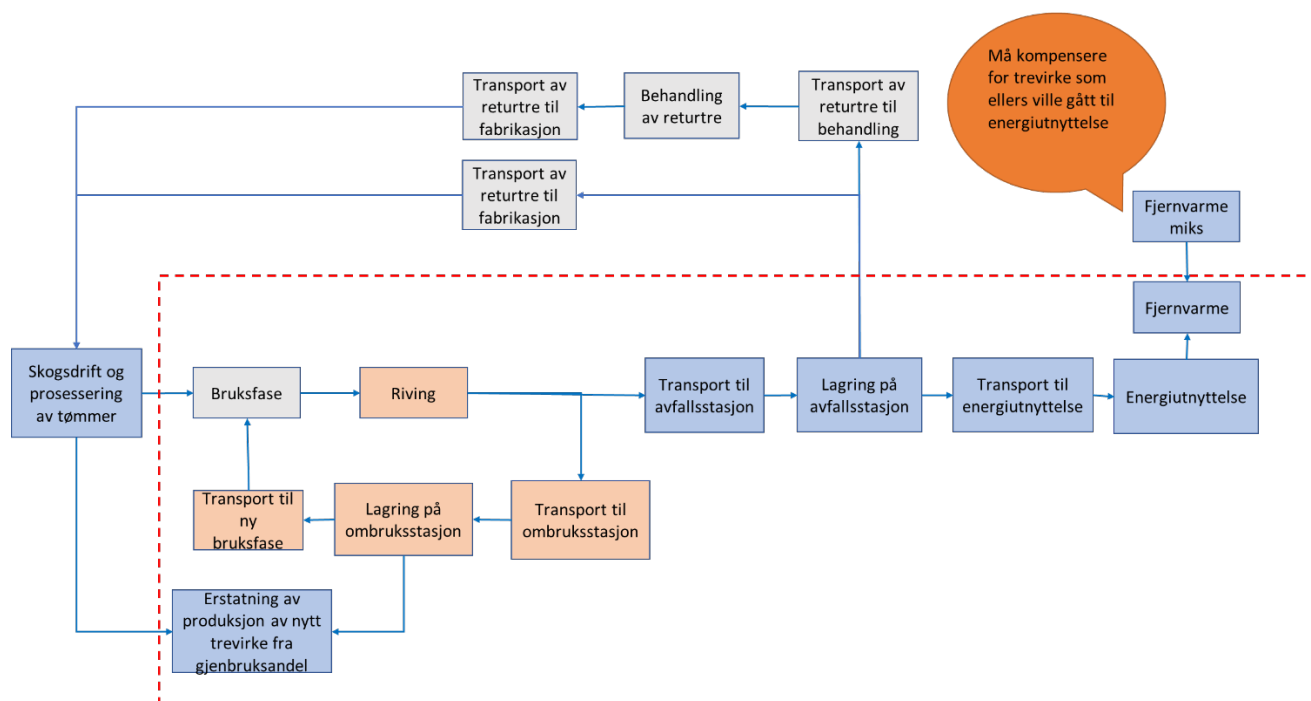
2.4 Ombruksscenario 1

I ombruksscenario 1 sorteres trevirket i to fraksjoner på rivingslokasjon. 80 prosent går til avfallsanlegg og behandles på samme måte som i referansescenarioet.

Det antas at 20 prosent kan nyttes for ombruk uten ytterligere tiltak. Denne fraksjonen transporteres til en ombrukssentral, og dekker senere 20 prosent av trelasten som kreves for oppføring av nytt trehus.

Som følge av at 20 prosent av returtreet ombrukes, må 20 prosent av fjernvarmeproduksjonen fra forbrenning av returtre i referansescenarioet erstattes av annen energi. Dette antas å erstattes av gjennomsnittlig fjernvarmemiks som gir høyere utslipp enn energiutnyttelse av returtre, siden denne energimiksen blant andre inkluderer fossil olje og gass for å sikre tilstrekkelig effekt til såkalt spisslast når behovet er størst om vinteren (Fornybar Norge, 2016). Utslipp fra produksjon av fjernvarme under norske forhold er 73 gram CO₂ per kWh, mens forbrenning av flis fra returtre (RT-flis) til energiutnyttelse er 3 gram CO₂ per kWh (Torstensen, 2020).

Figur 2 viser hvordan systemgrensene utvides. Blå bokser representerer prosesser som inkluderes eller endres i ombruksscenario 1 sammenlignet med scenario 0.

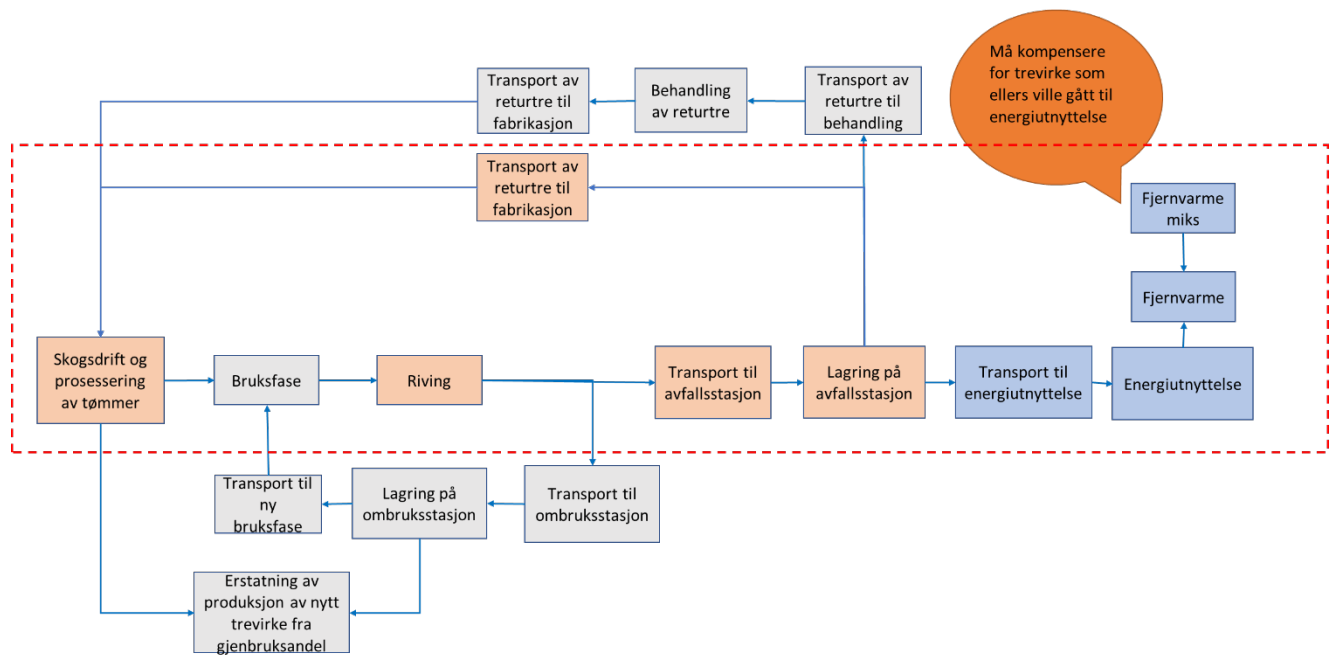


Figur 3. Ombruksscenario 1: Medregnede prosesser illustrert i oransje, utelatte prosesser i grått, og systemgrenser med stiplet rød linje. Prosesser som er forskjellig fra scenario 0 i blått.

2.5 Ombruksscenario 2

I ombruksscenario 2 sendes alt returtré for sortering på avfallsanlegg. Også her legges det til grunn at 20 prosent kan sorteres ut og klargjøres til ombruk.

Figur 3 viser at ombrukssentral-sløyfen ikke lenger er innenfor systemgrensene. I stedet ombrukes returtréet gjennom en alternativ avfallsanleggs-sløyfe. Oransje bokser representerer inkluderte prosesser, og blå bokser representerer prosesser der det skjer endringer sammenlignet med scenario 0.

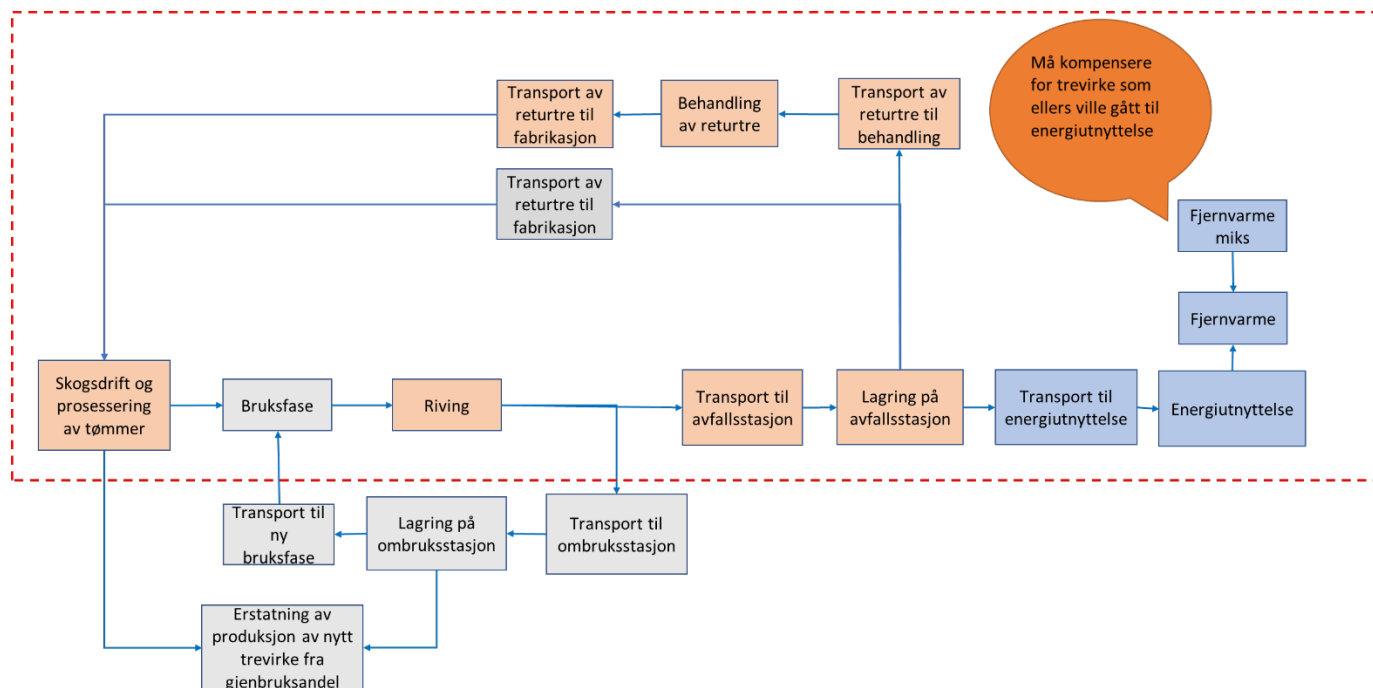


Figur 4. Ombruksscenario 2: Medregnede prosesser illustrert i oransje, utelatte prosesser i grått, og systemgrenser med stiplet rød linje. Prosesser som er forskjellig fra scenario 0 i blått.

2.6 Ombruksscenario 3

I ombruksscenario 3 sorteres og fraktes 20 prosent av returtrøet gjennom samme avfallsanleggs-sløyfe som for ombruksscenario 2. Nå legges det imidlertid inn en antagelse om at det krever noe prosessering for å klargjøre fraksjonen for ombruk. Som følge av at en femdel av fraksjonen kappes bort vil 16 prosent av den totale returtrøefraksjonen ombrukes.

Figur 4 viser hvordan prosesser for behandling og ekstra transport av ombruksfraksjonen nå er aktivert til forskjell fra ombruksscenario 2.



Figur 5. Ombruksscenario 3: Medregnede prosesser illustrert i oransje, utelatte prosesser i grått, og systemgrenser med stiplet rød linje. Prosesser som er forskjellig fra scenario 0 i blått.

3 Metode

3.1 Produktspesifikke regler

For å sikre bedre sammenlignbarhet mellom EPDer (*Environmental Product Declaration*) er det utviklet standardiserte beregningsregler kalt PCR (*Product Category Rules*). PCR for byggematerialer er basert på NS-EN 15804. PCR for trevirke og trebaserte produkter er en videreutvikling av denne, men har fått egen standard; NS-EN 16485. De viktigste beregningsreglene i denne standarden beskriver hvordan man skal allokere (fordele) miljøpåvirkning mellom hoved- (trelast), biprodukter (bark, sagspon, flis og annet avkapp), energiutnyttelse av biproduktene og avfallsbehandling av ikke-utnyttede biprodukter.

PCR for bygningsmaterialer av tre forutsetter at det skal legges til grunn standard praksis for behandling av bygningsavfall ved riving. Forbrenning med energiutnyttelse, og deponering av aske fra forbrenning er angitt som standard i Europa. Dersom man ønsker å synliggjøre miljøpåvirkning fra alternative avfallsbehandlingsmetoder skal metoden med størst miljøpåvirkning inkluderes i analysen.

3.2 Mål og hensikt

Formålet med livsløpsanalysene er å beregne og sammenligne klimapåvirkning i et referansescenario med tre ulike ombruksscenarioer. Resultatene fra analysene viser hvilken avfallshåndtering av returtre som gir lavest klimapåvirkning. Hvilke prosesser som bidrar mest til klimapåvirkningen blir også synliggjort.

Resultatene fra livsløpsanalysene kan bidra til økt kunnskap om nytten av ombruk av returtre. I 2018-2022 forbrukte det norske markedet mellom 2,7 og 3,2 millioner kubikkmeter trelast årlig (FAOSTAT, 2023). Som tommelfingerregel kan man regne med at det må avvirkes omtrent dobbelt så mange kubikkmeter sagtømmer (Treindustrien, s. a.) for å produsere dette volumet. Det er derfor hensiktsmessig at CircWOOD bidrar til å synliggjøre de mulige klimagevinstene ved økt ombruk av returtre.

3.3 Funksjonell enhet

Den funksjonelle enheten er definert som: *1 m³ trelast egnet for bindingsverkskonstruksjoner med levetid på 60 år, uten behov for overflatebehandling, utskifting eller annet vedlikehold, med påfølgende riving og avfallsbehandling.*

3.4 Allokering

Klimagassutslipp fra prosesser for gjenbruk av trevirke belastes enten produsent, eller også mottaker av gjenbrukt material gjennom bruk av allokeringemetodikk. Dette gjøres enten ved allokering ved *cut-off*, eller allokering ved substitusjon. Allokering ved *cut-off* innebærer at produsenten av avfallet blir belastet med utslippene knyttet til å gjenvinne avfallet, noe som resulterer i større etterspørsel etter materialer som er gjenvunnet. Allokering ved substitusjon fordeler utslippene ved å gjenvinne materialene både hos forbruker og produsent av de nyttbare delene av avfallet (Wernet et al., 2016). I denne analysen er det valgt å bruke allokering ved *cut-off* som EN 15804 anbefaler, for å kunne vise gevinsten mht.

klimagassutslipp av ombruk i leddet etter rivingsprosessen. Energigjenvinning av trevirke allokeres ved substitusjon for å vise effekten av forbrenning av trevirke.

3.5 Miljøpåvirkninger

Livsløpsanalysene sammenlikner de ulike scenarioene mht. global oppvarming og fossile og fornybare energiresurser, og det er brukt midt-punkt karakterisering som vil si at konsekvensene av miljøpåvirkningene ikke er hensyntatt. Dette betyr at for eksempel global klimaendring måles i CO₂-ekvivalenter, og ikke i effekt på global oppvarming eller økte nedbørmengder osv. Resultatene for global oppvarming og energibruk oppgis i henholdsvis CO₂-ekvivalenter og MJ per m³ trevirke trelast til avfallshåndtering. Den valgte karakteriseringsmetoden gjelder for en 100-års periode, og inkluderer opptak av karbon.

Globale klimaendringer påvirkes fra utslipp av CO₂, men også utslipp av metan, lystgass og arealbruksendringer kan føre til klimaendringer. Derfor benyttes karakteriseringsfaktorer fra EN 15804 som er vist i Tabell 2, der utslipp av ulike klimagasser beregnes i CO₂-ekvivalenter. Biogent karbon er karbon som lagres i biomasse gjennom opptak av CO₂ ved fotosyntese. Den samlede klimaeffekten fra utslipp, opptak og lagring av biogent karbon settes ofte lik null i klimagassregnskap, da man antar at opptak og utslipp av CO₂ er like store (Institutt & Trefokus, 2024). Dersom man kun ser på effekten av lagring av CO₂ i biomasse settes denne imidlertid lik minus én. Den valgte påvirkningskategorien for globale klimaendringer, GWP-IOBC, inkluderer alle utslipp som bidrar til klimaendringer, noe som er standard metodevalg i LCA-programmer.

Tabell 2. Eksempler på karakteriseringsfaktorer for klimagassutslipp.

Utslipp	Kjemisk formel	Karakteriseringsfaktor
Karbondioksid	CO ₂	1
Karbondioksid, biogent	CO ₂	0
Karbondioksid, landtransformasjon	CO ₂	1
Karbondioksid, biomasse	CO ₂	-1
Metan	CH ₄	36,8
Metan, biogent	CH ₄	34
Lystgass	N ₂ O	298

4 Prosessbeskrivelse og systemgrenser

4.1 Sagbruksmodell for trelastproduksjon av jomfruelig trevirke

Sagbruksmodellen som er utviklet i SimaPro av Treteknisk (Næss, Bouzada & Modaresi, 2023) inneholder alle prosesser som resulterer i 1 m³ høvellast, klar til transport til bruksfasen. Eksempler på prosesser som er inkludert i modellen er skogsdrift, transport av tømmer til sagbruk, samt tørking saging, og sortering av tømmer.

Sagbruksmodellen (Næss, Bouzada & Modaresi, 2023) beregner klimapåvirkning og energiforbruk i sagbruk, mens andre miljøpåvirkningskategorier som for eksempel biodiversitet og arealbruksendringer er utelatt. Påvirkning på biodiversitet er ikke like godt fastlagt som for eksempel klimagassutslipp, og er derfor utelatt.

4.2 Riving av bygg

Riving av bygg består av flere prosesser der formålet kan være å rive hele eller deler av bygg, der bygg kan være alt fra mindre eneboliger til store næringsbygg. I de fleste typer rivingsarbeid brukes maskiner som for eksempel minigravere, kompaktlastere, rivingsroboter, gravemaskiner fra av ulik størrelse, samt forskjellige type utstyr til rivingsmaskinene.

Riving av bygg starter gjerne med å sikre området og koble fra all infrastruktur. Miljø- og helseskadelige stoffer fjernes ved manuell sanering, før råbygget rives med spesialkonstruerte maskiner. Deler av rivingsmassene kan gjenbrukes til opparbeiding av tomt og fylling av byggegrop for å redusere transport- og deponibehov. Øvrige masser kildesorteres og leveres til godkjent mottak for avfallshåndtering (AF Gruppen, s.a.).

Firmaer som utfører riving som en del av sin forretningsvirksomhet er blant andre Norsk Riving, R3, Norsk Gjenvinning, Ragn-Sells og AF-Gruppen, og disse utfører både helriving og rehabiliteringsriving. Rehabiliteringsriving inkluderer alt fra enkel rens av lokaler, til mer komplisert riving der kun deler av bygget står igjen. Helriving er mer omfattende og består som regel av følgende steg:

- Miljøkartlegging
- Avfallsplan
- Søknad til plan- og bygningsmyndighetene
- Miljøsanering
- Selektiv riving
- Fjerning av bærende konstruksjoner

En viktig del av overgangen til mer skånsomme riving er å standardisere prosessen, og gjøre den så selektiv som mulig. I henhold til byggt teknisk forskrift § 9-6 skal det utarbeides en plan for håndtering av avfall fra oppføring av bygg over 300 m² BRA og for riving og rehabilitering av bygg på over 100 m² BRA (Byggt teknisk forskrift, 2017).

Ved planlegging av et rivingsprosjekt bør det undersøkes hvilke materialer som lar seg bruke på nytt, og hvilke som bør gå til energiutnyttelse. Enkelte deler av et bygg kan være enklere å rive enn andre deler, og ved å skaffe seg et klart bilde på hvilke prosesser som er nødvendige

og hvilke som er unødvendige kan dette gi besparelser både i form av tid og kostnader, samt redusere klimagassutslipp. Videre bør det planlegges bedre i forkant av konstruksjon av bygg, og helst bør planen også tilrettelegge for at bygget enkelt kan demonteres, for eksempel ved mindre bruk av festemidler eller kjemiske behandlinger eller økt bruk av standardiserte mål på materialer, slik at de kan brukes på nytt uten å måtte kappes eller sages osv. Den 1. juli 2023 trådte det i kraft en forskrift om ombrukskartlegging for industri- og næringsbygg, noe som kan fremskynde overgangen fra riving til demontering. Riving fører til at materialer som ellers kunne blitt brukt på nytt går til forbrenning med energiutnyttelse.

4.3 Logistikk og transport

Planlegging av logistikk- og transportløsninger for riving av bygg bør gjøres før oppføring av nytt bygg. En viktig del av arbeidet med å redusere avfallsmengden, og øke graden av gjenbruk i denne fasen, er å tilrettelegge for mottak av avfall, samt skape effektive avfallsrom og sorteringsplasser for rivingsmaterialer. Tilgang til areal for lagring av rivingsmaterialer kan ofte være begrenset da bygget som skal rives kan ta opp mye av tomtearealet. Dette kan føre til utfordringer med å sortere materialene, og ta vare på materialene som er best egnet til gjenbruk. Det er også viktig å sikre skånsom og effektiv lagring av materialene så fort bygget er revet, slik at de ikke blir skadet av fukt eller dårlig håndtering (støtskader, brekkasje mm.).

Trevirke fra riving transporteres med lastebil enten til avfallshåndtering, eller gjenbrukslager. Dette gjøres som regel med lastebiler i Euroklasse 5 eller 6, det er brukt Euroklasse 5 i denne analysen. Ragn-Sells benytter for det meste lastebiler med Euroklasse 6, og en stor andel av lastebilene går på biogass. Dette er ikke tatt hensyn til i denne analysen, og må eventuelt følges opp i videre analyser. Avstandene fra rivingsplass til avfallshåndtering varierer mht. om avfallet går til energigjenvinning eller materialgjenvinning. Avstand fra avfallshåndtering til energigjenvinning er om lag 500 km. Årsaken til den lange transportavstanden er at avfallet ofte transporteres til utlandet.

I avfallshåndtering av trevirke utgjør transport med lastebil et stort bidrag til klimagassutslipp, siden lastebilene som regel bruker fossile energikilder som diesel. Derfor er mer miljøvennlig transport en viktig prioritet blant avfallsaktører som ønsker å redusere klimagassutslippet. Dette kan oppnås for eksempel ved å gjøre det enklere å velge miljøvennlige alternativer som tog- og sjøtransport, eller benytte ulike drivstofftyper som for eksempel elektrisitet, biodiesel, hydrogen, mm. Andre viktige hensyn å ta for å redusere klimagassutslippet fra transport er å utnytte fyllingsgraden for lastebilene, og at de så langt som mulig fylles opp både på tur- og returtransporter, slik som både Ragn-Sells og andre aktører i avfallsbransjen gjør i dag.

Logistikk og transport fører også til støy, partikkelutslipp osv. fra lastebiler som transporterer materialer ut og inn fra ulike anlegg som gjenbrukslager, avfallshåndteringsanlegg osv. Dette er ikke hensyntatt i disse analysene. Videre vil lagring av materialer kunne føre til støy når de leses av eller på transportmidlene. Transportmidlene vil også kunne slippe ut partikler som kan være helseskadelige, samt bidra til svevestøv ved bruk av piggdekk.

4.4 Avfallshåndtering og avfallsbehandling

Materialsammensetningen fra rivingsavfall varierer mye mellom ulike prosjekter, men ofte leveres størstedelen som blandet avfall. Returtre sorteres som blandet bearbeidet trevirke, rent trevirke eller farlig avfall. Blandet bearbeidet trevirke inneholder gjerne maling, lim, lakk, kjemikalier, kryssfiner og sponplater, og stammer typisk fra bygg- og anlegg eller kommunale gjenbruksstasjoner (Norsk gjenvinning, 2015). Impregnert trevirke regnes gjerne som farlig avfall fordi det er vanskelig å skille ut kun den fraksjonen som inneholder kobber. Farlig avfall sendes til Solør bioenergi som har myndighetstillatelse til forbrenning av slikt returtre.

Ragn-Sells sine anlegg i Moss og Oslo håndterer om lag 30 000 tonn returtre per år, og av dette er mindre enn 5 prosent impregnert trevirke, 10-20 prosent kan ombrukes, ca. 20-25 prosent går til materialgjenvinning for produksjon av sponplater, mens ca. 70% forbrennes ved energigjenvinning (P. Johannessen, personlig kommunikasjon).

Trevirket blir levert til avfallshåndteringen med krok- og liftcontainere, og ved mottak kontrolleres materialene for deretter å bli lagret med samme type materialer. Til slutt blir materialene kvernet til ønsket størrelse for sluttforbruker, mens spikre og andre urene fraksjoner blir fjernet blant annet med magneter.

Prosesser som forbruker energi i avfallshåndteringen inkluderer kverning av trevirke til energiutnyttelse, samt fjerning av spikre ol. med magneter. Ofte vil dessuten flis til energiutnyttelse siktes, noe som kan gjøres ved et av anleggene til Lindum, som er en av de største aktørene ved avfallshåndtering av trevirke i Norge. Lindum tilbyr også mobil flishugging med flishuggere som kan fraktes rundt i Norge. Det vil også være drivstofforbruk knyttet til transport av avfall internt på avfallshåndteringsanlegget, samt energibruk til oppvarming og belysning av anlegget. Dette inngår ikke i denne analysen.

4.5 Prosessering av trevirke til gjenbruk

Gjenbruk av trevirke er nærmest ensbetydende med materialgjenvinning gjennom kverning og levering som innskuddsfaktor til sponplateproduksjon. Klargjøring for ombruk krever gjerne utstrakt sortering og noe bearbeiding for å fjerne festemidler og overflatebehandling. Det finnes også juridiske barrierer mot å ombruke trevirke som allerede er levert til avfallsstasjon. I teorien kan man se for seg at kortere konstruksjonsvirke i standard dimensjoner kunne vært kappet og fingerskjøtt for å oppnå god kvalitet, uten at dette er lagt til grunn i noen av ombruksscenarioene. Det finnes imidlertid flere eksempler på at det leveres betydelige mengder trelast til avfallsanlegg som ville vært fullt mulig å ombruke direkte. Dette er bakgrunnen for at vi anser ombruksscenarioene som realistiske alternativer for fremtiden.

Prosessering av trevirket inngår i ombruksscenario 3 der returtreet går fra avfallshåndtering til ny bruksfase. Datagrunnlaget for å beregne energiforbruk ved prosessering av trevirke er basert på en plukkanalyse utført av Treteknisk ved Ragn-Sells sine anlegg i Moss og på Hamar. Resultatene fra analysen viste at omtrent 60% av trevirket hadde god til svært god kvalitet. Trevirket bestod hovedsakelig av konstruksjonsvirke på 0,5-1,5 meter, og inneholdt lite fukt. Videre hadde trevirket få til ingen festemidler, og det var få tegn til skader på materialene.

5 Datakvalitet og representativitet

Alle dataene som er brukt i SimaPro (Database and Support Teams at PRé Sustainability, 2023) er hentet fra ecoinvent 3 (Wernet et al., 2016). Dataene har god kvalitet mht. tid og tekniske spesifikasjoner, men mindre god kvalitet mht. geografi, da prosessene gjelder for generiske sagbruk, og er ikke tilpasset norske forhold.

Ragn-Sells var et naturlig valg som datakilde for avfallsrelaterte data, siden NMBU og Ragn-Sells er samarbeidspartnere i SirkTre. Ragn-Sells håndterer avfall på Østlandet, i Bergen og Midt-Norge, og sender mesteparten av returtreet til energigjenvinning i Norge og Sverige. Transport av avfall fra avfallshåndtering til avfallsbehandling er beregnet som et vektet gjennomsnitt fra Ragn-Sells sine anlegg på Østlandet, og til avfallsbehandling i Norge og Sverige. Det er tatt utgangspunkt i Ragn-Sells sitt anlegg i Moss for å beregne avstanden fra riving i Oslo til avfallshåndtering, mens avstand fra avfallshåndtering til ny bruksfase antas å være 10 km. Avstandene fra riving til avfallshåndtering, og fra avfallshåndtering til avfallsbehandling antas derfor å være representative for gjennomsnittlig transport av trevirke etter bruksfase.

De øvrige transportavstandene i livsløpsanalysene er beregnet med utgangspunkt i at riving skjer i Oslo-området, og at materialer til gjenbruk håndteres i Sirkulær Ressurssentral sitt lager på Økern i Oslo. Sirkulær Ressurssentral er en ny aktør innen gjenbruk av materialer, og har derfor ikke fullt etablerte løsninger for transport og logistikk av materialer fra riving osv. Lageret deres er 4 500 m² og retter seg primært mot bedriftskunder og andre større aktører i næringslivet. NMBU og Sirkulær Ressurssentral er samarbeidspartnere i SirkTre, og det var derfor aktuelt å benytte deres lager som utgangspunkt for gjenbruk av materialer direkte fra riving.

Klimagassutslippene fra transport er kvalitetssjekket mot tall oppgitt i rapporter fra Østfoldforskning (nå NORSUS), og viser at utslippene ligger i samme størrelsesområdet som verdier oppgitt i disse (Raadal, Modahl & Lyng, 2009). Kvaliteten på data for utslipp fra transport anses derfor å være god.

Energibruk i riving av bygg er beregnet og kvalitetssikret fra ulike rapporter (Borchsenius, 1999; Ramesh, Prakash & Shukla, 2010). Verdiene som er benyttet i denne rapporten forutsetter at energibruk for riving og transport er 1% av det totale energiforbruket ved riving av en vanlig enebolig (Ramesh, Prakash & Shukla, 2010). Deretter skaleres verdiene basert på antall kubikkmeter trevirke, og andelen trevirke blant rivingsmaterialene.

Flere prosesser er utelatt fra denne livsløpsanalysen, som f.eks. administrasjon og infrastruktur i anleggene til Ragn-Sells og Sirkulær Ressurssentral. Prosessering av trevirke til ombruk gjelder kun avkapp av trevirke for å fjerne festemidler og uønsket overflatebehandling.

6 Datagrunnlag

6.1 Beregninger og forutsetninger for transport

Beregninger og forutsetninger for transport av trevirke og kvern til kverning av returtre er oppgitt i Tabell 3. Transport av kvern, samt frakt av treflis fra avfallshåndtering til avfallsbehandling er beregnet fra datagrunnlag oppgitt av Ragn-Sells, mens de øvrige transportetappene er antatt med utgangspunkt i at riving skjer i Osloområdet, og at ombrukslageret er Sirkulær Ressurssentral, som ligger på Økern i Oslo. Videre er det antatt at trevirke fra riving transporteres til Ragn-Sells sitt anlegg i Moss. Transportavstand fra avfallshåndtering til avfallsbehandling er betydelig fordi mye av treflisen transporteres til Sverige. Med tanke på norsk bosettingsmønster og topografi ellers i landet virker likevel ikke gjennomsnittlig transportarbeid lang. Avstanden er beregnet som vektet gjennomsnitt mellom transport til avfallsbehandling i Norge og Sverige.

Tabell 3. Beregninger og forutsetninger for transport av trevirke.

Transportdistanse	Transportmiddel	Avstand [km]
<i>Beregninger</i>		
Avfallshåndtering-Avfallsbehandling	Freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5	474
Transport av kvern	Passenger car, large size, diesel, EURO 5	0,1
<i>Forutsetninger</i>		
Produksjon-Ny bruksfase	Freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5	10
Rivning-Avfallshåndtering	Freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5	62
Rivning-Gjenbrukslager	Freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5	1
Gjenbrukslager-Ny bruksfase	Freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5	1

6.2 Beregninger og forutsetninger for prosessering av trevirke

Det antas 20% av trevirket fra riving går til ombruk i alle ombruksscenarioene, og at resten går til energiutnyttelse ved forbrenning av flis i 6 667 MW forbrenningsanlegg (

Tabell 4). Varme fra flisfyringsanlegg erstatter fjernvarme fra kommunalt forbrenningsanlegg. Videre antas det at utstyr og maskiner til riving bruker lavspenning elektrisitet. Trevirkets egenvekt forutsettes til 470 kg/m³ ved 15 prosent trefuktighet, og 483 kg/m³ ved 20 prosent trefuktighet, mens brennverdien til flis antas å være 4,9 kWh per kg ved 20% fuktinnhold (Svanæs, 2002).

Tabell 4. Beregninger og forutsetninger for prosessering av trevirke

Beregninger	Verdi	Enhet
Elektrisitetsforbruk i rivingsarbeid	33	kWh
Kverning av trevirke til flis	52,5	MJ
<i>Forutsetninger</i>		
Andel trevirke til ombruk	20	%
Energigjenvinning av trevirke	80-100	%
Erstatning av fjernvarme	80-100	%
Egenvekt gran fuktinnhold 15%	470	kg/m ³
Egenvekt gran fuktinnhold 20%	483,3	kg/m ³
Brennverdi flis fuktinnhold 20%	4,9	kWh/kg

6.3 Referansescenario

Referansescenarioet forutsetter at alt trevirke fra riving går til energigjenvinning, noe som tilsvarer en energimengde på 8 520 MJ varme, se Tabell 5. I siste rad i

Tabell 5 oppgis det en negativ energimengde, dette kommer fra fjernvarmemiks som erstattes av energigjenvinning av trevirket i referansescenarioet.

Transport til energiutnyttelse krever et transportarbeid på 229 tonnkilometer, noe som er mer enn i ombruksscenarioene vist under, da alt trevirket returtreet går til energiutnyttelse. Dette transportarbeidet er beregnet fra antall kilometer fra avfallshåndtering avfallsanlegg til fjernvarmeanlegg, multiplisert med 0,483 tonn trevirke som blir fraktet. Mobil kvern til kverning av trevirke antas å transporteres 0,1 kilometer per kubikkmeter trevirke med en dieseldrevet stor personbil. Transportarbeidet fra riving til avfallshånderingsanlegg er 30 tonnkilometer. Euroklasse 5 er benyttet for samtlige transportetapper siden dette er den vanligste motortypen i markedet i dag.

Utstyr og maskiner til riving antas å bruke lavspenning elektrisitet, og elektrisitetsforbruket er beregnet på grunnlag av rapporter fra Østfoldforskning og tilsvarer 33 kWh. Kverning av trevirke til flis antas å bruke 53 MJ diesel per kubikkmeter trevirke, og er beregnet med utgangspunkt i datagrunnlag fra Ragn-Sells.

Tabell 5. Datagrunnlag for referansescenario (scenario 0). Engelsk tekst er hentet fra Econivent 3.

Prosesser/materialer	Verdi	Enhet
Electricity, low voltage {NO} market for Cut-off, U	33	kWh
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	30	tkm
Transport, passenger car, large size, diesel, EURO 5 {GLO} market for Cut-off, U	0,13	km
Diesel, burned in agricultural machinery {GLO} market for diesel, burned in agricultural machinery Cut-off, U	53	MJ
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	229	tkm
Heat, district or industrial, other than natural gas {NO} heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 Cut-off, U	8 520	MJ
Heat, for reuse in municipal waste incineration only {NO} market for APOS, U	-8 520	MJ

6.4 Ombruksscenario 1

I ombruksscenario 1 og 2 erstatter ombrukt trevirke 0,2 m³ jomfruelig trevirke trelast fra sagbruk som vist i Tabell 6. I ombruksscenario 1 transporteres returtre fra riving til ombrukslager, og deretter til ny bruksfase. Disse transportarbeidene utgjør 0,1 tonnkilometer. Transportarbeidet fra riving til avfallshåndtering utgjør 24 tonnkilometer og er 20 prosent lavere enn i referansescenarioet ettersom det er antatt at ombrukslageret ligger nærmere rivingslokasjonen. Dette medfører også at transportarbeidet til energiutnyttelse reduseres til 183 tonnkilometer. Energimengden fra fjernvarmeproduksjon av trevirke reduseres til 6 816 MJ.

Tabell 6 viser videre også unngått produksjon og transport av 0,2 m³ trelast fra sagbruk til ny bruksfase. Transport av kvern og kverning av trevirke til energiutnyttelse er på henholdsvis 0,1 km og 42 MJ.

Tabell 6. Datagrunnlag for ombruksscenario 1. Engelsk tekst er hentet fra Econivent 3.

Prosesser/Materialer	Verdi	Enhet
Reference sawnwood, planed, packaged, ready for shipment.	-0,20	m ³
Electricity, low voltage {NO} market for Cut-off, U	33	kWh
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	0,10	tkm
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	0,10	tkm
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	24	tkm
Transport, passenger car, large size, diesel, EURO 5 {GLO} market for Cut-off, U	0,11	km
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U	42	MJ
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	183	tkm
Heat, district or industrial, other than natural gas {NO} heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 Cut-off, U	6 816	MJ
Heat, for reuse in municipal waste incineration only {NO} market for APOS, U	-6 816	MJ
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, U	-0,94	tkm

6.5 Ombruksscenario 2

I ombruksscenario 2 sendes alt returtreet til avfallsanlegg før 20 prosent returneres til ombruk på ny byggeplass. Transportarbeidet blir derfor større enn i ombruksscenario 1. Unngått produksjon og transport av 0,2 m³ trelast er representert på samme måte som for ombruksscenario 1.

Tabell 7. Datagrunnlag for ombruksscenario 2. Engelsk tekst er hentet fra Econivent 3.

Prosesser/materialer	Verdi	Enhet
Reference sawnwood, planed, packaged, ready for shipment.	-0,20	m ³
Electricity, low voltage {NO} market for Cut-off, U	33	kWh
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	30	tkm
Transport, passenger car, large size, diesel, EURO 5 {GLO} market for Cut-off, U	0,11	km
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U	42	MJ
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	183	tkm
Heat, district or industrial, other than natural gas {NO} heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 Cut-off, U	6 816	MJ
Heat, for reuse in municipal waste incineration only {NO} market for APOS, U	-6 816	MJ
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	0,97	tkm
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	0,97	tkm
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, U	-0,94	tkm

6.6 Ombruksscenario 3

I ombruksscenario 3 antas det at en femtedel av klargjøring til ombruk, dette innebærer at 20 prosent av ombruksfraksjonen må kappes bort. Dermed unngås kun 16 prosent av produksjon og transport av trelast ved sagbruk. Det er antatt at kappingen krever 10 minutter med maskinsag per m³ returtre.

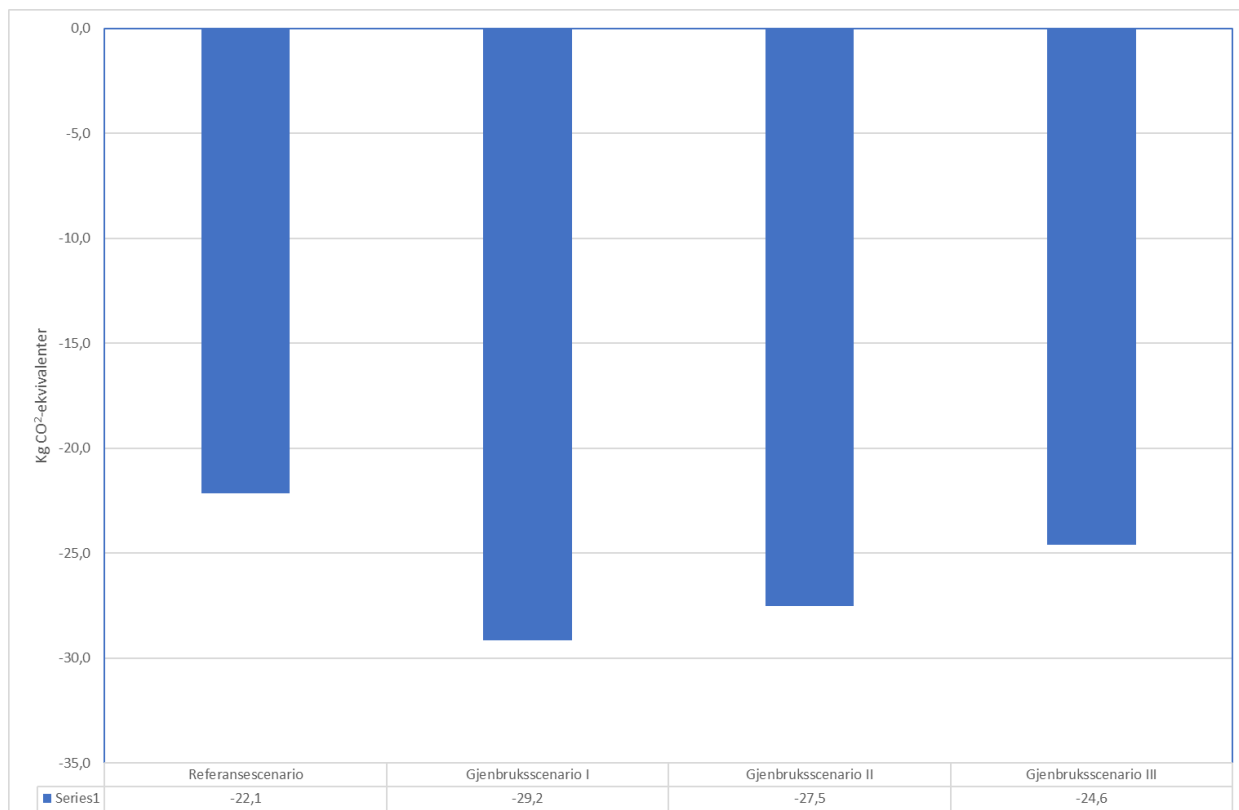
Tabell 8. Datagrunnlag for ombruksscenario 3. Engelsk tekst er hentet fra Econivent 3.

Reference sawnwood, planed, packaged, ready for shipment.	-0,16	m ³
Electricity, low voltage {NO} market for Cut-off, U	33	kWh
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	30	tkm
Transport, passenger car, large size, diesel, EURO 5 {GLO} market for Cut-off, U	0,11	km
Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U	42	MJ
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	183	tkm
Heat, district or industrial, other than natural gas {NO} heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 Cut-off, U	6 816	MJ
Heat, for reuse in municipal waste incineration only {NO} market for APOS, U	-6 816	MJ
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	0,97	tkm
Power sawing, without catalytic converter {RER} processing Cut-off, U	0,17	hr
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cut-off, U	0,77	tkm
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cut-off, U	-0,75	tkm

7 Resultater

7.1 Sammenlikning av klimapåvirkning i alle scenarioer

Samtlige scenarioer resulterer i unngåtte utslipp av klimagasser. Dette skyldes blant annet at fjernvarmeproduksjon med forbrenning av treflis gir lavere utslipp enn fjernvarmemiksen den antas å erstatte. Alle ombruksscenarioer har større unngåtte utslipp enn referansescenariet. Ombruksscenario 1 gir størst unngåtte utslipp ettersom det har mindre transportarbeid enn ombruksscenario 2 og 3. Ombruksscenario 3 har mindre unngåtte utslipp enn ombruksscenario 2 fordi klargjøring for ombruk her krever både ekstra energibruk ved prosessering og redusert erstatning av nyprodusert trelast.



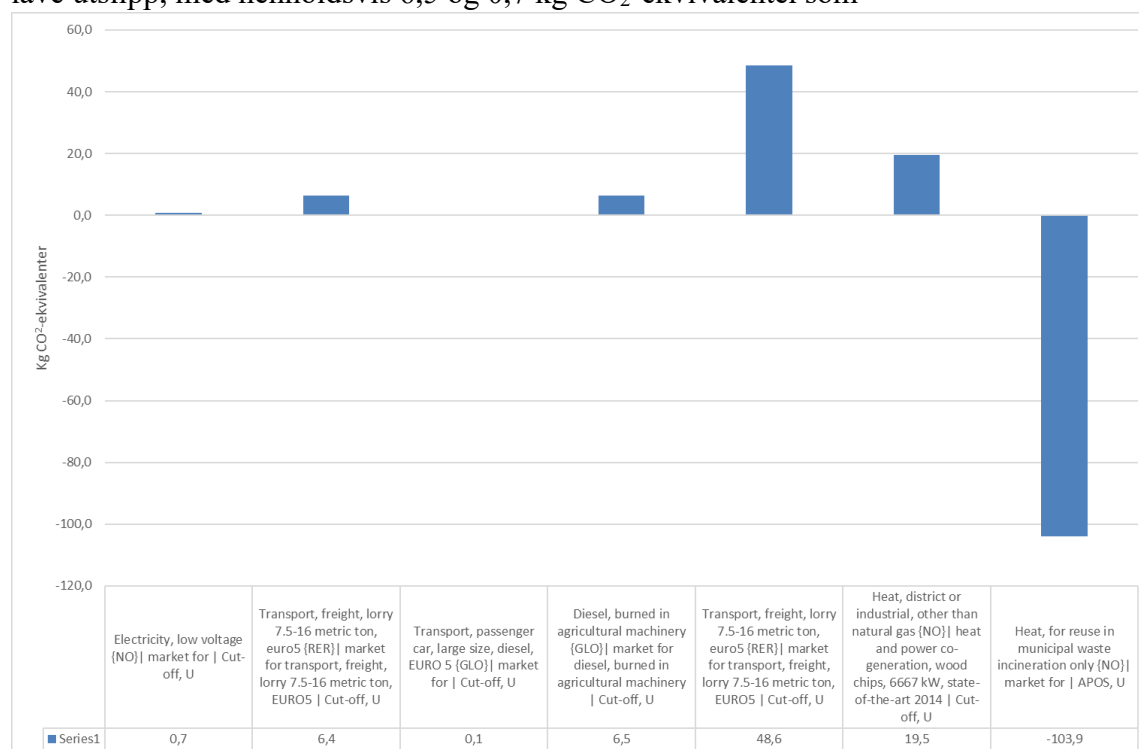
Figur 6. Sammenlikning av klimagassutslipp klimapåvirkning for alle scenarioer i livsløpsanalysen.

For hvert scenario presenteres et flytdiagram eksportert fra SimaPro (jfr. Figurer 7, 9, 11 og 13). Boksene her utgjør aggregerte prosesskategorier. Grønne piler indikerer unngåtte utslipp fra prosessgruppen, mens røde piler indikerer netto utslipp. Bredden på pilene indikerer størrelse på klimapåvirkningen.

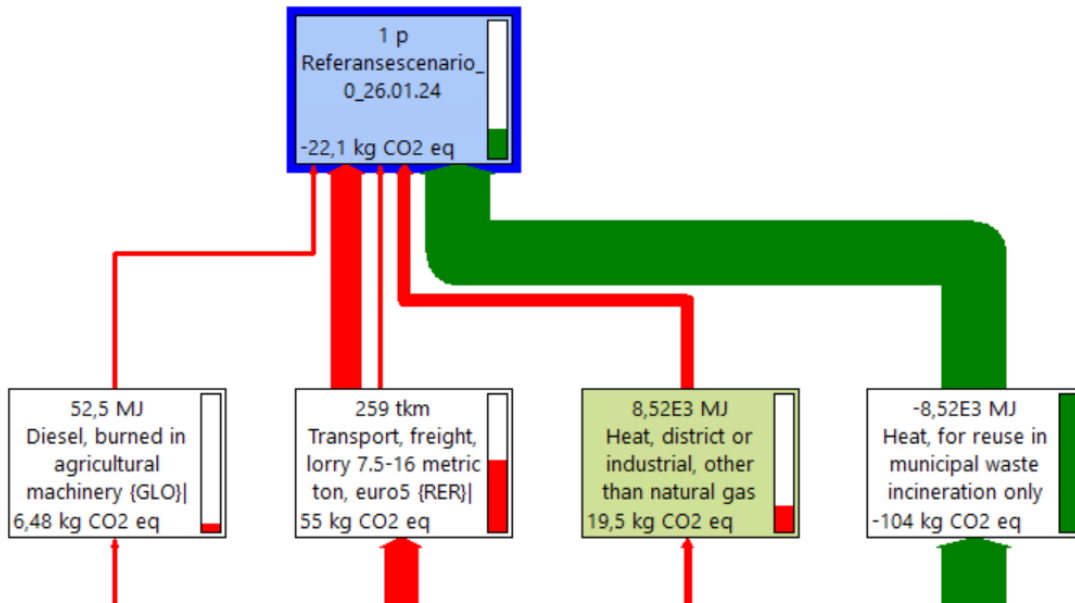
For hvert scenario følger også et søylediagram som sammenligner klimapåvirkningen fra de viktigste prosessene (jfr. Figurer 8, 10 og 12 og 14).

7.2 Resultater for referansescenariet (scenario 0)

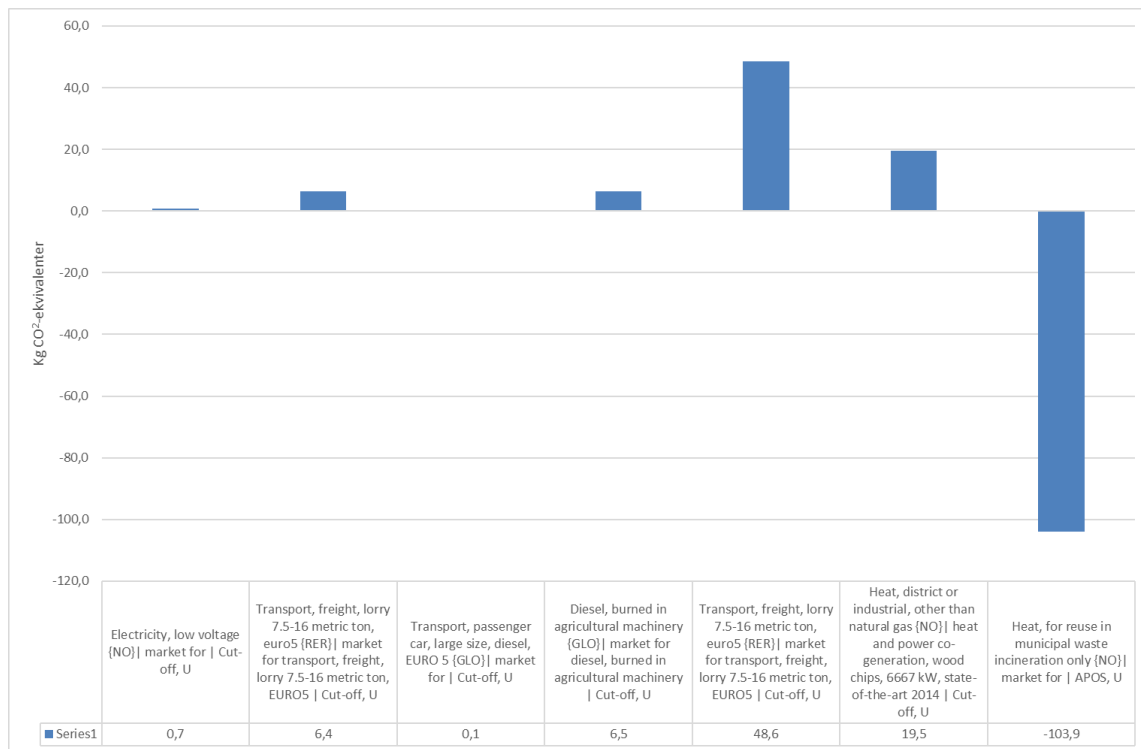
I referansescenariet går alt avfall fra riving til energigjenvinning. Dermed erstattes 100 prosent av en gjennomsnittlig fjernvarmemix med energigjenvinning av trevirke, noe som resulterer i samlede unngåtte utslipp på 22,1 kg CO₂-ekvivalenter som vist i Figur 7. Forbrenningen av trevirket bidrar med 19,5 kg CO₂-ekvivalenter, mens transport til energigjenvinning gir størst utslipp med 55 kg CO₂-ekvivalenter. Forbrenningen gir relativt lavt utslipp fordi det er antatt at biogent CO₂ ikke bidrar til menneskeskapte klimaeffekter i et 100-årsperspektiv. Prosesser som kverning av avfall (Diesel, burned in agricultural machinery {GLO}| market for diesel, burned in agricultural machinery | Cut-off, U) og elektrisitetsforbruk i rivingsfasen (Electricity, low voltage {NO}| market for | Cut-off, U) gir lave utslipp, med henholdsvis 6,5 og 0,7 kg CO₂-ekvivalenter som



Figur 8 viser.



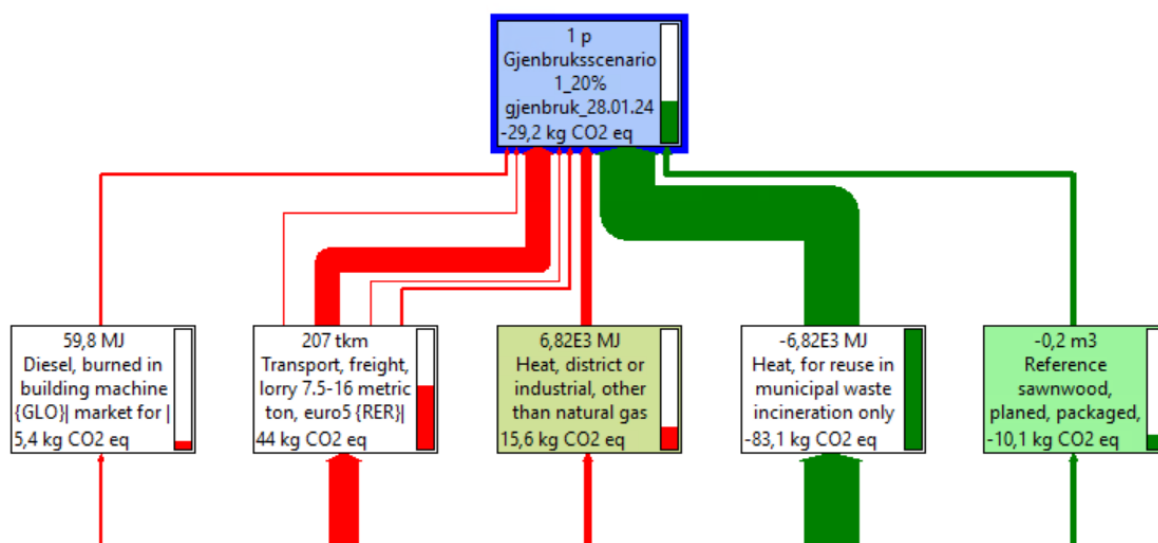
Figur 7. Flytskjema for referansescenariet (scenario 0).



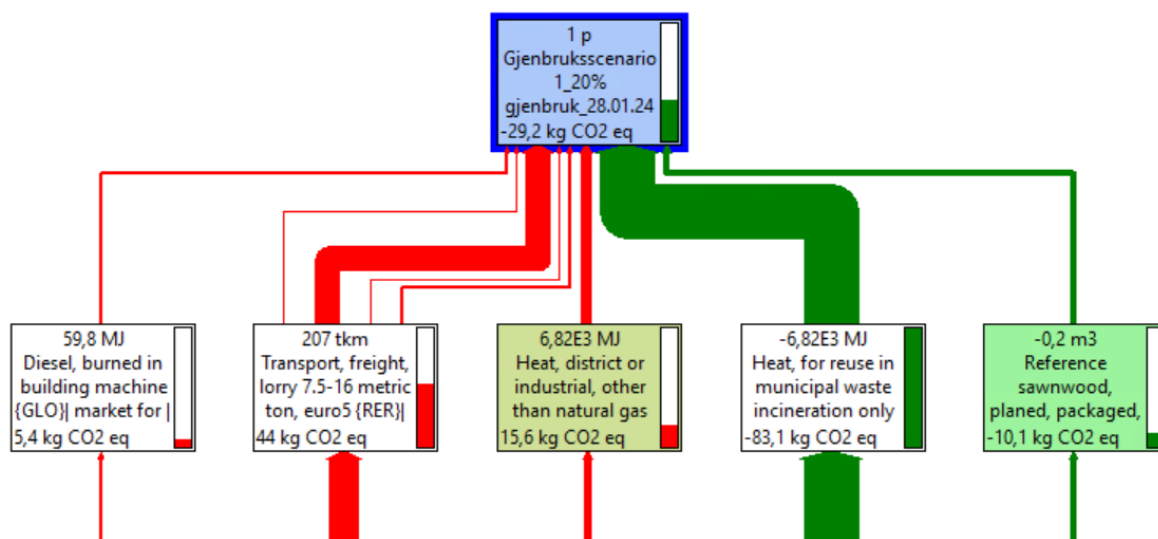
Figur 8. Utslipp fra prosesser i referansescenariet (scenario 0).

7.3 Resultater for ombruksscenario 1

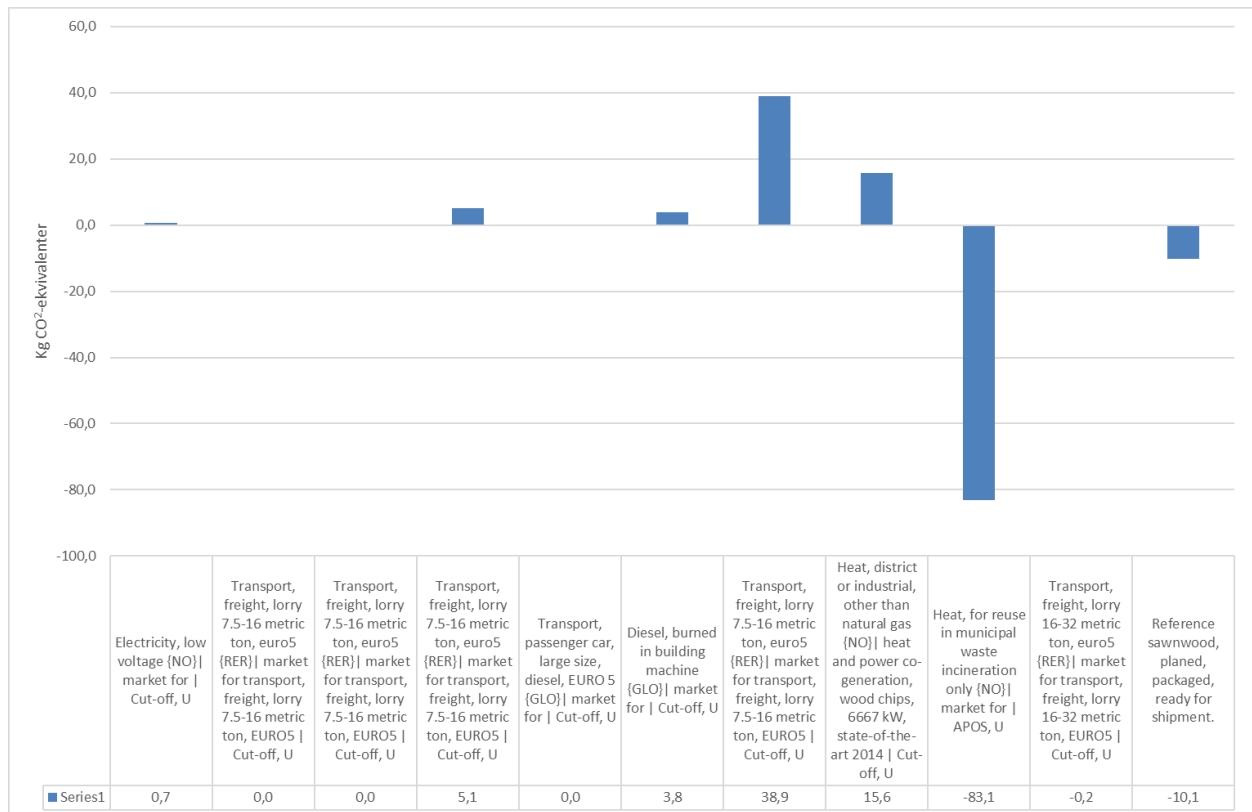
Gjenbruk av trevirke fra riving erstatter produksjon av 0,2 m³ jomfruelig trevirke, noe som bidrar til unngåtte utslipp på 10,1 kg CO₂-ekvivalenter som vist i grønn boks lengst til høyre i



Figur 9. I tillegg vil 80 prosent av avfallet fra rivingen erstatte en gjennomsnittlig fjernvarmemiks, som bidrar til unngåtte utslipp på 83,1 kg CO₂-ekvivalenter som diagrammet i Figur 10 viser. Utslipet fra transport og kverning av trevirke til energigjenvinning er lavere enn i referansescenarioet, siden 20 prosent av trevirket går til gjenbruk i stedet for energigjenvinning. Utslipet fra transport er ca. 10 kg lavere enn i referansescenarioet, mens unngåtte utslipp fra erstatning av fjernvarmemiks er mindre pga. lavere andel trevirke til energigjenvinning enn i referansescenarioet.



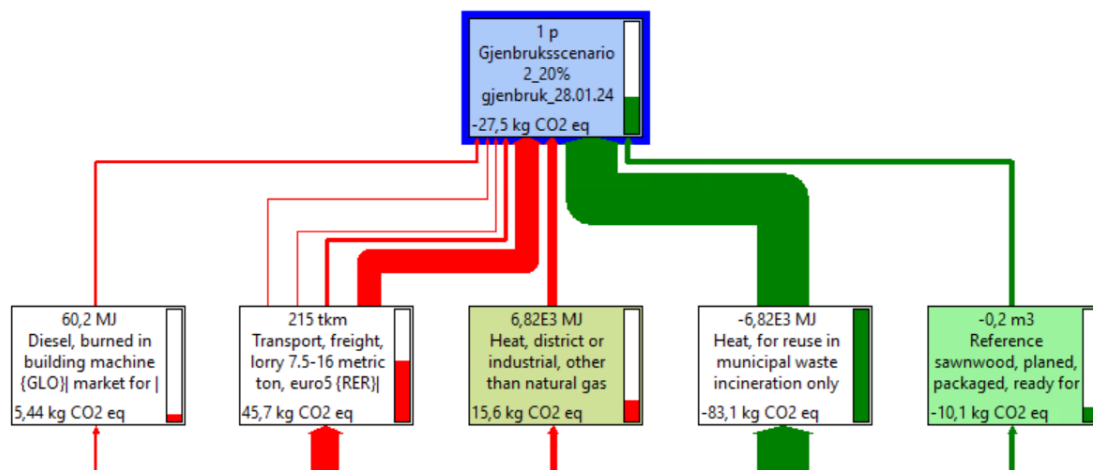
Figur 9. Flytskjema for ombruksscenario 1.



Figur 10. Utslipp fra prosesser i ombruksscenario 1.

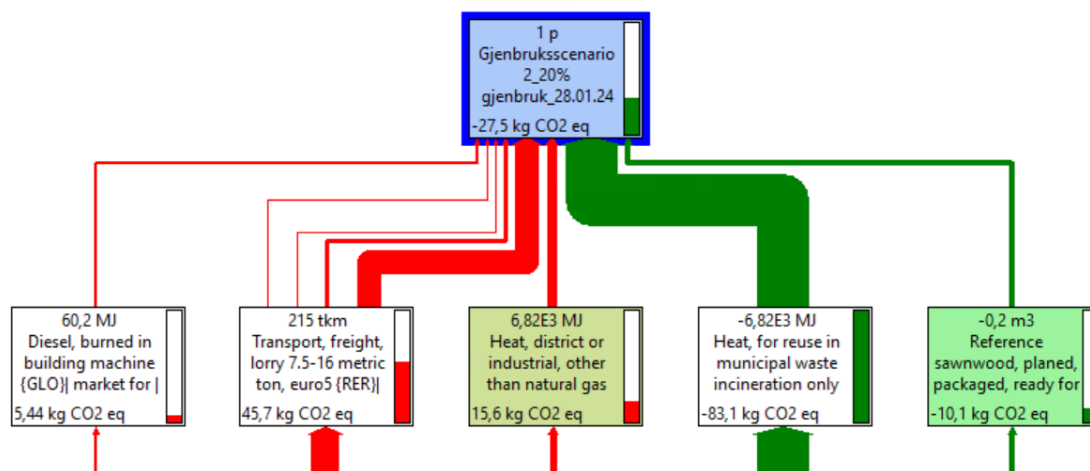
7.4 Resultater for ombruksscenario 2

Andelen returtre til ombruk og energiutnyttelse er lik i scenario 1 og 2, slik at unngåtte utslipp fra erstatning av jomfruelig trevirke er like store som grønn boks til høyre i

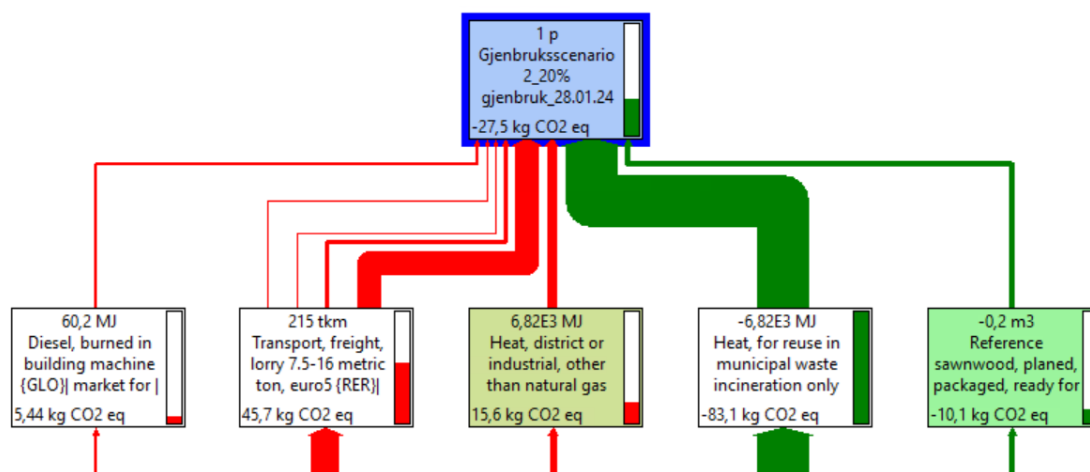


Figur 11 viser. Videre er transportbidraget noe høyere for scenario 2 enn i scenario 1, siden trevirke til gjenbruk transporteres til avfallshåndtering før transport til ny bruksfase som til

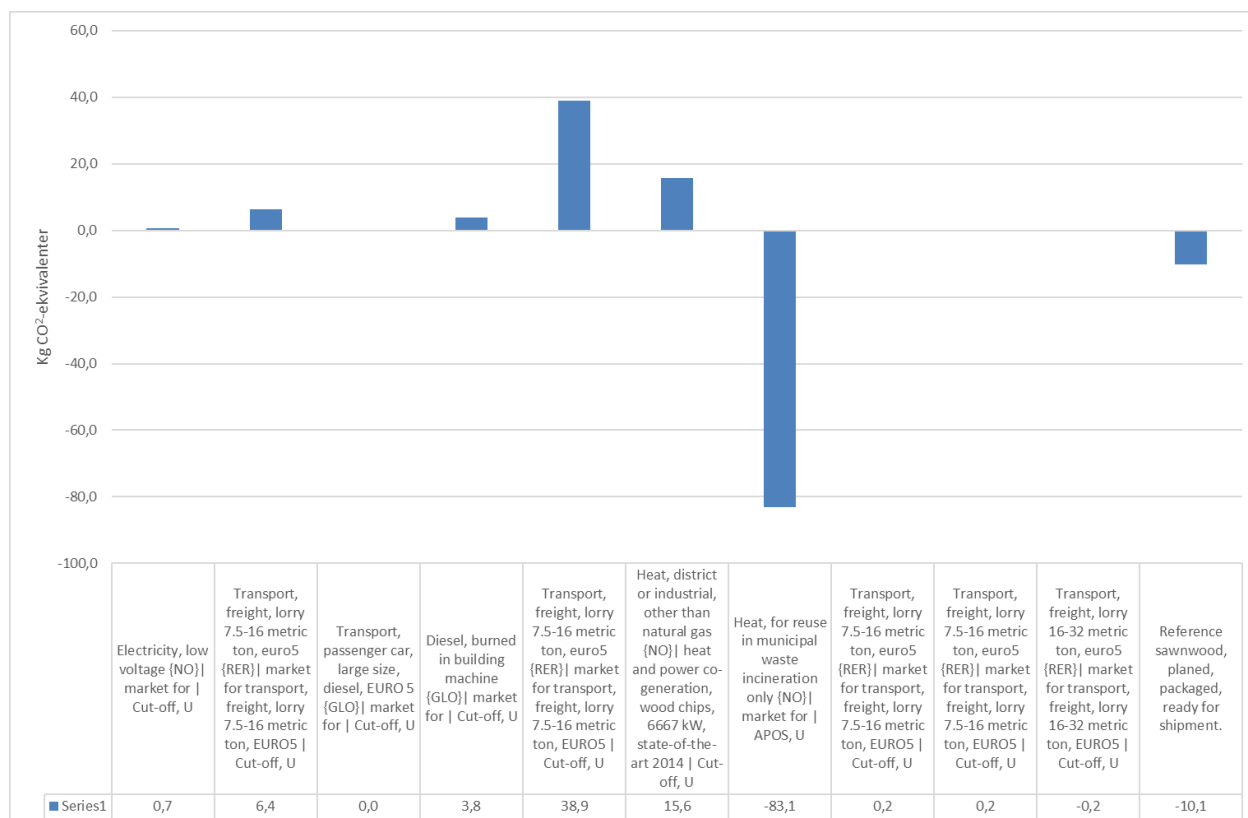
sammen resulterer i 45,7 kg CO₂-ekvivalenter som flytskjemaet i



Figur 11 viser. Figur 12 viser at erstatning av fjernvarmemiks bidrar med unngatte utslipp på 83,1 kg CO₂-ekvivalenter.



Figur 11. Flytskjema for ombruksscenario 2.



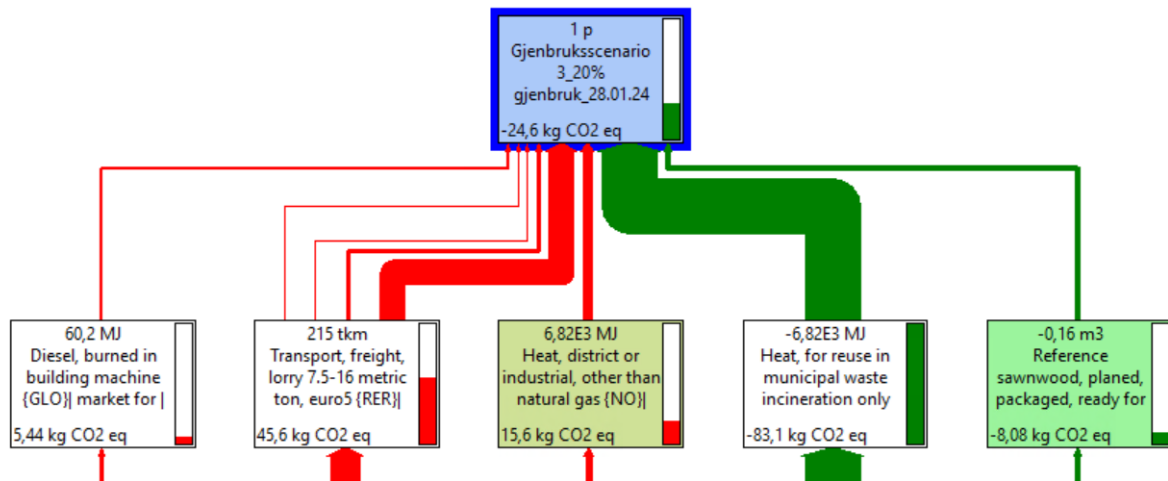
Figur 12. Utslipp fra prosesser i ombruksscenario 2.

7.5 Resultater for ombruksscenario 3

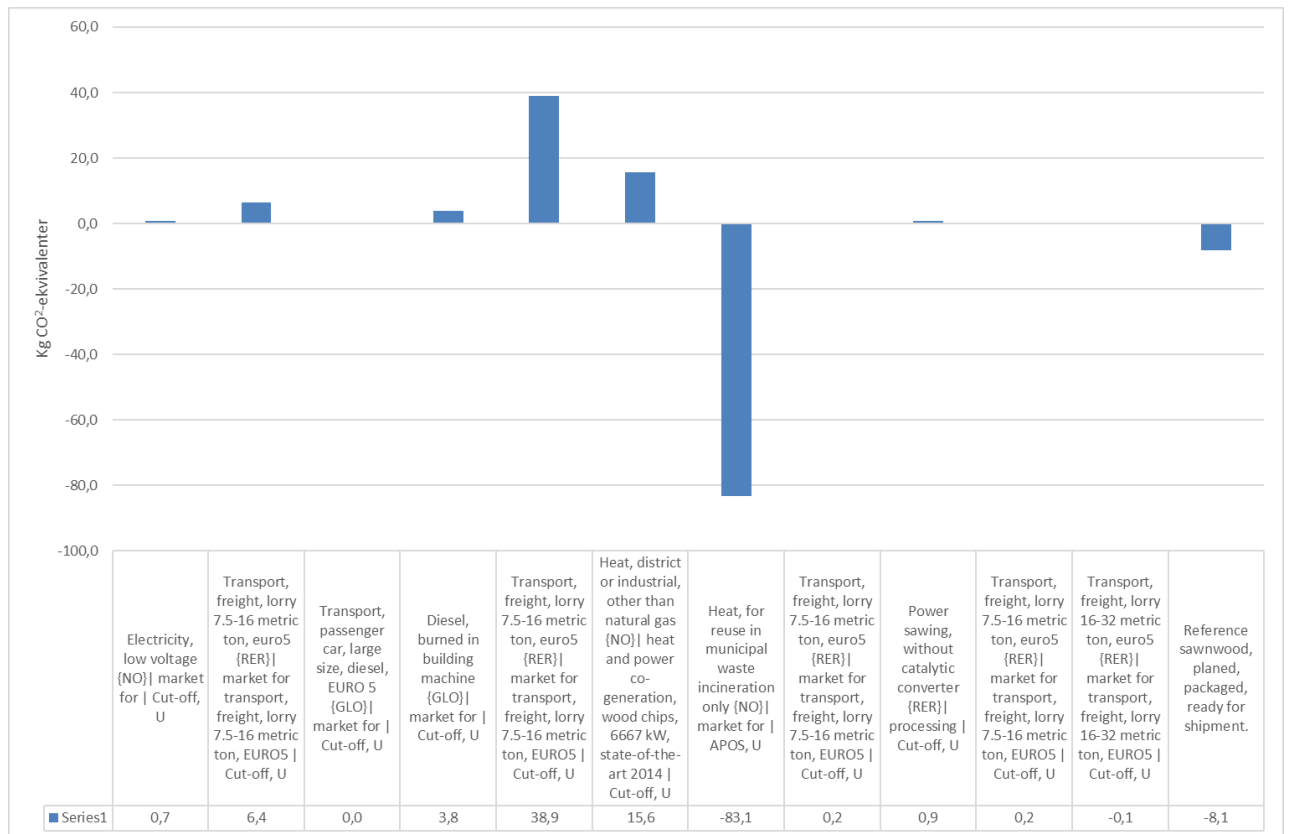
I det siste scenarioet prosesseres trevirket før det går inn i ny bruksfase. Dette innebærer kapping eller bearbeiding av materialene for å fjerne festemidler som spiker osv., og det er antatt at andel avkapp er 20 prosent av materialer som var sortert ut for gjenbruk.

Energiforbruket ved saging av materialene betyr lite for det totale unngåtte klimagassutslippet som er det laveste blant gjenbruksscenarioene med 24,6 kg CO₂-ekvivalenter (Figur 13). Det er altså ombruk direkte fra riving til ny bruksfase i scenario 1 som gir lavest klimagassutslipp blant de tre gjenbruksscenarioene.

I diagrammet i Figur 14 som viser utslippene for prosessene fra riving til ny bruksfase er det transport fra avfallshåndtering til avfallsbehandling og energigjenvinning av trevirke som bidrar mest til det totale klimagassutslippet. Igjen kommer det største negative bidraget fra erstatning av fjernvarmemiks ved energigjenvinning av trevirke.



Figur 13. Flytskjema for ombruksscenario 3.

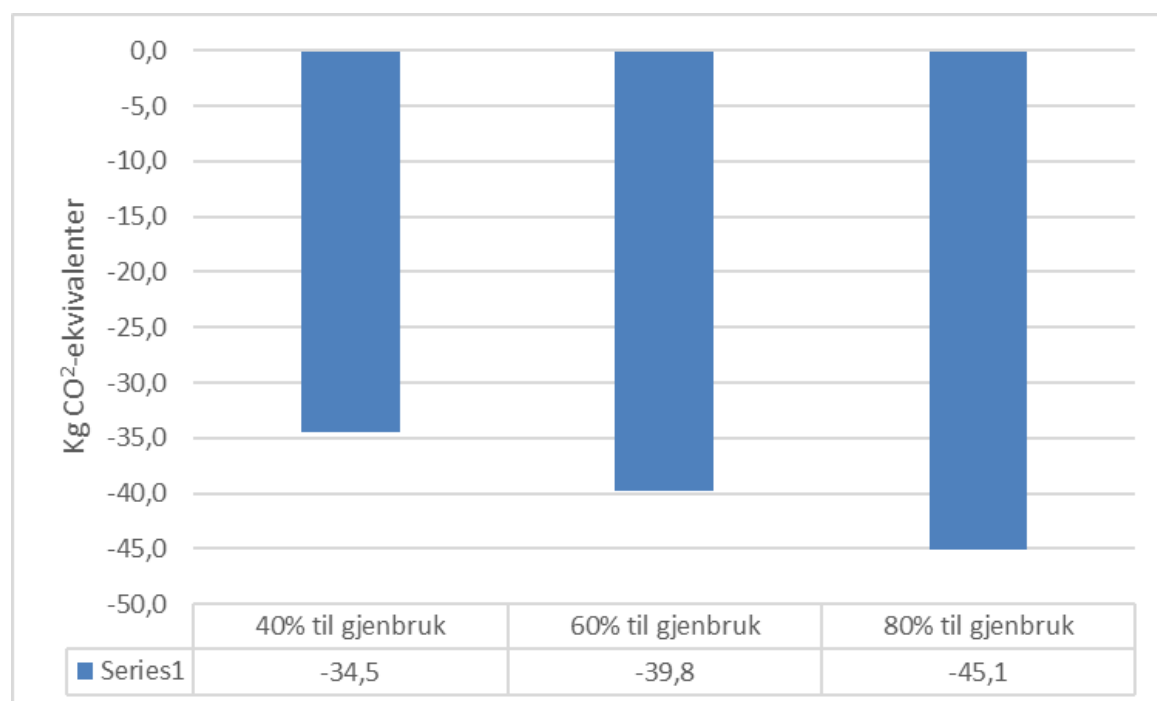


Figur 14. Utslipp fra prosesser i ombruksscenario 3.

8 Følsomhetsanalyse

For å synliggjøre klimapotensialet for ombruk, er det gjennomført følsomhetsanalyser med ombruksandel fra 40 prosent, 60 prosent og 80 prosent. Særlig den høyeste andelen kan virke urealistisk i dagens situasjon. Strukturelle omlegginger der trebygninger demonteres i stedet for å rives, og der ombrukbart returtre sorters effektivt på anleggsplass, og installasjon av maskiner for sortering og fingerskjøting på ombrukslager har imidlertid potensiale til å trekke opp ombruksgraden betraktelig.

Følsomhetsanalysen som er illustrert i Figur 15 tar utgangspunkt i ombruksscenario 1. I henhold til denne følsomhetsanalysen øker mengden unngåtte utslipp med om lag 2,6 kg CO₂-ekvivalenter for hver gang ombruksandelen øker med 10 prosentpoeng. Ved å øke ombruksandelen fra 20 prosent til 80 prosent, vil det unngåtte utslippet øke fra 29,2 kg til 45,1 kg CO₂-ekvivalenter, altså en økning på omtrent 50%.



Figur 15. Følsomhetsanalyse av klimagassutslipp for ulike prosentandeler returtre til ombruk i ombruksscenario 1

9 Konklusjon

Livsløpsanalysene som er gjennomført og sammenlignet i denne rapporten, viser at forbrenning av returtre til fjernvarmeproduksjon gir tydelig klimanytte, men at ombruk av returtre gir en enda større klimanytte. Følsomhetsanalysene viser dessuten at unngåtte utslipp kan økes med omtrent 50% ved å øke ombruksandelen fra 20 prosent til 80 prosent, en økning i ombruksandel som imidlertid anses som lite sannsynlig ut fra dagens ombruksnivå.

Klimagassutslipp knyttet til transportarbeid gjør også tydelige utslag, noe som betyr at kortere distanser og transportalternativer med lavere utslipp også kan være fordelaktig i et klimaperspektiv.

Når man forutsetter økt energibruk og svinn ved tilrettelegging for ombruk vil klimagevinsten reduseres. Fra dette perspektivet kan det være lønnsomt å investere i installasjoner som vil kunne øke ombruksgraden marginalt. Materialgjenvinning som er transport- og energiintensivt, vil ha en lavere marginal klimanytte enn ombruk når tilrettelegging for økt ombruk er mulig. Derfor vil avfallsforebygging og ombruk av materialer i eksisterende bygg kreve mindre transportarbeid og energibruk enn riving og transport av materialer til nye bygg. Dette vil kunne resultere i høyere klimagevinst enn i ombruksscenarioene analysert i denne rapporten.

I henhold til de beregningene som er gjort, medfører energiforbruket knyttet til demontering av bygg beskjedne utslag sammenliknet med riving. Skånsom demontering av trehus kombinert med effektiv sortering på byggeplass kan gi en betydelig økning i andelen ombrukbart returtre. Samtidig vil det gi aktører innen ombruksbransjen (f.eks. ombrukssentraler) høyere og mer stabil tilgang på ombrukbart returtre. Det kan altså være samfunnsmessig nyttig å legge til rette for skånsom demontering av bygg med mindre tradisjonell riving.

Scenariene i denne rapporten er basert på forenklete modeller av verdikjeden, jfr. de 12 antagelsene i avsnitt 2.1. Analysene vurderer for eksempel ikke muligheten til å benytte andeler av returtreet til materialgjenvinning i form av sponplater, noe som faktisk skjer i dag, særlig ellers i Europa. Det er også antatt at alt returtre stammer fra rivingsaktivitet, mens denne fraksjonen i virkeligheten utgjør omtrent en tidel av alt returtreet i Norge. Faktisk utgjør returtreet fra hele byggsektoren omtrent en tredel. Returtreet fra husholdninger (husholdningsavfall) som utgjør en annen tredel leveres gjerne på kommunale avfallsstasjoner, og danner en ganske heterogen avfallsfraksjon.

Det kan være nyttig å følge opp med nye analyser som er gyldige for andre sektorer eller andre forhold som kompletterer det totale bildet for gjenbruk av returtre.

10 Referanser

- AF Gruppen. (s.a.). *Riving*: AF Gruppen. Tilgjengelig fra: <https://afgruppen.no/miljo/riving/> (lest 10.01.24).
- Avfallsforskriften. (2004). *Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall*. Lovdata.
- Borchsenius, C. H. (1999). *Livsløpsvurdering av bolig*. Oppdragsrapport (Østfoldforskning : trykt utg.), b. OR.59.98. Fredrikstad: Stiftelsen Østfoldforskning.
- Byggteknisk forskrift. (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk*. Lovdata.
- Database and Support Teams at PRé Sustainability. (2023). *SimaPro 9.5* (Versjon 9.5). <https://support.simapro.com/s/article/Release-Notes>: SimaPro. Tilgjengelig fra: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2023/04/SimaPro950WhatsNew.pdf> (lest 26.01.2024).
- FAOSTAT. (2023). *Forestry Production and Trade. I: Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Tilgjengelig fra: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> (lest 26.01.2024).
- Fornybar Norge. (2016). *Fjernvarme – utnytter ressurser som er til overs*. <https://www.fornybarnorge.no/fjernvarme/fjernvarme-utnytter-ressurser-som-er-til-overs/>: Fornybar Norge. Tilgjengelig fra: <https://www.fornybarnorge.no/fjernvarme/fjernvarme-utnytter-ressurser-som-er-til-overs/> (lest 26.01.2024).
- Institutt, N. T. & Trefokus. (2024). *Miljødeklarasjoner for tre og trebaserte produkter*.
- Miljødirektoratet. (2019). *Klimatiltak - avfall og deponi*. miljødirektoratet.no: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energitiltak/avfall/> (lest 15.10.23).
- Norsk gjenvinning. (2015). *Blandet, bearbeidet trevirke*. <https://www.norskgjenvinning.no/tjenester/avfallstyper/trevirke/blandet-bearbeidet-trevirke/>: Norsk gjenvinning.
- Næss, J. K., Bouzada, A. M. S. & Modaresi, R. (2023). *GHGs EMISSIONS FROM SAWNWOOD PRODUCTS IN NORWAY– THE IMPORTANCE OF HARMONISED LCA METHODOLOGY IN ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATIONS (EPDs)*. World Conference on Timber Engineering 2023, Oslo. https://www.researchgate.net/publication/371552313_GHGS_EMISSIONS_FROM_SAWNWOOD_PRODUCTS_IN_NORWAY-THE_IMPORTANCE_OF_HARMONISED_LCA_METHODODOLOGY_IN_ENVIRONMENTAL_PRODUCT_DECLARATIONS_EPDS.
- Ramesh, T., Prakash, R. & Shukla, K. K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42 (10): 1592-1600. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>.
- Raadal, H. L., Modahl, I. S. & Lyng, K.-A. (2009). *Klimaregnskap for avfallshåndtering, Fase I og II*, 1121.
- Statistisk sentralbyrå. (2023). *Avfallsregnskapet. I: Statistisk sentralbyrå*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/10513> (lest 15.10.23).
- Svanæs, J. (2002). *Bioenergi fra treindustrien*. Teknisk småskrift (trykt utg.), b. 34. Oslo: Norsk treteknisk institutt.
- Torstensen, S. B. (2020). *Klimaregnskap for fjernvarme 2020*, 34223-00005-3.0. <https://www.fjernkontrollen.no/content/om-fjernkontrollen/>: Norsk fjernvarme.
- Treindustrien. (s. a.). *Nøkkeltall*. <https://treindustrien.no/>. Tilgjengelig fra: <https://treindustrien.no/nokkeltall> (lest 26.01.2024).
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E. & Weidema, B. (2016). *The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.

