



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



METODER FOR INKLUDERING AV DFD I KLIMAGASSBEREGNINGER

ZEN REPORT No. 68 – 2024



Oddbjørn Dahlstrøm Andvik, Marit Kindem Thyholt, Eirik Resch, Carine Lausset



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES

ZEN Report No. 68

Oddbjørn Dahlstrøm Andvik (Asplan Viak), Marit Kindem Thyholt (Skanska), Eirik Resch (Reduzer/FutureBuilt/NTNU), Carine Lausset (SINTEF Community)

METODER FOR INKLUDERING AV DFD I KLIMAGASSBEREGNINGER

Rapport fra SirkBygg, FME-ZEN og Powerhouse – Juni 2024

ISBN 978-82-536-1854-8

Norwegian University of Science and Technology (NTNU) | www.ntnu.no
SINTEF Community | www.sintef.no

<https://fmezen.no>

Innledning

Denne rapporten er utarbeidet som et samarbeid mellom Forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (FME ZEN), IPN-prosjektet SirkBygg og Powerhouse. Forfatterne setter pris på støtten fra Norges forskningsråd, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), SINTEF, Oslo, Bergen, Trondheim, Bodø, Bærum, Elverum og Steinkjer kommune, Trøndelag fylke, Statsbygg, Norges vassdrags- og energidirektorat, Direktoratet for byggkvalitet, ByBo, Elverum Tomteselskap, TOBB, Snøhetta, AFRY, Asplan Viak, Multiconsult, Civitas, FutureBuilt, Heidelberg Materials, Skanska, GK, NTE, Smart Grid Services Cluster, Statkraft Varme, Fornybar Norge og Norsk Fjernvarme.

Forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (ZEN).

Forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (ZEN-senteret) bidrar til lavutslippssamfunnet ved å utvikle løsninger for fremtidige bygninger og områder med null utslipp av klimagasser.

I ZEN-senteret samarbeider forskere, kommuner, industri og statlige organisasjoner om å planlegge, utvikle og drifte områder med null klimagassutslipp. ZEN-senteret har ni pilotprosjekter fordelt over hele landet. Pilotprosjektene omfatter til sammen et areal på mer enn 1 million m² og mer enn 30 000 innbyggere.

ZEN-senteret har satt seg høye ambisjoner, og sammen med sine samarbeidspartnere skal senteret:

- utvikle verktøy for design og planlegging av nullutslippsområder på grunnlag av vitenskapsbasert kunnskap om klimagassutslipp
- skape nye forretningsmodeller, roller og tjenester som bidrar til fleksibilitet i markeder og fremmer utvikling av innovasjoner til bredere offentlig bruk, innbefattet studier av politiske virkemidler og markedsdesign
- skape kostnads-, ressurs- og energieffektive bygninger ved å utvikle lavkarbonteknologier og -konstruksjonssystemer på grunnlag av designstrategier for lang levetid
- utvikle teknologier og løsninger for design og drift av energifleksible områder
- utvikle beslutningsstøtteverktøy for optimalisering av lokale energisystemer og disses interaksjon med det overordnede energisystemet
- opprette og lede en rekke områdeskalerte levende laboratorier som skal fungere som innovasjonssentre og testområder for løsninger utviklet av ZEN-senteret. Pilotprosjektene er på Furuset i Oslo, Fornebu i Bærum, Sluppen og NTNUs campus i Trondheim, Mære landbruksskole i Steinkjer, Ydalir i Elverum, Campus Evenstad, NyBy-Ny Flyplass Bodø og Zero Village Bergen.

ZEN-senterets arbeid skal pågå i åtte år (2017-2024). Det har et budsjett på rundt 380 millioner kroner og er finansiert av Norges forskningsråd, forskningspartnerne NTNU og SINTEF samt av brukerpartnerne fra privat og offentlig sektor. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) er vertsinstusjon og leder senteret sammen med SINTEF.



<https://fmezen.no>



@ZENcentre



FME ZEN (side)

Forord

Å planlegge og bygge for mulig fremtidig demontering og ombruk (DfD¹) av de materialressursene vi bygger inn ved nybygg og rehabilitering, er et tema som har blitt aktualisert de siste få årene. DfD er eksempelvis fremhevet som viktig tiltak for en mer sirkulær byggenæring både fra EU via Green Deal² (EUs taksonomi) og nasjonal handlingsplan for sirkulær økonomi³. I hht revisjon 1. juli 2022 av §9-5 i teknisk forskrift av 2017 (TEK17), ble det stilt krav om at «Byggverk skal prosjekteres og bygges slik at det er tilrettelagt for senere demontering når dette kan gjennomføres innenfor en praktisk og økonomisk forsvarlig ramme».

I FoU-prosjektet SirkBygg⁴ er en av målsetningene å komme frem til metodikk som hensyntar fremtidig demontering og ombruk i klimagassberegninger. I samarbeid med Forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (FME ZEN, www.fmezen.no) samt Powerhouse (powerhouse.no) er det foretatt analyser av fordeler og svakheter ved ulike måter å allokere klimagassutslipp mellom flere livssykluser for bygg ved DfD. Aktører som ønsker å vektlegge DfD i sine prosjekter eller definisjoner, f.eks. ZEN, FutureBuilt og Powerhouse, vil med bakgrunn i disse analysene ha et godt beslutningsgrunnlag ved valg av metode. Analysene vil kunne også benyttes som underlag ved eventuell implementering av DfD i standarden for klimagassberegninger i bygg (NS 3720). Denne rapporten beskriver hvordan analysene er gjennomført samt resultatene fra analysene. Det er også gitt en anbefalt metode for hvordan DfD kan inkluderes i klimagassberegninger.

Forfattere:

- Oddbjørn Dahlstrøm Andvik, Asplan Viak
- Marit Kindem Thyholt, Skanska
- Eirik Resch, Reduzer/FutureBuilt/NTNU
- Carine Lausset, SINTEF Community

Vitenskapelig artikkel som del av ZEN-case, henvist til i rapporten:

- Bianca Chiusi, NTNU
- Patricia Schneider-Martin, NTNU
- Marit Kindem Thyholt, Skanska
- Eirik Resch, Reduzer/FutureBuilt/NTNU
- Carine Lausset, SINTEF Community

¹ I internasjonal litteratur benyttes «Design for disassembly» eller «Design for Deconstruction» som begrep for disse prosessene, forkortet DfD. Standarden ISO 20887:2020¹ definerer Design for Disassembly på følgende måte: “Approach to the design of a product or constructed asset that facilitates disassembly at the end of its useful life, in such a way that enables components and parts to be reused, recycled, recovered for energy or, in some other way, diverted from future waste stream”.

² https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

³ Nasjonal strategi for ein grønn, sirkulær økonomi, Regjeringen 2020.

⁴ SirkBygg: Sirkulære nybygg – Design og bygging for demontering og ombruk. IPN-prosjekt med finansiering fra Norges Forskningsråd. Prosjektperiode 2021 – 2025 (4 år). Eies og ledes av Skanska Norge.

Deltagere i arbeidet med rapporten har vært:

Arbeidsgruppe:

- Marit Kindem Thyholt, Skanska (SirkBygg, ZEN-partner, Powerhouse-partner): leder av arbeidet
- Oddbjørn Dahlstrøm, Asplan Viak (ZEN-partner samt engasjert av SirkBygg og Powerhouse)
- Eirik Resch, Reduzer (engasjert av FutureBuilt som ZEN-partner)
- Carine Lausset, SINTEF Community (ZEN)
- Eva Patricia Schneider-Marin, NTNU (ZEN)

Referansegruppe til arbeidsgruppen:

- Stein Stoknes, FutureBuilt (ZEN-partner, samarbeidspartner i SirkBygg)
- Kristine Kolhus, Statsbygg (ZEN-partner)
- Rune Stene, Skanska og Powerhouse (Powerhouse samarbeidspartner i SirkBygg)

Høringsgruppe:

- Partnere og samarbeidspartnere i SirkBygg
- ZEN-partnere som har bidratt til rapporten

Arbeidet her vært finansiert på følgende måte:

- SirkBygg (Forskningsrådet)
- ZEN (Forskningsrådet)
- Skanska (egeninnsats i SirkBygg og ZEN)
- Asplan Viak (engasjert av SirkBygg og Powerhouse samt egeninnsats i ZEN)
- FutureBuilt (egeninnsats i ZEN)
- Powerhouse
- Mustad Eiendom (delfinansiert arbeidet gjennom FutureBuilt)

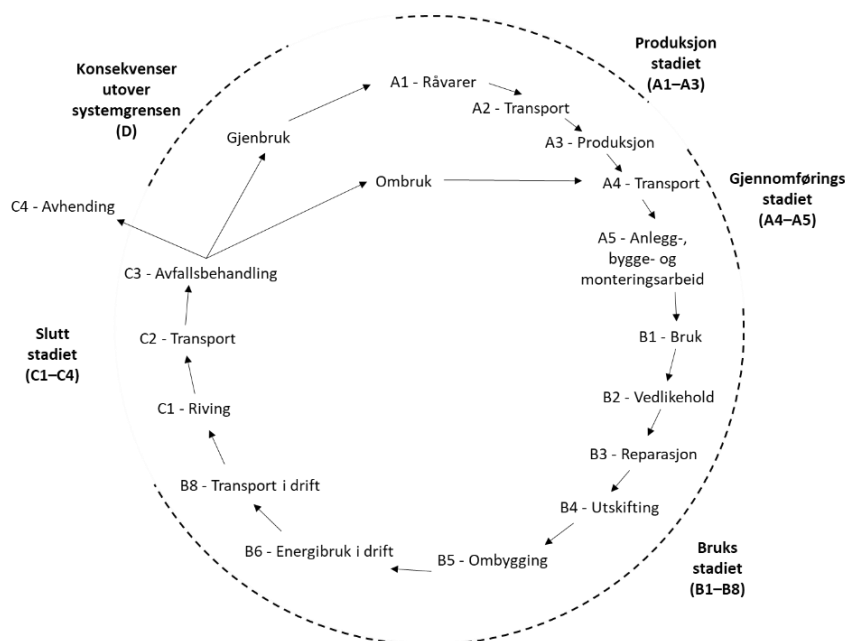
Innhold

Innledning.....	3
Forord.....	4
1 Bakgrunn.....	8
2 Allokeringmetoder.....	11
2.1 Standarder for LCA	11
2.2 Allokeringprinsipper for fordeling av miljøpåvirkning ved ombruk.....	12
2.2.1 Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0)	13
2.2.2 Metode 2: Substitution/end of life recycling/avoided burden (0:100)	14
2.2.3 Metode 3: Partitioning approach (50:50)	14
2.2.4 Metode 4: Circular Footprint Formula (A-metoden)	15
2.2.5 Metode 5: Økonomisk allokering	18
2.2.6 Metode 6: Allokering basert på økt materialbruk	19
2.2.7 Metode 7: Conservative approach (for biogent innhold)	19
2.2.8 Metode 8: Kombinasjon av metode 1 og 3 (for biogent innhold).....	19
3 Allokeringprinsipper for biogent karbon og karbonatisering	20
3.1 Biogent karbon: Ulike standarder	20
3.1.1 EN15804	20
3.1.2 FutureBuilt	22
3.2 Karbonatisering av karbon i betong	23
3.3 Hvordan påvirker valgt allokering biogene opptak og utslipp?	24
3.3.1 Metode 1a biogent: Recycled content/cut-off (100:0) - dagens praksis biogent (IOBC).	25
3.3.2 Metode 1b biogent: Recycled content/cut-off (100:0) - polluter pays biogent	26
3.3.3 Metode 2 biogent: Substitution/end of life recycling/avoided burden (0:100)	26
3.3.4 Metode 3 biogent: Partitioning approach (50:50)	27
3.3.5 Metode 4 biogent: Circular Footprint Formula (A-metoden / A-faktor)	27
3.3.6 Metode 5 biogent: Økonomisk allokering	27
3.3.7 Metode 6 biogent: Allokering basert på økt materialbruk	27
3.3.8 Metode 7 biogent: Conservative approach.....	28
3.3.9 Metode 8 biogent: Kombinasjon av metode 1b og metode 3.....	29
4 Tidsperspektiv, teknologisk utvikling og sannsynlighet for ombruk	30
4.1 Steg 1. Sannsynlighet for ombruk.....	30
4.1.1 Avfallshåndtering.....	30
4.1.2 Teknisk tilrettelegging for DfD.....	32
4.2 Steg 2. Teknologisk utvikling for materialproduksjon	32
4.3 Steg 3. Tidsvektning - tidshorisont for klimapåvirkninger	33
4.4 Total effekt av ombruk - steg 1-3	34
4.5 Diskusjon	38
5 Case: bruk av ulike allokeringer i beregninger for DfD.....	39

5.1	DfD i anleggsfase (A5): Eksempel med ombruk av spunt.....	39
5.1.1	Materialmengder spunt	39
5.1.2	Beskrivelse case	39
5.1.3	Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0).....	40
5.1.4	Metode 3: Partitioning approach (50:50)	40
5.1.5	Oppsummering.....	41
5.2	DfD for bygg (A1-C4 og D): Eksempel med ulike bæresystem og dekker	42
5.2.1	Materialmengder for bæresystem bygg.....	42
5.2.2	Beskrivelse case	43
5.2.3	Resultat metode 1a: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: IOBC, uten modul D.....	45
5.2.4	Resultat metode 1a: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: IOBC, med modul D.....	47
5.2.5	Resultat metode 1b: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: polluter pays, uten modul D	49
5.2.6	Resultat metode 1b: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: polluter pays, med modul D	51
5.2.7	Resultat metode 3a: Partitioning approach (50:50), biogent: IOBC, uten modul D	53
5.2.8	Resultat metode 3b: Partitioning approach (50:50), biogent (50:50), uten modul D	55
5.2.9	Resultat av metode 8a: kombinasjon av metode 1b og 3b med biogent: polluter pays, uten modul D	58
5.2.10	Resultat av metode 8b: kombinasjon av metode 1b og 3b med biogent: polluter pays, med modul D	60
5.3	Resultat fra case: oppsummering	62
5.3.1	DfD i anleggsfase (A5)	62
5.3.2	DfD for bygg (A1-C4, D)	63
5.3.3	Justering for sannsynlighet for DfD, teknologiutvikling og tidsvekting.....	67
5.3.4	Oppsummering.....	68
6	Effekt av DfD sett opp mot andre klimagassreducerende tiltak	70
7	Konklusjon og anbefalinger	73
8	Vedlegg 1: Utslippsfaktorer for bæresystem og dekker.....	75

1 Bakgrunn

En LCA inneholder fire livslyklusstadier: produksjons- (A1–A3), gjennomførings- (A4–A5), bruks- (B1–B8), og sluttstadiet (C1–C4). I tillegg kommer Modul (D) som uttrykker netto gevinster og belastninger fra materialgjenvinning og ombruk i neste produktsystem. I en LCA for et sirkulært bygg eller produkt er denne tilnærmingen problematisk da *graden* av godskrivning av klimagassgevinstene av ombruk og materialgjenvinning fra eget prosjekt til neste prosjekt ikke er standardisert. En sirkulærøkonomisk tilnærming, med materialgjenvinning og ombruk til neste prosjekt, er illustrert i figuren under. *Gjenbruk* benyttes her som begrep for materialgjenvinning ved både opp- og nedsirkulering i stedet for uttak av nye råvarer, men vil innebære mer prosessering sammenlignet med ombruk. Gjenvunnet materialråstoff kan også gå til modul A2 og A3.



Figur 1: Livslyklusstadier – Sirkulær tilnærming.

Livslyklusens klimagassutslipp fra konvensjonelle bygninger, i motsetning til lavenergibygg som passivhus og plusshus, domineres av bruksstadiet som utgjør rundt 80 % av livslyklusens totale klimagassutslipp⁵. Andelen klimagassutslipp fra produksjonsstadiet er noe høyere for lavenergibygg og passivhusdesign, hovedsakelig fordi energibruken i driftsfasen blir betydelig lavere samtidig som bruken av materialer (f.eks. isolasjonsmaterialer) går noe opp⁶. Klimagassutslipp fra produksjonsstadiet kan stå for 50 til 70 % av de totale klimagassutslippene i slike bygningsdesign⁷.

Følgende bidrag kan utgjøre ytterligere reduksjon av klimagassutslipp⁸: a. areal- og materialreduksjon, b. bruk av ombrukte og resirkulerte materialer, c. bruk av lokale materialer, d. bruk av materialer med lavt karbonfotavtrykk og e. bruk av materialer med lang levetid. I dette perspektivet mangler gevinster

⁵ Sartori, I. and A. G. Hestnes (2007). "Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article." *Energy and Buildings* **39**(3): 249-257.

⁶ Wiberg, A. H., L. Georges, T. H. Dokka, M. Haase, B. Time, A. G. Lien, S. Mellegard and M. Maltha (2014). "A net zero emission concept analysis of a single-family house." *ENERGY AND BUILDINGS* **74**: 101-110.

⁷ Kristjansdottir, T. F., N. Heeren, I. Andresen and H. Brattebo (2018). "Comparative emission analysis of low-energy and zero-emission buildings." *BUILDING RESEARCH AND INFORMATION* **46**(4): 367-382.

⁸ Wiik, M. K., S. M. Fufa, T. Kristjansdottir and I. Andresen (2018). "Lessons learnt from embodied GHG emission calculations in zero emission buildings (ZEBs) from the Norwegian ZEB research centre." *Energy and Buildings* **165**: 25-34

knyttet til å designe for fremtidig ombruk og materialgjenvinning slik at de innebygde materialressursene kan føres tilbake til kretsløpet. Denne type design omtales gjerne som «design for disassembly», eller DfD.

Ut over systemgrensen A-C kan modulen D fordeles på hhv. «Modul D-Energi» og «Modul D – Materialer». Hvordan "Modul D-Energi" skal hensyntas og kvantifiseres i klimagassregnskap, er regulert i den norske standarden "NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger". Det finnes per i dag ikke tilsvarende standardiserte regneregler for "Modul D-Materialer" i klimagassregnskap. Dette anses som en stor mangel da DfD er viktig med tanke på å bevare begrensede naturressurser i kretsløpet så lenge som mulig. I tillegg vil DfD bidra til reduserte klimagassutslipp knyttet til de materialene som vi ikke trenger å produsere. Kretsløpsprinsipper bør legges til grunn for nullutslippsbygg (som ZEB) og nullutslippsområder (som ZEN), dvs. hele verdikjeden – vugge til vugge – bør være hovedprinsippet. Dette er i tråd med de føringer vi nå ser i EU med tanke på forsyningssikkerhet for materialressurser og reduserte klimagassutslipp.

DfD har fått økt fokus i byggenæringen, men fraværet av standardiserte beregningsmetoder gir ikke insentiv for å legge til rette for DfD i byggeprosjekter. Dette er tapte muligheter sett i lys av det lave omfanget av sirkularitet i byggenæringen og ikke minst fordi vi nå ser en byggenæring hvor mange aktører har et høyt ønske om å bygge sirkulært – herav også DfD. Fravær av insentiver i klimagassregnskap for DfD er en av flere barrierer som begrenser gjennomføringen av dette tiltaket.

I FoU-prosjektet SirkBygg er gjeldende regler og standarder med tanke på hvordan DfD skal hensyntas i klimagassberegninger, kartlagt. Denne studien, som i SirkBygg anses som Trinn 1 av studie av DfD i klimagassberegninger, ble avsluttet i 2022 og beskrevet i egen rapport, samt publisert i det internasjonale vitenskapelige tidsskriftet *Buildings*⁹. Dette arbeidet viste at det ikke finnes noen klare retningslinjer for dette. Dette innebærer at klimagasseffekten av tilrettelegging for demontering og ombruk (DfD) av bygningskomponenter, materialer eller konstruksjoner når et bygg skal avhendes (eller ombygges) er uklart i regelverket. Ettersom DfD per i dag medfører økte prosjekteringskostnader og eventuelt også økte byggekostnader grunnet begrenset kunnskap og manglende standardløsninger, vil fraværet av insentiver kunne medføre at fremtidige klima- og ressursgevinster går tapt.

I mangel av standardiserte og kvantiserte metoder for DfD i klimagassregnskap, er det behov for å utvikle metoder med forankring i de standarder som finnes. På bakgrunn av dette har SirkBygg i samarbeid med FME-senteret Zero Emission Neighbourhood (ZEN) med et utvalg partnere samt Powerhouse-alliansen gjennomført et neste trinn (Trinn 2, denne rapporten) i arbeidet med å utrede mulige beregningsregler for DfD i klimagassanalyser i bygg.

Formålet med denne rapporten er å beskrive hvordan DfD kan hensyntas i klimagassregnskap. Ulike metoder er lagt til grunn. Målet har ikke vært å beslutte en endelig beregningsmetode, men å belyse godt begrunnede alternativer med sine fordeler og svakheter. Aktører som ønsker å vektlegge DfD i sine prosjekter eller definisjoner, f.eks. ZEN, FutureBuilt og Powerhouse, vil da ha et godt beslutningsgrunnlag ved valg av metode. Forhåpentligvis vil slike aktører kunne enes om metode. Det nevnes også at både FutureBuilt og Powerhouse i dag tilgodeser DfD i sine metoder for

⁹ [MDPI - Publisher of Open Access Journals](https://www.mdpi.com/)

klimagassberegninger, men at det er behov for å gjøre en dybdestudie basert på vitenskapelige metoder ved en slik inkludering av DfD.

2 Allokeringsmetoder

Ordet allokering refererer i denne sammenhengen til prinsipper for fordeling av utslipp som skjer i aktiviteter som leverer mer enn ett produkt, eller når ett produkt brukes i flere sykluser. Et eksempel er prosessene i et sagbruk. I et sagbruk brukes tømmer og energi som (hoved)innsatsfaktorer, og produserer en lang rekke ulike produkter for salg. Utslippene knyttet til selve sagbruket, samt alle utslippene knyttet til å produsere salgbare produkter, kan fordeles på ferdigproduktene gjennom en allokeringsnøkkel. Et annet eksempel er resirkulering av stål. Denne prosessen leverer i prinsippet to «produkter»; avfallsbehandling av brukt stål, samt produksjon av nytt stål.

Hvilke faktorer som bør legges til grunn for hvordan DfD eventuelt kan inkluderes i klimagassberegninger, kan være basert på ulike forhold som allokering av livsløpskostnader, materialressurser og klimagassutslipp knyttet til DfD på flere livsløp. Demontering og ombruk vil skje i fremtiden, og det er selvsagt usikkerheter knyttet til ombrukskomponentenes relevans frem i tid da teknologien for nye produkter i fremtiden kan være langt mer klima- og ressursvennlige enn i dag. Hvordan hensynta dette aspektet? Og bør fremtidige utslippsreduksjoner vektet likt som i dag? Lengre levetid for bygningskomponenter som tilrettelegges for fremtidig ombruk, vil også ha betydning for bundet karbon (treprodukter) samt karbonatisering (betong). Dette er også forhold som kan vektlegges når DfD for slike produkter eventuelt skal tilgodeses i klimagassberegninger. Det må også være en viss konsistens i metodevalg. Dersom fremtidig unngåtte utslipp eller forbruk av materialressurser skal fordeles på flere livssykluser, burde kanskje også ombruk i dag fra eksisterende byggeprosjekter fordeles på flere sykluser, og ikke gi 100 % «gevinst» for byggene vi bygger i dag. Det vil si at alle utslippene ikke kan forutsettes å gjelde for første prosjekt (donorbygget). Vil dette på sin side bidra til at ombruk i dag blir mindre interessant? Dette er faktorer, eller det vi i rapporten har benevnt som «scenarier», som er lagt til grunn for vurdering av hvordan DfD eventuelt kan inkluderes i klimagassberegninger.

En forutsetning som ikke er diskutert i denne rapporten er hvilke kriterier som bør gjelde når en komponent, som er tilrettelagt for fremtidig demontering og ombruk, kan anses å være *sannsynlig* demonterbar og ombrukbar og dermed kunne «godkjennes» som et DfD-produkt og dermed kunne gis kreditt i et klimagassregnskap. I SirkBygg er det gjennomført et eget arbeid som definerer slike kriterier. I arbeidet beskrevet i denne rapporten forutsettes at DfD-produkter, som krediteres i et klimagassregnskap, oppfyller slike kriterier.

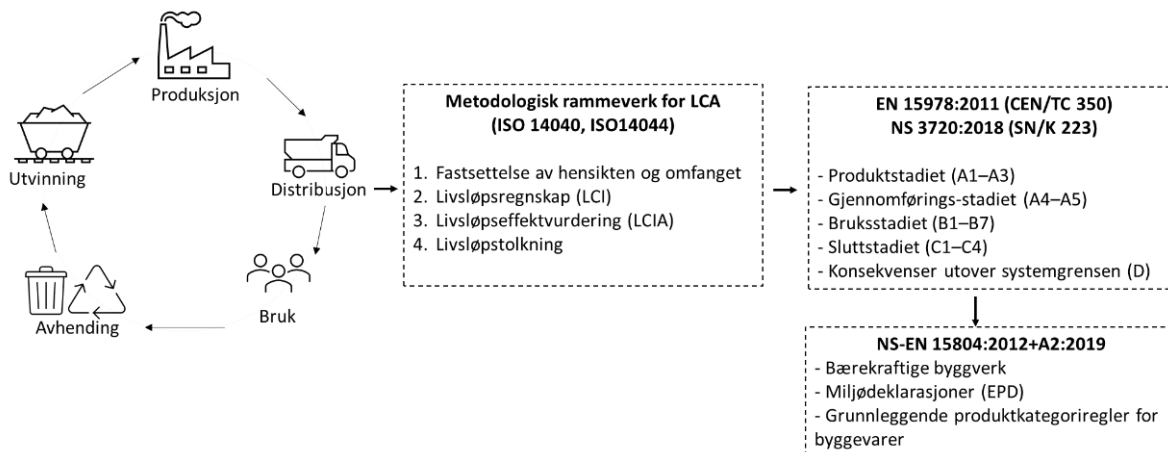
2.1 Standarder for LCA

LCA dekker hele livsløpet, dvs. utvinning, produksjon, distribusjon, bruk og avhending, av et produkt eller system. Ved bruk av LCA er det mulig å sammenligne miljøbelastningen for et produkt eller system som fyller samme funksjon. LCA er en standardisert metodikk beskrevet i NS-EN ISO 14040:2006 "Miljøstyring – Livsløpsvurdering – Krav og retningslinjer" og ISO 14044:2006 "Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk". Begge disse ISO-standardene legger rammeverk for LCA som vist i Figur 2.

Ved bruk av LCA for bygninger finnes følgende spesifikke standarder: EN 15978:2011 "Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøpåvirkning - Beregningsmetode" og NS 3720:2018 "Metode for klimagassberegninger for bygninger". NS 3720 er den norske standarden for klimagassregnskap for bygninger og er basert på EN 15978:2011 med en tilleggsmodul B8 som omhandler mobilitetsrelaterte

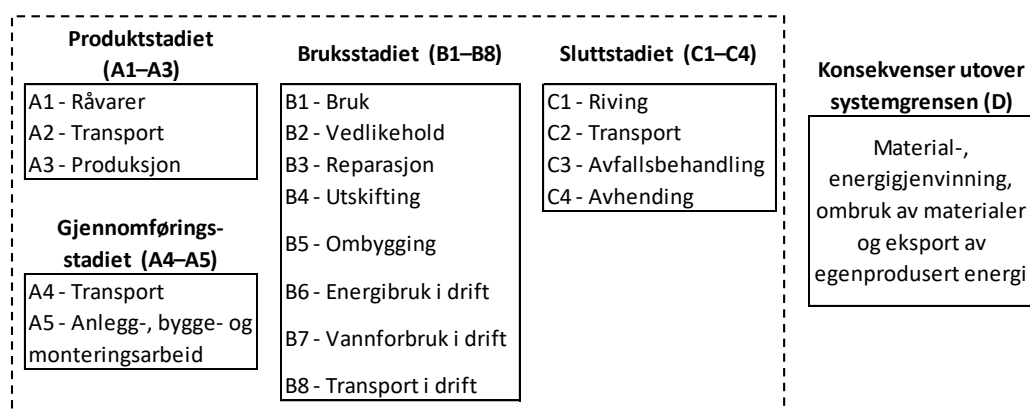
utslipp under drift over bygningens levetid. Den europeiske standarden har flere miljøpåvirkningskategorier.

Standarden NS-EN 15804:2012+A2:2019 "Bærekraftige byggverk - Miljødeklarasjoner – Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer" behandler LCA på produktnivå. Formålet med EN 15804 er å definere klare retningslinjer for livsløpsvurdering (LCA) i EPD (Environmental Product Declaration) for produkter til bygg- og anleggssektoren.



Figur 2: LCA standard: Rammeverk, bygg og produkter. Utarbeidet fra ISO 14040, ISO14044, EN15978:2011, NS3720:2018, EN15804:2012+A2:2019

En LCA for bygninger deler livsløpet inn i fire stadier, som vist i Figur 3: produksjonsstadiet (A1–A3), gjennomføringsstadiet (A4–A5), bruksstadiet (B1–B8), og sluttstadiet (C1–C4). I tillegg kommer Modul D som uttrykker netto fordeler og belastninger fra ombruk, materialgjenvinning og energigjenvinning av materialer i neste produksystem (neste bygg). I praksis tilsvarende Modul D å kvantifisere påvirkninger og unngåtte påvirkninger fra neste livsløp for materialene, og eksport av netto levert energi produsert av selve bygget (med f.eks. solpanel). Gevinster og belastninger bestemmes ut fra når materialer forlater systemet for bygg i en DfD-syklus (*mitt bygg*) på utskiftingsstadiet (B4) eller på byggets sluttstadium (C1–C4). Gevinster gjennom hele byggets livssyklus som kan krediteres *neste bygg*, er vanligvis summert og rapportert i ett enkelt tall som modul-D-påvirkninger.



Figur 4: Livslyklusstadier – Lineær tilnærming. Kilde: NS 3720

2.2 Allokeringssprinsipper for fordeling av miljøpåvirkning ved ombruk

Allokering av mulig reduserte fremtidige klimagassutslipp knyttet til ombruk for en syklus etter at første bygg eller deler av første bygg skal demonteres, behandles i dette kapitlet.

Utslipp i A1-A3, A4, A5 kan øke noe ved å tilrettelegge enkeltdele av bygget for DfD, men om den totale materialbruken øker for bygget som helhet vet vi ikke, se kapittel 2.2.6. Utslipp fra C1-C4 kan reduseres, da materialer som vanligvis sendes til avfallsbehandling ved DfD, demonteres og sendes til lager klart for neste bygg. DfD påvirker dagens «standard» for avfallshåndtering i C1-C4. For trevirke er dette hovedsakelig forbrenning og energiutnyttelse, stål sendes til resirkulering (omsmelting) og betong rives og knuses til ombruk i grunnen eller sendes til deponering. DfD vil dermed påvirke hvordan C1-C4 beregnes, og utslippene fra C1-C4 vil reduseres sammenlignet med dagens praksis.

Som grunnlag for å vurdere allokering av utslipp og opptak av klimagasser til neste syklus, når byggematerialer overføres fra ett bygg til neste, er det tatt utgangspunkt i LCA allokeringssprinsipper. Ved klimagassberegninger og LCA-analyser av produkter og bygg er det i hovedsak tre ulike prinsipper for å allokere utslipp fra produksjon av produktet mellom første bruker og senere bruker. Det eksisterer også en del ulike varianter av disse allokeringene, men det kan antas at metode 1 til 3 under oppsummerer de mest vanlige prinsippene for allokering av klimagassutslipp. Metode 4 er en kombinasjon av metode 1 til 3. Metode 5 (økonomisk allokering) og metode 6 (allokering basert på økt materialforbruk) er også beskrevet, men disse følges ikke videre i denne rapport (begrunnelse er gitt under metodebeskrivelsene).

Valg av allokeringssprinsipp påvirker utslipp for alle faser (A1-C4). For eksempel vil allokeringmetode 1 (Recycled content/cut-off, 100:0) gi første bygg 100 % av utslippene ved å fremstille stålet (A1-A3) og ingen fratrukk ved å sende stålet til resirkulering eller ombruk ved endt bruk (C1-C4).

2.2.1 Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0)

Prinsippet bak *resirkulert andel/avgrensning* er at hver syklus tildeles miljøbelastningene forbundet direkte med produksjon og avhending av produktene.

Ved Metode 1 vil alt av utslipp fra produksjon (A1-A3) av et produkt tilfalle første gangs bruk av produktet. Når produktet resirkuleres/ombrukes, vil kun utslipp forbundet med resirkuleringsprosessen og transport inkluderes i bruk for neste syklus/bygg. Alle utslipp forbundet med avfallshåndtering (C1-C4) tilfaller bygget (*systemet*) som sender produktet til avfallshåndtering.

Grensen (cut-off), som avgjør om miljøbelastning skal allokeres syklus 1 eller 2 for bygg eller produkt, er når produktet har lavest markedsverdi. Dette er vanligvis når et produkt er definert som avfall.

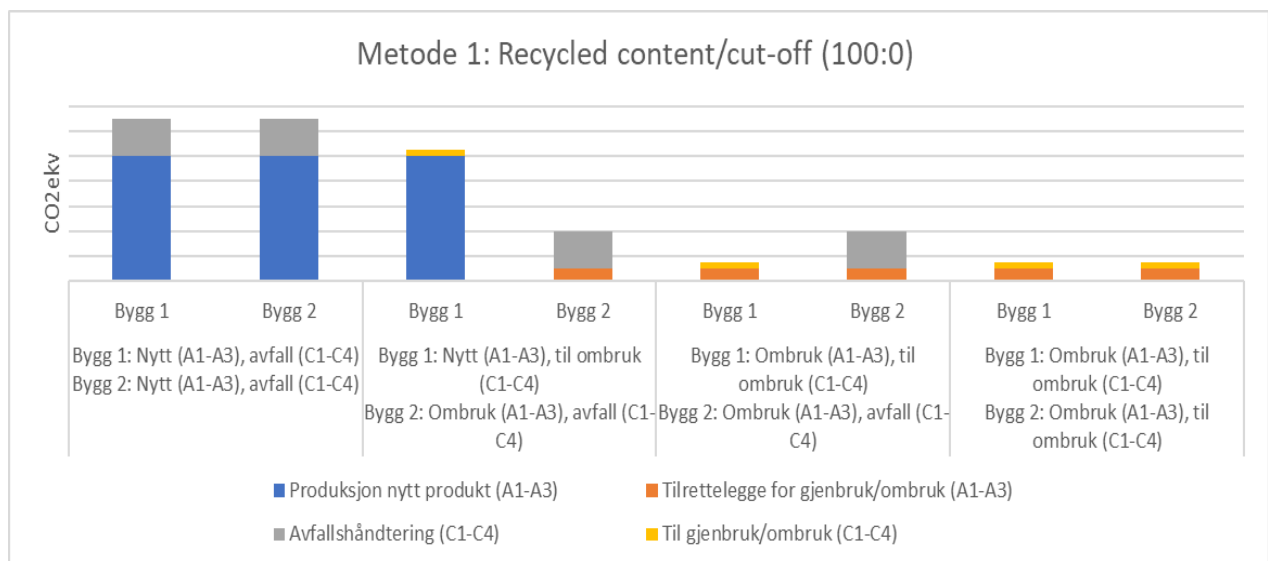
For modul D er det effekten av å unngå å produsere nytt tilsvarende det produktet som oppstår ved avfallsbehandling, som kan beregnes. Eksempelvis vil det å sende stål til resirkulering medføre at det unngås å produsere nytt stål. Sendes treprodukter til forbrenning i anlegg med fjernvarme, kan det unngås å produsere energi fra andre energikilder.

Denne allokeringmetoden favoriserer å bruke resirkulerte og ombrukte produkter i et bygg da utslippet fra utvinning og produksjon allerede er dekket av førstegangs bruk. Metoden gir lite gevinst og intensiver til å designe bygg og materialer for fremtidig resirkulering og demontering, da reduserte utslipp ved bruk av ombrukte produkter først telles i neste syklus/bygg. Dette prinsippet kommer dagens nybygg, som ombruker materialer fra forrige bygg, til gode.

Videre er det vanlig å anta prinsippet *polluter pays*, dvs. at bygget som sender et produkt til avfallsbehandling (produsent av avfall) må inkludere utslipp fra avfallsbehandling for sitt bygg. Sendes

et produkt til fremtidig ombruk, unngås derfor avfallsbehandling og tilsvarende utslipp. Dette gjelder for fossile utslipp. For biogent karbon er det unntak fra *polluter pays*, da det for biogene utslipp og opptak allokeres som standard 100 % av opptak og 100 % av utslipp til første gangs bruk. Se kapittel 3.3.2 for beskrivelse.

Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0) med *polluter pays* er i dag ansett som standard, og benyttes i dagens klimagassberegninger for bygg og infrastruktur og i EPDer. Metoden er standard i NS 3720, EN 15804 og EN 15978. I Figur 5 er denne metoden illustrert. Bruk av metoden er beskrevet i kapittel 3.3.2, samt fra 5.2.3 til 5.2.6.



Figur 5: Figuren viser fordeling av fossile klimagassutslipp fra produksjon/tilrettelegging for ombruk (A1-A3) og avfallshåndtering/ende til ombruk (C1-C4) for produkt som brukes i to ulike bygg. Allokeringmetode 1: Recycled content/cut-off (100:0). Tall er teoretiske og er ment som illustrasjon, men kan for eksempel være produksjon av 1m³ betong, 1 kg stål eller 1 m³ limtre.

2.2.2 Metode 2: Substitution/end of life recycling/avoided burden (0:100)

Ved bruk av denne allokeringmetoden gir et produkt sendt til ombruk eller resirkulering et fratrekk (reduert utslipp) for det første bygget. Dette vil i stor grad tilsvare modul D, men at modul D da inkluderes som standard for det bygget som sender produktet til ombruk eller resirkulering.

Denne allokeringmetoden favoriserer å sende brukte produkter og materialer i et bygg til resirkulering og ombruk da det reduserer utslippet fra materialer. Metoden gir imidlertid lite gevinst og intensiverer til å bruke produkter som er resirkulert eller ombrukt i nybygg i dag ettersom disse produktene får utslippsfaktor for ny installasjon (A1-A3). I prinsippet må da A1-A3 i nybygg i dag benytte utslippstallene for forrige bygg, noe som vil være vanskelig å dokumentere etter mange år.

Denne metoden benyttes i liten grad for byggematerialer og bør hovedsakelig benyttes for produkter med lukket krets (closed-loop), der resirkulert produkt erstatter lik mengde nytt produkt med tilnærmet like egenskaper. Et eksempel er bokser av aluminium som pantes og resirkuleres til nye bokser. Metoden er videre beskrevet i kapittel 3.3.3 med tanke på biogent innhold.

2.2.3 Metode 3: Partitioning approach (50:50)

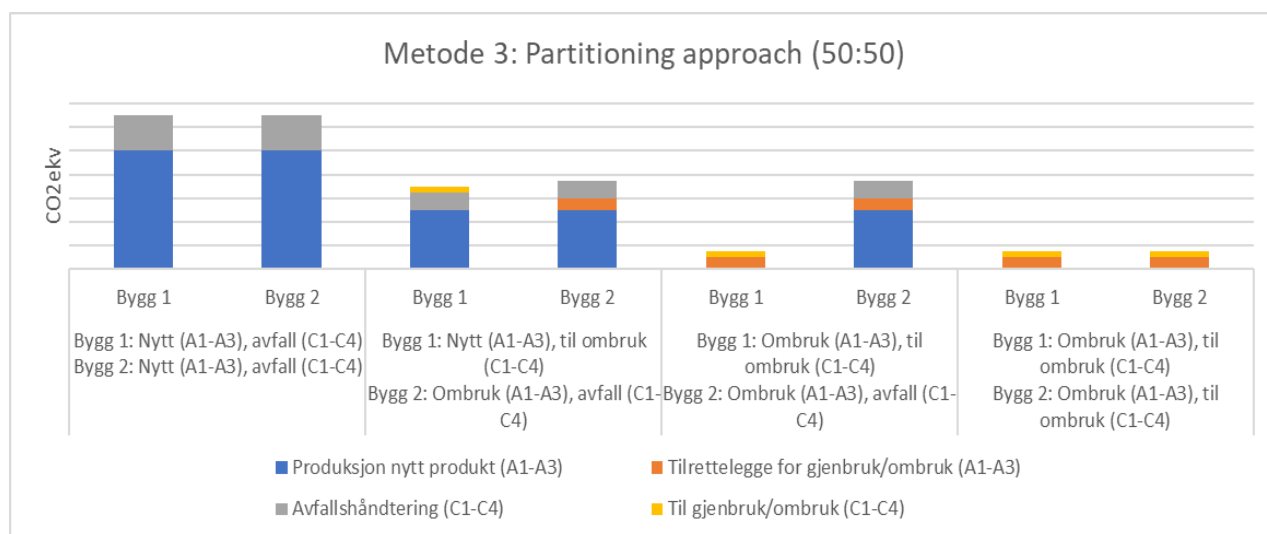
Partitioning approach er en pragmatisk mellomting mellom metode 1 og 2 beskrevet over, hvor miljøpåvirkning ved produksjon av nytt materiale og avfallshåndtering med resirkulering eller ombruk

fordeles mellom første syklus (når produkter produseres) og siste syklus (når produktet avfalls- håndteres).

For et bygg som både bruker ombrukte produkter og sender brukte produkter ombruk etter bruk, tildeles ikke produktet produksjonsutslipp eller utslipp fra avfallshåndtering.

Andre alternative varianter av denne metoden er å fordele miljøpåvirkning ved produksjon av nytt materiale og avfallshåndtering/resirkulering mellom alle sykluser. Fordelingen er da avhengig av å definere antall sykluser ved første gangs bruk.

Metode 3 er illustrert i Figur 6 og beskrevet videre i kapittel 3.3.2 med tanke på biogent innhold.



Figur 6: Figuren viser fordeling av fossile klimagassutslipp fra produksjon/tilrettelegging for ombruk (A1-A3) og avfallshåndtering/ende til ombruk (C1-C4) for produkt som brukes i to ulike bygg. Allokeringmetode 3: Partitioning approach (50:50). Tall er teoretiske og er ment som illustrasjon, men kan for eksempel være produksjon av 1m³ betong, 1 kg stål eller 1 m³ limtre.

2.2.4 Metode 4: Circular Footprint Formula (A-metoden)

Allokeringsmetoder for materialer utnyttet i flere sykluser kan grovt grupperes i tre hovedtilnærminger tilsvarende metodene beskrevet over¹⁰: 100:0 (cut-off), 0:100 (end-of-life resirkulering), og 50:50 (lik andel). Disse favoriserer enten inngående sirkulære materialer (100:0), utgående sirkulære materialer (0:100) eller sidestiller disse (50:50). Dette er bakgrunnen for at EU-kommisjonen har utviklet *Circular Footprint Formula (CFF)* som en del av *Product Environmental Footprint (PEF)*¹¹. Denne metoden muliggjør flere allokeringalternativer ved å introdusere en allokeringfaktor (A-faktor) som fordeler miljøbelastning og gevinst mellom leverandør og bruker av resirkulerte materialer. Til forskjell fra de tre første metodene, varierer allokeringen fra produkt til produkt, basert på markedssituasjonen og endringer i kvalitet mellom sykluser. A-faktoren for de ulike produktene fastsettes av PEF og avhenger blant annet av tilgang på resirkulerte materialer for ny produksjon og etterspørsel av produkter til videre resirkulering ved demontering.

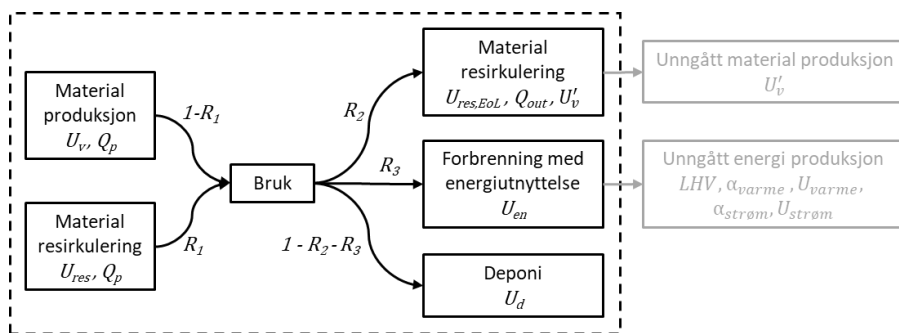
¹⁰ Allacker, K., F. Mathieux, S. Manfredi, N. Pelletier, C. De Camillis, F. Ardente and R. Pant (2014). "Allocation solutions for secondary material production and end of life recovery: Proposals for product policy initiatives." *Resources Conservation and Recycling* **88**: 1-12.

¹¹ https://ec.europa.eu/environment/publications/recommendation-use-environmental-footprint-methods_en

Størrelsen på A-faktoren kan illustreres slik:

- A=0: tilsvarer Metode 2 Substitution/end of life recycling/avoided burden (0:100), og allokerer hele effekten av resirkulering og ombruk til slutten av byggets levetid.
- A=0,2: tilsvarer lavt tilbud, men høy etterspørsel av resirkulert/ombrukt materiale. Størstedelen av effekten ved resirkulering og ombruk tillegges slutten av byggets levetid, men i mindre grad enn for metode 2 (A=0). Typiske materialer ville være metaller eller glass
- A=0,5: tilsvarer likt tilbud og etterspørsel etter resirkulert og ombrukt materiale, og er likt som Metode 3 Partitioning approach (50:50). Typiske materialer her er plast.
- A=0,8: tilsvarer høyt tilbud, men lav etterspørsel av resirkulerbart materiale. Størstedelen av effekten ved resirkulering og ombruk tillegges produksjonsfasen, men ikke i like stor grad som Metode 1 (A=1).
- A=1: tilsvarer Metode 1 Recycled content/cut-off (100:0) og allokerer hele effekten av resirkulering og ombruk til produksjonsfasen.

De forskjellige fasene som inngår i Circular Footprint Formula er vist i Figur 7, og er nærmere beskrevet under. Materialproduksjonen kan enten komme fra primære materialressurser ($1-R_1$), eller fra resirkulering eller ombruk (R_1). Ved End-of-life for et bygg eller et produkt kan materialet enten gå til resirkulering eller ombruk (R_2), forbrenning med energiutnyttelse (R_3) eller til deponi ($1-R_2-R_3$). Resirkulering eller ombruk ved slutfasen fører til unngått bruk av nye primære materialressurser ved ny materialproduksjon, og forbrenning med energiutnyttelse fører til unngått energiproduksjon med andre energibærere, f.eks. fossile brenslere.



Figur 7: Produktstadier i Circular Footprint Formula (CFF)

Ved bruk av CFF av et produkt benyttes formelen gitt i Figur 8. Formelen er delt i tre deler:

1. Materialproduksjon og mulig materialgjenvinning (eller ombruk) ved slutfase,
2. Forbrenning ved produktets slutfase
3. Deponi ved produktets slutfase.

$$\begin{aligned}
 CFF = & \underbrace{(1 - R_1) U_v}_{\text{Utslipp tilknyttet til material produksjon}} + \underbrace{R_1 \left(A \cdot U_{res} + (1 - A) U_v \frac{Q_{in}}{Q_p} \right)}_{\text{Utslipp tilknyttet til material resirkulering}} + \underbrace{(1 - A) R_2 \left(U_{res,EoL} - U'_v \frac{Q_{out}}{Q_p} \right)}_{\text{Utslipp tilknyttet til unngåtte material produksjon}} \\
 & + R_3 \left(U_{en} - LHV \cdot \alpha_{varme} \cdot U_{varme} - LHV \cdot \alpha_{strøm} \cdot U_{strøm} \right) \\
 & + (1 - R_2 - R_3) U_d
 \end{aligned}
 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Material} \\ \text{Energi} \\ \text{Deponi} \end{array}$$

Utslipp tilknyttet til material forbrenning med energiutnyttelse minus unngått energiproduksjon

Utslipp tilknyttet til deponi av material som hverken går til materialgjenvinning eller forbrenning med energiutnyttelse

Figur 8: Circular Footprint Formula

Tabell 1: Parametre som går inn i Circular Footprint Formula

A	<u>Allokeringsfaktor av miljøbidrag og gevinst mellom leverandør og bruker av resirkulerte materialer</u>
R_1	<u>Materialandel som er resirkulert fra et tidligere system.</u>
R_2	<u>Materialandel i produktet som skal resirkuleres (eller ombrukes) i et påfølgende system</u>
R_3	<u>Materialandel i produktet som skal til forbrenning med energiutnyttelse</u>
U_v	<u>Miljøbidrag (per funksjonell enhet) som oppstår fra anskaffelse og forhåndsbehandling av jomfruelig materiale.</u>
U_{res}	<u>Miljøbidrag (per funksjonell enhet) som oppstår fra resirkuleringsprosessen av det resirkulerte (gjenbrakte) materialet, inkludert innsamling, sortering og transportprosess.</u>
$U_{res,EoL}$	<u>Miljøbidrag (per funksjonell enhet) som oppstår fra resirkuleringsprosessen ved EoL, inkludert innsamlings-, sorterings- og transportprosesser</u>
U'_v	<u>Miljøbidrag (per funksjonell enhet) som oppstår fra anskaffelse og forhåndsbehandling av jomfruelig materiale som antas å være erstattet av resirkulerbare materialer.</u>
U_{en}	<u>Utslipp fra forbrenning</u>
U_d	<u>Utslipp fra deponi</u>
Q_{in}	<u>Kvaliteten av det inngående sekundære materialet, dvs. kvaliteten på det resirkulerte materialet ved substitusjonspunktet.</u>
Q_p	<u>Kvaliteten av primærmaterialet, dvs. kvaliteten på det jomfruelige materialet</u>
Q_{out}	<u>Kvaliteten av det utgående sekundære materialet, dvs. kvaliteten på det resirkulerbare materialet ved substitusjonspunktet</u>
LHV	<u>Varme verdi (lav) av materialer som går til forbrenning med energiutnyttelse</u>
α_{varme}	<u>Virkningsgrad til varme produksjon (fra forbrenning med energiutnyttelse)</u>
$\alpha_{strøm}$	<u>Virkningsgrad til strøm produksjon (fra forbrenning med energi utnyttelse)</u>

Standard materialspesifikke og applikasjonsspesifikke (produkttype) A-verdier er tilgjengelige i form av et Excel-ark gitt som Annex C til Circular Footprint Formula¹². Applikasjonsspesifikk A-verdi skal brukes framfor den materialspesifikke A-verdien (eksempelvis skal aluminium for vinduer og dører brukes fremfor aluminium som generisk materiale). Hvis ingen A-verdi er angitt, skal A settes lik 0,5. Circular Footprint Formula¹³ tar også hensyn til materialkvalitet gjennom Q-faktorer som vist i formelen over. Forslag til verdier for R_1 , R_2 , R_3 , $\frac{Q_{in}}{Q_p}$, $\frac{Q_{out}}{Q_p}$, er også gitt i Annex C til Circular Footprint Formula.

Som del av dette prosjektet har ZEN studert bruk av allokeringsmetoden Circular Footprint Formula, og arbeidet vil dokumenteres i form av vitenskapelig artikkel¹⁴ (er sendt til peer review per juni 2024). Artikkelen beskriver effekten av DfD i klimagassregnskap ved å sammenligne CFF-metoden med FutureBuilt sin metode for FutureBuilt ZERO¹⁵. CFF følger allokeringsmetoden for A-faktor, og

¹² <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>

¹³ [2020-10-PEF-application-of-CFF.pdf \(greendelta.com\)](https://www.greendelta.com/2020-10-PEF-application-of-CFF.pdf)

¹⁴ Katarzyna Ostapska, et al. "Allocation of greenhouse gas emissions of buildings designed for disassembly across multiple life cycles." Artikkelen sendt til review (per juni 2024)

¹⁵ Resch, Eirik, et al. "FutureBuilt Zero-A simplified dynamic LCA method with requirements for low carbon emissions from buildings." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1078. No. 1. IOP Publishing, 2022

FutureBuilt ZERO benytter en forenklet metode for sirkularitetsregnskap knyttet til fordelene med både oppstrøms og nedstrøms ombruk. Analysen er begrenset til å omfatte kun de mest utbredte byggematerialene i casestudien, som er et kontorbygg under bygging i Bærum (Vollsveien 9-11 i Bærum). Prosjektet tar sikte på å oppnå FutureBuilt ZERO-benchmark for klimagassutslipp. Kontorbygget er utformet etter prinsippene for DfD og tar dermed sikte på at bygningskomponentene skal ombrukes i nye bygg i fremtiden. Metodene brukes på tre forskjellige livssykluser eller bygg (første, mellomliggende og siste). *Denne rapporten skal oppdateres når artikkelen publiseres, med henvisning til artikkelen for mer informasjon og beskrivelse av resultatene.*

2.2.5 Metode 5: Økonomisk allokering

Ved gjennomføring av LCA vil en iht. ISO 15686 kapittel 6.5 kunne allokere reduserte utslipp med utgangspunkt i de økte kostnadene som er forbundet med tiltaket som bidrar til utslippsreduksjon.

1. *CO₂ "costs" should be included only if there is an actual payment (e.g. through taxes).*
2. *A life-cycle assessment (LCA) can be used to measure the impact of environmental externalities and, therefore, be used to aid WLC (whole-life cost) decisions that include a measure of the external cost investment.*

En måte å diskontere økte kostnader kan baseres på følgende formel:

$$\frac{\text{Diskontert sum av byggefase, demontering og avfallshåndtering DfD}}{\text{Diskontert sum av byggefase, demontering og avfallshåndtering business as usual}}$$

Det er i dag ikke klart om DfD i et byggeprosjekt, iht. kriteriene for hva som defineres som både demonterbarhet og ombrukbarhet (målbare kriterier foreslått i egen rapport i SirkBygg), vil innebære økte byggekostnader. I SirkBygg er det et mål å utvikle byggesystemer som skal være langt mer rasjonelle å demontere og ombruke enn hva situasjonen er i dag.

Når bygget en gang skal rives/demonteres, er det i dag vanskelig å si noe om kostnadene knyttet til verdikjeden fra demontering til ombruk i nytt bygg vs. nykjøp. Som en følge av det store fokuset på sirkulær økonomi i EU og hos norske myndigheter, må det kunne antas at økte kostnader for avfallshåndtering (gebyrer), større verdi av donormaterialer som følge av mindre ressurstilgang, endret lovverk m.m. vil kunne gjøre det mer lønnsomt med demontering og ombruk i fremtiden, enn hva erfaringer viser er tilfelle på nåværende tidspunkt. I hvilken grad er derimot ikke mulig å forutsi i dag. Økte eller reduserte kostnader knyttet til DfD for nybygg vil heller ikke være kjent når klimagassberegninger for bygget skal gjennomføres i løpet av prosjekteringsfasen. Kostnader blir først mulig å konkretisere når tilbud er innhentet og innkjøp er foretatt. Imidlertid vil det ikke være hensiktsmessig å se på kostnader for enkeltelementer, DfD må ses i en helhet. Dette innebærer at hele eller deler av bygget bør prosjekteres for DfD, og dette gjelder også økt bruk av modularisering, en tilpasset infrastruktur for tekniske systemer som ikke innebærer gjennomføringer i DfD-elementer m.m. Dette er et annet design enn hva som normalt planlegges for et bygg som ikke tilrettelegges for DfD, og vil vanskelig kunne kostnadsfestes og sammenlignes med hvordan bygget ellers ville blitt designet. Eventuelle økte (eller reduserte) kostnader vil heller ikke enkelt kunne anslås sammenlignet med et bygg og enkeltløsninger som ikke er prosjektert og bygget for DfD. Her vil usikkerheten bli svært stor, samt kunne bli grunnlag for «tilpasning» med tanke på gevinst i et klimagassregnskap som tilgodeser DfD. Fremtidige mulige kostnadsøkninger eller -besparelser som følge av DfD anses på bakgrunn av disse forholdene ikke hensiktsmessig å diskontere ifm. LCA-analyser i dag knyttet til DfD-tiltak. *Økonomisk allokering som metode for fordeling av evt. økte klimagassutslipp knyttet til DfD forfølges derfor ikke videre.*

2.2.6 Metode 6: Allokering basert på økt materialbruk

Et alternativ for allokering av klimagassutslipp, og knyttet til sparte utslipp i fremtiden i en LCA ved tilrettelegging for DfD i dag, vil kunne baseres på økte utslipp som følge av eventuelle økte materialmengder knyttet til mer stål i knutepunkter, økt robusthet for lengre levetid m.m.

På samme måte som for økonomisk allokering, beskrevet i kapittelet over, vil en helhetlig DfD-design («integrert DfD-design» på lik linje med integrert energi- og miljødesign) innebære at byggets bærestruktur og øvrig utforming må tilrettelegge effektiv demontering samt egnethet for ombruk. I hvilken grad dette vil medføre økt materialbruk er vanskelig å anslå da alternativet uten DfD ikke blir prosjektert. DfD vil heller ikke nødvendigvis medføre økt materialbruk. Eksempelvis vil DfD for betonghulldekker måtte innebære at påstøp unngås eller reduseres for å lette demonteringen. Forslag til målbare kriterier for demonterbarhet og ombrukbarhet er utviklet i SirkBygg, og bør skal legges til grunn dersom DfD skal kunne hensyntas i klimagassberegninger. Dette omfatter retningslinjer for bygningsdesign langt ut over enkeltdetaljer for elementer. Dette innebærer at eventuelt økt materialforbruk for enkeltelementer som grunnlag for allokering ikke er hensiktsmessig. *Allokering av eventuelt økt materialforbruk som metode for fordeling av evt. økte klimagassutslipp knyttet til DfD følges derfor ikke videre.*

2.2.7 Metode 7: Conservative approach (for biogent innhold)

Denne metoden omhandler hvordan valgt allokering påvirker biogene opptak og utslipp. En konservativ allokering for biogent opptak og utslipp er frakoblet når opptak og utslipp faktisk skjer, men fokuserer på grunnlaget til *hvorfor* opptak/utslipp oppstår. Metoden er diskutert i kapittel 3.3.8.

2.2.8 Metode 8: Kombinasjon av metode 1 og 3 (for biogent innhold)

Også denne metoden omhandler hvordan valgt allokering påvirker biogene opptak og utslipp. En annen variant sammenlignet med Metode 7 kan være at det kun er opptaket av biogent karbon som fordeles på ulike bygg/sykluser, mens utslippet av biogent karbon allokeres til det bygget der utslippet skjer. Metoden er diskutert i kapittel 3.3.8, 5.2.9 og 5.2.10.

3 Allokeringsprinsipper for biogent karbon og karbonatisering

Dette kapitlet beskriver utfordringer i beregninger av opptak, lagring og utslipp av biogent karbon og karbonatisering når det regnes med produkter, materialer og elementer i bygg som designes for demontering og ombruk.

Hvis bygget designes for fremtidig ombruk av trevirke (dekker/bæresystem og annet), vil dette medføre at treproduktene ikke sendes til forbrenning i C1-C4. Trematerialene vil da ha et opptak av biogent karbon i A1-A3, men ikke noe utslipp av biogent karbon i C1-C4 (dvs. det kan antas lagring av biogent karbon i produktet til neste syklus).

Treproduktene som demonteres kan da sendes til et lager, og de ligger der tilnærmet «gratis» med tanke på produksjonsutslipp i A1-A3 for neste bygg. Det vil da være mulig å beregne klimagassutslipp fra treprodukter som demonteres for videre bruk med et opptak (negativt utslipp) av biogent karbon i A1-A3, og null i biogent utslipp fra avfallshåndtering (C1-C4): netto opptak (negativt utslipp) over livsløpet A1-C4.

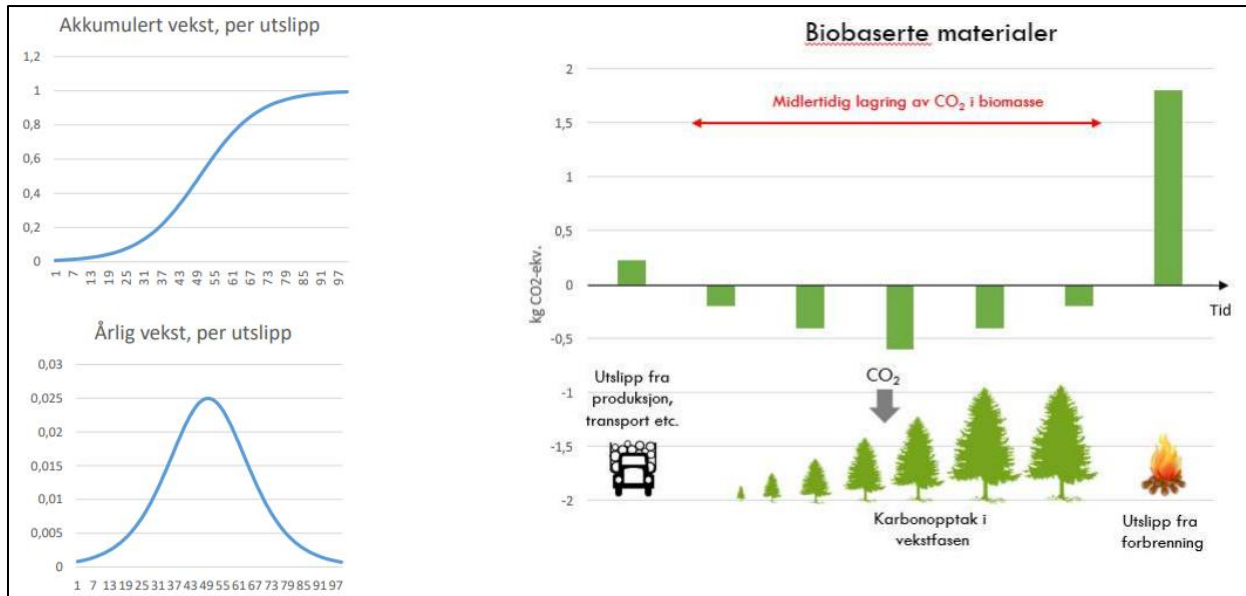
Dette gjelder også for produkter som inneholder betong og stål, men siden disse produktene har lavt utslipp fra C1-C4 sammenliknet med A1-A3, og ikke inneholder biogent karbon, blir det liten forskjell i beregningene om bygningsdelen av stål og betong blir lagt på lager ved design for demontering.

3.1 Biogent karbon: Ulike standarder

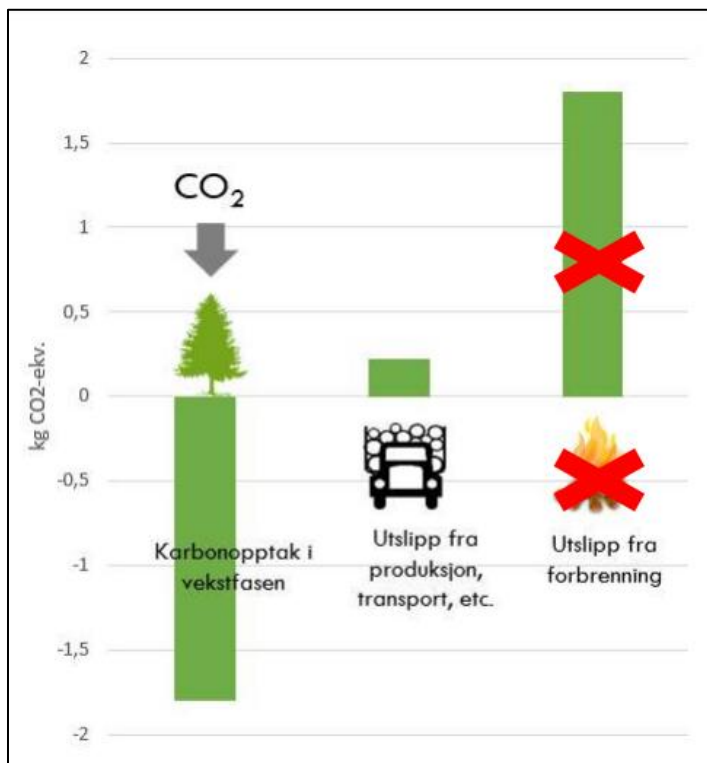
3.1.1 EN15804

Figur 9 viser opptak og utslipp av biogent karbon i biomasse (trær) over tid. I henhold til EN 15804 skal opptak og utslipp tilskrives den fasen opptaket og utslippet skjer, dvs. i A1-C4. Videre skal det antas *Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0) «polluter pays» prinsippet* (se kapittel 2.2.1). Innhold av biogent karbon vil alltid allokere iht. fysisk mengde, dvs. faktisk innhold av biogent karbon i kg og ikke allokert mengde basert på for eksempel økonomi.

For et produkt bestående av biomasse, medfører dette at opptak og lagring av biogent karbon inkluderes når biomassen vokser (A1-A3), mens utslipp av biogent karbon skjer når treproduktet forbrennes ved avfallshåndtering i (C1-C4).



Figur 9: Karbonopptak i biomasse og materialer. Kilde: Asplan Viak



Figur 10: Opptak og lagring av biogent karbon når utslipp fra forbrenning (C1-C4) unngås. Kilde: Asplan Viak

Eksempel for klimagassberegninger i et bygg

Tabell 2 viser eksempel på klimagassberegning for bygg med dekker av massivtre, med og uten scenario for fremtidig ombruk. Det er benyttet følgende antakelser for vurderingen.

Opptak biogent karbon i tre:

- Antar 300 mm dekke av massivtre: 3 800 m² BTA
- Totalt volum: 1 140 m³
- Opptak biogent karbon pr m³: 700 kg CO₂-ekv/m³ trevirke
- Totalt opptak i bygget (A1- A3): 798 tonn CO₂-ekv

I eksempelet er det benyttet allokeringemetode 1b: *Recycled content/cut-off (100:0) - polluter pays biogent*. Se kapittel 3.3.2 for detaljer.

Som Tabell 2 viser er det ved bruk av massivtredekker et opptak i A1-A3 på -798 tonn CO₂-ekv. Ved forbrenning og avfallshåndtering av dekker etter 60 år er det med dagens avfallshåndtering et forventet utslipp på 798 tonn CO₂-ekv, dvs. samme som opptaket i A1-A3. Ved et scenario der tredekket designes for fremtidig ombruk, antas at tredekket, ved demontering av bygget, ikke ender opp som avfall, og derfor unngås fremtidig utslipp fra forbrenning i C1-C4. Tredekket i bygget kan derfor regnes med et netto negativt utslipp (opptak) på - 798 tonn CO₂-ekv (A1-C4).

Tabell 2: Eksempel på klimagassberegning for bygg med dekker av massivtre, med og uten scenario for fremtidig ombruk. Tall i kolonnen til venstre er fossile utslipp uten biogent karbon.

Eksempler: kontorbygg 3 800 m ² BTA			
Materialer, Resultat, klimapåvirkning, 60 år. tonn CO ₂ -ekv		Biogent karbon - ikke design for ombruk	Biogent karbon - design for ombruk
A1 - A3	993	-798	-798
A4	129	0	0
A5 - Montering og svinn	38	0	0
A5 - Gjennomsnittlig byggeplass	70	0	0
B4 - B5	396	0	0
C1 - C4	41	798 (brenning)	0 (ikke brenning - ombruk)
D	<i>Ikke med</i>	<i>Ikke med</i>	<i>Ikke med</i>
Sum	1 668	0	-798

Reduksjon bygg: 1 668 tonn CO₂e – 798 tonn CO₂e = 870 tonn CO₂e (48% reduksjon)

3.1.2 FutureBuilt

I regnereglene i FutureBuilt ZERO er innhold av karbon i et produkt frikoblet det fysiske innholdet (som beskrevet i EN 15804), men koblet til tilvekst av ny skog. Et treprodukt som brukes i bygget lagrer ikke karbon før nytt trevirke har vokst opp og fanget og lagret karbon via fotosyntese.

Tilvekst i skog fører til karbonopptak gjennom byggets levetid, med forutsetning om at skogen vokser opp igjen. Utslipp og opptak tidsvektes i tillegg: 1 tonn CO₂-ekv utslipp i dag er «verdt» mer enn 1 tonn CO₂-ekv utslipp om 60 år. I beregningene har det derfor stor betydning for når i byggets levetid opptaket skjer, og levetid på produktene.

Det biogene opptaket beregnes videre slik at det maksimalt kan være av samme størrelse som summen av utslipp fra avfallshåndtering av treproduktet og 75% av utslipp fra materialfremstilling (uten transportutslipp).

Denne regneregelen gjelder først og fremst når det benyttes nye råvarer direkte fra skogen. Regnereglene i FutureBuilt ZERO beskriver ikke hvordan dette skal håndteres når råvarer inn til bygget er ombruksmaterialer eller riveavfall fra tidligere bygg, som for eksempel trevirke som allerede er benyttet 60 år i et bygg. Da har jo allerede nytt trevirke vokst opp og fanget og lagret karbon via fotosyntese. Det anbefales at dette inkluderes i en fremtidig revisjon av FutureBuilt ZERO kriterier.

3.2 Karbonatisering av karbon i betong

Omtrent halvparten av karbondioksidutslippene fra sementproduksjon stammer fra kalsineringsprosessen, der kalkstein brennes og frigir CO₂-ekv. Teoretisk vil herdet betong gradvis binde opp igjen den samme mengden CO₂ når den er i kontakt med luft, og det er dette som kalles karbonatisering (Kjellsen et al., 2005)¹⁶. Mens i praksis er betongens evne til å binde CO₂-ekv og hastigheten av prosessen, avhengig av mange variabler, inkludert typen av betong og dens anvendelse. [...]

Karbonatisering av betong er en kjemisk reaksjon der karbondioksid (CO₂) i atmosfæren reagerer med kalsiumoksid (CaO) og blir til kalsiumkarbonat (CaCO₃). Hvor mye karbon som absorberes og i hvilket tempo dette skjer, avhenger av en rekke faktorer som type betong, areal på overflate til betongproduktet, overflatebehandling og miljøet rundt. Overflater som er i direkte kontakt med karbondioksid fra luften karbonatiserer raskt, mens belagt betong karbonatiserer i et mye saktere tempo (Kjellsen et al., 2005).

Kilde: Norsus (Østfoldforskning) 2014, OR.01.14 *Karbonopptak i betong i LCA og EPD. Status og videre anbefalinger*¹⁷

Det er i eksempelet, vist i Tabell 3, estimert et karbonopptak for vegg og hulldekke av betong, fordelt på opptak over 60 år og 100 år.

Tabell 3: Estimert opptak av karbon ved karbonatisering i betong, 0-100 år,

	År	Opptak pr m ² , kg CO ₂ -ekv /m ²		Volum m ³ /m ²	Opptak pr m ³ , kg CO ₂ -ekv /m ³	
		B1-B5	C1-C4		B1-B5 – bruk	C1-C4 – 90 % knusing
Betongvegg, innervegg (ubehandlet), 180 mm	0 – 60	-9,2	-0,116	0,18	-51,1	-0,64
	0-100	-11,9	-0,08	0,18	-66,1	-0,44
Hulldekke, HD320	0 – 60	-7,7	-0,51	0,16	-46,8	-3,10
	0-100	-10	-0,48	0,16	-60,8	-2,92
Snittfaktor, opptak karbonatisering år 0-60					-49,0	-1,9
Snittfaktor, opptak karbonatisering år 60-100					-14,5	0,2

Basert på resultater vist i

Tabell 3 antas det en snittfaktor for opptak fra karbonatisering i år 0-60 og en snittfaktor fra opptak karbonatisering i år 60-100 som kan benyttes når produkter av betong ombrukes i nytt bygg.

Som en forenkling kan det som utgangspunkt antas at opptak fra karbonatisering i år 0-60 og år 60-100 også er gjeldende for bygg der levetid/beregningsperiode er satt til 50 år: hhv. karbonatisering i år 0-50 og karbonatisering i år 50-100. Faktorer vist i Tabell 3 er benyttet videre i beregninger i kapittel 5.

¹⁶ Kjellsen, K.O., Guimaraes, M. og Nilsson, Å. (2005): CO₂ uptake during the concrete life cycle: The CO₂ Balance of Concrete in a Life Cycle Perspective. Main Project report: Results and conclusions, Nordic Innovation Centre, December 2005.

¹⁷ <https://norsus.no/wp-content/uploads/720-1.pdf>

3.3 Hvordan påvirker valgt allokering biogene opptak og utslipp?

Valgt allokering for utslipp fra produksjon og resirkulering av produkter som beskrevet i kapittel 2.2 gjelder primært for fossile utslipp. Det er ikke vanlig å inkludere biogent karbon (opptak, lagring og utslipp) i allokeringen. Regneregler og allokering av utslipp for resirkulerte produkter og biogene opptak/utslipp er ikke samkjørte¹⁸. Dette er også beskrevet i EN 15804 hvor det står at biogent karbon skal følge det fysiske produktet og ikke allokeres med samme metode som fossile utslipp. Basert på dagens praksis er det da ikke normalt å allokere opptak og lagring av biogent karbon i trematerialer over flere bygg/sykluser: Det er kun volum/vekt av benyttede treprodukter som er avgjørende for opptak og lagret biogent karbon.

For å være konsekvent i valg av allokeringsmetode bør det som hovedprinsipp benyttes samme allokering- og beregningsregel for fossile utslipp som biogene opptak/utslipp. Når utslipp fordeles mellom ulike bygg og sykluser bør dette også gjelde for opptak og lagring.

Følgende kapitler beskriver hvordan ulike allokeringsmetoder i klimagassberegninger påvirker opptak og utslipp av biogene utslipp i produkter som inneholder biomasse (treprodukter).

Som grunnlag for å vurdere allokering av utslipp og opptak av klimagasser for neste syklus, når byggematerialer overføres fra ett bygg til neste, er det tatt utgangspunkt i studien *Carbon footprint of recycled biogenic products: the challenge of modelling CO₂-ekv removal credits*¹⁸.

Denne studien fokuserer på innhold av biogent karbon ved ombruk og resirkulering av produkter basert på biomasse, men vi benytter prinsippene også for produkter som ikke består av biomasse (fossile utslipp).

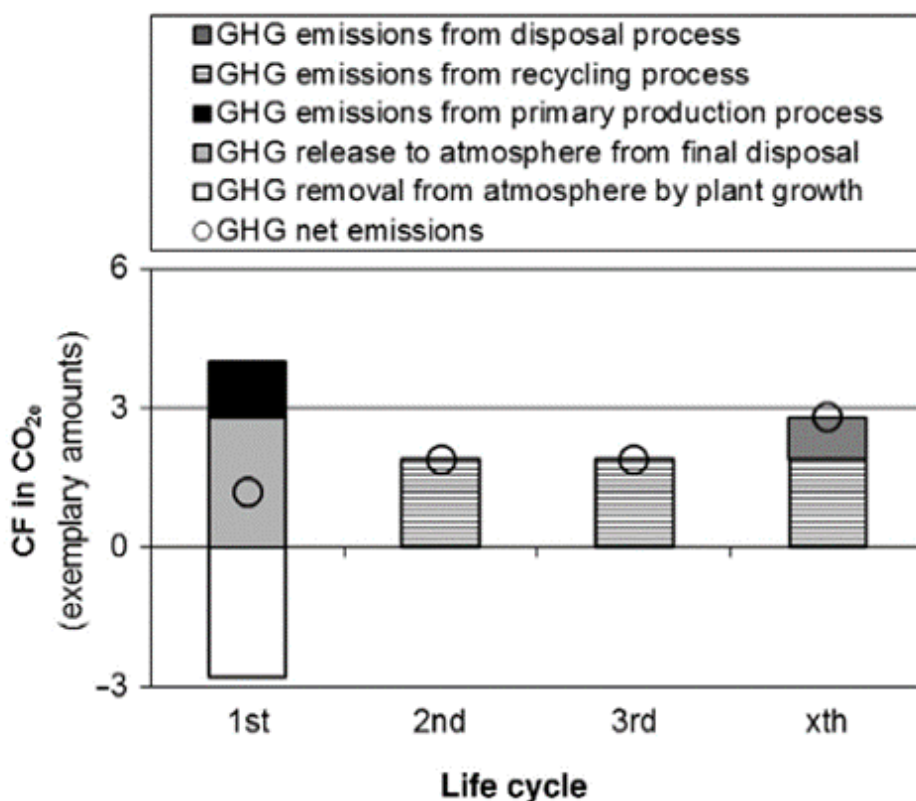
¹⁸ Matthias Finkbeiner, Sabrina Neugebauer & Markus Berger (2013) Carbon footprint of recycled biogenic products: the challenge of modelling CO₂ removal credits, International Journal of Sustainable Engineering, 6:1, 66-73, DOI: . <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19397038.2012.663414>

3.3.1 Metode 1a biogent: Recycled content/cut-off (100:0) - dagens praksis biogent (IOBC).

Dette er dagens praksis. I klimagassberegninger for materialer og bygg er det som standard benyttet *recycled content/cut-off* for fossile utslipp. Når det gjelder biogene utslipp og opptak, allokeres det som standard 100% av opptak og 100% av utslipp til første bruk, selv om produktet ikke brennes og fysisk har et utslipp av lagret biogent karbon etter første bruk/syklus, se Figur 11. Det er også vanlig å beskrive dette som umiddelbar oksidasjon av biogent karbon (IOBC) ved at over livsløpet (A1-C4) er opptak av biogent karbon lik utslipp av biogent karbon og settes derfor til 0, gitt at trevirke kommer fra bærekraftig skogbruk og sertifisert med PEFC, FSC eller tilsvarende.

Dette medfører at bruk av resirkulerte treprodukter eller ombruk av treprodukter som er tilgjengeliggjort for ombruk iht. regnereglene, ikke inneholder noe lagret biogent karbon. Bruk av ombrukte treprodukter og forbrenning av ombrukte treprodukter vil dermed ikke medføre opptak/utslipp av biogent karbon.

Dette medfører også at det ikke gis noe intensiv ved redusert utslipp for å unngå forbrenning av treprodukter ved å designe for demontering og ombruk eller resirkulering av materialer. Dette er illustrert i figuren under.



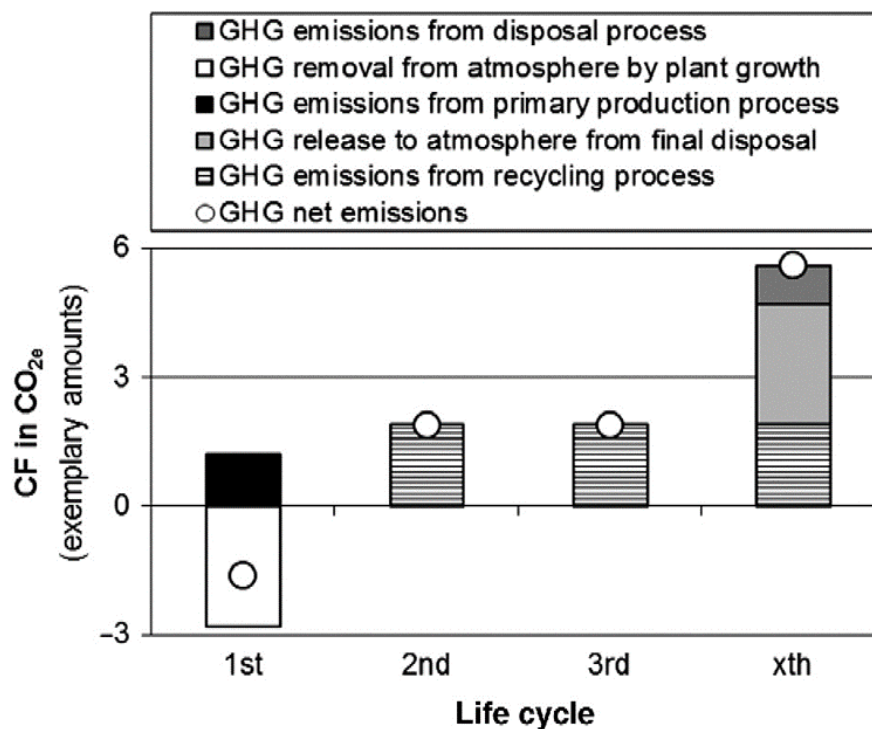
Figur 11: Opptak og utslipp av biogent karbon for ulike livsløp for bygg, Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0) - dagens praksis biogent (IOBC). Kilde: Finkbeiner et al 2013.

3.3.2 Metode 1b biogent: Recycled content/cut-off (100:0) - polluter pays biogent

Denne allokeringen allokere opptak og utslipp av biogent karbon til ulike bygg/sykluser, der de oppstår. Allokeringen for fossile utslipp er ellers tilsvarende dagens praksis (recycled content/cut-off), se Figur 12.

Fordelen med denne allokeringen er at det gir motivasjon til å ikke sende trevirke til forbrenning, dvs. tilrettelegge for ombruk, da utslipp fra forbrenning kun regnes med når det faktisk skjer. Dette kan motivere for design for demontering og ombruk. Det kan være en utfordring i å vite om et innkjøpt treprodukt er nytt eller ombrukt, da kun nye treprodukter iht. regneregler inkluderer opptak av biogent karbon (i første bygg/syklus). Videre kan det favorisere bruk av kun nye treprodukter i nybygg da opptak av biogent karbon kun tildeles nye produkter (som da kan få et netto negativt utslipp).

Denne metoden er tilsvarende det som ligger til grunn for dagens regneregler for klimaberegninger i Powerhouse.



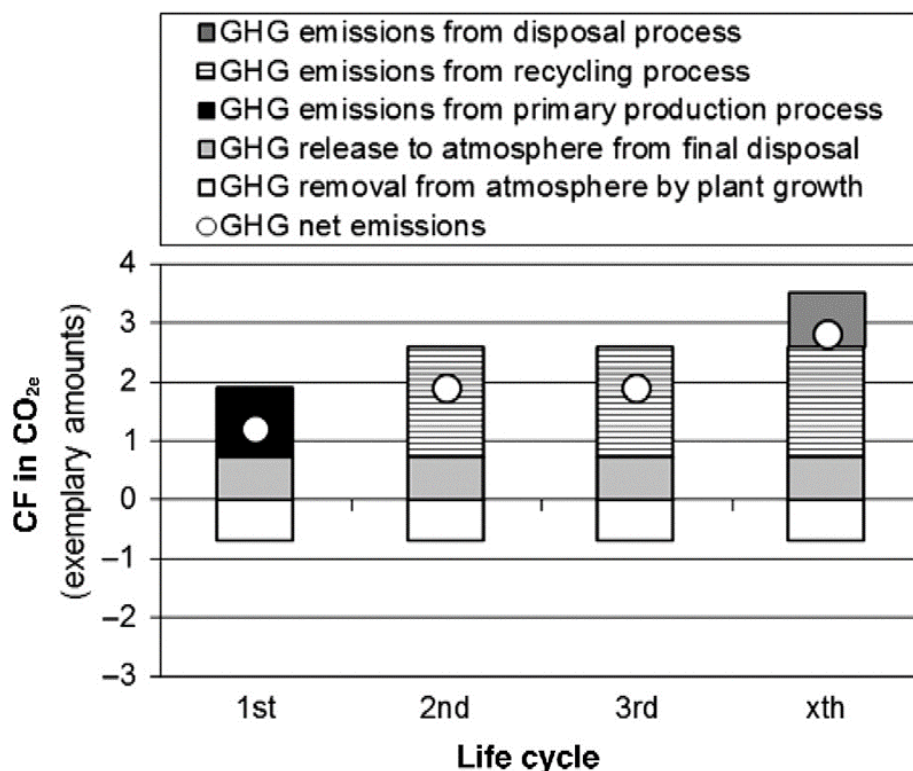
Figur 12: Opptak og utslipp av biogent karbon for ulike livsløp for bygg, Metode 1b: Recycled content/cut-off (100:0) - polluter pays med biogent. Kilde: Finkbeiner et al 2013.

3.3.3 Metode 2 biogent: Substitution/end of life recycling/avoided burden (0:100)

Ikke beskrevet ytterligere da denne ikke brukes videre i beregninger. Se kapittel 2.2.2 for begrunnelse.

3.3.4 Metode 3 biogent: Partitioning approach (50:50)

I «Partitioning approach» er opptak/utslipp fordelt jevnt mellom de ulike byggene/syklusene, uavhengig av hvor opptak/utslipp faktisk skjer. Avhengig av fordeling kan opptak og lagring ved produksjon av nytt materiale og utslipp ved avfallshåndtering (forbrenning) fordeles mellom a) første bygg/syklus (når produkter produseres) og siste bygg/syklus (når produktet avfallshåndteres), som beskrevet i kapittel 2.2.3, eller b) fordeles likt på hver bygg/syklus som vist i Figur 13.



Figur 13: Opptak og utslipp av biogent karbon for ulike livsløp for bygg, Metode 3: Partitioning approaches (50:50) med biogent karbon. Kilde: Finkbeiner et al 2013.

3.3.5 Metode 4 biogent: Circular Footprint Formula (A-metoden / A-faktor)

Se kapittel 2.2.4 for beskrivelse. Benyttet A-faktor påvirker opptak og utslipp av biogent karbon på samme måte som det påvirker fossilt karbon.

3.3.6 Metode 5 biogent: Økonomisk allokering

Ikke aktuelt for biogene opptak/utslipp.

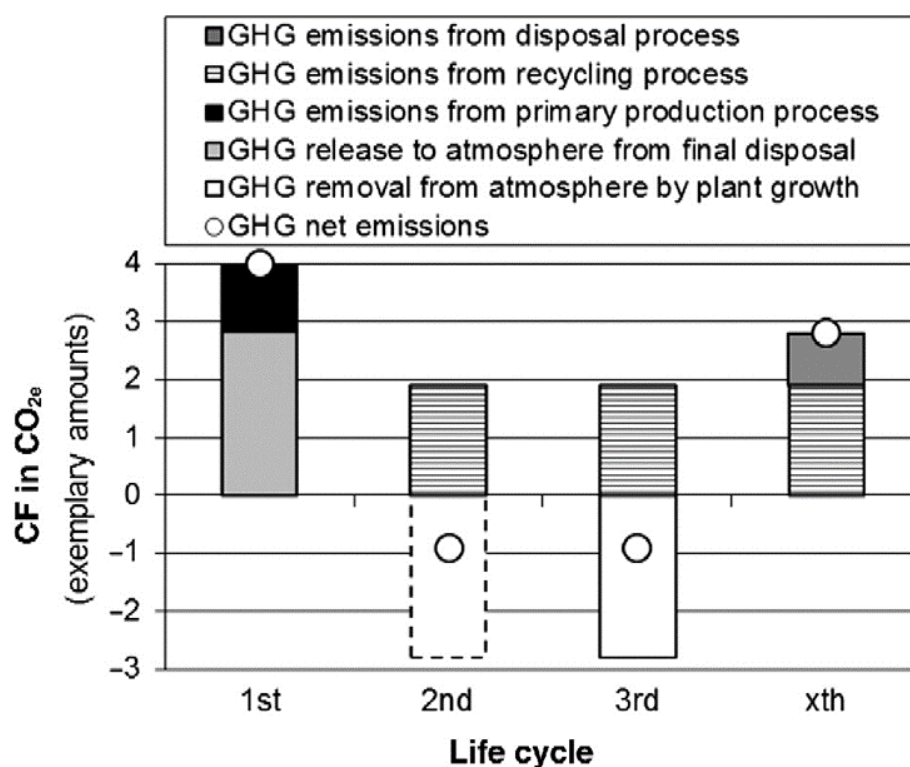
3.3.7 Metode 6 biogent: Allokering basert på økt materialbruk

Ikke aktuelt for biogene opptak/utslipp.

3.3.8 Metode 7 biogent: Conservative approach

En konservativ allokering for biogent opptak/utslipp er frakoblet når opptak/utslipp faktisk skjer, men fokuserer på grunnlaget til hvorfor opptak/utslipp oppstår. Med denne allokeringen er biogent utslipp fra forbrenning av treprodukter allokert til første bygg/syklus, da bruk av treprodukter *en gang i fremtiden vil medføre et utslipp fra forbrenning av tre*. Effekt av lagret biogent karbon krediteres hvert bygg/syklus som *ikke sender treprodukt til forbrenning*, se Figur 14.

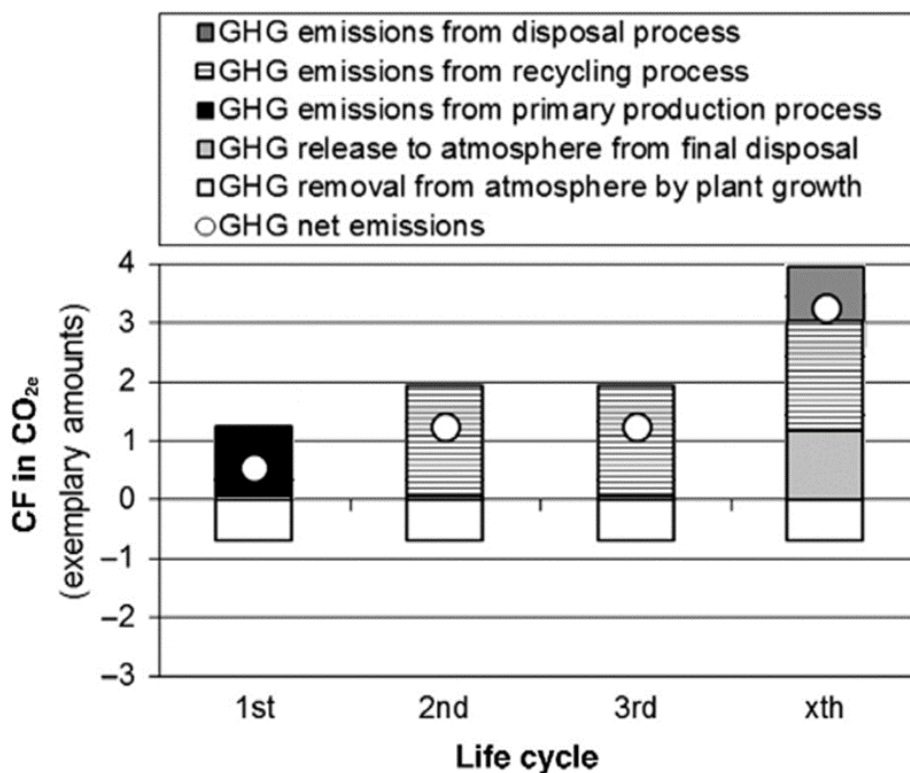
Dette medfører at det gis en motivasjon til å gå for ombruk av produkter som inneholder lagret biogent karbon, men første gangs bruk av treprodukter kan få et konservativt og unaturlig høyt utslipp.



Figur 14: Opptak og lagring av biogent karbon for ulike livsløp for bygg, Metode 7: Conservative approach. Kilde: Finkbeiner et al 2013.

3.3.9 Metode 8 biogent: Kombinasjon av metode 1b og metode 3

En annen variant kan være at det kun er opptaket av biogent karbon som fordeles på ulike bygg/sykluser, mens utslippet av biogent karbon allokeres til det bygget der utslippet skjer (tilsvarende metode 1b: recycled content/cut-off polluter pays). Dette er vist Figur 15. Dette er en kombinasjon av metode 1b: Recycled content/cut-off (100:0) - polluter pays og metode 3 partitioning approach (50:50)



Figur 15: Opptak og utslipp av biogent karbon for ulike livsløp for bygg, Metode 8: Kombinasjon av «Partitioning approaches» og «Polluter pays approach». Opptaket fordeles på ulike bygg/sykluser, mens utslippet fra forbrenning allokeres til det bygget der utslippet skjer (tilsvarende polluter pays). Figuren er en kombinasjon av Figur 12 og Figur 13.. Kilde: basert på Finkbeiner et al 2013.

4 Tidsperspektiv, teknologisk utvikling og sannsynlighet for ombruk

En klimagassberegning tar hensyn til hele livssyklusen til en bygning, inkludert aktiviteter under byggefasen og estimater for hendelser gjennom bygningens levetid, mange tiår frem i tid. Fremtiden er usikker, og det er umulig å nøyaktig forutsi hva som vil skje med bygget og samfunnsutviklingen for øvrig. Ombrukbarhet, altså tilrettelegging for fremtidig ombruk av produkter, involverer en stor grad av usikkerhet nettopp fordi ombruket skjer frem i tid. Usikkerheten går både på om og når et eventuelt ombruk vil skje, og hvor stor nytteverdi et slikt ombruk vil ha for samfunnet på det tidspunktet det skjer.

Det hensyntas her en generell usikkerhet rundt samfunnsutviklingen og at prioriteringer og prosesser i samfunnet vil endres. Grunnet denne usikkerheten kan det argumenteres for å prioritere handlinger som har umiddelbare eller nærliggende utslippseffekter over tiltak som vil ha utslippseffekter langt frem i tid. Både fordi samfunnsutviklingen i større eller mindre grad kan ha endret retning, og fordi dagens planleggere har liten kontroll på fremtidige hendelser, kontra dagens hendelser. I tillegg er det et klimapolitisk mål å raskt redusere utslipp de neste årtiene, som er nødvendig for å begrense den globale oppvarmingen.

Dette kapitlet presenterer argumentasjonen for hvorfor DfD-metodikken bør ta hensyn til effektene av at ombruk skjer langt frem i tid. Det bør inkluderes vurderinger av sannsynligheten for ombruk, teknologisk utvikling knyttet til materialproduksjon (teknologivekting), og vurderingen av betydningen av tidspunktet klimafordeler oppstår (tidsvekting).

De tidsrelaterte aspektene ved metodikk for ombrukbarhet er her delt inn i

1. Sannsynligheten for ombruk
2. Teknologitvikling for materialproduksjon
3. Tidsvekting - tidshorisont for klimapåvirkninger

Disse tre aspektene kan anvendes uavhengig av hverandre, altså kan en velge hvilke en skal inkludere avhengig av formålet. FutureBuilt anbefaler at det i de fleste tilfeller anvendes samlet slik det blir gjort her.

Sentrale referanser for dette kapitlet er:

- Resch, Eirik, et al. "Estimating dynamic climate change effects of material use in buildings— Timing, uncertainty, and emission sources." *Building and Environment* 187 (2021): 107399.
- Resch, Eirik, et al. "FutureBuilt Zero-Materialer og Energi Metodebeskrivelse." Norway: FutureBuilt (2021).
- Resch, Eirik, et al. "FutureBuilt Zero-A simplified dynamic LCA method with requirements for low carbon emissions from buildings." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1078. No. 1. IOP Publishing, 2022.

4.1 Steg 1. Sannsynlighet for ombruk

4.1.1 Avfallshåndtering

Selv om det ikke er mulig å vite med sikkerhet om produkter og bygningsdeler faktisk vil ende opp med å bli ombrukt eller bli avfallshåndtert på annen måte, er det likevel mulig å anslå sannsynligheten for at produktet blir ombrukt. Denne sannsynligheten inngår som en del av scenariet for End-of-Life (EoL), altså scenariet for slutten av levetiden til produktet. Dette innebærer å tildele sannsynligheter til ulike

utfall ved produktets levetidsslutt, for eksempel deponering, avfallsforbrenning, resirkulering og ombruk.

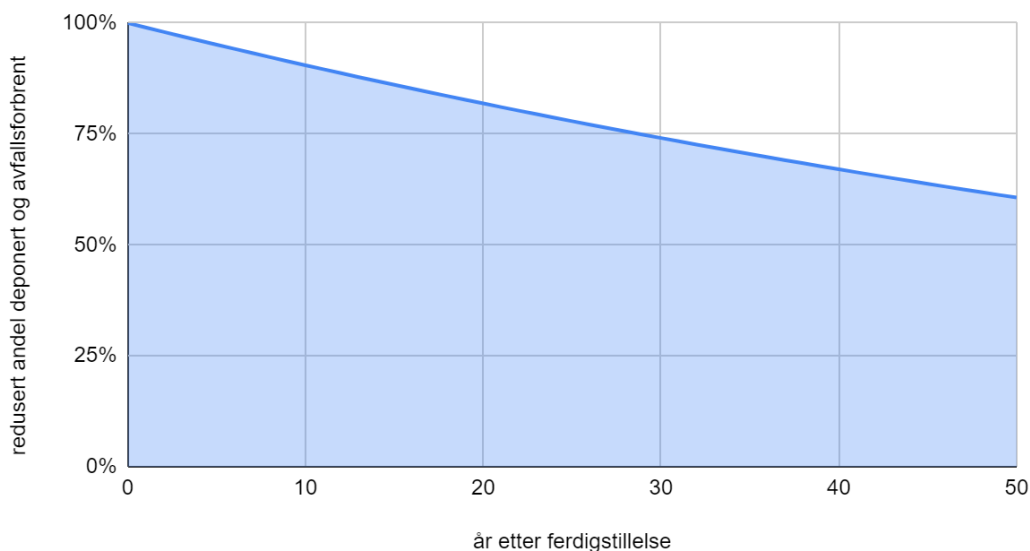
For å unngå subjektive vurderinger, bør disse sannsynlighetene baseres på dagens praksis for avfallshåndtering - altså: "Hvordan ville produktet blitt avfallshåndtert om det ble fjernet fra bygget i dag?". Et gitt produkt kan for eksempel gis en sannsynlighet for EoL-scenario på 5% deponi, 65% avfallsforbrenning, 10% resirkulerbarhet, og 20% ombrukbarhet. Summen av denne fordelingen blir alltid 100%.

Endringene i samfunnets praksis for avfallshåndtering frem i tid kan hensyntas av en separat, generell utviklingsfunksjon som er lik for alle produkter. Teknologi og samfunnsendringer fører til at avfallshåndtering flyttes fra ikke-sirkulært deponi og forbrenning, til de foretrukne sirkulære alternativene for avfallshåndtering: resirkulering og ombruk.

Denne samfunnsutviklingen blir her beskrevet av en eksponentialfunksjon, som hvert år frem i tid endrer dagens praksis en gitt mengde. En slik matematisk funksjon er e^{-k*t} , hvor k er faktoren for den årlige endringen i forhold til året før, og t er antall år frem i tid.

Eksempel: Med en årlig endring på $k=1\%$, og et EoL-scenario som inntreffer 30 år frem i tid, vil en få $e^{(-0,01*30)}=0,741=74\%$. Altså vil kun 74% av dagens scenario for deponi, faktisk gå til deponi, og på samme måte, 74% av dagens scenario for avfallsforbrenning vil gå til avfallsforbrenning. De reduserte mengdene avfall til deponi og forbrenning flyttes til resirkulering og ombruk, og fordeles likt mellom de to.

Samfunnsendring i avfallshåndtering



Figur 16: Antatt samfunnsutvikling i avfallshåndtering, i år etter ferdigstillelse

Gitt eksempelet ovenfor, hvor 5% går til deponi, 65% til avfallsforbrenning, 10% resirkulert, og 20% ombrukt, vil det om 30 år se slik ut:

Redusert andel blir deponert og avfallsforbrent

$$\begin{aligned} 5\% * 74\% &= 3.7\% \text{ blir deponert} \\ 65\% * 74\% &= 48\% \text{ blir avfallsforbrent} \end{aligned}$$

Den reduserte andelen blir totalt

$$\begin{aligned} (5\%+65\%) * (1-74\%) &= (5\%+65\%)-(3.7\%+48\%) = \\ 70\% * 26\% &= 18\% \\ /2 &= 9.1\% \end{aligned}$$

blir forskjøvet fra deponi og avfallsforbrenning til resirkulering og ombruk

Den reduserte andelen blir fordelt likt mellom resirkulert og ombrukt

$$\begin{aligned} 10\% + 9.1\% &= 19\% \text{ blir resirkulert} \\ 20\% + 9.1\% &= 29\% \text{ blir ombrukt} \end{aligned}$$

Dette viser hvordan andelene av avfallstypene endrer seg over en periode på 30 år, basert på den antatte samfunnsutviklingen. Deponi, avfallsforbrenning, og resirkulerbarhet beregnes med separate metoder. For å beregne effekten av ombrukbarhet, trenger vi kun å ta med oss fra eksempelet at det er en sannsynlighet på 29.1% for at produktet blir ombrukt når produktet går til avfallshåndtering om 30 år.

4.1.2 Teknisk tilrettelegging for DfD

Demontering og ombruk i fremtiden vil neppe kunne skje om det ikke teknisk tilrettelegges for dette ved første gangs bruk. Kun endringer i regelverk eller andre sterke insentiver (som høye kostnader for avfallsbehandling, deponi, materialknapphet osv.), noe tilsvarende Alternativ 1, vil «overstyre» begrensningen ved at nye bygg ikke tilrettelegger teknisk for rasjonell demontering og ombruk i fremtiden.

I SirkBygg er det jobbet med metode for målbare kriterier for demontering og ombruk, som er et forsøk på å sannsynliggjøre i hvilken grad fremtidig demontering og ombruk lar seg gjennomføre rasjonelt. I dette arbeidet er det utviklet en DfD-indeks for ombrukskomponentene, hvor det tas hensyn til både overordnede kriterier for at demontering og ombruk skal kunne gjennomføres rasjonelt (f.eks. hensyn til global stabilitet i de bærende konstruksjonene), samt kriterier for de enkelte komponentene (f.eks. grad av påstøp på betonghulldekker). Kriteriene tar utgangspunkt i kostnader knyttet til demontering- og ombruksprosessen sett opp mot kostnader ved å bruke nye bygningskomponenter. Kostnads-vurderingen baseres på dagens praksis. I denne metoden beregnes en DfD-faktor for de enkelte elementene. DfD-faktoren vil utgjøre mellom 0 og 1, og skal multipliseres med klimagassreduksjonen knyttet til DfD for de enkelte elementene. Metoden er beskrevet i rapport fra Sirkbygg¹⁹.

4.2 Steg 2. Teknologiutvikling for materialproduksjon

Nytteverdien av ombruk avhenger av hvor mye klimagassutslipp som spares i forhold til produksjon av nye produkter. Dette krever at en tar hensyn til teknologiutviklingen i produksjonsprosesser knyttet til materialer. Denne utviklingen kan også beregnes som en eksponentiell funksjon som tar hensyn til årlige endringer.

¹⁹ Målbare kriterier for DfD (design for demontering og ombruk). Rapport Sirkbygg 2024. Forfattere (alle Skanska): Marie Male Kalstø, Marit Kindem Thyholt, Sverre Smeplass

Nytteverdien av ombruk på et gitt tidspunkt i fremtiden, med hensyn til klimagassreduksjoner, vil avhenge av blant annet hvor mye klimagassutslipp som blir spart ved å ombruke produktet i stedet for å produsere et nytt produkt. Siden det ombrukte produktet erstatter produksjon av et nytt produkt, er det nødvendig å hensynta en generell samfunnsutvikling, spesielt med tanke på klimagassreduksjoner i produksjonsprosessene av materialer. Denne fremtidige utviklingen beregnes som en eksponentielt avtakende funksjon, på lik måte som for utviklingen i EoL-scenarier, $e^{-k \cdot t}$, hvor k er faktoren for den årlige endringen i forhold til året før, og t er antall år frem i tid. Eksempel: Med en årlig endring på $k=1\%$, og et EoL-scenarier som inntreffer 30 år frem i tid, vil en få $e^{(-0.01 \cdot 30)}=0.741=74\%$. Altså vil kun 74% av dagens produksjonsutslipp for produktet kunne bli spart av et ombruk om 30 år.

Denne vurderingen tar ikke hensyn til at ombruk vil bidra til å spare materialressurser, og dermed også naturinngrep. Dette er diskutert i kapittel 5.3.2.

4.3 Steg 3. Tidsvekting - tidshorisont for klimapåvirkninger

Tidspunktet for klimagassutslipp og reduksjoner må vurderes nøye med tanke på målet om å begrense global oppvarming. Når vi fastsetter en tidshorisont, for eksempel 100 år, blir det åpenbart at utslipp som skjer tidligere vil ha en større innvirkning på den globale oppvarmingen i løpet av denne tidsperioden sammenlignet med utslipp som skjer senere.

Det er av avgjørende betydning å ta hensyn til den langsiktige effekten av klimagassutslipp på global oppvarming og bestemme hvordan vi best kan handle for å begrense den globale oppvarmingen og nå våre klimamål.

For å oppnå nasjonale klimamål og begrense den globale oppvarmingen, må vi være oppmerksomme på tidspunktet for både utslipp og opptak av klimagasser. Det er gunstig å utsette utslipp så lenge som mulig for å oppnå dette målet. Dette skyldes at utslipp som skjer i dag vil ha lengre tid til å påvirke atmosfæren frem til 2050 enn utslipp som skjer senere. Jo lenger klimagassene forblir i atmosfæren, jo større blir deres bidrag til oppvarming i løpet av den angitte perioden. Derfor må vi i praksis fastsette en tidsramme for når vi har som mål å begrense eller hindre global oppvarming. Dette innebærer at vi må vekte alle utslipp og opptak i henhold til når de forekommer i fremtiden, slik at denne vektingen samsvarer med oppvarmingen i løpet av tidsrammen.

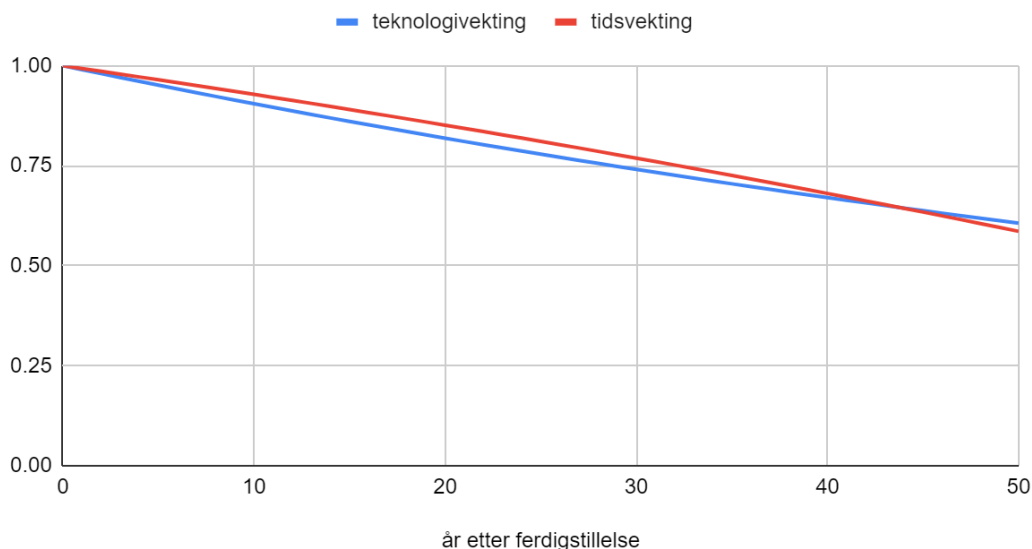
En vekting på tid vil også redusere usikkerhet i beregningene. Potensielt ombruk vil først oppstå når et produkt ikke lenger skal brukes i en bygning, og det kan variere fra noen få år til mer enn 100 år frem i tid. Jo lenger frem i tid, jo høyere blir usikkerheten. En slik vekting vil motvirke denne usikkerheten og gi oss mer nøyaktige resultater.

For å håndtere disse effektene, kan vi bruke vektingsfaktorer for fremtidige utslipp. Dette betyr at utslipp multipliseres med en faktor mellom null og én, avhengig av hvilket år utslippet skjer. Slike vektingsfaktorer ble presentert i metoden for klimagassberegninger FutureBuilt ZERO, som består av en teknologifaktor, og en tidsfaktor for en 100 års tidsramme. Faktorene er presentert i Tabell 5 til og med år 50. Disse faktorene bygger igjen på metodikken presentert i Resch et al. 2021²⁰. Teknologifaktoren reduserer fremtidige utslipp med $e^{(-0.01t)}$, der t representerer antall år etter det

²⁰ Resch, Eirik, et al. "FutureBuilt Zero-A simplified dynamic LCA method with requirements for low carbon emissions from buildings." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1078. No. 1. IOP Publishing, 2022

første driftsåret, for å ta hensyn til årlige teknologiske forbedringer på omtrent 1%. Tidsvektingsfaktoren reduserer utslipp for fremtiden med $2 \cdot e^{-(0,00693t)}$, for å ta hensyn til den reduserte påvirkningen de forsinkede utslippene har på global oppvarming i løpet av en forhåndsdefinert 100-årsperiode fra første driftsår. Til sammen fungerer begge disse faktorene - teknologivektingen og tidsvektingen - også som en usikkerhetsreduksjon. Samlet sett fungerer både teknologivekting og tidsvekting også som en reduksjon i usikkerheten. Utslipp som skjer i fremtiden, gis mindre betydning enn utslipp som skjer i byggeårene.

Teknologi og tidsvekting



Figur 17: Teknologi- og tidsvekting, i år etter ferdigstillelse

4.4 Total effekt av ombruk - steg 1-3

Den totale effekten av ombruk kan beregnes ved å multiplisere sannsynligheten for ombruk (i eksempelet benyttet Alternativ 1), teknologifaktoren, og tidsfaktoren for året produktet avfallshåndteres. For eksempel, dersom produksjonsutslipp for produktet (A1-A3) er 50 kg CO₂-ekv, sannsynligheten for ombruk er 29.1%, teknologifaktoren er 74%, og tidsfaktoren er 77%, blir den totale klimagassbesparelsen ved ombruk om 30 år:

$$\begin{aligned}
 &50 \text{ kg CO}_2\text{-ekv} \cdot (0,291 \text{ (sannsynlighet)}) \cdot 0,74 \text{ (teknologifaktor)} \cdot 0,77 \text{ (tidsfaktor)} \\
 &= 50 \text{ kg CO}_2\text{-ekv} \cdot 0,166 \text{ (avvergede produksjonsutslipp)} \\
 &= 8,3 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}
 \end{aligned}$$

Den direkte effekten av ombruk for dette produktet blir altså -8.3 kg CO₂-ekv, som rapporteres i modul D. Under vises en oversikt over hele utregningen gjennom steg 1-3.

EoL-scenario i byggeår

Deponi	5%
Avfallsforbrenning	65%
Resirkulering	10%
Ombruk	20%
<i>sum</i>	<i>100%</i>

Produktets levetid 30 år

EoL-scenario ved endt levetid

	<i>faktor</i>		<i>flyttet fra ikke-sirkulært til sirkulært</i>	
Deponi	74%	4%	→	1.3% 18%
Avfallsforbrenning	74%	48%	→	17% ↓
Resirkulering		19%	←	9.1% ← / 2
Ombruk		29%	←	9.1%
<i>sum</i>		<i>100%</i>		

Estattede produksjonsutslipp ved endt levetid

Produksjonsutslipp i byggeår	<i>faktor</i>	50 kg CO ₂ e	<i>fra EPD</i>
Erstattede produksjonsutslipp ved endt levetid	0.29	15 kg CO ₂ e	<i>etter sansynlighet for ombruk</i>
Produksjonsutslipp ved endt levetid	0.74	11 kg CO ₂ e	<i>etter teknologivekting</i>
Tidsvektede erstattede produksjonsutslipp	0.77	8.3 kg CO₂e	<i>etter tidsvekting</i>
	0.17	<i>totalfaktor</i>	

I tillegg til denne direkte effekten kommer også en annen viktig, indirekte effekt av ombruket, nemlig de avvergede utslippene fra deponi og avfallsforbrenning. Dette avhenger av End-of-Life-scenariene, og endringer i disse scenariene kan føre til betydelige utslipp som må tas i betraktning. I eksempelet over var dagens EoL-scenario satt til 20% sannsynlighet for ombruk. Om denne derimot hadde vært 0%, ville disse 20% vært flyttet til deponi, avfallsforbrenning, og eventuelt resirkulerbarhet. For enkelthets skyld antar vi et scenario der de 20% flyttes til avfallsforbrenning, altså blir avfallsforbrenningsandelen økt fra 65% til 85%, som med samfunnsendringer etter 30 år øker fra 48% til 63%. Altså blir omtrent 15% mer av produktet avfallsforbrent, som fører til utslipp for det oksiderte karboninnholdet i produktet. For et massivtre eller plastprodukt vil dette kunne tilsvare utslipp i størrelsesorden 1-10 ganger den direkte effekten av ombruk, avhengig av karboninnholdet i produktet. I tabellen under er det gitt noen eksempler på slike avvergede utslipp. Disse utslippene kommer ikke direkte til syne i regnskapet, men vil bli synlig i en komparativ sammenligning.

Tabell 4: Eksempler på slike avvergede forbrenningsutslipp for produkter med varierende karboninnhold. Det er her antatt en 1% årlig reduksjon i forbrenningsutslipp knyttet til teknologiforbedringer.

Avvergede forbrenningsutslipp for diverse produkter med varierende karboninnhold

Vekt (kg)	Karboninnhold (%)	Karboninnhold (kg C)	kg CO ₂ -ekv per kg C	Andel avverget (ikke forbrent)	kg CO ₂ -ekv avverget (før vekting)	kg CO ₂ -ekv avverget (etter teknologi og tidsvekting)
50	0%	0	3.67	15%	0	0
50	50%	25	3.67	15%	14	8
100	50%	50	3.67	15%	27	15
150	50%	75	3.67	15%	41	23
50	80%	40	3.67	15%	22	12
100	80%	80	3.67	15%	43	25
150	80%	120	3.67	15%	65	37
200	80%	160	3.67	15%	87	50
350	80%	280	3.67	15%	152	87

Tabell 5: Samfunnsendring i avfallshåndtering, teknologivekting og tidsvekting. Den klimabesparende effekten ved ombrukbarhet kan beregnes for det året som ombruket er anslått å skje. Her er det antatt en årlig reduksjon i deponi og avfallsforbrenning på 1%, en årlig teknologitvilling for materialproduksjon på 1%, og en tidsvekting etter en 100 års tidshorisont.

År etter ferdigstillelse	Samfunnsendring i avfallshåndtering		Teknologi og tidsvekting		Total
	Redusert andel deponert og avfallsforbrent	Teknologivekting	Tidsvekting		
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98
2	0.98	0.98	0.98	0.99	0.97
3	0.97	0.97	0.97	0.98	0.95
4	0.96	0.96	0.96	0.97	0.93
5	0.95	0.95	0.95	0.96	0.92
6	0.94	0.94	0.94	0.96	0.90
7	0.93	0.93	0.93	0.95	0.89
8	0.92	0.92	0.92	0.94	0.87
9	0.91	0.91	0.91	0.94	0.86
10	0.90	0.90	0.90	0.93	0.84
11	0.90	0.90	0.90	0.92	0.82
12	0.89	0.89	0.89	0.91	0.81
13	0.88	0.88	0.88	0.91	0.80
14	0.87	0.87	0.87	0.90	0.78
15	0.86	0.86	0.86	0.89	0.77
16	0.85	0.85	0.85	0.88	0.75
17	0.84	0.84	0.84	0.87	0.74
18	0.84	0.84	0.84	0.87	0.72
19	0.83	0.83	0.83	0.86	0.71
20	0.82	0.82	0.82	0.85	0.70
21	0.81	0.81	0.81	0.84	0.68
22	0.80	0.80	0.80	0.84	0.67
23	0.79	0.79	0.79	0.83	0.66
24	0.79	0.79	0.79	0.82	0.64
25	0.78	0.78	0.78	0.81	0.63
26	0.77	0.77	0.77	0.80	0.62
27	0.76	0.76	0.76	0.79	0.61
28	0.76	0.76	0.76	0.79	0.59
29	0.75	0.75	0.75	0.78	0.58
30	0.74	0.74	0.74	0.77	0.57
31	0.73	0.73	0.73	0.76	0.56
32	0.73	0.73	0.73	0.75	0.55
33	0.72	0.72	0.72	0.74	0.53
34	0.71	0.71	0.71	0.73	0.52
35	0.70	0.70	0.70	0.73	0.51
36	0.70	0.70	0.70	0.72	0.50
37	0.69	0.69	0.69	0.71	0.49

År etter ferdigstillelse	Samfunnsendring i avfallshåndtering		Teknologi og tidsvektning		Total
	Redusert andel deponert og avfallsforbrent	Teknologivektning	Tidsvektning		
38	0.68	0.68	0.70		0.48
39	0.68	0.68	0.69		0.47
40	0.67	0.67	0.68		0.46
41	0.66	0.66	0.67		0.45
42	0.66	0.66	0.66		0.44
43	0.65	0.65	0.65		0.42
44	0.64	0.64	0.64		0.41
45	0.64	0.64	0.63		0.40
46	0.63	0.63	0.62		0.39
47	0.63	0.63	0.61		0.38
48	0.62	0.62	0.61		0.37
49	0.61	0.61	0.60		0.36
50	0.61	0.61	0.59		0.36

4.5 Diskusjon

Metoden presentert her tar hensyn til og løser tidsaspektet knyttet til ombrukbarhet; nemlig effektene som oppstår knyttet til at ombruket skjer langt frem i tid. Endringer i avfallshåndtering, teknisk tilrettelegging for DfD, vektingen av teknologiske fremskritt, og tidshorisonten for klimapåvirkninger er avgjørende for å få en helhetlig forståelse av ombrukets klimaeffekter.

Hvordan tidsperspektivet, teknologisk utvikling og sannsynlighet for fremtidig demontering og ombruk skal hensyntas, er sammen med allokeringemetode for utslipp en del av den totale vurderingen som må gjøres ved beslutning om hvordan DfD skal hensyntas i klimagassberegninger.

5 Case: bruk av ulike allokeringer i beregninger for DfD

Målet med dette kapittelet er å beskrive ulike scenarier og beregninger for å teste effekten av hvordan DfD påvirker utslipp i ulike livsløpsmoduler, ved valg av ulike allokeringsmetoder.

DfD medfører at utslipp i C1-C4 endres fra å være avfallshåndtering til å være utslipp fra demontering og lagring. Videre medfører DfD at utslipp i D endres fra å erstatte tre som brennes (varme), betong som knuses (pukk), stål som smeltes om (nytt stål) til å erstatte nye produkter av tre, betong og stål.

Case og beregninger er fordelt på anleggsfase (A5) og bygg (A1-C4)

1. DfD i anleggsfase (A5): Eksempel med ombruk av spunt
2. DfD for bygg (A1-C4 og D): Eksempel med ulike bæresystem og dekker

5.1 DfD i anleggsfase (A5): Eksempel med ombruk av spunt

5.1.1 Materialmengder spunt

Det er antatt følgende materialmengder og utslippsfaktorer:

- Behov spunt: 1000 kg
- Utslipp ny spunt: $1000 \text{ kg} * 1,5 \text{ kg CO}_2\text{-ekv/kg} = 1500 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4)}$
- Levetid spunt, hvis den trekkes i de fire første byggene: 5 ganger.
- Antar ikke utslipp fra avfallshåndtering (C1-C4) for spunt som ikke trekkes.
- Antar trekking av spunt (C1-C4) er på 5% av ny spunt: $0,075 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg}$
- Antar tilrettelegging for ombruk (A1-A4) av brukt spunt er 10% av ny spunt: $0,15 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg}$

5.1.2 Beskrivelse case

Som et eksempel er det beregnet klimagassutslipp ved bruk og ombruk av spunt for bygg der det er mulig å trekke en viss andel av brukt spunt etter at bygget er ferdigstilt. Det antas at trukket spunt kan legges tilbake på lager for bruk i senere bygg. Antatt levetid for spunt dersom den trekkes i de fire første byggene, men blir stående i det siste bygget: 5 ganger.

Det er regnet på følgende alternativ:

- Alternativ 1: ikke ombruk av spunt. Alle bygg kjøper ny spunt
- Alternativ 2: ombruk av spunt, med levetid 5 ganger

Selv om levetiden for spunt her er antatt 5 ganger, bør i prinsippet alltid spunt som ikke kan brukes igjen (etter 5 gangers bruk) trekkes og sendes til resirkulering. Med tanke på ressursbruk bør all spunt, som ikke har noe konstruktiv effekt etter ferdig utbygging, ikke bli liggende i bakken uansett kvalitet på spunt.

I dette eksempelet er det beregnet konsekvenser for klimagassutslipp ved bruk av følgende allokeringsmetoder:

- Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0)
- Metode 3: Partitioning approach (50:50)

De andre allokeringsmetodene (metode 2 og metode 4 -6) kan gi andre resultater, men disse er ikke vurdert som aktuelle for anleggsfasen (A5).

5.1.3 Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0)

Alternativ 1: ikke ombruk av spunt. Alle bygg kjøper ny spunt

Bygg 1-5:

- Utslipp ny spunt: $1000 \text{ kg} * 1,5 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 1500 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4)}$
- Ikke trekke spunt: $1000 \text{ kg} * 0,0 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 0 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (C1-C4)}$
- Sum: $1500 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4+C1-C4)}$ pr bygg 1-5

Antar at spunt som er montert blir stående i bakken. I dette tilfellet er det ikke behov for noen allokering mellom flere sykluser for materialene.

Alternativ 2: ombruk av spunt, med levetid 5 ganger

Bygg 1:

- Utslipp ny spunt: $1000 \text{ kg} * 1,5 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 1500 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4)}$
- Trekke spunt: $1000 \text{ kg} * 0,075 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 75 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (C1-C4)}$
- Sum: $1575 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4+C1-C4)}$ bygg 1

Bygg 2 – 4:

- Tilrettelegge for ombruk: $1000 \text{ kg} * 0,15 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 150 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4)}$
- Trekke spunt: $1000 \text{ kg} * 0,075 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 75 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (C1-C4)}$
- Sum: $225 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4+C1-C4)}$ pr bygg 2-4

Bygg 5:

- Tilrettelegge for ombruk: $1000 \text{ kg} * 0,15 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 150 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4)}$
- Ikke trekke spunt: $1000 \text{ kg} * 0,0 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 0 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (C1-C4)}$
- Sum: $150 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4+C1-C4)}$ bygg 5

5.1.4 Metode 3: Partitioning approach (50:50)

Alternativ 1: ikke ombruk av spunt. Alle bygg kjøper ny spunt

Tilsvarende som *Metode 1: Recycled content/cut-off*.

Alternativ 2: ombruk av spunt, med levetid 5 ganger

Bygg 1:

- Utslipp ny spunt: $1000 \text{ kg} * 1,5 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} / 5 \text{ bygg} = 300 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4)}$
- Trekke spunt: $1000 \text{ kg} * 0,075 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 75 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (C1-C4)}$
- Sum: $375 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4+C1-C4)}$ bygg 1

Bygg 2 – 4:

- Utslipp ny spunt: $1000 \text{ kg} * 1,5 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} / 5 \text{ bygg} = 300 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4)}$
- Tilrettelegge for ombruk: $1000 \text{ kg} * 0,15 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 150 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4)}$
- Trekke spunt: $1000 \text{ kg} * 0,075 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 75 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (C1-C4)}$
- Sum: $525 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4+C1-C4)}$ pr bygg 2-4

Bygg 5:

- Utslipp ny spunt: $1000 \text{ kg} * 1,5 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} / 5 \text{ bygg} = 300 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4)}$
- Tilrettelegge for ombruk: $1000 \text{ kg} * 0,15 \text{ kg CO}_2\text{-ekv /kg} = 150 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4)}$
- Sum: $450 \text{ kg CO}_2\text{-ekv (A1-A4+C1-C4)}$ bygg 5

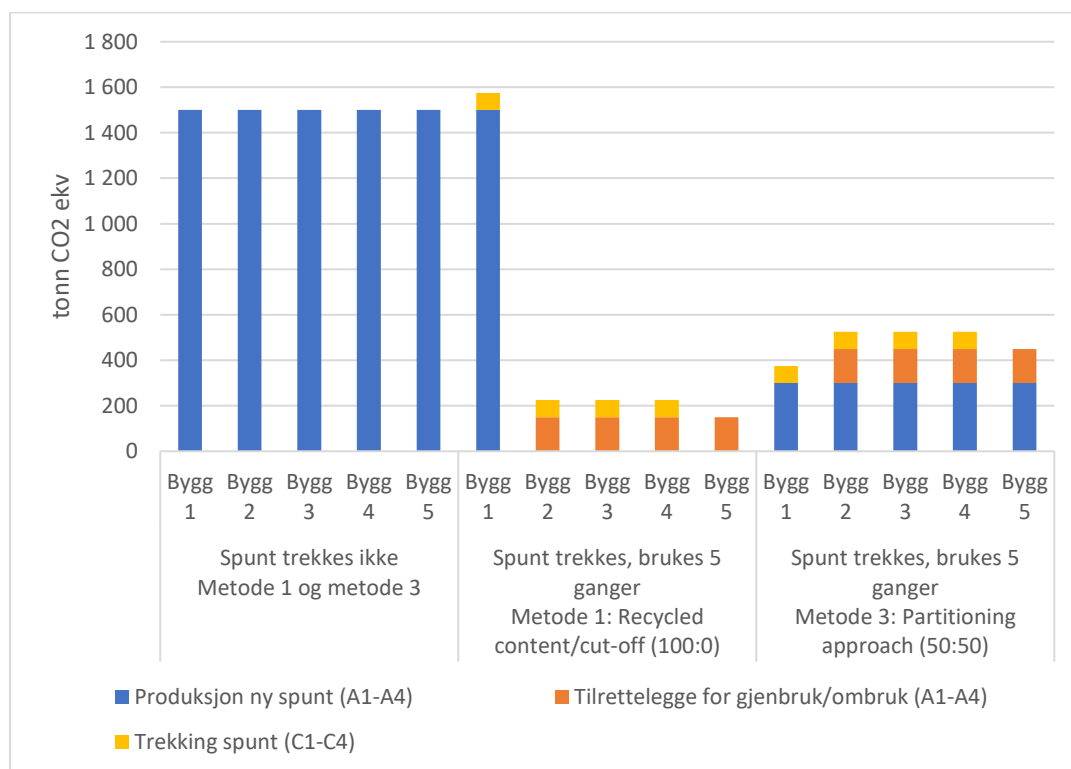
5.1.5 Oppsummering

Figur 18 viser resultater for klimagassutslipp fra bruk av ny spunt i 5 bygg, og ombruk av spunt i 4 bygg, med bruk av allokeringsmetode 1 *recycled content/cut-off* og metode 3 *partitioning approach* hvor utslipp fra produksjon (A1-A3) og avfallshåndtering ved trekking av spunt (C1-C4) fordeles likt på alle sykluser/bygg. Utslipp fra nødvendig prosessering i forbindelse med å tilrettelegge for ombruk og trekking etter bruk tilfaller det bygget hvor denne aktiviteten foregår.

Som figuren viser, vil bruk av spunt som ikke trekkes medføre et utslipp på 1500 tonn CO₂-ekv (A1-C4) for hvert bygg når spunt ikke trekkes etter bruk, uavhengig allokeringsmetode 1 og 3.

Når spunt trekkes etter bruk, er det vist regneeksempler hvor allokeringsmetode 1 (recycled content/cut-off) og allokeringsmetode 3 (partitioning approach) er benyttet. Ved bruk av metode 1 vil 100% av utslipp fra produksjon av spunt allokere første gangs bruk, dvs. bygget som kjøper inn ny spunt. Siden utslipp forbundet med å trekke spunt (avfallsbehandling, C1-C4) allokere det bygget som trekker spunt (bygg 1), vil bygg 1 når spunt trekkes (alternativ 2) ha et høyere utslipp (1575 kg CO₂-ekv) enn når spunt ikke trekkes (alternativ 1, 1500 kg CO₂-ekv) siden det i alternativ 2 er nødvendig med energibruk til å trekke spunt. For bygg 2-5 vil det kun være beregnet utslipp fra tilrettelegging for ombruk samt transport (A1-A4) og for bygg 2-4 i tillegg trekking av spunt (C1-C4).

Ved bruk av allokeringsmetode 3 vil utslipp fra produksjon (A1-A3) fordeles likt på alle sykluser/bygg som bruker spunt. Utslipp fra å tilrettelegge for ombruk og transport (A1-A4) og trekking spunt (C1-C4) legges til det enkelte bygg uten å bli fordelt. Ved bruk av denne metoden i klimagassberegninger skilles det ikke på om det benyttes ny spunt eller ombrukt spunt så lenge det er tilrettelagt for å trekke spunt etter bruk, eller at bruken har nådd endt levetid (5 sykluser).



Figur 18: Resultater for klimagassutslipp fra bruk av ny spunt i 5 bygg, og ombruk av spunt i 4 bygg, med bruk av allokeringsmetode 1 «recycled content/cut-off» og metode 3 «partitioning approach» hvor utslipp fra produksjon fordeles likt på alle sykluser/bygg.

5.2 DfD for bygg (A1-C4 og D): Eksempel med ulike bæresystem og dekker

5.2.1 Materialmengder for bæresystem bygg

Skanska Næringseiendom er eiendomsutvikler og eier av tomten Tingstuveien 31 i Oslo. Tingstuveien 31 er i reguleringsprosess. Prosjektet har som mål å utvikle et kontorbygg med høye miljøkvaliteter (Powerhouse) tilpasset fremtidens behov.



Figur 19: Tingstuveien 31, skisseprosjekt

Det er i utarbeidet klimagassberegninger fra materialbruk i skisseprosjektet. Materialmengder til bygget er kalkulert og beregnet av RIB for 2 alternativer for bæresystem og dekker:

- Alternativ 1: Massivtredekker på limtre søyler/bjelker
- Alternativ 2: Hulldekker på stål søyler/bjelker

Det er disse materialmengdene for bæresystem og dekker som benyttes i videre analyser. I analysene er det lagt til grunn et areal på 18.447 m² BTA. Fokus på beregninger i denne rapporten er hvordan ulike allokeringer og regneregler ved DfD vil påvirke klimagassutslipp for bygget. Det er derfor veldig nyttig å se effekten for et alternativ med massivtredekker på limtre søyler/bjelker og et alternativ med hulldekker på stål søyler/bjelker. *Materialmengder som oppgitt i Tabell 6 og Tabell 7 er ikke direkte sammenlignbare, og i videre resultater kan ikke klimagassberegningene benyttes til å sammenlikne ulike konsept (alternativ 1 sammenliknet med alternativ 2) for bæresystem og dekker.*

Tabell 6: Materialmengder for alternativ 1: massivtredekker på limtre søyler/bjelker

Materiale	Mengde	
Hulldekke, HD320	0,13	m ² /m ² BTA
K-stål, valseprofil	1,57	kg/m ² BTA
Limtre	0,05	m ³ /m ² BTA
Massivtre	0,20	m ³ /m ² BTA

Tabell 7: Materialmengder for alternativ 2: hulldekker på stål søyler/bjelker

Materiale	Mengde	
Hulldekke, HD320	0,96	m ² /m ² BTA
Kstål, hulprofil	13,3	kg/m ² BTA
Kstål, valseprofil	13,6	kg/m ² BTA

I materialmengder som oppgitt i Tabell 6 og Tabell 7 er det kun inkludert materialer i bæresystem og dekker som (teoretisk) kan designes for fremtidig demontering og ombruk. Det vil si at følgende materialer som også er nødvendige for et komplett bæresystem og dekker, ikke er omfattet i beregningene (ikke uttømmende):

- Armeringsstål
- Avretting, dekker
- Plasstøpt betong (bunnplate og kjerner)
- Brannisolering av stål og trevirke
- Ulike bygningsplater og overflater

5.2.2 Beskrivelse case

Det er utført klimagassberegninger med materialmengder for bæresystem og dekker for bygg hvor 4 alternative systemer er analysert:

- Alternativ 1
 - Bygg 1: Nytt (A1-A3), avfall (C1-C4)
 - Bygg 2: Nytt (A1-A3), avfall (C1-C4)
- Alternativ 2
 - Bygg 1: Nytt (A1-A3), til ombruk (C1-C4)
 - Bygg 2: Ombruk (A1-A3), avfall (C1-C4)
- Alternativ 3
 - Bygg 1: Ombruk (A1-A3), til ombruk (C1-C4)
 - Bygg 2: Ombruk (A1-A3), avfall (C1-C4)
- Alternativ 4
 - Bygg 1: Ombruk (A1-A3), til ombruk (C1-C4)
 - Bygg 2: Ombruk (A1-A3), til ombruk (C1-C4)

For alle alternativer over er det gjort beregninger for to bygg, *bygg 1* og *bygg 2*. Bygg 1 er bygg som bygges i dag (dagens bygg), og bygg 2 er det neste bygget i fremtiden. Begge bygg kan bygges med eller uten ombruk i A1-A3 og enten til avfall eller ombruk i C1-C4. Hvor bygg 2 benytter ombruk i A1-A3, er ombruk hentet fra bygg 1.

I beregningene er det i modul A1-A4, C1-C4 og D regnet med fossilt utslipp av klimagasser (GWP fossil). Opptak og utslipp av biogent karbon (GWO biogenic) og opptak av karbon fra karbonisering (i betong) er også vist i figurer og resultater.

Det er lagt til utslipp fra transport av materialer fra produksjonssted til byggeplass (A4). For utslippsfaktorer og transportavstander, se vedlegg 2.

Det er gjort beregninger med og uten modul D:

- Når C1-C4 er avfallshåndtering, omfatter modul D følgende:

- Hulldekker
 - Betong: betong knuses, erstatter ny grus/pukk
 - Armeringsstål: sendes til resirkulering, erstatter nytt stål
- Konstruksjonsstål: sendes til resirkulering, erstatter nytt stål
- Massivtre/limtre: Trevirke brennes, erstatter alternativ produksjon av energi og varme
- Når C1-C4 er til ombruk, er unngått utslipp i modul D beregnet med den samme utslippsfaktoren som i A1-A3 (eksempel: lavkarbonbetong klasse B i modul A1-A3 erstatter lavkarbonbetong klasse B i modul D). Teknologiutvikling er dermed ikke hensyntatt. Det antas 10% svinn i modul D. Modul D omfatter følgende:
 - Hulldekke: erstatter nytt hulldekke, trukket fra 10% svinn
 - Konstruksjonsstål: erstatter nytt konstruksjonsstål, trukket fra 10% svinn
 - Massivtre/limtre: erstatter nytt massivtre/limtre, trukket fra 10% svinn

For alternativ 1-4 over er det beregnet konsekvenser for klimagassutslipp for bygg 1 og bygg 2 ved bruk av følgende allokeringmetoder:

Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0)

Beregninger vises med og uten modul D

- a. Biogene opptak/utslipp: dagens praksis (IOBC²¹)
- b. Biogene opptak/utslipp: polluter pays

Metode 3: Partitioning approach (50:50)

Beregninger vises uten modul D når partitioning approach benyttes²²

Ved DfD/ombruk: Utslipp fordeles på første bruk og siste bruk (to bygg/sykluser)

- Biogene opptak/utslipp: dagens praksis (IOBC)
- Biogene opptak/utslipp ved DfD/ombruk: biogent opptak i A1 og biogent utslipp fra forbrenning i C3 fordeles på første bruk og siste bruk av produktet (utslippene fordeles på to bygg/sykluser). For bygg som bruker både ombrukte produkter og sender produkter til ombruk etter demontering, medfører dette at det ikke inkluderes opptak/-utslipp av biogent karbon i A1 og C3.

Metode 8: Kombinasjon av metode 1 og metode 3b:

Beregninger vises med og uten modul D.

- Fossilt utslipp: Recycled content/cut-off (metode 1)
- Biogent karbon: ved DfD er opptak av biogent karbon fordelt på ulike bygg/sykluser, mens utslippet av biogent karbon allokeres til det bygget der utslippet skjer (tilsvarende metode 1b: recycled content/cut-off polluter pays).

²¹ IOBC: umiddelbar oksidasjon av biogent karbon ved at over livsløpet A1-C4 er opptak av biogent karbon lik utslipp av biogent karbon og settes derfor til 0, gitt at trevirke kommer fra bærekraftig skogbruk og sertifisert med PEFC, FSC eller tilsvarende.

²² I *partitioning approach* er opptak/utslipp fordelt mellom på første bruk og siste bruk (to bygg/sykluser), uavhengig av hvor utslippet faktisk skjer. Skal modul D inkluderes må en fordeling av utslipp også omfatte modul D. Siden det er utfordrende å sette rett fordeling i modul D, inkluderes derfor ikke modul D i *partitioning approach*.

5.2.3 Resultat metode 1a: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: IOBC, uten modul D

Beskrivelse

Dette er dagens praksis. I klimagassberegninger for materialer og bygg er det som standard benyttet recycled content/cut-off (100:0) for fossile utslipp. Når det gjelder biogene utslipp og opptak, er det antatt som umiddelbar oksidasjon (IOBC) ved at summen av opptak av biogent karbon er lik utslipp av biogent karbon (A1-C4), gitt at trevirke kommer fra bærekraftig skogbruk og sertifisert med PEFC, FSC eller tilsvarende.

Forutsetninger

Tabell 8: Forutsetninger for beregningen

Omfang	Inkludert i beregning
A1-A3	Ja
C1-C4	Ja
Modul D	Nei
Karbonatisering (B1 og D)	Ja
Biogent karbon (A1 og C3)	Ja
Utslippsfaktor	Standard
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) ved tilrettelegge for ombruk	10 %
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) i modul D, ved DfD (erstatte likt produkt)	90 %
Allokering GWP-fossil	Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0)
Allokering GWP-biogent	Metode 1a: Recycled content/cut-off (100:0) - dagens praksis biogent (IOBC)

Forklaring til Tabell 8: «Andel utslipp (av nytt produkt A1-A4) ved tilrettelegging for ombruk» omhandler energibruk til denne tilretteleggingen i demonteringsfasen, og dette er forenklet satt til 10 % av nytt produkt (A1-A4). For «Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) i modul D, ved DfD (erstatte likt produkt)» gjelder dette besparelse utslipp ved å ombruke i stedet for å bruke nytt produkt i produksjonsfasen av bygget, men besparelsen settes til 90 % av nytt produkt pga. energibruken som medgår til tilretteleggingen.

Resultat

Resultater er vist i Figur 20. Som figuren viser er det en relativt stor forskjell i utslipp for bygg som bruker nye materialer (alternativ 1: bygg 1 og 2, alternativ 2: bygg 1) og bygg som bruker ombrukte materialer ved bygging. Dette forklares med allokeringsmetoden da 100% av utslipp fra å produsere produkter tildeles første gangs bruk. Her er det antatt at bruk av ombrukte produkter har et utslipp på 10% av et nytt produkt som følge av energibruk til bearbeiding av ombruksprodukter.

For alle alternativ og bygg er det en marginal forskjell i avfallsbehandling (C1-C4) uavhengig av om materialene sendes til avfallsbehandling eller til gjenvinning/ombruk. Dette da prosessutslipp (C3 og C4) fra knusing av betong, sende stål til mottak for resirkulering og forbrenning av trevirke (uten utslipp av biogent karbon) er marginale i forhold til produksjonen.

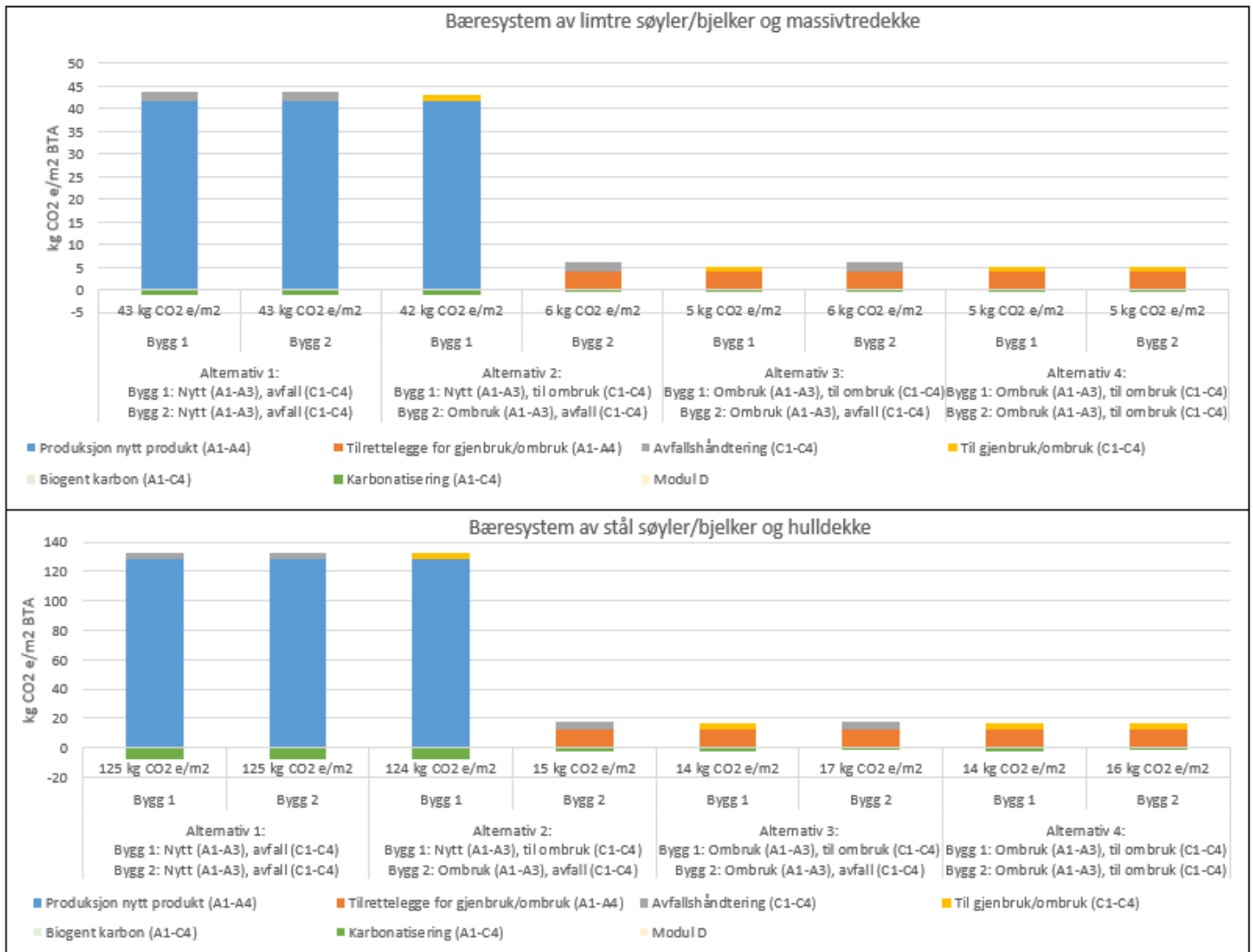
Samlet for modul A1-C4 oppnår bygg som består av nye byggematerialer (alternativ 1: bygg 1 og 2, alternativ 2: bygg 1) og som ikke er designet iht. DfD (materialer sendes til avfallsbehandling i C1-C4),

et tilnærmet likt klimagassutslipp som for bygg som består av nye byggematerialer (alternativ 2: bygg 1) og som er designet iht. DfD (materialer sendes til gjenvinning/ombruk i C1-C4).

All gevinst ved DfD gis til bygg som benytter ombrukte produkter (A1-A4) når modul D ikke regnes med.

Dette medfører at det iht. regnereglene ikke gis noe intensiv i reduserte utslipp i A1-C4 for bygg som designes iht. DfD.

Resultat metode 1a: Recycled content/cut-off, biogent: IOBC, uten modul D



Figur 20: Resultat metode 1a: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: IOBC, uten modul D

5.2.4 Resultat metode 1a: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: IOBC, med modul D

Beskrivelse

Se kapittel 5.2.3. Nå med modul D.

Forutsetninger

Tabell 9: Forutsetninger for beregningen

Omfang	Inkludert i beregning
A1-A3	Ja
C1-C4	Ja
Modul D	Ja
Karbonatisering (B1 og D)	Ja
Biogent karbon (A1 og C3)	Ja
Utslippsfaktor	Standard
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) ved tilrettelegge for ombruk	10 %
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) i modul D, ved DfD (erstatte likt produkt)	90 %
Allokering GWP-fossil	Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0)
Allokering GWP-biogent	Metode 1a: Recycled content/cut-off (100:0) - dagens praksis biogent (IOBC)

Resultat

Resultater er vist i Figur 21. Som figuren viser har modul D relativt stor innvirkning på resultater, sammenliknet med resultater vist i Figur 20.

En observasjon er at for alle bygg som er designet iht. DfD (der C1-C4 er *til ombruk*), har modul D en relativt mye høyere verdi enn for bygg som ikke er designet iht. DfD (der C1-C4 er *til avfall*). Hovedgrunnen til dette er at betong i hulldekke da går fra å bli knust til pukk til å erstatte nytt hulldekke, og massivtredekke går fra å brennes og erstatte alternativ produksjon av energi og varme til å erstatte produksjon av nytt massivtredekke.

For alle alternativ og bygg er det en marginal forskjell i avfallsbehandling (C1-C4) uavhengig av om materialene sendes til avfallsbehandling eller til gjenvinning/ombruk. Dette da prosessutslipp (C3 og C4) fra knusing av betong, sende stål til mottak for resirkulering og trevirke til forbrenning (uten utslipp av biogent karbon) er marginale i forhold til produksjonen.

Samlet for modul A1-D oppnår bygg som består av nye byggematerialer (alternativ 1: bygg 1 og 2) og som ikke er designet iht. DfD (materialer sendes til avfallsbehandling i C1-C4), et relativt mye høyere klimagassutslipp enn bygg som består av nye byggematerialer (alternativ 2: bygg 1) og som er designet iht. DfD (materialer sendes til ombruk i C1-C4).

Gevinst ved DfD gis både til bygg som sender produkter til ombruk (i modul D) og bygg som benytter ombrukte produkter (A1-A4), når modul D regnes med. Modul D skiller på bygg som er designet iht. DfD og bygg som ikke er designet iht. DfD, da det gis større redusert utslipp i modul D ved DfD. Inkludering av modul D kan medføre at resultatet for noen bygg blir et negativt klimagassutslipp for

bæresystem og dekker (for eksempel alternativ 2, bæresystem av stål søyler/bjelker og hulldekke, bygg 2: - 29 kg CO₂-ekv/m² BTA).

Resultat metode 1a: Recycled content/cut-off, biogent: IOBC, med modul D



Figur 21: Resultat metode 1a: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: IOBC, med modul D

5.2.5 Resultat metode 1b: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: polluter pays, uten modul D

Beskrivelse

Denne allokeringen allokere opptak og utslipp av biogent karbon til ulike bygg/sykluser, der de oppstår. Dette innebærer at utslipp for treprodukter splittes mellom fase A1 (opptak av karbon) og C3 (utslipp ved forbrenning). Allokeringen for fossile utslipp er ellers tilsvarende dagens praksis (recycled content/cut-off 100:0).

Fordelen med denne allokeringen er at metoden gir motivasjon til å ikke sende trevirke til forbrenning (dvs. tilrettelegge for demontering og ombruk) da utslipp fra forbrenning kun regnes med når det faktisk skjer. Dette kan motivere for design for demontering og ombruk. Det kan være en utfordring å vite om et innkjøpt treprodukt er nytt eller ombrukt, da kun nye treprodukter iht. regneregler kan inkludere et opptak av biogent karbon (i første bygg/syklus). Videre kan det favorisere bruk av kun nye treprodukter da opptak av biogent karbon kun tildeles nye produkter (som da kan få et netto negativt utslipp).

Metoden gir i prinsippet samme effekt for alle andre byggematerialer (som ikke inneholder biogent karbon, som stål og betong), men metoden vil ikke påvirke resultater i samme grad som materialer som inneholder biogent karbon.

Denne metoden er tilsvarende det som ligger til grunn for dagens regneregler for klimaberegninger i Powerhouse.

Forutsetninger

Tabell 10: Forutsetninger for beregningen

Omfang	Inkludert i beregning
A1-A3	Ja
C1-C4	Ja
Modul D	Nei
Karbonatisering (B1 og D)	Ja
Biogent karbon (A1 og C3)	Ja
Utslippsfaktor	Standard
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) ved tilrettelegge for ombruk	10 %
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) i modul D, ved DfD (erstatte likt produkt)	90 %
Allokering GWP-fossil	Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0)
Allokering GWP-biogent	Metode 1b: Recycled content/cut-off (100:0) - polluter pays biogent

Resultat

Resultater er vist i Figur 22. Som figuren viser, er resultater for bæresystem av stålsøyler/bjelker helt likt som vist i Figur 20 (kap. 5.2.3). *Polluter pays* biogent karbon påvirker kun materialer som inneholder biogent karbon.

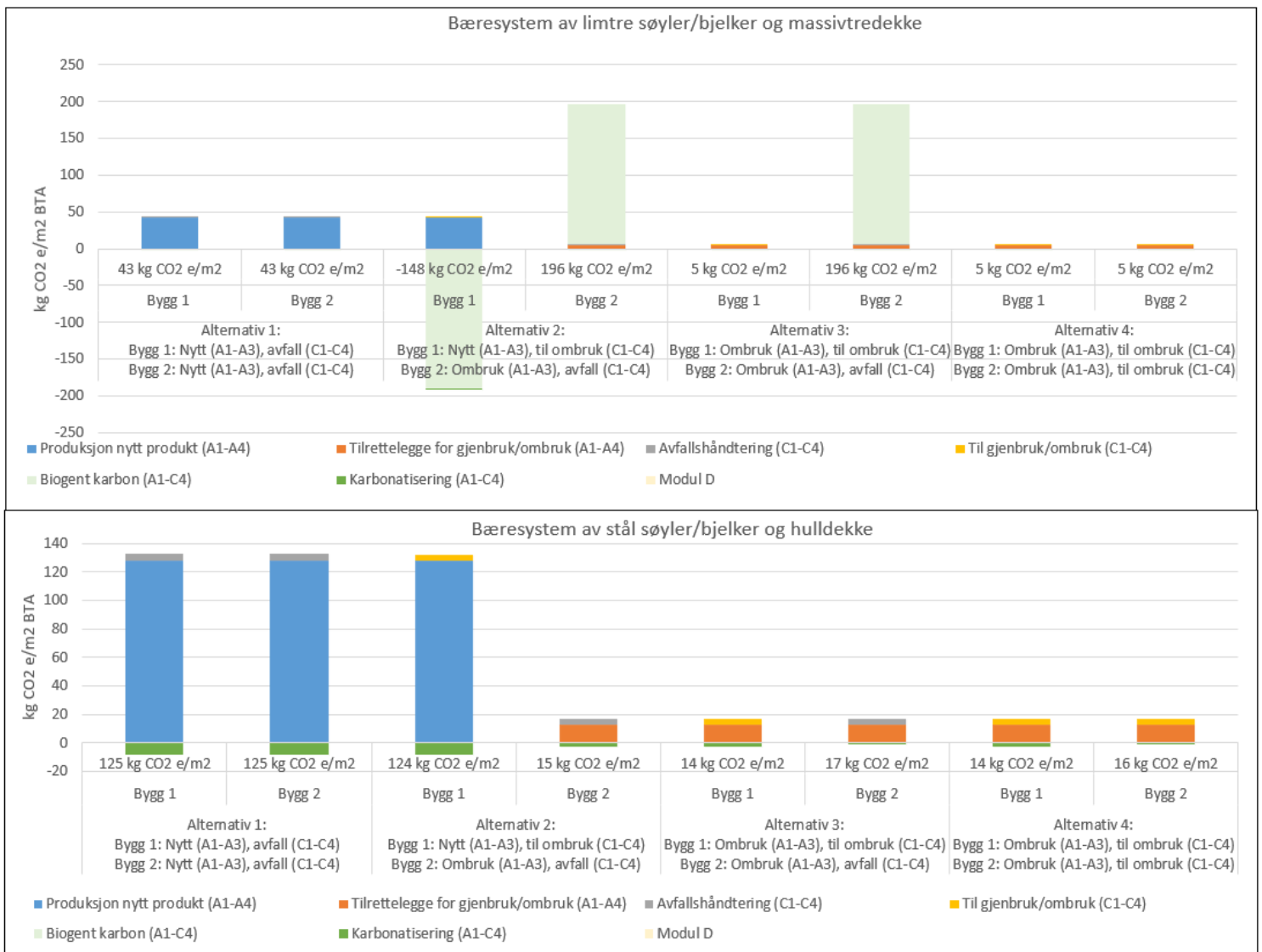
Når det gjelder beregninger for biogent karbon, er effekten av *polluter pays* kun synlig for bygg som kjøper inn nye trematerialer (A1-A4) og designet iht. DfD (til avfallsbehandling for ombruk i C1-C4) der bygg 1 inkluderer alt biogent karbon som er tatt opp i produktet (alternativ 2, bygg 1) og bygg 2 får tilskrevet alt utslipp ved forbrenning (alternativ 2, bygg 2). Effekten av *polluter pays* er også synlig for

bygg som benytter ombrukte trematerialer (i A1-A4), og sender materialene til avfallsforbrenning (i C1-C4) etter endt bruk. Da blir dette bygget *ansvarlig* for at lagret biogent karbon slippes ut under forbrenningen (polluter pays).

Samlet for modul A1-C4 oppnår bygg som består av nye byggematerialer med innhold biogent karbon (alternativ 1: bygg 1 og 2) og som ikke er designet iht. DfD (materialer sendes til avfallsbehandling i C1-C4), et relativt mye høyere klimagassutslipp enn bygg som består av nye byggematerialer med innhold av biogent karbon (alternativ 2: bygg 1) og som er designet iht. DfD (materialer sendes til ombruk i C1-C4). Bygg som består av nye byggematerialer med innhold av biogent karbon reduserer beregnet klimagassutslipp betraktelig når materialer ikke sendes til avfallsforbrenning (C1-C4) etter endt bruk.

Inkludering av *polluter pays for biogent karbon* kan medføre at resultatet for noen bygg er regnet med et negativt klimagassutslipp for bæresystem og dekker (for eksempel alternativ 2, bygg 1: -148 kg CO₂-ekv/m² BTA).

Resultat metode 1b: Recycled content/cut-off, biogent: polluter pays, uten modul D.



Figur 22: Resultat metode 1b: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: polluter pays, uten modul D

5.2.6 Resultat metode 1b: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: polluter pays, med modul D

Beskrivelse

Se kapittel 5.2.5. Med modul D.

Forutsetninger

Tabell 11: Forutsetninger for beregningen

Omfang	Inkludert i beregning
A1-A3	Ja
C1-C4	Ja
Modul D	Ja
Karbonatisering (B1 og D)	Ja
Biogent karbon (A1 og C3)	Ja
Utslippsfaktor	Standard
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) ved tilrettelegge for ombruk	10 %
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) i modul D, ved DfD (erstatte likt produkt)	90 %
Allokering GWP-fossil	Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0)
Allokering GWP-biogent	Metode 1b: Recycled content/cut-off (100:0) - polluter pays biogent

Resultat

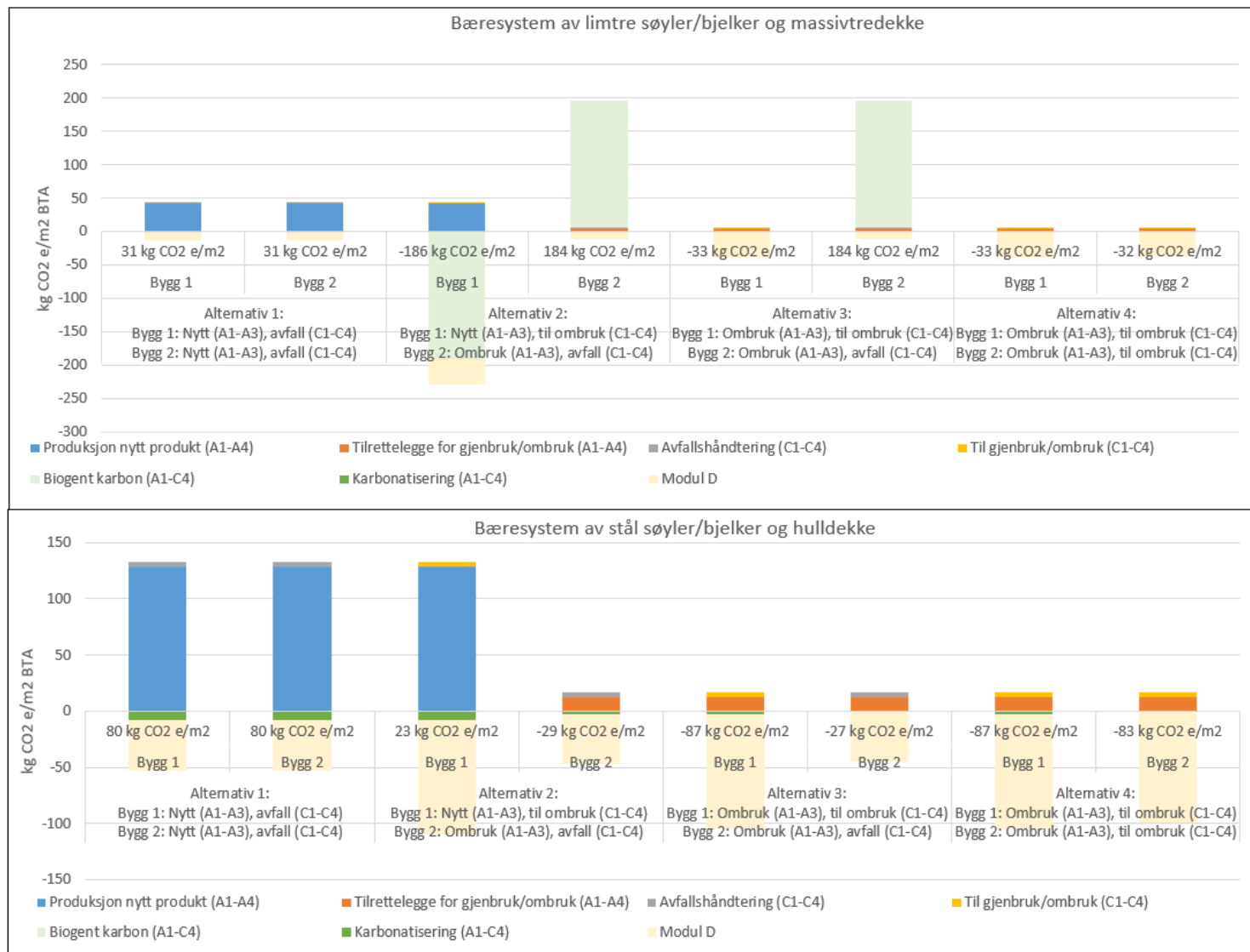
Resultater er vist i Figur 23. Som figuren viser er resultater for bæresystem av stålsøyler/bjelker helt likt som vist i Figur 21 (kap. 5.2.4). *Polluter pays* biogent karbon påvirker kun materialer som inneholder biogent karbon.

Resultater for bygg med bæresystem av limtre søyler/bjelker og massivtredekke vist i Figur 23 er relativt likt som resultater vist i Figur 21 (NB! ulik skala). For bygg som består av nye byggematerialer med innhold av biogent karbon (alternativ 2: bygg 1) og som er designet iht. DfD, er effekten av modul D relativt lav sammenliknet med effekten av opptak av biogent karbon i A1, når materialer ikke sendes til forbrenning i C3.

Samlet for modul A1-D oppnår bygg som består av nye byggematerialer (alternativ 1: bygg 1 og 2) og som ikke er designet iht. DfD (materialer sendes til avfallsbehandling i C1-C4), et relativt mye høyere klimagassutslipp enn bygg som består av nye byggematerialer (alternativ 2: bygg 1) som er designet iht. DfD (materialer sendes til ombruk i C1-C4). Bygg som består av nye byggematerialer med innhold av biogent karbon reduserer beregnet klimagassutslipp betraktelig når materialer ikke sendes til avfallsforbrenning (C1-C4) etter endt bruk (alternativ 2: bygg 1).

Gevinst ved DfD gis både til bygg som sender produkter til fremtidig ombruk (i modul D) og bygg som benytter ombrukte produkter (A1-A4), når modul D regnes med. Modul D skiller på bygg som er designet iht. DfD og bygg som ikke er designet iht. DfD, da det gis større redusert utslipp i modul D ved DfD. Inkludering av *polluter pays for biogent karbon* og modul D kan medføre at resultatet for noen bygg oppnår et negativt klimagassutslipp for bæresystem og dekker (for eksempel alternativ 2, bygg 1 med bæresystem i limtre samt massivtredekker: - 186 kg CO₂-ekv/m² BTA).

Resultat metode 1b: Recycled content/cut-off, biogent: polluter pays, med modul D



Figur 23: Resultat metode 1b: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: polluter pays, med modul D

5.2.7 Resultat metode 3a: Partitioning approach (50:50), biogent: IOBC, uten modul D

Beskrivelse

I *Partitioning approach* er opptak/utslipp fordelt på første bruk og siste bruk (to bygg/sykluser) av produktet, uavhengig av hvor utslipp faktisk skjer. For bygg som bruker nye materialer og er designet iht. DfD (materialer sendes til ombruk i C1-C4), og for bygg som bruker ombrukte materialer og sender produkter til avfallshåndtering etter endt bruk (C1-C4), medfører *partitioning approach* at utslipp fra produksjon og transport av nytt materiale (A1-A4) og avfallshåndtering (C1-C4) fordeles på første bygg og siste bygg (to bygg/sykluser). For bygg som bruker både ombrukte produkter og som sender produkter til ombruk etter demontering (alternativ 3: bygg 1, alternativ 4: bygg 1 og 2), medfører dette at det ikke inkluderes opptak/utslipp av i nytt materiale A1-A4 og avfallshåndtering C1-C4.

Utslipp fra tilrettelegging for ombruk (A1-A4) og tilrettelegging for materialer til gjenvinning/ombruk i avfallsbehandlingen (C1-C4), legges til det enkelte bygg uten å bli fordelt.

Når det gjelder biogene utslipp og opptak er det antatt som umiddelbar oksidasjon (IOBC) ved at summen av opptak av biogent karbon er lik utslipp av biogent karbon (A1-C4), gitt at trevirke kommer fra bærekraftig skogbruk og sertifisert med PEFC, FSC eller tilsvarende.

Modul D er ikke inkludert når partitioning approaches benyttes.

Forutsetninger

Tabell 12: Forutsetninger for beregningen

Omfang	Inkludert i beregning
A1-A3	Ja
C1-C4	Ja
Modul D	Nei
Karbonatisering (B1 og D)	Ja
Biogent karbon (A1 og C3)	Ja
Utslippsfaktor	Standard
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) ved tilrettelegge for ombruk	10 %
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) i modul D, ved DfD (erstatte likt produkt)	90 %
Allokering GWP-fossil	Metode 3: Partitioning approach (50:50)
Allokering GWP-biogent	Metode 1a: Recycled content/cut-off (100:0) - dagens praksis biogent (IOBC)
Fordeles på antall sykluser	2. Første og siste bygg

Resultat

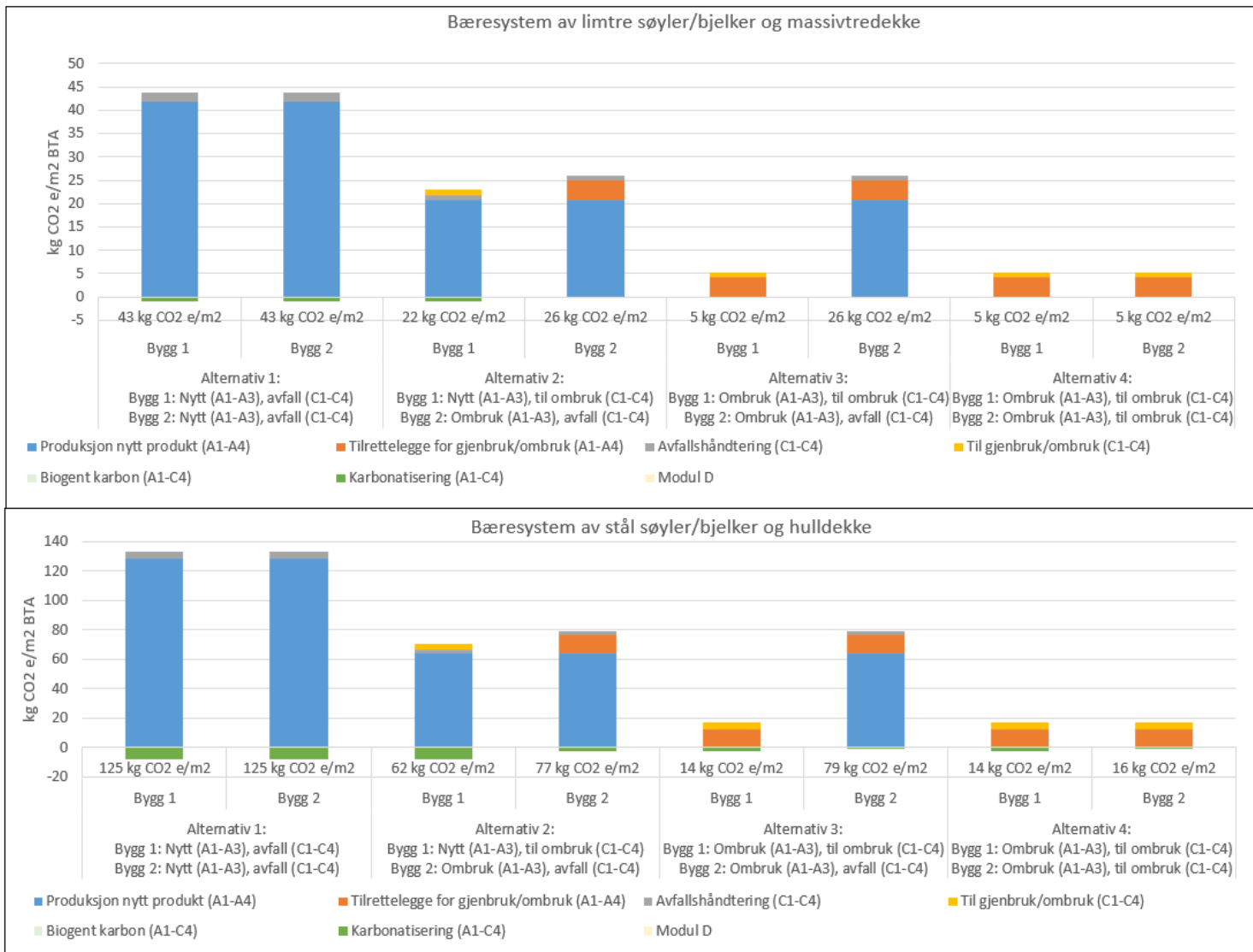
Resultater er vist i Figur 24. Effekten av *partitioning approach* er kun synlig for bygg som kjøper inn nye materialer (A1-A4) og med design iht. DfD (til ombruk i C1-C4) og for bygg som benytter ombrukte materialer (i A1-A4) og sender materialene til avfallsforbrenning (i C1-C4) etter endt bruk. Dette gjelder alternativ 2: bygg 1 og 2 og alternativ 3: bygg 2. For disse byggene blir utslipp fra produksjon og transport av nytt materiale (A1-A4) og avfallshåndtering (C1-C4) fordelt på første bygg og siste bygg (to bygg/sykluser). For alle andre alternativ og bygg er resultater lik beregninger vist i Figur 20.

Samlet for modul A1-C4 oppnår bygg som består av nye byggematerialer (alternativ 2: bygg 1) og som er designet iht. DfD (materialer sendes til ombruk i C1-C4), og bygg som benytter ombrukte materialer (i A1-A4), og sender materialene til avfallsforbrenning (i C1-C4, alternativ 2: bygg 2 og alternativ 3: bygg 2), relativt like stort klimagassutslipp. Gevinsten fra DfD og bruk av ombrukte produkter deles på begge bygg.

Som vist i Figur 24 har bygg som benytter ombrukte materialer (i A1-A4) og som sender materialene til avfallsforbrenning (i C1-C4, alternativ 2: bygg 2 og alternativ 3: bygg 2), noe høyere utslipp enn bygg som består av nye byggematerialer (alternativ 2: bygg 1) og som er designet iht. DfD (materialer sendes til ombruk i C1-C4). Grunnlaget for dette er antakelsen at bruk av ombrukte materialer har et utslipp på 10% av nye materialer på grunn av tilrettelegging for gjenvinning/ombruk. Dette er en generell antakelse som må tilpasses det enkelte produkt og løsninger som benyttes.

Partitioning approach medfører at det iht. regnereglene gis intensiv i reduserte utslipp i A1-C4 for bygg som designes iht. DfD, men metoden medfører også at bygg som bruker ombrukte produkter og sender materialene til avfallsforbrenning i C1-C4 (som alternativ 3, bygg 2), får allokert halvparten av utslipp fra produksjon og transport av nytt materiale (A1-A4) selv om dette bygget bruker ombrukte produkter.

Resultat metode 3a: Partitioning approach (50:50), biogent: IOBC, uten modul D



Figur 24: Resultat metode 3a: Partitioning approach (50:50), biogent: IOBC, uten modul D

5.2.8 Resultat metode 3b: Partitioning approach (50:50), biogent (50:50), uten modul D

Beskrivelse

Denne metoden er tilsvarende kapittel 5.2.7, men i tillegg er det for materialer som inneholder biogent karbon fordelt opptak av biogent karbon fra produksjon og utslipp fra avfallshåndtering på første bruk og siste bruk (to bygg/sykluser)

Forutsetninger**Tabell 13: Forutsetninger for beregningen**

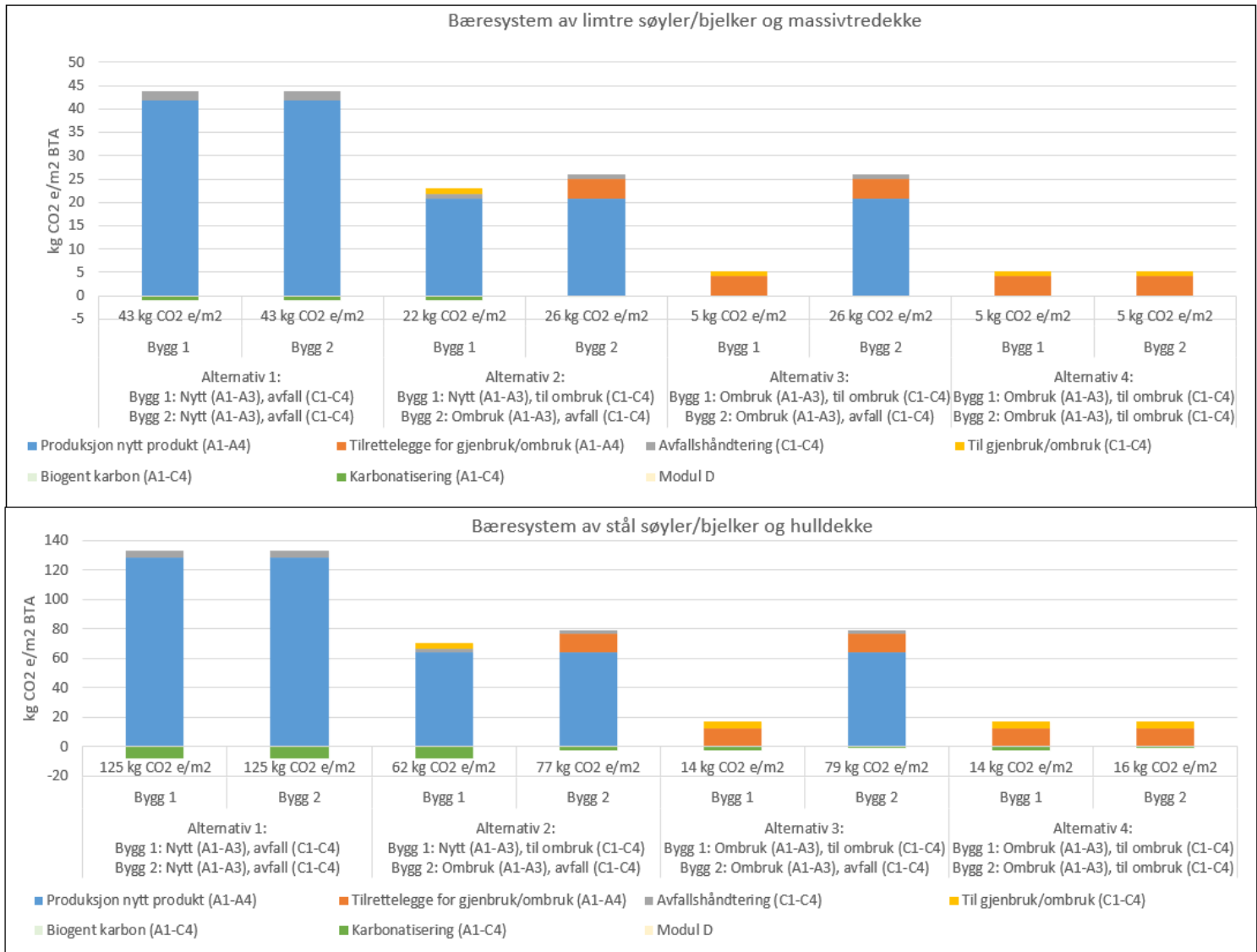
Omfang	Inkludert i beregning
A1-A3	Ja
C1-C4	Ja
Modul D	Nei
Karbonatisering (B1 og D)	Ja
Biogent karbon (A1 og C3)	Ja
Utslippsfaktor	Standard
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) ved tilrettelegge for ombruk	10 %
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) i modul D, ved DfD (erstatte likt produkt)	90 %
Allokering GWP-fossil	Metode 3: Partitioning approach (50:50)
Allokering GWP-biogent	Metode 3: Partitioning approach (50:50)
Fordeles på antall sykluser	2. Første og siste bygg

Resultat

Resultater er vist i Figur 25.

I praksis medfører en fordeling av opptak og utslipp av biogent karbon ingen endring fra resultater sammenliknet med når det antas IOBC for biogent karbon. Resultater er derfor i sum for A1-C4 lik som for resultater vist i Figur 24. Se kapittel 5.2.7 for beskrivelse.

Resultat metode 3b: Partitioning approach (50:50), uten modul D



Figur 25: Resultat metode 3b: Partitioning approach (50:50), uten modul D

5.2.9 Resultat av metode 8a: kombinasjon av metode 1b og 3b med biogent: polluter pays, uten modul D

Beskrivelse

Denne metoden kombinerer dagens praksis for fossile utslipp (metode 1: recycled content/cut-off 100:0) og en blanding av partitioning approach (50:50, metode 3b) og recycled content/cut-off, polluter pays (metode 1b) for biogent karbon.

For byggematerialer med innhold av biogent karbon er opptak av biogent karbon i A1 allokert på første bruk og siste bruk (to bygg/sykluser) av materialet. Utslipp av biogent karbon ved forbrenning i C3 er allokert til det bygget der utslippet (forbrenningen) skjer. I eksempelet vist i Figur 26 er opptak av biogent karbon kun fordelt på 2 bygg/sykluser, men det kan også være reelt å fordele på flere bygg/sykluser avhengig av type materiale og levetid (for eksempel alternativ 3: bygg 1 og alternativ 4: bygg 1 og 2). I praksis kan det være utfordrende å definere antall sykluser med bruk (utover 2 sykluser) over produktets levetid når et produkt benyttes i et bygg med design iht. DfD og i et bygg som benytter ombrukte produkter.

Forutsetninger

Tabell 14: Forutsetninger for beregningen

Omfang	Inkludert i beregning
A1-A3	Ja
C1-C4	Ja
Modul D	Nei
Karbonatisering (B1 og D)	Ja
Biogent karbon (A1 og C3)	Ja
Utslippsfaktor	Standard
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) ved tilrettelegge for ombruk	10 %
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) i modul D, ved DfD (erstatte likt produkt)	90 %
Allokering GWP-fossil	Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0)
Allokering GWP-biogent	Kombinasjon av metode 1b og metode 3b
Fordeles på antall sykluser	Biogent opptak fordeles på 2 sykluser. Biogent utslipp fordeles etter polluter pays

Resultat

Resultater er vist i Figur 26. Som figuren viser er resultater for bæresystem av stålsøyler/bjelker helt likt som vist i Figur 20 (kap. 5.2.3). Denne metoden (metode 8a) påvirker kun materialer som inneholder biogent karbon.

For byggematerialer med innhold biogent karbon er opptak av biogent karbon allokert på første bruk og siste bruk (to bygg/sykluser) av materialet, vist i Figur 26. Dette medfører at for et bæresystem med limtre søyler/bjelker og massivtredekke kan bygg, som er designet iht. DfD eller bruker ombrukte produkter, få et opptak av biogent karbon i A1 (alternativ 2 og alternativ 3: bygg 2). Det er kun det

bygget som sender byggematerialer med innhold av biogent karbon til forbrenning (C3) som blir allokert 100% av biogent utslipp i C3.

Samlet for modul A1-C4 oppnår bygg som består av nye byggematerialer med innhold biogent karbon (alternativ 1: bygg 1 og 2) og som ikke er designet iht. DfD (materialer sendes til avfallsbehandling i C1-C4), et relativt mye høyere klimagassutslipp enn bygg som består av nye og ombrukte byggematerialer med innhold av biogent karbon (alternativ 2: bygg 1, alternativ 3: bygg 1, alternativ 4: bygg 1 og 2) og som er designet iht. DfD. Bygg som består av ombrukte byggematerialer med innhold biogent karbon som sendes til avfallsforbrenning (C1-C4) etter endt bruk, oppnår høyest utslipp av klimagasser av alle alternativ og bygg for bæresystem av limtre søyler/bjelker og massivtredekke.

Inkludering av *polluter pays for biogent karbon* kan medføre at resultatet for noen bygg er regnet med et negativt klimagassutslipp for bæresystem og dekker (for eksempel alternativ 2, bygg 1: - 53 kg CO₂-ekv/m² BTA).

Resultat metode 8a: kombinasjon av metode 1b og 3b med biogent: polluter pays, uten modul D



5.2.10 Resultat av metode 8b: kombinasjon av metode 1b og 3b med biogent: polluter pays, med modul D

Beskrivelse

Se kapittel 5.2.9. Metode 8b inkluderer modul D.

Forutsetninger

Tabell 15: Forutsetninger for beregningen

Omfang	Inkludert i beregning
A1-A3	Ja
C1-C4	Ja
Modul D	Ja
Karbonatisering (B1 og D)	Ja
Biogent karbon (A1 og C3)	Ja
Utslippsfaktor	Standard
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) ved tilrettelegge for ombruk	10 %
Andel av utslipp (av nytt produkt A1-A4) i modul D, ved DfD (erstatte likt produkt)	90 %
Allokering GWP-fossil	Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0)
Allokering GWP-biogent	Kombinasjon av metode 1b og metode 3b
Fordeles på antall sykluser	Biogent opptak fordeles på 2 sykluser. Biogent utslipp fordeles etter polluter pays

Resultat

Resultater er vist i Figur 27. Som figuren viser er resultater for bæresystem av stålsøyler/bjelker helt likt som vist i Figur 23 (kap. 5.2.6), bortsett for alternativ 2: bygg 1 og 2, og alternativ 3: bygg 2.

For byggematerialer med innhold biogent karbon, er opptak av biogent karbon allokert på første bruk og siste bruk (to bygg/sykluser) av materialet, vist i Figur 27. Dette medfører at for et bæresystem med limtre søyler/bjelker og massivtredekke, kan bygg som er designet iht. DfD eller bruker ombrukte produkter, få et opptak av biogent karbon i A1 (alternativ 2 og alternativ 3: bygg 2). Det er kun det bygget som sender byggematerialer med innhold av biogent karbon til forbrenning (C3) som blir allokert 100% av biogent utslipp i C3.

Gevinst ved DfD gis både til bygg som sender produkter til fremtidig ombruk (i modul D) og bygg som benytter ombrukte produkter (A1-A4), når modul D regnes med. Modul D skiller på bygg som er designet iht. DfD og bygg som ikke er designet iht. DfD, da det gis større redusert utslipp i modul D ved DfD. Inkludering av partitioning approach (50:50, metode 3b) og polluter pays for biogent karbon og modul D kan medføre at resultatet for noen bygg oppnår et negativt klimagassutslipp for bæresystem og dekker (for eksempel alternativ 2, bygg 1 med bæresystem i limtre samt massivtredekker: - 91 kg CO₂-ekv/m² BTA).

Resultat metode 8b: kombinasjon av metode 1b og 3b med biogent: polluter pays, med modul D



Figur 27: Resultat av metode 8b: kombinasjon av metode 1b og 3b med biogent: polluter pays, med modul D

5.3 Resultat fra case: oppsummering

Kapittel 5.1 og 5.2 viser klimagassberegninger for fossilt og biogent karbon, over modul A1-C4 og D for ulike bygg og med ulike allokeringer.

5.3.1 DfD i anleggsfase (A5)

Når det gjelder DfD i anleggsfase (A5), viser eksempelet med spunt i kapittel 5.1 at ved en allokering tilsvarende *recycled content/cut-off* (metode 1) vil 100% av utslipp fra produksjon av spunt allokeres første gangs bruk, dvs. bygget som kjøper inn ny spunt. Dette gir ikke motivasjon i klimagassberegninger for å trekke spunt etter endt bruk, da gevinsten ikke krediteres første gangs bruk (utenom i modul D).

Ved bruk av *partitioning approach* (metode 3) vil utslipp fra produksjon (A1-A3) og avfallshåndtering (C1-C4) av spunt fordeles likt på alle sykluser/bygg som bruker spunten. Utslipp fra å tilrettelegge for ombruk og transport (A1-A4) og trekking spunt (C1-C4) legges til det enkelte bygg uten å bli fordelt. Ved bruk av denne metoden i klimagassberegninger skilles det ikke på om det benyttes ny spunt eller ombrukt spunt så lenge det er tilrettelagt for å trekke spunten etter bruk, eller at bruken har nådd endt levetid (i eksempelet: 5 sykluser).

Det vil medføre en motivasjon for DfD, og at det ikke påvirker klimagassberegningene verken om det er første gangs bruk eller senere ombruk som er benyttet i prosjektet. Den største utfordringen er å vite fordelingen på hvor mange antall ganger som er forventet brukstid. Dvs. utslipp fra produksjon og avfallsbehandling av materialer/produktet/elementet (A1-A4 og C1-C4) fordeles på forventet antall ganger produktet kan brukes. Er forventet antall ganger bruk eller levetid usikker, bør konservative verdier benyttes. Forslag til fordelinger kan være:

- fordelt på antall ganger: for eksempel spunt, forskaling, midlertidige konstruksjoner, avsperringer, osv.
- fordelt på levetid, antall døgn/år: for eksempel brakker, gangbruer osv.

Det anbefales at for midlertidige materialer/produkter/elementer i anleggsfasen (A5), som ikke er en del av det ferdige bygget, benyttes *partitioning approach* der utslipp fra produksjon (A1-A3) og avfallshåndtering (C1-C4) av materialet/produktet/elementet fordeles likt på alle sykluser/bygg hvor dette blir benyttet. Dette gjelder kun for materialer/produkter/elementer når det gjøres tiltak i prosjektet for å kunne demonteres og ombrukes etter endt bruk ved design iht. DfD. Nødvendige utslipp fra ekstra behov for energi og materialer ved å tilrettelegge for ombruk og transport (A1-A4 og C1-C4) legges til det enkelte bygg uten å bli fordelt.

I eksempelet med spunt i kapittel 5.1 var det benyttet en levetid på 5 sykluser for spunt. Det er en utfordring å definere en viss levetid for materialer som gjenbrukes i anleggsfasen.

Anbefaling

Det anbefales at det brukes en konservativ (lav) vurdering av levetid/antall sykluser et produkt kan brukes. Med mindre det foreligger dokumentasjon på flere sykluser/lang levetid, bør det som standard benyttes en levetid på 2 sykluser.

5.3.2 DfD for bygg (A1-C4, D)

Når det gjelder DfD i bygg (A1-C4 og D), viser eksempler med ulike bæresystem og dekker i kapittel 5.2 at valg av allokeringsmetode er komplisert. Allokeringsmetodene som er vurdert har ulike styrker og svakheter som gjør at det ikke er enkelt å trekke absolutt konklusjon.

Et av hovedpoengene med beregningene i kapittel 5.2 er å vise at valg av allokeringsmetoder ofte har en innvirkning langt utover systemgrensen. Det må derfor sikres at valg av allokering og utslippsfaktorer for materialer, produkter og elementer er konsekvente både innenfor og utenfor systemgrensen.

Iht. NS3 720/EN 15804/EN 15978

Bruk av allokeringsmetode bør i så stor grad som mulig være i henhold til gjeldende standarder for klimagassberegninger for bygg, da dette kreves i forbindelse med beregninger for TEK17 og BREEAM. Det vil også være lettere å kommunisere resultater når det kan henvises til at beregninger er iht. gjeldende standarder. Ved bruk av alternativ allokering som ikke er iht. standard, bør dette som hovedregel vises som *tilleggsresultat* utover beregninger etter nevnte standarder.

Modul D omhandler gevinster ved enden av livsløpet når materialstrømmer og energi krysser systemgrensen. Dette kan være klimagassreduksjoner som oppnås ved ombruk, materialgjenvinning og energiutnyttelse. Modul D er en tilleggsmodul til klimagassregnskap etter NS 3720:2018, men det angis ikke regler for hvordan klimagassutslipp knyttet til modul D skal beregnes.

Modul D kan være nyttig i klimagassberegninger for å synliggjøre effekter utover livsløpet. utfordringer er at modul D ikke skal påvirke beregninger for A1-C4. Denne effekten kan derfor være utfordrende å kommunisere, spesielt hvis inkludering av modul D endrer konklusjonen/valg av løsninger.

Videre krever modul D en vurdering av *hva som erstattes* når materialstrømmer krysser systemgrensen. Hvilken utslippsfaktor produksjon av nytt stål, betong og trevirke og andre materialer har i fremtiden (etter 50 år) som kan unngås ved demontering etter design iht. DfD medfører stor usikkerhet. En inkludering av modul D kan i flere tilfeller være nyttig, men spesielt når modul D omfatter en beregning mange år frem i tid vil resultater være usikre og det bør gjennomføres sensitivitetsvurderinger hvis modul D påvirker valg av løsninger.

Effekten av tidsperspektiv og teknologisk utvikling, som beskrevet i kapittel 4, bør vurderes for å inkludere en metodikk som tar hensyn til effektene av at ombruk skjer langt frem i tid.

Effekt av fossilt karbon ved DfD

Fossile utslipp blir i liten grad påvirket av design iht. DfD når modul A1-C4 analyseres. Dette da gjeldende standarder i klimagassberegninger for bygg allokerer utslipp fra produksjon av materialer til første gangs bruk. Fossile utslipp fra avfallsbehandling av stål, betong og tre er relativt lave sammenliknet med produksjonsutslipp. En endret avfallshåndtering fra dagens praksis til design iht. DfD vil derfor i liten grad påvirke resultater og konklusjon. For å få med effekt av DfD for fossile utslipp må enten modul D inkluderes, eller det må benyttes en allokering som *partitioning approach*.

Effekt av biogent karbon ved DfD

Biogene opptak/utslipp blir i liten grad påvirket av design iht. DfD når modul A1-C4 analyseres og det antas IOBC for biogent karbon. Effekten blir først gjeldende når antakelsen om *polluter pays* inkluderes

sammen med design iht. DfD. Da vil biogent karbon som er tatt opp regnes med som redusert utslipp for et bygg så lenge materialene som inneholder biogent karbon ikke sendes til forbrenning etter endt bruk.

For å sikre at en klimaberegning med *polluter pays* for biogene opptak/utslipp er iht. regneregler i NS 3720, EN 15804 og EN 15978, må karbonbalanse over levetiden (A1-C4) sikres. Over livsløpet A1-C4 skal biogent karbon inn i systemet være lik biogent karbon ut av systemet. Beregninger for opptak/utslipp av biogent karbon kan da suppleres med andre tilleggseffekter som SM (Use of secondary materials) og CRU (Components for re-use):

- SM = Use of secondary materials, i kg kombinert med karboninnhold av produkt.
Her deklarerer i vekt materialer i bygget som er basert på ombrukte produkter. I tillegg bør andel av total vekt i bygget og karboninnhold på ombrukte produkter deklarerer.
- CRU = Components for re-use, i kg kombinert med karboninnhold av produkt.
Her deklarerer i vekt materialer i bygget som er tilgjengelig for senere ombruk etter design iht. DfD. I tillegg bør andel av total vekt i bygget og karboninnhold på ombrukte produkter deklarerer.

Eksempler er vist i Tabell 16 og Tabell 17. Tall i Tabell 16 og Tabell 17 er vist for 1 m³ trevirke, hvor nytt trevirket i A1-A3 sendes til ombruk i C3, eller ombrukt trevirke i A1-A3 sendes til forbrenning i C3. Ved å deklare biogent karbon i SM og CRU må ikke GWP biogenic være i balanse, så lenge karbonbalansen (GWP biogenic, SM og CRU) er i balanse over A1-C4. Opptak/utslipp av 783 kg CO₂-ekv konverteres til innhold av karbon ved å multiplisere med 0,27 (12:44): 783 kg CO₂-ekv * 0,27 = 213 kg karbon.

Tabell 16: Sum karbonbalanse A1-C4 for 1 m³ nytt trevirke (A1-A3) som sendes til ombruk (C3), med opptak av biogent karbon i A1 og hvor karbonet er deklartert til ombruk i CRU med et gitt karboninnhold. Karboninnhold inn = karboninnhold ut.

	A1-A3	C3	
GWP biogenic	-783	0	kg CO ₂ -ekv
SM = Use of secondary materials	0	0	kg
SM: biogent karboninnhold	0	0	kg C
CRU = Components for re-use	0	500	kg
CRU: biogent karboninnhold	0	213	kg C
Sum karbonbalanse A1-C4	-213	213	kg C

Tabell 17: Sum karbonbalanse A1-C4 for ombruk av 1 m³ trevirke (A1-A3) som sendes til forbrenning i (C3), med innhold av karbon i A1 deklartert i SM og med utslipp av biogent karbon ved forbrenning i C3. Karboninnhold inn = karboninnhold ut.

	A1-A3	C3	
GWP biogenic	0	783	kg CO ₂ -ekv
SM = Use of secondary materials	500	0	kg
SM: biogent karboninnhold	-213	0	kg C
CRU = Components for re-use	0	0	kg
CRU: biogent karboninnhold	0	0	kg C
Sum karbonbalanse A1-C4	-213	213	kg C

Kan medføre negative resultat

Som vist i beregninger i kapittel 5.2, medfører noen allokeringmetoder at resultatet av klimagassberegninger for fossile og biogene utslipp over A1-C4 med og uten D har et negativt (minus) utslippstall for klimagassutslipp. Dette gjelder spesielt når modul D inkluderes for ombrukte produkter og ved polluter pays for biogent karbon.

Et negativt utslipp kan tolkes dit hen at *det bare er å bruke så mye materialer og ressurser som mulig* får å få et lavest mulig klimagassutslipp. Resultater fra en klimagassberegning må ikke tolkes slik, bruk av ressurser må alltid prioriteres slik at det ikke brukes mer ressurser i et bygg enn nødvendig.

Det må påpekes at selv om bæresystemet og dekker i denne casestudien i noen tilfeller er regnet med et negativt utslipp, medfører det nødvendigvis ikke at en klimagassberegning for et komplett bygg inkludert alle materialer blir negativt.

For å unngå denne fordelingen i modul D bør det vurderes 2 alternativer i beregningene:

1. Det bør settes en maks/min verdi for modul D. Med dette menes at når det benyttes et ombrukt produkt i A1-A3 kan ikke modul D erstatte et 100% nytt produkt. Modul D kan da tilsvare maksimalt det samme utslippet som A1-A3 for det ombrukte produktet. Eksempel hulldekke:
 - Utslipp fra produksjon, nytt hulldekke (A1-A3): 60 kg CO₂-ekv/m²
 - Utslipp fra ombrukt hulldekke (A1-A3): 6 kg CO₂-ekv/m²

Benyttes et ombrukt hulldekke i et bygg med utslipp i A1-A3 på 6 kg CO₂-ekv/m², kan modul D ikke ha høyere negativt utslipp enn -6 kg CO₂-ekv/m² selv om det i teorien kan erstatte et nytt hulldekke med et utslipp på 60 kg CO₂-ekv/m². Dette effekten (tilpassing av modul D) er ikke inkludert i beregninger vist i kapittel 5.2.

2. I stedet for å deklare produkter som sendes til ombruk som unngått fossilt utslipp i modul D, kan dette deklarerer i kategorien SM (Use of secondary materials). Dette kan bidra til at problemstillingen med negative utslipp unngås, samtidig som at ressursparameter (kg ombrukt materialer erstatter behovet for nye materialer) synliggjøres. Eksempel med hulldekke vist i Tabell 18, hvor 1 m² hulldekke sendes til ombruk. I stedet for å deklare -60 kg CO₂-ekv i modul D under fossilt utslipp er det deklart -370 kg (vekten av produktet) materialer som kan erstatte nye materialer.

Tabell 18: Sum A1-C4 og modul D for 1 m² hulldekke som sendes til ombruk etter bruk

	A1-A3	C3	D	
GWP fossil	60	0	0	kg CO ₂ -ekv
SM = Use of secondary materials	0	0	-370	kg
CRU = Components for re-use	0	370	0	kg

Annen effekt

Ved valg av andre metoder som *partitioning approach* medfører dette at design iht. DfD og bruk av ombrukte produkter kan redusere utslipp *innenfor* A1-C4. Dette kan være fordelaktig da det unngås å ta med modul D, som er usikker. Bruk av denne metoden medfører også at bygg som bruker ombrukte produkter (A1-A3) må inkludere halvparten av A1-A3 og C1-C4 for nytt materiale. Dette kan redusere insentivet for å bruke ombrukte produkter inn i et bygg, og vil være kontroversielt da dagens klimagassberegninger for bygg i stor grad anerkjenner at bruk av ombrukte produkter i nytt bygg kun tillegges eventuelt utslipp fra nødvendig prosessering og ikke utslipp fra produksjon (A1-A3).

Sammenstilling av styrker og svakheter ved allokeringemetodene

I Tabell 19 er styrker og svakheter ved de ulike allokeringemetodene oppsummert samt knyttet til om det er positiv effekt av DfD i klimagassregnskapet. Det er ikke utført noe vekting eller skalering av styrker og svakheter, annet enn «ja/nei» knyttet til tittel for kolonnene. «Ja» er markert med grønn farge og «Nei» med gul farge. Allokering som resulterer i negativt resultat (minus i klimagassregnskapet), er markert som negativt (gult). Som Tabell 19 viser er ingen av de vurderte metodene kun merket med grønt eller gult.

Analysene fra bruk av Circular Footprint Formula (CFF), beskrevet i kapittel 2.2.4, er ikke inkludert i tabellen. Dette skyldes ulike forutsetninger for analysene. En A-faktor lik 1 tilsvarer Metode 1: Recycled content/cut-off (100:0), og en A-faktor lik 0 vil tilsvarer Metode 2: Substitution/end of life recycling/avoided burden (0:100). Ved bruk av CFF-metoden gis ulik A-faktor for ulike materialgrupper og konstruksjoner. Resultatet ved en analyse av effekten av DfD i klimagassberegning vil derfor i praksis være basert på en kombinasjon av disse to metodene for ulike materialer og konstruksjoner. En hovedutfordring for bruk av CFF er mangelen på en database for A-faktor for ulike materialgrupper, samt den store mengden arbeid som oppstår for LCA-utøveren knyttet til beregningene. En felles database, f.eks. for europeiske land, kan også være problematisk med tanke på ulike markeder.

Tabell 19: Oppsummering av styrker og svakheter ved de ulike allokeringemetodene

Kapittel	Metode	Iht NS3720 EN15804/ EN15978	Kun A1-C4	Effekt av fossilt karbon ved DfD	Effekt av biogent karbon ved DfD	Kan medføre negative resultat	Annen effekt
		Positivt dersom inkludert	Positivt dersom unngå modul D	Positivt dersom effekt	Positivt dersom effekt	Negativt dersom negativ effekt	
5.2.3	Resultat metode 1a: Recycled content/- cut-off, biogent: IOBC, uten modul D	Ja	Ja	Nei	Nei	Nei	
5.2.4	Resultat metode 1a: Recycled content/- cut-off, biogent: IOBC, med modul D	Ja	Nei, inkludert modul D	Ja, i modul D	Nei	Ja, pga. modul D	
5.2.5	Resultat metode 1b: Recycled content/cut-off, biogent: polluter pays, uten modul D	Delvis, IOBC for biogent karbon ikke inkludert	Ja	Nei	Ja, lagret biogent karbon ved unngått forbrenning (C4)	Ja, for materialer som inneholder biogent karbon	
5.2.6	Resultat metode 1b: Recycled content/- cut-off, biogent: polluter pays, med modul D	Delvis, IOBC for biogent karbon ikke inkludert	Nei, inkludert modul D	Ja, i modul D	Ja, lagret biogent karbon ved unngått forbrenning (C4) samt i modul D	Ja, modul D og for materialer som inne- holder biogent karbon	
5.2.7	Resultat metode 3a: Partitioning approach (50:50), biogent: IOBC, uten modul D	Nei	Ja	Ja, A1-A4, C1- C4 halveres	Nei	Nei	Bygg som bruker ombrukte produkter (A1- A3) må inkludere halvparten av A1-A3, C1-C4 for nytt materiale
5.2.8	Resultat metode 3b: Partitioning approach (50:50), biogent (50:50), uten modul D <i>Samme resultat som 5.2.7.</i>	Nei	Ja	Ja, A1-A4, C1- C4 halveres	Nei	Nei	
5.2.9	Resultat av metode 8a: kombinasjon av metode 1b og 3b med biogent: polluter pays, uten modul D	Delvis, ikke for fordeling av opptak av biogent karbon	Ja	Nei	Ja, noe effekt av lagret biogent karbon ved DfD, polluter pays ved forbrenning	Ja, for materialer som inneholder biogent karbon	
5.2.10	Resultat av metode 8b: kombinasjon av metode 1b og 3b med biogent: polluter pays, med modul D	Delvis, ikke for fordeling av opptak av biogent karbon	Nei, inkludert modul D	Ja, i modul D	Ja, noe effekt av lagret biogent karbon ved DfD, polluter pays ved forbrenning	Ja, modul D og for materialer som inne- holder biogent karbon	

5.3.3 Justering for sannsynlighet for DfD, teknologiutvikling og tidsvektning

Analysene beskrevet i denne rapporten viser at det er betydelig usikkerhet knyttet til hva som vil skje i fremtiden når et DfD-objekt skal demonteres for videre ombruk. I kapittel 4 beskrives hvordan både

teknologiutvikling og tidsvekting vil kunne ha betydning for effekten av DfD, avhengig av hvilket tidsperspektiv som forutsettes. Ut over dette bør det tas hensyn til i hvilken grad det *faktisk* er tilrettelagt for DfD slik at demontering og ombruk i fremtiden er kan gjøres mest mulig sannsynlig.

5.3.4 Oppsummering

Følgende punkter trekkes frem som viktige når det skal velges metode for allokering av fossile og biogene opptak og utslipp i klimagassberegninger for bygg:

- Beregninger bør følge gjeldende standarder for klimagassberegninger for bygg
- A1-C4 bør alltid inkluderes
- Modul D kan inkluderes i beregninger som tilleggseffekt (gjør sensitivitetsvurderinger, og vurderer maks fradrag for utslipp i modul D, tilpasset utslippsfaktor i A1-A3)
- Polluter pays på biogent karbon bør inkluderes
- Klimagassberegninger bør skille mellom fossile og biogene opptak og utslipp, GWP_{fossil} og GWP_{biogenic}
- Klimagassberegninger bør inkludere tilleggseffekter (tilsvarende EPDer iht. EN 15804) for å synliggjøre design iht. DfD og bruk av ombrukte produkter:
 - SM = Use of secondary materials, i kg kombinert med karboninnhold av produkt.
Her deklarerer i vekt materialer i bygget som er basert på *ombrukte produkter*. I tillegg bør andel av total vekt i bygget og karboninnhold på ombrukte produkter deklarerer.
 - CRU = Components for re-use, i kg kombinert med karboninnhold av produkt.
Her deklarerer i vekt materialer i bygget som er tilgjengelig for *senere ombruk* etter design iht. DfD. I tillegg bør andel av total vekt i bygget og karboninnhold på ombrukte produkter deklarerer.

Skal det henvises til en konkret metode, kan metodene som er beskrevet i kapittel 5.2.6 (metode 1b med modul D), 5.2.9 (metode 8a) og 5.2.10 (metode 8b) trekkes frem som metoder som svarer ut de fleste av punktene over.

Metode 1b: recycled content/cut-off, biogent: polluter pays, med modul D (kapittel 5.2.6) er en komplett beregning for A1-C4 med modul D, med polluter pays for biogent karbon. En utfordring med denne metoden er at den favoriserer bruk av nye treprodukter, siden all gevinst ved opptak og lagring av biogent karbon tildeles første bruk av dette materialet. Det kan være en uønsket effekt at brukte treprodukter ikke får samme effekt av opptak av biogent karbon. Negativt utslipp knyttet til biogent opptak i A1 for nytt produkt kan også bli høyt.

Metode 8a og 8b: kombinasjon av metode 1b og 3b med biogent: polluter pays, uten modul D (kapittel 5.2.9) og med modul D (kapittel 5.2.10) løser denne utfordringen ved at opptak av biogent karbon er fordelt på første bruk og siste bruk (to bygg/sykluser) av materialet. Dette medfører at bruk av nytt og ombrukt materiale med innhold av biogent karbon får en andel av effekten ved lagret biogent karbon. Dette medfører også at effekt av opptak av biogent karbon i A1 nedskaleres noe og vil påvirke resultatet i mindre grad. Ved å inkludere modul D i denne metoden (kapittel 5.2.10) vil også effekten ved design iht. DfD påvirke materialer som ikke inneholder biogent karbon.

Basert på resultater vist i kapittel 5.2 er det vurdert at metode 8b kan anbefales som den metoden som hensyntar DfD for fossilt og biogent karbon på en best mulig måte for *bygg 1* og *bygg 2*. Metode 8b er iht. NS 3720 for fossile utslipp, men ikke for biogent karbon fordi opptak er fordelt på første bruk og

siste bruk (to bygg/sykluser) av materialet. Et maks fradrag for utslipp i modul D, tilpasset utslippsfaktor i A1-A3, bør vurderes.

Ved bruk av denne allokeringemetoden (8b) gis betydelig gevinst knyttet til opptak av biogent karbon og unngåtte utslipp for forbrenning av treverket. For å få balanse i klimagassregnskapet innen A1-C4 må det derfor tas utgangspunkt i at bygg nummer 2, som bygges en gang i fremtiden, også bruker denne allokeringemetoden. Dette vil for bygg 2 innebære å ta «byrden» med utslipp ved forbrenning dersom ikke også dette bygget legger til rette for fremtidig ombruk. Dette er det ingen garanti for dersom ikke allokeringemetoden blir standard allokeringemetode i beregningsstandarder for klimagassutslipp.

Ved bruk av modul D er det viktig at denne rapporteres separat fra modul A1-C4. Bruk av modul D vil ikke gi balanse i klimagassregnskapet summert opp for flere sykluser når flere bygg skal bruke samme produkt. Rapportering separat er også i henhold til NS 3720: «Konsekvenser knyttet til ombruk, resirkulering og energigjenvinning utenfor systemgrensen for analysen kan beregnes i modul D, og resultat i modul D skal rapporteres separat.» Bygg 1 (eller bygg som bruker nye materialer) skal alltid inkludere utslipp fra produksjon av materialer i A1-A3 i sitt klimagassregnskap, og kan vise effekten ved DfD som separat beregning i modul D. Gevinst i modul D ved DfD kan betraktes som et insentiv for DfD eller «innovasjonsbonus», og kan være aktuell å inkludere så lenge gjeldende regelverk (som TEK) ikke stiller direkte og målbare krav knyttet til demontering og ombruk.

I kapittel 4 diskuteres hvordan tidsperspektiv, teknologisk utvikling og sannsynlighet for fremtidig demontering og ombruk bør være en faktor ved inkludering av DfD i klimagassregnskap. Dette kommer i tillegg til vurdering av allokeringemetode, og bør tas en beslutning rundt.

6 Effekt av DfD sett opp mot andre klimagassreduserende tiltak

Som vist i kapittel 5.2 vil allokering av utsatte klimagassutslipp knyttet til fremtidig demontering og ombruk (DfD), kunne innebære til dels vesentlige besparelser for bygg som legger til rette for dette. Besparelsene varierer med ulike metoder, om det er med eller uten modul D, og hvilken syklus i livløpet det gjøres beregninger for.

For å vurdere effekten av DfD i klimagassregnskap er det nyttig å vurdere besparelsene sett opp mot andre tiltak for å redusere klimagassutslippene i et byggeprosjekt. Det er gjort en sammenligning med følgende tiltak:

1. Reduksjon av utslipp knyttet til materialer, satt til 20 % reduksjon sammenlignet med utslippsverdier gitt i BREEAM v.6.1, Mat01. Referansen gjelder for bygg i stål og betong, og for fasene A1-A3, A4, A5, B2 og B4 (kun materialer). Ekskl. konstruksjoner mot grunnen.
2. Reduksjon knyttet til svært gode effektiviseringstiltak for energi, inkludert produksjon av solstrøm og i henhold til Powerhouse Paris-Proof. Det er benyttet energiberegninger for kontorbyggprosjektet Pilar (Skanska), som har mål om å bygge iht. Powerhouse Paris-Proof. Forutsatt utslippsfaktor for elektrisitet 0,136 kg CO₂-ekv/kWh iht. NS 3720 for EU28+NO. Beregnet levert energi 12 kWh/m² mot et referansebygg iht. energikarakter B på 115 kWh/m². Reduksjon 103 kWh/m² per år. Dette gir en reduksjon i klimagassutslipp på 14,0 kWh/m² per år.
3. Reduksjon av primærenergibehov iht. taksonomikrav, dvs. 10 % lavere enn nZEB (DiBK). Utgjør en reduksjon på 7,6 kWh/m² per år. Forutsatt utslippsfaktor for elektrisitet 0,136 kg CO₂-ekv/kWh iht. NS 3720 for EU28+NO

I Tabell 20 er det vist besparelser vs. tiltak for bruk av klimavennlige materialer samt energi-effektivisering. Metode 8b er lagt til grunn, og sammenlignet med metode 1 som er dagens praksis. Det er i tabellen også lagt inn begrensning av utslippsreduksjon ved DfD i modul D tilsvarende utslippsreduksjon dersom produkter hadde vært ombruk fra eksisterende bygg (10% av A1-A3 for nye produkter). Dette er vist i siste kolonne. For bygg med treverk i bærekonstruksjonen, og hvor treverk blir sendt til forbrenning i C1-C4, er ikke denne justeringen relevant.

Diskusjon av effekten av DfD er kommentert videre i henhold til kolonnen «Totalt» (uten justering).

Effekten av DfD-tiltaket i klimagassregnskap iht. metode 8b vs. standard praksis utgjør mellom -0,9 og 2,7 kg CO₂-ekv/m²år (positivt tall betyr redusert utslipp, altså positiv effekt). DfD-verdiene innebærer tilrettelegging for demontering og ombruk for *hele* bygget, og må anses som et betydelig tiltak for reduksjon av klimagassutslipp (og ressursforbruk), iallfall sett i forhold til dagens byggepraksis. Til sammenligning vil 20% reduksjon av klimagassutslipp for materialer gitt metoden i BREEAM-NOR v.6.1 utgjøre 1,3 CO₂-ekv/m²år. I dag anses ikke dette som en svært betydelig innsats. Sett opp mot energieffektiviseringstiltak for å oppnå Powerhouse Paris-Proof, som vil gi et redusert klimagassutslipp på 14 CO₂-ekv/m²år, er effekten av DfD-tiltaket begrenset. Og til sist: effekten av DfD-tiltaket utgjør ingen stor forskjell fra reduksjon av klimagassutslipp som oppfyllelse av taksonomikravet for energibruk for nybygg. Taksonomikravet kan ikke anses som veldig ambisiøst.

Oppsummert kan ikke effekten av DfD-tiltaket som er lagt til grunn for analysene og ved bruk av allokeringemetode 8b anses å være i «ubalanse» sett opp mot andre tiltak for utslippsreduksjon som lagt til grunn i denne sammenligningen.

Om det også skal tas hensyn til teknologiutvikling, tidsveking og sannsynlighet for fremtidig demontering og ombruk (kap. 4), vil effekten av DfD reduseres. Som et minimum bør DfD-faktor inkluderes. Dokumentasjon med DfD-faktoren er en dokumentasjon av at DfD kan anses gjennomførbart innenfor dagens tekniske og økonomiske rammer. DfD-faktor under 1.0 vil redusere effekten av DfD i klimagassregnskapet.

Tabell 20: Besparelser i klimagassregnskap, metode 8b vs. metode 1a: Recycled content/cut-off (100:0), biogent: IOBC, uten modul D (dagens praksis).

Bygg og alternativ	Metode	Slutt-behandling ved DfD	DfD	Totalt	A1-A3	A1-C4 biogent opptak	C1-C4 til forbrenning g/biogent	Modul D	Gitt ombruk, A1-A3	Justert total med ombruksverdi for modul
			Ja/Nei	Reduserte utslipp per m ² , totalt over levetiden eller per år.						
1: Bygg 1, alt. 2, Treverk. Se figur 27.	8b - se figur 27	Treverk til ombruk	Ja	-91	42	-95	0	-38	-4,2	-57
2: Bygg 1 og 2, alt. 1, Treverk	1a - dagens praksis. Se figur 20.		Nei	43	42					43
Besparelse 2-1 pga DfD				134						100
Besparelse 2-1 pga DfD, per år over 50 år				2,7						2,0
Besparelse 2-1 pga DfD, per år over 50 år, justert for teknologiutvikling				1,6						1,2
Utslipp for et typisk kontorbygg (materialer), per år over 50 år ¹ . Uten tiltak for redusert klimagassutslipp. NB! Bygg i stål og betong				6,6						6,6
20 % redusert utslipp for et typisk kontorbygg (materialer), per år over 50 år ¹				1,3						1,3
Betydelig energieffektiviseringstiltak kontorbygg, inkludert solcelleanlegg (til Powerhouse) ² , per år				14,0						14,0
Besparelser utslipp pga. krav i taksonomien vs. TEK17 ³				1,0						1,0
1: Bygg 2, alt 2, Treverk	8b - se figur 27	Treverk til forbrenning for siste bygg	Nei	89	0	-95	190	-12		
1: Bygg 1, alt. 2, Treverk. Se figur 27.	1a - dagens praksis. Se figur 20.		Nei	43	42					
Besparelse 2-1 pga DfD				-46						
Besparelse 2-1 pga DfD, per år over 50 år				-0,9						
Besparelse 2-1 pga DfD, per år over 50 år, justert for teknologiutvikling				-0,6						
Utslipp for et typisk kontorbygg (materialer), per år over 50 år ¹ . Uten tiltak for redusert klimagassutslipp. NB! Bygg i stål og betong				6,6						
20 % redusert utslipp for et typisk kontorbygg (materialer), per år over 50 år ¹				1,3						
Betydelig energieffektiviseringstiltak kontorbygg, inkludert solcelleanlegg (til Powerhouse) ² , per år				14,0						
Besparelser utslipp pga. krav i taksonomien vs. TEK17 ³				1,0						
1: Bygg 1, alt. 2 Stål og betong	8b - se figur 27	Konstruksjoner til ombruk	Ja	23	128			-102	-12,8	112
2: Bygg 1 og 2, alt. 1, Stål og betong	1a - dagens praksis. Se figur 20.		Nei	125	128					125
Besparelse 2-1 pga DfD				102						13
Besparelse 2-1 pga DfD, per år over 50 år				2,0						0,3
Besparelse 2-1 pga DfD, per år over 50 år, justert for teknologiutvikling				1,2						0,2
Utslipp for et typisk kontorbygg (materialer), per år over 50 år ¹ . Uten tiltak for redusert klimagassutslipp				6,6						6,6
20 % redusert utslipp for et typisk kontorbygg (materialer), per år over 50 år ¹				1,3						1,3
Betydelig energieffektiviseringstiltak kontorbygg, inkludert solcelleanlegg (til Powerhouse) ² , per år				14,0						14,0
Besparelser utslipp pga. krav i taksonomien vs. TEK17 ³				1,0						1,0

7 Konklusjon og anbefalinger

Alle allokeringemetodene har fordeler og ulemper. Den allokeringemetoden som anses å balansere dette på en best mulig måte, og samtidig i størst mulig grad følge gjeldende standarder for klimagassberegninger, er metode 8b (kap. 5.2.10).

Denne metoden kombinerer:

- Fossile utslipp: dagens praksis (metode 1a: recycled content/cut-off, med modul D)
- Biogene utslipp: en blanding av metode 1b: recycled content/cut-off, polluter pays, og metode 3b: partitioning approach 50:50, begge med modul D

Metode 8b er iht. NS 3720 for fossile utslipp, men ikke for biogent karbon på grunn av at opptak er fordelt på første bruk og siste bruk (to bygg/sykluser) av materialet. Et maks fradrag for utslipp i modul D, tilpasset utslippsfaktor i A1-A3, bør vurderes. Ut over dette bør det også vurderes hvordan tidsperspektiv, teknologisk utvikling og sannsynlighet for fremtidig demontering og ombruk bør hensyntas ved inkludering av DfD i klimagassregnskap. Som minimum bør DfD-faktor, basert på grad av teknisk og økonomisk tilrettelegging for fremtidig demontering og ombruk, inkluderes.

Når effekten av DfD i klimagassberegninger ses opp mot andre tiltak for klimagassreduksjon over levetiden, viser analysene at bidraget pga. DfD ikke er forholdsmessig stort når det tas hensyn til innsatsfaktorer for å redusere klimagassutslipp.

I fremtiden, når nye byggevarer kan antas å bli langt mer klimavennlige enn dagens produkter, vil ombruk kunne bli mindre relevant sett ut fra et klimaperspektiv. Forbruk av ressurser vil derimot være minst like viktig, og en knapphetssituasjon for kritiske ressurser vil kunne bli mer viktig enn i dag. Det bør derfor innføres et tillegg til klimagassberegninger som ivaretar dette. Dette kan gjøres ved å inkludere «use of secondary materials» (SM) og «Components for re-use» (CRU), slik beskrevet i bl.a. kapittel 5.3.2.

Ved bruk av denne allokeringemetoden (8b) gis betydelig gevinst knyttet til opptak av biogent karbon og unngåtte utslipp for forbrenning av treverket. For å få balanse i klimagassregnskapet innen A1-C4 bør det derfor tas utgangspunkt i at bygg nummer 2, som bygges en gang i fremtiden, også bruker denne allokeringemetoden. Dette vil for bygg 2 innebære å ta «byrden» med utslipp ved forbrenning dersom ikke også dette bygget legger til rette for fremtidig ombruk. Dette er det ingen garanti for dersom ikke allokeringemetoden blir standard allokeringemetode i beregningsstandarder for klimagassutslipp.

Ved bruk av modul D er det viktig at denne rapporteres separat fra modul A1-C4. Bruk av modul D vil ikke gi balanse i klimagassregnskapet summert opp for flere sykluser når flere bygg skal bruke samme produkt. Rapportering separat er også i henhold til NS 3720: «Konsekvenser knyttet til ombruk, resirkulering og energigjenvinning utenfor systemgrensen for analysen kan beregnes i modul D, og resultat i modul D skal rapporteres separat.» Bygg 1 (eller bygg som bruker nye materialer) skal alltid inkludere utslipp fra produksjon av materialer i A1-A3 i sitt klimaregnskap, og kan vise effekten ved DfD som separat beregning i modul D. Gevinst i modul D ved DfD kan betraktes som et insentiv for DfD eller en «innovasjonsbonus», og kan være aktuell å inkludere så lenge gjeldende regelverk (som TEK) ikke stiller direkte og målbare krav knyttet til demontering og ombruk.

Hvordan tidsperspektiv, teknologisk utvikling og sannsynlighet for fremtidig demontering og ombruk bør være en faktor ved inkludering av DfD i klimagassregnskap, må vurderes. Som et minimum bør DfD-faktor, som hensyntar teknisk og økonomisk rasjonell tilrettelegging for fremtidig demontering og ombruk, inkluderes.

8 Vedlegg 1: Utslippsfaktorer for bæresystem og dekker

Tabell 21: Utslippsfaktorer benyttet i beregningene i kapittel 5.

Materialer	A1-A3	A4	Enhet GWPfossil	Kommentar
Betong, B35, til hulldekke	280	10,4	kg CO ₂ -ekv/m ³	50 km transport
Spennarmering, til hulldekke	2,70	0,17	kg CO ₂ -ekv/kg	2000 km transport
Hulldekke, HD320, m ²	60,9	6,96	kg CO ₂ -ekv/m ²	200 km transport
Kstål, hulprofil, kg	3,00	0,17	kg CO ₂ -ekv/kg	2000 km transport
Kstål, valseprofil, kg	1,50	0,17	kg CO ₂ -ekv/kg	2000 km transport
Limtre, m ³	100	20,4	kg CO ₂ -ekv/m ³	500 km transport
Massivtre, m ³	100	20,4	kg CO ₂ -ekv/m ³	500 km transport

Biogent karbon	A1-A3	A4	Enhet	Kommentar
Innhold biogent karbon	-750		kg kg CO ₂ -ekv/m ³ trevirke	

Karbonatisering	B1-B5	C1-C4	Enhet	Kommentar
Snittfaktor, opptak karbonatisering år 0-60	-49,0	-1,90	kg CO ₂ -ekv/m ³	C1-C4: 90 % knusing
Snittfaktor, opptak karbonatisering år 60-100	-14,5	0,20	kg CO ₂ -ekv/m ³	C1-C4: 90 % knusing

Betong	C1-C2	C3-C4	D	Enhet GWPfossil
Demontere betong	23,7			kg CO ₂ -ekv/m ³
Knuse betong		2,90		kg CO ₂ -ekv/m ³
Erstatte pukkg/grus			-4,70	kg CO ₂ -ekv/m ³

Stål	C1-C2	C2-C4	D	Enhet GWPfossil
Kutte ned stål og transport	0,0078			kg CO ₂ -ekv/kg
Legge på lager klar til resirkulering		0		kg CO ₂ -ekv/kg
Erstatte stål - konstruksjonsstål			-1,5	kg CO ₂ -ekv/kg
Erstatte stål - armering			-0,6	kg CO ₂ -ekv/kg

Trevirke	C1-C2	C2-C4	D	Enhet GWPfossil
Rive trevirke og transport	2,24			kg CO ₂ -ekv/m ³
Forbrenne trevirke		3,01		kg CO ₂ -ekv/m ³
Erstatte energi og varme			-34,1	kg CO ₂ -ekv/m ³



VISION:

**«Sustainable
neighbourhoods
with zero
greenhouse gas
emissions»**



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES