

Klimagassberegninger av trekonstruksjoner

En sammenligning av beregningsmetoder i LCA, med fokus på biogent bundet karbon.



SIMEN ELLILA HOMME

VEILEDERE

Reyn Joseph O'Born, UiA
Simen Wahlstrøm, Norconsult

Universitetet i Agder, 2025

Fakultet for teknologi og realfag
Institutt for ingeniørvitenskap

Obligatorisk egenerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1.	Jeg erklærer herved at min besvarelse er mitt eget arbeid, og at jeg ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	☒
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands. - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. - har alle referansene oppgitt i litteraturlisten. - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	☒
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	☒
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	☒
5.	Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det foreligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	☒
6.	Jeg/vi har satt meg/oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	☒

Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene, vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller taushetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Jeg gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

☐ JA ☒ NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

☐ JA ☒ NEI

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

☐ JA ☐ NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?

☐ JA ☒ NEI

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)

Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet ved Institutt for Ingeniørvitenskap ved Universitetet i Agder som en del av bachelorprogrammet for Byggdesign. Bacheloroppgaven er den avsluttende oppgaven i emnet BYG315 og ble utarbeidet i det sjette og siste semesteret i bachelorprogrammet. Jeg ønsker å takke både min interne veileder ved Universitetet i Agder, Reyn Joseph O' Born, og min eksterne veileder hos Norconsult, Simen Wahlstrøm, for god oppfølging og faglige innspill gjennom hele arbeidet. Målet med bacheloroppgaven er å undersøke hvordan biogent bundet karbon blir hensyntatt i forskjellige beregningsmetoder for klimagassutslipp, og videre undersøke hvordan hensynet påvirker resultatene fra utslippsberegningene.

Summary

In this Bachelor thesis I will study how biogenic carbon is accounted for in different greenhouse gas emissions methods. In the field of LCA-study's there is not an agreement of methodology when it comes to the use of a static versus dynamic approach, and whether to account for biogenic carbon uptake in wooden products. The static approach is based on the assumption of carbon neutrality, which implies that the exact amount of carbon absorbed by growing trees will be released back into the atmosphere after the wood has been used as a construction material in a product and then been through a waste management process. The dynamic approach follows the carbon flow in greater detail throughout the products life cycle, with the purpose of having a better overview of all emissions and uptakes of carbon. To uncover the challenges of biogenic carbon in LCA the following research questions were formulated.

- *How is the CO₂-footprint of a building in an LCA affected by the different managements of biogenic carbon in wooden products?*
- *How is biogenic carbon managed in the FutureBuilt-method and NS3720?*
- *With the use of a greenhouse gas calculation of a case-study, what leads to the potential differences in results between the FutureBuilt-method and NS3720?*

To answer these questions an LCA-study was done in the form of a case-study of a kindergarten building. The LCA-study included both methods, FutureBuilt and NS3720, and was performed in the software Reduzer. The results showed that the dynamic approach of the FutureBuilt-method resulted in lower CO₂-emissions than the static approach of NS3720. One of the most contributing factors were the static versus dynamic approach itself, because the dynamic approach allowed reduction of emissions based on the development of new technology. Another main contributing factor was the uptake of biogenic carbon in wooden products. The conclusion was that the dynamic approach in the FutureBuilt-method leads to lower CO₂-emissions than the static approach in NS3720, especially because of the consideration to biogenic carbon and time.

Innholdsfortegnelse

Obligatorisk egenerklæring	i
Publiseringsavtale	ii
Forord	iii
Summary	iv
Innholdsfortegnelse	v
Figurliste	vii
Tabelliste	viii
1. Innledning	1
2. Kunnskapsbakgrunn	3
2.1. Klimaproblematikk	3
2.1.1. Paris-avtalen	5
2.2. LCA	6
2.2.1. Innhold i en LCA-studie	7
2.2.2. EPD	9
2.3. Biogent bundet karbon	10
2.3.1. Metode: 0/0 – Karbon nøytral tilnærming	10
2.3.2. Metode: -1/+1	11
2.4. Beregningsmetoder for klimagassberegning av bygninger	12
2.4.1. NS3720	12
2.4.2. FutureBuilt Zero B	14
2.5. Beregningsprogrammer for livssyklusanalyser	17
2.5.1. Reduzer	18
2.5.2. OneClick LCA	18
2.6. Arealbruk, arealbruksendringer og skogbruk	18
2.7. Avfallshåndtering av treverk	19
2.8. Litteratur	20
3. Forskerspørsmål	24
3.1. Hovedspørsmål	24
3.2. Underspørsmål	24
3.3. Avgrensninger	25
4. Metode	26
4.1. Case	26

4.2.	Materialer	28
4.3.	Litteratursøk	28
4.4.	LCA	29
4.4.1.	NS3720:2018	29
4.4.2.	FutureBuilt-metoden	29
4.4.3.	LCA i Reduzer	30
4.4.4.	Funksjonell enhet i Reduzer	30
4.4.5.	Mål og omfang	30
4.4.6.	Inventaranalyse	31
4.4.7.	Vurdering av påvirkning	34
4.4.8.	Tolkning og presentering av resultatene	34
5.	Resultat og diskusjon	35
5.1.	Resultat	35
5.2.	Diskusjon	39
6.	Konklusjon	44
6.1.	Konklusjon	44
6.2.	Anbefalinger til videre arbeid	44
	Referanser	45
	Vedlegg	52

Figurliste

Figur 2.1 Keelings kurve	3
Figur 2.2 Lagring av karbon i trær	4
Figur 2.3 Eksempel på systemgrenser som fører til misvisende resultat	11
Figur 2.4 Karbonopptak før produksjon av materialer	11
Figur 2.5 Karbonopptak parallelt med produksjon	12
Figur 4.1 Barnehagebygget som inngår i case-studiet	26
Figur 4.2 Oversiktsbilde Magasinparken	26
Figur 4.3 Plantegning av uteområde	27
Figur 4.4 Flytdiagram av produktsystemet	33
Figur 4.5 Modell for miljøpåvirkning	34
Figur 5.1 Resultat vist med utslippskilde	36
Figur 5.2 Resultat vist med livsløpsfase	38
Figur 5.3 Sannsynlighetsfordeling for avfallshåndtering	38

Tabelliste

Tabell 2.1 Utvikling av Norges utslipp	6
Tabell 2.2 Eksempler på forskjellige presentasjoner av resultater i LCA	8
Tabell 2.3 Oversikt over livsløpsfaser i LCA.....	9
Tabell 2.4 Oversikt over prosessene i gjennomføring av LCA.....	12
Tabell 2.5 Oversikt over hovedfasene i FutureBuilt-metoden.....	15
Tabell 2.6 Oversikt og forklaring av livsløpsfasene i FutureBuilt-metoden	16
Tabell 2.7 Oversikt over utslippspostene i FutureBuilt-metoden.....	16
Tabell 2.8 Oversikt over utslippsposter i FutureBuilt-metoden	19
Tabell 2.9 Fordeling av avfallsbehandling	20
Tabell 4.1 Liste over programvare	28
Tabell 4.2 Liste over fysiske materialer.....	28
Tabell 4.3 Oversikt over kilder til litteratur	29
Tabell 4.4 Type media for innhentet litteratur	29
Tabell 4.5 Inkluderte livsløpsfaser	31
Tabell 4.6 Oversikt over de fire forskjellige modellene	31
Tabell 4.7 Foreslåtte transportavstander i Reduzer	32
Tabell 4.8 Prosjektspesifikke avstander i Reduzer	32
Tabell 5.1 Oversikt over de fire forskjellige modellene	35
Tabell 5.2 Resultat vist med utslippskilde med enheten kgCO ₂ /m ² BRA.....	37

1. Innledning

Målinger av klodens temperatur har vært gjort siden midten av 1800-tallet [1]. Siden da har 2024 vært det varmeste året på kloden [2-5]. Januar 2025 har hittil vært den varmeste målte januar måned, mens mars og april har vært nest varmest [6, 7]. Med stadig høyere temperaturer følger større endringer på andre klimatiske områder, som økt grad av ekstremvær, skogbrann og endringer i økosystemer og det biologiske mangfoldet [8-10]. FN har utviklet 17 bærekraftsmål, hvor nummer 15 går ut på å fremme bærekraftig bruk av økosystemene [11]. Det er ikke bare det biologiske og klimatiske aspektet som blir negativt påvirket av klimaendringene. Verdensøkonomien har også en negativ utvikling på grunn av klimaendringene [12, 13]. Den økonomiske kostnaden ved å håndtere klimaendringene har allerede oversteget den eventuelle kostnaden som kommer fra å begrense temperaturøkningen med 2 grader [14]. Det har blitt brukt 2 grader i estimatet fordi FN har i sitt klimamål nummer 13 satt seg som mål å ikke overstige en global temperaturøkning på mer enn 2 grader [11]. Samtidig øker den sosiale ulikheten, i motgående retning av FNs klimamål nummer 10, spesielt mye i områder som allerede er utsatt for sosiale ulikheter [11, 15, 16]. For å redusere økningen av temperaturen har 194 land i tillegg til EU skrevet under på Paris-avtalen fra 2015 som plikter hvert land til å gjennomføre en rekke klimatiltak tilpasset hvert enkelt lands utfordringer og ressurser [17]. På et globalt nivå står bygg- og anleggsbransjen for omtrent 37% av klimagassutslippene [18]. Derfor er det viktig at byggebransjen reduserer utslipp som en del av den kollektive innsatsen, også i Norge.

I Norge står byggebransjen for 16 % av Norges klimagassutslipp [19]. Klimagassutslipp fra byggebransjen har de siste 30 årene økt gradvis frem til en topp i 2018, dette viser tall fra SSB som kan finnes i VEDLEGG A [20]. Fra 2019 og fremover har utslippene gått ned, og de lå i 2023 på samme nivå som i 2007. Selv om trenden har vært nedadgående bidrar fortsatt byggebransjen til en betydelig andel av klimagassutslippene og de bør reduseres videre. Norge har i forbindelse med Paris-avtalen satt mål om å nå klimanøytralitet innen 2030. For å nå målene om klimanøytralitet er det nødvendig å se på hvilke utslippsposter som kan reduseres. En av de største utslippspostene i den norske byggebransjen er produksjonen av materialer. For å redusere utslipp fra materialer kan man se på alternative byggematerialer og produksjonsmetoder. For eksempel har treverk potensiale til å gi lavere utslipp enn stål eller betong [21, 22]. I den siste tiden har bransjen hatt fokus på økt bruk av treverk, spesielt i bærende konstruksjoner som bjelker og søyler. Treverk har relativt lav styrke i forhold til stål, men treverket kan bearbeides til produkter som for eksempel limtrebjelker. Bjelker av limtre og stål kan oppnå de samme kravene til styrke, men limtrebjelkene krever et større tverrsnitt enn stålbjelkene. Til tross for at tverrsnittet er større, vil utslippene være lavere. Hovedårsaken til at treverk gir lavere utslipp, er at skogbruk kan regnes som en fornybar ressurs, forutsatt at bærekraftig skogbruk i henhold til PEFC eller FSC er lagt til grunn [23, 24]. Via fotosyntesen vil skogen ta opp karbondioksid og slippe ut oksygen, hvor karbonet fra karbondioksidet blir bundet i treverket og bidrar til at trærne vokser. Karbonet som blir bundet i trærne kalles for biogent bundet karbon. Utfordringen med biogent bundet karbon i klimagassberegninger er at det foreløpig ikke er en enighet i fagmiljøet på hvordan karbonet skal hensyntas, eller om det skal hensyntas i det hele tatt [25-28]. Beregning av klimagassutslipp blir stadig viktigere i byggeprosjekt. Insentiver kommer både fra politiske hold, forbrukere og

tiltakshavere [16, 29]. Det kommer stadig nye verktøy for klimagassberegninger, metodene blir revurdert og det kommer nye forslag til alternative metoder [27, 30].

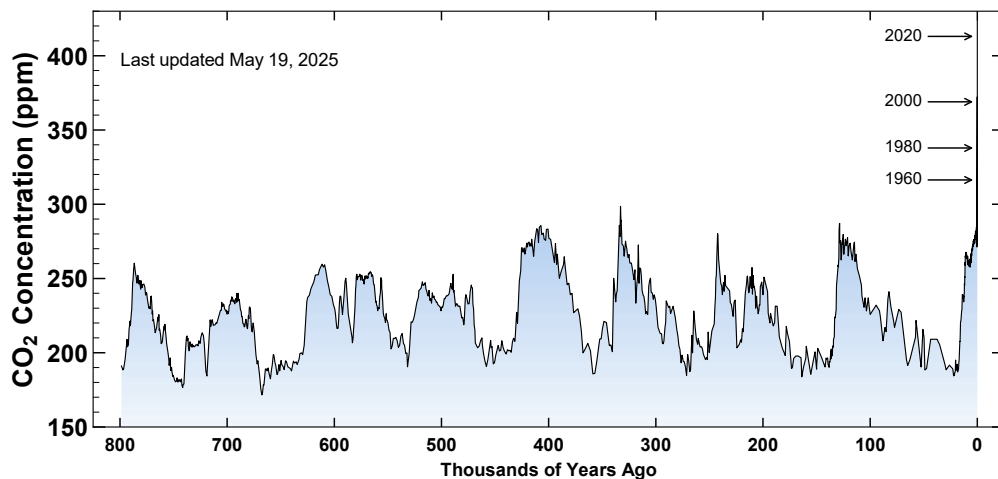
Norconsult er et konsulentfirma som har fokus på bærekraft i sine prosjekter [31]. De gjennomfører utslippsberegninger i forprosjektfasen til prosjekter for å kunne ta informerte valg for å redusere utslipp av klimagasser. For å gjennomføre klimagassberegninger finnes det flere forskjellige metoder, i tillegg til forskjellige verktøy som benytter seg av metodene. Ettersom det foreløpig ikke er en enighet i fagmiljøet om hvilken metode som skal benyttes er resultatene av klimagassberegningene i stor grad avhengig av valgt metode. Norconsult har levert et forprosjekt av Magasinparken barnehage i Ski hvor de har gjennomført en klimagassberegning. Denne oppgaven undersøker hvordan forskjellige metoder og verktøy for klimagassberegninger påvirker resultatene av utslippsberegningene, basert på forprosjektet til Norconsult.

2. Kunnskapsbakgrunn

For å ha tilstrekkelig fagkunnskap om problemområdet, metodene og annen relevant litteratur nødvendig for å gjennomføre denne analysen, blir det først presentert en kunnskapsbakgrunn. Den starter overordnet med klimaproblematikk, både historisk og dagens tilstand, før den går over til metoder som brukes for å gjennomføre analysen. Deretter blir arealbruk, arealbruksendringer og avfallshåndtering adressert, før det til slutt kommer et utdrag av annen faglitteratur relevant for analysen.

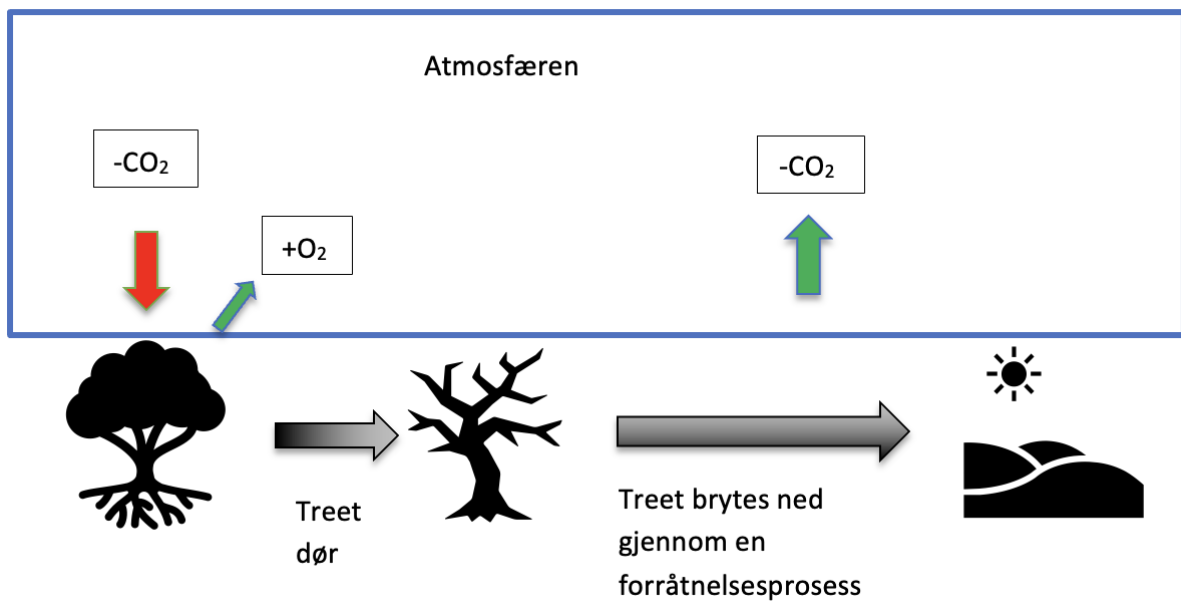
2.1. Klimaproblematikk

Den globale gjennomsnittstemperaturen øker stadig, derfor er det et varig behov for reduisering av klimagassutslipp. På 1960-tallet satt Robert Keeling opp en målestasjon på Hawaii's høyeste fjell for å måle CO₂-innholdet i atmosfæren [32]. Prosjektet som var ment for å vare i to år, ble forlenget på bakgrunn av funnene og stasjonen fortsetter å måle den dag i dag. For å presentere CO₂-innholdet i atmosfæren blir enheten parts per million (ppm) brukt. En forklaring av ppm kan gis gjennom et eksempel. Hvis innholdet i atmosfæren består av x-antall ppm CO₂, angir enheten hvor mange andeler av CO₂ som finnes i totalt en million deler. Resultatene, vist i Figur 2.1 hentet fra Scripps Institution of Oceanography ved UC San Diego, viser at i 1960 var CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren på omtrent 315 parts per million (ppm), og i 2025 omtrent 430 ppm, som tilsvarer en prosentvis økning på 36 % over 65 år [33, 34]. Til sammenligning har CO₂-konsentrasjonen ligget relativt stabilt mellom 260-285 ppm de siste 10 000 årene. Det finnes naturlige prosesser som gjør at CO₂-innholdet øker, og det har historisk skjedd i sykluser omtrent hvert 100 000 år. Men, CO₂-konsentrasjonen har i løpet av de siste 800 000 årene, før økningen som startet rundt den industrielle revolusjon, så vidt bikket 300 ppm i periodene med høyest konsentrasjon.



Figur 2.1 Keelings kurve

CO₂ består av ett karbonatom og to oksygenatom. Karbon er et sentralt grunnstoff i fotosyntesen, og er dermed grunnleggende for alt liv på jorden [35]. Vi kan skille mellom karbonet som finnes over bakken og under bakken. Karbonet over bakken finnes i atmosfæren, havet, skogen og andre biomasser. Karbonet under bakken, gjerne kalt fossilt karbon, finnes typisk i form av olje, kull eller gass. Karbonet over bakken inngår i et atmosfærisk kretsløp vist i Figur 2.2:



Figur 2.2 Lagring av karbon i trær

Figur 2.2 viser hvordan trærne fanger opp CO_2 fra atmosfæren og slipper ut igjen O_2 . Karbonet (C) fra CO_2 -et blir lagret i treverket. Når treet dør går det gjennom en forråtnelsesprosess hvor karbonet blir frigjort tilbake til atmosfæren i form av CO_2 . Karbonet som er lagret, eller bundet, i treverket kalles for biogent bundet karbon og vil bli videre forklart i kapittel 2.3. Alternativet til biogent bundet karbon, som oftere er omtalt, er det fossile karbonet.

Det fossile karbonet ligger i utgangspunktet permanent lagret under jordoverflaten og bidrar dermed ikke til økt CO_2 -innhold i atmosfæren. Det er først når det fossile karbonet blir ført opp til overflaten at karboninnholdet i atmosfæren vil øke i form av CO_2 . Når det fossile karbonet er tilført karbonkretsløpet som finner sted over jordoverflaten kan det ikke tilbakeføres som fossilt karbon på andre måter enn slik det ble til i første omgang. Altså gjennom millioner av år med fotosyntese. Norge stod i 2020 for kun 0,1 % av de globale klimagassutslippene [36]. Det er litt misvisende ettersom Norge eksporterer mesteparten av olje og gass produsert innenlands. Hvilket gjør at de fossile utslippene blir knyttet til andre land. Utslipp fra norsk olje og gass i utlandet er omtrent 10 ganger høyere enn Norges totale utslipp innenlands [37]. Selv om de fossile utslippene bidrar til klimaendringene i stor grad, vil også det biogene karbonet påvirke CO_2 -innholdet i atmosfæren på kort sikt. I april 2025 lå innholdet av CO_2 i atmosfæren på 429,64 ppm (parts per million), som tilsvarer omtrent 0,043 % av innholdet i atmosfæren [38]. Selv om det ikke er en stor andel, skal det svært lite økning til for at drivhuseffekten forsterkes og jordens gjennomsnittstemperatur øker. Drivhuseffekten går ut på at de gassene i atmosfæren vi kaller klimagasser, som blant annet CO_2 (karbondioksid), CH_4 (metan) og N_2O (lystgass), påvirker jordens og atmosfærens strålingsbalanse [39]. Effekten av en økt mengde av disse klimagassene er at den globale gjennomsnittstemperaturen stiger. Hypotetisk sett, i en verden uten CO_2 i atmosfæren ville ikke gjennomsnittstemperaturen på kloden vært over frysepunktet, derfor er jorden avhengig av CO_2 sin oppvarmingseffekt for å opprettholde en levedyktig temperatur [40]. Det er imidlertid verdt å presisere at biogent karbon slippes ut til atmosfæren gjennom naturlige prosesser, og bidrar til å holde temperaturen oppe, uten behov for fossilt karbon. Utslipp av klimagasser blir ofte betegnet med enheten CO_2 -ekvivalenter,

som tilsvarer klimapåvirkningen fra ett tonn CO₂ over en periode på 100 år. De andre klimagassene har forskjellig klimapåvirkning og kan derfor ikke direkte sammenlignes med CO₂ eller hverandre. Klimapåvirkningen fra de andre klimagassene regnes derfor om til tilsvarende klimapåvirkning fra tilsvarende mengde CO₂. For eksempel tilsvarer klimapåvirkningen fra ett tonn metan 28 tonn CO₂, derfor er ett tonn metan lik 28 CO₂-ekvivalenter [41]. Alle klimagasser blir omregnet slik for å enklere kunne sammenligne og addere utslipp. Byggebransjen slipper ut både biogent og fossilt karbon, henholdsvis fra treverk og fossilt drivstoff, men også fra andre kilder. For å begrense de globale utslippene, også fra byggebransjen, møttes representanter fra de fleste av verdens nasjoner i Paris 2015.

2.1.1. Paris-avtalen

Paris-avtalen går ut på at alle land er pliktige til å jobbe for et utvalg av felles klimamål [17]. 194 land i tillegg til Den Europeiske Union (EU) har skrevet under på at de slutter seg til Paris-avtalen. Noen av hovedpunktene i avtalen er at alle land skal lage en plan for hvordan og hvor mye de skal kutte klimagassutslipp. I tillegg skal det hvert femte år rapporteres hvordan kuttene i utslipp har gått i tillegg til å fornye målene. Det snakkes stadig om 2-graders-målet som har utspring i Paris-avtalen. Landene er enige i at gjennomsnittstemperaturen på kloden ikke kan stige mer enn 2 grader, men den bør likevel ikke øke mer enn 1,5 grader. Imidlertid er det uenighet i fagfeltet om hvorvidt det fortsatt er mulig å nå gradmålet. FN ga ut rapporten Emissions gap report 2024 hvor de rapporterer at hvis alle landene fortsetter med samme politikk og innsats som frem til nå, vil temperaturen stige med 3,1 grader i løpet av inneværende århundre [42]. For å begrense temperaturstigningen setter landene netto-null-mål hvor landet beskriver hvilke tiltak de skal gjennomføre for at landet har et netto utslipp lik null. Altså at landets totale CO₂-utslipp ikke er større enn landets totale CO₂-opptak eller -reduksjon. Hvis alle overordnede klimamål i tillegg til landenes respektive netto-null-mål oppnås kan temperaturen reduseres til en økning på 1,9 grader. Hvis vi ser på det fra en annen side, for å nå målet om maksimalt 1,5 grader temperaturøkning, må vi kutte utslipp med 42% innen 2030. Det kreves altså en stor innsats og vilje for å endre kursen vi har, og for å nå målene vi har satt. Når det er sagt skjer det ikke nødvendigvis endringer først i det øyeblikk vi passerer to grader [43]. Vi kan også se betydelige klimaendringer selv om gjennomsnittstemperaturen har økt mindre enn to grader. Sannsynligheten for at vi ser mer drastiske klimaendringer vil øke jo mer temperaturen øker. Grunnen til at målet er satt nøyaktig ved to grader, handler mer om at det er politisk enkelt å forholde seg til, enn at det er vitenskapelig begrunnet.

Norge satt seg mål om å redusere utslipp med minst 55% innen 2030 sammenlignet med 1990 [44]. I februar 2025 leverte Norge sin første rapport til FN, Biennial Transparency Report (BTR) [45]. Rapporten inneholder ikke tabellen som beskriver en oppsummering av utslippene, men de ble rapportert direkte til FNs klimakonvensjon (UNFCCC) og kan leses i VEDLEGG B [45]. Verdien i 1990 som regnes som referanseverdi var på 51,3 kilo tonn CO₂ ekvivalenter (kt CO₂e) og er presentert i Tabell 2.1 [46]. Siste rapporterte år var 2022 hvor utslippene var 48,9 kt CO₂e og projeksjonen for 2025 ligger på 45,1 kt CO₂e [VEDLEGG B]. Projeksjonen for 2030 var 37,8 kt CO₂e. Hvis projeksjonen stemmer, tilsvarer det en reduksjon, sammenlignet med referanseverdien i 1990, på omtrent 26 %. Alle verdiene ser bort fra eventuelt CO₂-opptak fra arealbruk som skogbruk.

Tabell 2.1 Utvikling av Norges utslipp

År	Rapportert		Projeksjon
	1990	2022	2030
Utslipp kt CO ₂ e	51,3	48,9	37,8

2.2. LCA

For å gjennomføre en klimagassberegning er en av metodene som ofte blir brukt en livssyklusanalyse, forkortet med LCA eller omtalt som LCA-studie. I byggebransjen i Norge blir det mer og mer vanlig å bruk LCA-studier for å avdekke klimapåvirkningen av byggeprosjekt.

En livssyklusanalyse (LCA) er en analyse av miljøpåvirkningen til et produkt [47]. Miljøpåvirkningen innebærer både utslipp av klimagasser og bruk av ressurser med begrenset tilgang. I LCA refererer produkt til både et produkt, et produktsystem og en tjeneste. Produktet vurderes i hele dets levetid fra «vugge» til «grav». I denne oppgaven skal det gjennomføres en LCA-studie av et bygg. Livsløpet til bygget kan se slik ut:

- A. Råmaterialene innhentes, for eksempel trær som hugges ned eller stein som blir hentet ut av steinbrudd, før de blir bearbeidet til byggematerialer og bygget blir konstruert (vugge).
- B. Bygget blir brukt og står ut sin levetid.
- C. Bygget blir revet ned og materialene gjennomgår en avhåndsiteringsprosess (grav).

Levetiden er altså fra utvinning av råmaterialene til avfallshåndtering av produktet etter endt levetid. Bruken av LCA kan bidra til å forstå miljøpåvirkningen av både forskjellige byggematerialer og hele bygg. Det er derfor et viktig verktøy for beslutningstakere, bruk i sammenligning av forskjellige byggematerialer, vurdering av klimapåvirkning og for miljøsertifisering av bygg [48]. Det er verdt å presisere at økonomiske og sosiale forhold ikke inngår i en livssyklusanalyse, heller ikke en risikovurdering. Henrikke Baumann og Anne-Marie Tillman har i boken *The hitchhikers guide to LCA* hatt en systematisk gjennomgang av metoden for LCA [47]. Boken baserer seg på ISO-standard 14040 og er utgangspunktet for LCA-metoden i dette kapittelet [49]. En livssyklusanalyse kalles ofte for en LCA-studie. Det er overordnet to typer LCA-studier, regnskapsorientert og endringsorientert. De ser henholdsvis bakover i tid på hva produktet har vært ansvarlig for, eller fremover i tid fordi studiet handler om alternative handlinger. For denne oppgaven er førstnevnte, regnskapsorientert, mest relevant fordi det skal sammenlignes to LCA-studier med forskjellige beregningsmetoder. Det vil si at det gjøres et regnskap på to forskjellige måter, hvor de to regnskapene og beregningsgrunnlaget for regnskapene skal sammenlignes. Etter at typen LCA-studie er definert kan man identifisere hva man ønsker å oppnå med studiet, altså bruksområdet. Bruksområdet til en LCA-studie er ofte et av fire forhold:

1. Identifikasjon av forbedringsmuligheter

LCA-studiet brukes for å avdekke områder hvor det er rom for forbedring med tanke på miljøpåvirkning. Det kan være områder hvor det er rom for å redusere blant annet utslipp av klimagasser, som karbondioksid (CO₂) eller metan (CH₄), eller redusere potensiale for havforsuring.

2. Bidra til avgjørelser

LCA-studiet kan brukes som et beslutningsgrunnlag. Det kan gjøres ved at en kan sammenligne to eller flere alternative løsninger mot hverandre, eller sammenligne ett alternativ opp mot en sertifisering, krav eller andre mål.

3. Valg av miljøytelsesindikatorer

En ytelsesindikator er en målbar verdi som viser hvor effektivt en når målene sine. Dermed er miljøytelsesindikatorer et mål på hvor effektivt en når målene en har satt angående miljøpåvirkning. For å velge en verdi som er målbar kan man bruke en LCA-studie for å finne ut hvilke verdier som er mest utslagsgivende.

4. Markedskrav

Markedet kan stille krav til miljøpåvirkning, ofte gjennom en sertifisering som BREEAM eller svanemerket. Kravene kan også styres av politiske føringer pålagt markedet.

Uansett om hensikten med LCA-studiet er å ha et sammenligningsgrunnlag, ta beslutninger eller oppnå sertifiseringer er det viktig å uttrykke resultater som er transparente, troverdige og sammenlignbare. Det gjøres med å bestemme en funksjonell enhet. Den funksjonelle enheten er i følge ISO-standard 14040/14044 en enhet som gjelder alle beregninger i en LCA-studie [49-51]. Hensikten med den funksjonelle enheten er at resultatene fra klimagassberegninger av ulike produkter skal være adderbare og sammenlignbare. Den funksjonelle enheten må være tilstrekkelig spesifisert, og inkludere alle funksjonene til produktene i produktsystemet. Hvis noen funksjoner er utelatt, skal de funksjonene beskrives. Utover dette stiller ikke ISO 14040/14044 videre krav til den funksjonelle enheten [51].

2.2.1. Innhold i en LCA-studie

Innholdet i en LCA-studie består av fire deler:

1. Mål og omfang

I denne delen skal produktet og hensikten med analysen bestemmes. Man skal beskrive analysens bruksområde, begrunne hvorfor analysen gjennomføres og til hvem resultatene skal kommuniseres. Det er essensielt at ethvert produktsystem er tilstrekkelig avgrenset. Det er for å unngå at samme utslipp blir regnet med i to forskjellige system, eller ikke regnet med i det hele tatt. Det skal bestemmes hvilke miljøpåvirkninger som skal hensyntas og hvor detaljert man skal gjennomføre analysen. Grad av detaljer i analysen stiller ulike krav til datagrunnlaget. Det er viktig at målene og avgrensningene skal være presist formulert og i samsvar med det tiltenkte formålet. Den funksjonelle enheten skal også defineres i denne delen.

2. Inventaranalyse (LCI)

LCI står for Life Cycle Inventory Analysis og kalles på norsk for inventaranalyse. Inventaranalysen innebærer å lage en modell av systemet definert av mål og omfang [47]. Modellen av systemet er et flyt-diagram av et teknisk system med satte systemgrenser. Resultatet av modellen er forholdsvis ukomplett, fordi det viser kun flyten av stoffer som er relatert til skadelige utslipp eller bruk av

ressurser med begrenset tilgang. Resultatet viser ikke utslipp av for eksempel vanndamp. Beregningsgrunnlaget for utslippsberegningene er miljødeklarasjoner (EPD), som blir adressert i kapittel 2.2.2. Inventaranalysen består av:

- Å lage en modell av systemet i form av et flyt-diagram med systemgrenser definert av mål og omfang. Modellen inneholder alle aktiviteter i produktsystemet, for eksempel produksjon, prosessering, transport, bruk og avfallshåndtering.
- Datainnsamling for alle aktiviteter i produktsystemet. Det innebærer input og output til alle aktiviteter som råmaterialer, produkter, avfall og utslipp til luft og vann.
- Utrekning av ressursbruket og utslippet til produktsystemet i henhold til den funksjonelle enheten.

3. Vurdering av påvirkning (LCIA)

LCIA står for Life Cycle Impact Analysis og blir på norsk kalt vurdering av påvirkning. Hensikten med vurderingen er å beskrive miljøbelastningen vist i inventaranalysen [47]. Med andre ord skal man ta informasjon om ressursbruk og utslipp og gjøre det om til informasjon om miljøpåvirkning. I tillegg skal LCIA redusere de mange parameterne fra inventaranalysen til færre parametere.

- **Klassifisering** innebærer å sortere hver parameter i inventaranalysen etter hvilken type utslipp eller ressursbruk de bidrar til.
- **Karakterisering** innebærer å regne ut de relative bidragene av utslipp og ressursbruk til hver type miljøpåvirkning. Det kan være at alle CO₂-utslipp regnes sammen, og gir en indikator for globalt oppvarmingspotensial (GWP).

4. Tolkning og presentering av resultatene

I den siste delen skal resultatene fra inventaranalysen (LCI) og vurderingen av påvirkningen (LCIA) vurderes opp mot mål og omfang og presenteres på en måte som kan føre til en konklusjon eller anbefaling [47, 49]. ISO 14040 har ikke definert en spesifikk metode for presentasjon av resultatene, og det finnes mange forskjellige måter å presentere resultatene på. I tillegg til å ta hensyn til mål og omfang når resultatene skal presenteres, burde man også ta hensyn til hvem som skal lese og hvilke forutsetninger de har for å tolke resultatene. Tabell 2.2 viser eksempler på forskjellig grad av detaljer i resultatene presentert for personer med forskjellig fagbakgrunn.

Tabell 2.2 Eksempler på forskjellige presentasjoner av resultater i LCA

Fagbakgrunn	Grad av detaljer	Presentering av resultat viser:
Person med relativt høy fagkunnskap	Høy	Både utslippskilder og eksakte verdier på ressursbruk og miljøpåvirkning.
Politisk beslutningstaker	Middels	Ett kvantifisert tall på miljøpåvirkning. For eksempel «produktsystemet produserer x-kgCO ₂ over y år», eller en grafisk fremstilling som viser utvikling over tid.
Forbruker	Lav	En sertifisering som svanemerket eller FSC-merket på dagligvareprodukter.

Livssyklusanalyser er delt opp i ulike livsløpsfaser. Fasene går fra A til D og har underkategorier som A1, A2 og A3. Fase A er produktstadium, fase B er bruksstadium, fase C er livsløpets sluttstadium og fase D omfatter konsekvenser utover systemgrensen. Underkategoriene beskriver kilden til ressursbruk eller utslipp. Tabell 2.3 er basert på figuren i VEDLEGG C hentet fra NS3720 og viser en forklaring av hver underkategori i livsløpsfasene [52].

Tabell 2.3 Oversikt over livsløpsfaser i LCA

Livsløpsfase	Livsløpsfase - Underkategori	Livsløpsfase - Kategori	Livsløpsfase - Forklaring
A	A1	Produktstadiet	Råvarer – utvinning og bearbeiding av råvarer
	A2	Produktstadiet	Transport av råvarer til produksjonslokasjon
	A3	Produktstadiet	Produksjon av materialer
	A4	Gjennomføringsstadiet	Transport av materialer til byggeplass
	A5	Gjennomføringsstadiet	Bygging og installering
B	B1	Bruksstadiet	Bruk av bygg
	B2	Bruksstadiet	Vedlikehold av bygg
	B3	Bruksstadiet	Reparasjon av bygg
	B4	Bruksstadiet	Utskiftning av konstruksjonsdeler med utgått levetid
	B5	Bruksstadiet	Ombygging av bygg
	B6	Bruksstadiet	Energiforbruk i drift
	B7	Bruksstadiet	Vannforbruk i drift
C	C1	Livsløpets slutt	Riving av bygg
	C2	Livsløpets slutt	Transport av avfall fra byggeplass
	C3	Livsløpets slutt	Avfallsbehandling
	C4	Livsløpets slutt	Avhending
D	D	Konsekvenser utover systemgrensene	Gjenbruk-, gjenvinning og resirkulering av avfall eller materialer

For å oppsummere er LCA en viktig del av å avdekke klimapåvirkningen til blant annet bygg i hele dets levetid. Bygget går gjennom flere livsløpsfaser, og resultatene viser utslipp fra hver livsløpsfase. Resultatene blir ofte brukt som grunnlag for beslutning eller sammenligning. Datagrunnlaget i en LCA er miljødeklarasjoner (EPD).

2.2.2. EPD

For å gjennomføre en livssyklusanalyse blir det som nevnt brukt EPD-er som beregningsgrunnlag. En Environmental Product Declaration heter på norsk miljødeklarasjon og blir omtalt på begge språk som EPD [53]. En EPD er en LCA-studie av et produkt. Resultatene presenteres i form av et standardisert dokument. Hensikten med LCA-studiet er å beskrive miljøprofilen til en komponent, et produkt eller en tjeneste. EPD-ene blir brukt som beregningsgrunnlag i andre LCA-studier. Et

eksempel er at en EPD kan beskrive miljøprofilen til et vindu. Videre kan vinduets EPD brukes, sammen med EPD-er fra andre produkter, for å regne miljøprofilen til et helt bygg. EPD-ene viser mengden utslipp som opptrer i hver av livsløpsfasene i en LCA, ofte i form av globale oppvarmingspotensialer (GWP) [54]. GWP er et mål på oppvarmingseffekten de ulike drivhusgassene har. Det er essensielt at EPD-ene utarbeides på en objektiv måte etter ISO-standard 14040-14044 [49, 50, 55-57], og de skal utformes på en standardisert måte etter ISO 14025 [58]. EPD-ene skal være uavhengig verifiserte. Det er fordi de skal sikre miljøinformasjon i henhold til de fire kravene:

1. Objektivitet
2. Sammenlignbarhet
3. Troverdighet
4. Adderbarhet

2.3. Biogent bundet karbon

Når det kommer til klimagassberegninger, finnes det forskjellige metoder for å gjennomføre livssyklusanalysen. Metoden bør velges ut ifra hva som er hensikten med studiet [59]. Et aspekt hvor det er omdiskutert hva slags metode som bør benyttes, er håndteringen av biogent bundet karbon. Biogent karbon er karbon som finnes i levende organismer [35]. Levende organismer kan for eksempel være trær, planter, dyr, gjødsel, eller sopp. Videre er biogent bundet karbon i denne sammenhengen karbon som via fotosyntesen er bundet i trær [32]. Når et tre vokser vil det i løpet av vekstperioden ta opp CO₂ fra atmosfæren, hvor oksygenet blir frigjort som resultat av fotosyntesen, og karbonet blir lagret i treet. Karbonet blir lagret i alle delene av treet, både over og under jorden. Røttene vil på sikt føre karbonet ned i jorden og kan da regnes for å være varig lagret [32]. Hvis treet hugges ned for produksjon av materialer, vil karbonet fra stammen bli værende i materialene. En del av karbonet blir liggende igjen på skogbunnen i form av kvist og avskjær og en del i røttene [60]. Statsforvalteren anbefaler å la trærne vokse til de er hogstmodne etter 60-120 år [61]. Det er da de er økonomisk mest lønnsomme i tillegg til at trærne fanger mest karbon før de er hogstmodne. Norges skogeierforbund (NSF) har gitt ut et faktaark som diskuterer om vern eller bruk av skog er best for å redusere klimagassutslipp. NSF konkluderer med at et bærekraftig skogbruk er bedre for klimaet enn vern av skog forutsatt at treverket erstatter produkter laget av, eller ved hjelp av, fossile ressurser [62].

Det finnes i hovedsak to måter å hensynta biogent bundet karbon i LCA, 0/0-metoden og -1/+1-metoden. Metodene blir delvis definert av om de tar hensyn til tid eller ikke. Statisk metode (0/0-metode) er uavhengig av tid, mens dynamisk metode (-1/+1-metode) er avhengig av tid. Den dynamiske metoden baserer seg på arbeidet til A. Levasseur og kollegaene [63].

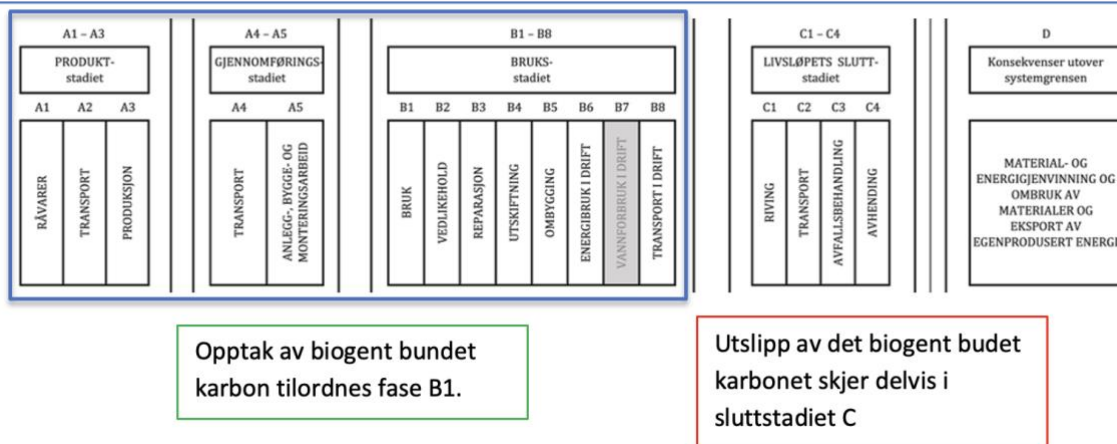
2.3.1. Metode: 0/0 – Karbon nøytral tilnærming

0/0-metoden er statisk og går ut på at en ikke regner med karbonet skogen fanger opp fra atmosfæren, fordi karbonet til slutt vil bli frigjort tilbake til atmosfæren [26]. Ettersom karbonopptaket til biomassen er like stort som karbonutslippet, regner man systemet som et nullsumspill. På grunn av at systemet går i null til slutt, er tidsperspektivet irrelevant i denne metoden i motsetning til -1/+1-metoden.

2.3.2. Metode: -1/+1

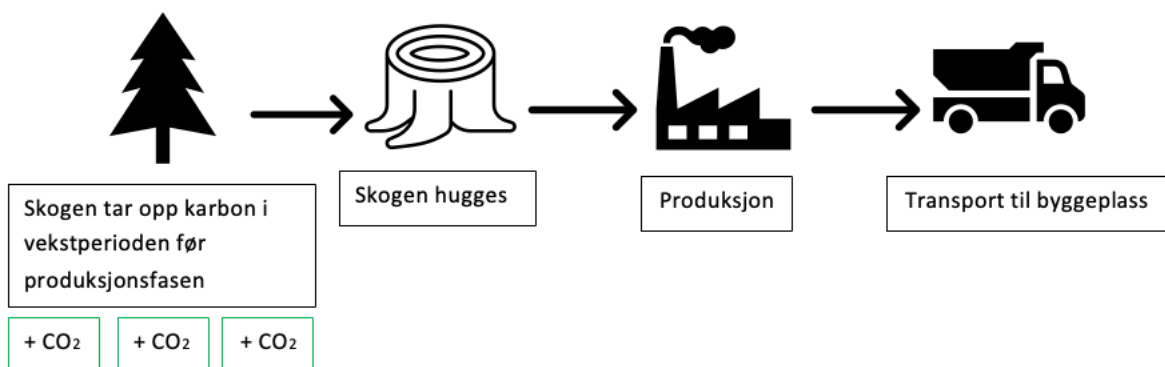
I den dynamiske -1/+1-metoden regner man med både opptak (-1) og utslipp (+1) av CO₂ [26]. Hovedforskjellen fra 0/0-metoden er at i -1/+1-metoden sporer man karbonet gjennom alle fasene. Man regner både opptak og utslipp av CO₂ i hver del av prosessen fra materialproduksjon til avfallshåndtering. Karbonopptaket i biomassen føres som negativt utslipp i modul A, og som positivt utslipp i modul C. Den største fordelene med -1/+1-metoden er at man får en oversikt over karbonflyten gjennom hele livsløpet til produktet. Det er viktig at en vurderer hele systemet, og ikke bare et utvalg av livsløpsfasene, ettersom det vil gi misvisende negative utslipp som vist i Figur 2.3.

Systemgrensene er satt til å gjelde fra fase A til B og ekskluderer C og D. Det fører til at opptaket av biogent karbon blir hensyntatt, men ikke utslippet. Dermed kan produktet ha misvisende «negative» utslipp.

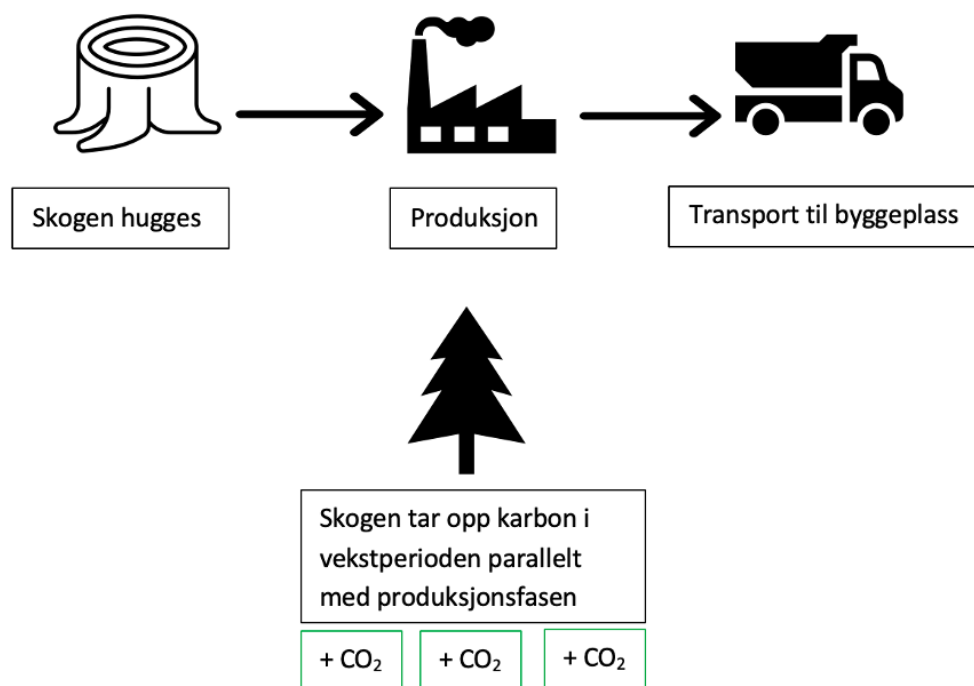


Figur 2.3 Eksempel på systemgrenser som fører til misvisende resultat

Det finnes to variasjoner av -1/+1-metoden. Enten regnes det med at CO₂-opptaket opptrer før treet hugges ned som vist i Figur 2.4. Eller så regnes det med at CO₂-opptaket skjer etter at treet er hugget ned og parallelt med produksjonsfasen som vist i Figur 2.5. Det vil si at CO₂-opptaket opptrer i de trærne som vokser på stedet der de første trærne ble hugget.



Figur 2.4 Karbonopptak før produksjon av materialer



Figur 2.5 Karbonopptak parallelt med produksjon

2.4. Beregningsmetoder for klimagassberegning av bygninger

Når klimagassberegninger av bygninger skal gjennomføres i Norge, skal beregningene gjøres i henhold til standardverkene hos Standard Norge. For utslippsberegninger av bygg gjelder NS3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger [52].

2.4.1. NS3720

Standarden NS3720 kommer til å bli presentert her, men bare kortfattet. Det kommer videre presiseringer om NS3720 i kapittel 2.4.2 hvor forskjellene mellom FutureBuilt-metoden og NS3720 blir poengtert. For ytterligere forklaringer kan standarden oppsøkes.

NS3720 er en statisk beregningsmetode for klimagassberegninger [52]. At metoden er statisk betyr at den ikke tar hensyn til tid, for eksempel i form av tidspunkt for utslipp [63]. NS3720 har en karbonnøytral tilnærming (0/0), forutsatt at tømmeret stammer fra bærekraftig skogbruk [23, 64]. Prosessen for klimagassberegning i NS3720 er beskrevet i Tabell 2.4, i tillegg til informasjonen som kreves for å gjennomføre de ulike delene i prosessen og en forklaring av hver del av prosessen.

Tabell 2.4 Oversikt over prosessene i gjennomføring av LCA

Prosess	Informasjon som kreves	Forklaring
Identifikasjon av vurderingens formål	- Mål - Tiltenkt bruk	Det skal settes mål for analysen. Bruksområdet for analysen skal bestemmes.
Spesifikasjon av objektet	- Funksjonell ekvivalent - Referanseanalyseperiode	Den funksjonelle enheten skal bestemmes ut ifra analysens

	- Systemgrense - Bygningsmodell – fysiske egenskaper	mål og bruksområde. Systemgrensene for analysen skal bestemmes, inkludert tidsperspektiv og byggets fysiske begrensninger og egenskaper.
Scenarioer for bygningens livsløp	- Bygningsmodell – tidsavhengige egenskaper - Stadier av livsløpet - Scenarioer for hvert stadium i livsløpet og konsekvenser utover systemgrensen.	Byggets tidsavhengige egenskaper skal tilknyttes livsløpsstadier, i tillegg til konsekvenser utover systemgrensen. Mulige scenarioer for bygningens livsløp skal undersøkes.
Kvantifisering av bygningen og dens livsløp	- Netto mengde - Brutto mengde	Mengder av materialbruk, ressursbruk, energibruk, utslipp og andre input og output skal kartlegges og gjøres adderbare og sammenlignbare.
Utvelgelse av miljødata og annen informasjon	- Bruk av EPD - Bruk av annen informasjon - Datakvalitet - Konsistens	Datagrunnlaget skal bestemmes. Det gjelder EPD-er og annen miljødata. Nivå på datakvaliteten bestemmes av analysens bruksområde. For eksempel nivå 1 for produktspesifikke EPD-er og nivå 2 for generiske EPD-er.
Beregning av klimagassutslipp	- Klimagassutslipp - Beregningsmetoder - Aggregering	Beregningene gjennomføres på bakgrunn av datagrunnlaget og valgt beregningsmetode. Aggregering betyr i denne sammenhengen for eksempel å slå sammen utslippene fra hver utslippspost til én felles utslippspost for hver materialtype i hver livsløpsfase.
Følsomhetsanalyse	- Følsomhetsanalyser	Det skal vurderes hvor robuste resultatene er for endringer av enkeltparametere.
Rapportering og kommunikasjon	- Beskrivelse av objektet - Datakilder og andre forutsetninger - Resultater - Sammenligning	Det skal avdekkes hvem resultatene skal kommuniseres til og hva de skal brukes til.

NS3720 bygger på ISO 14040-14044 [50, 55-57], hvor detaljene for gjennomføring av et LCA-studie blir beskrevet. NS3720 åpner opp for å ta hensyn til biogent bundet karbon, men det skal rapporteres separat og ikke bidra til en reduksjon av de totale utslippene [52]. Hver EPD skal oppgi opptak av CO₂ i fase A1 og utslipp i fase C3-C4. Hvis EPD-en viser opptak i fase A1 uten utslipp i C3-C4, skal opptaket sees bort ifra. Videre presentering av metoden i NS3720 kommer i kapittel 2.4.2. Standardverket NS3720 kan også bli brukt som beregningsgrunnlag i andre beregningsmetoder eller sertifiseringer. En av disse er metoden til FutureBuilt som gjelder for klimagassberegninger av bygg, FutureBuilt Zero B [65].

2.4.2. FutureBuilt Zero B

FutureBuilt er en organisasjon som jobber for å øke grad av bærekraft i byggebransjen [66]. De samarbeider med private utbyggere og det offentlige for å utvikle mer bærekraftige byggeprosjekter. For utbyggerne bidrar FutureBuilt blant annet med et fagnettverk, bistand til finansiell støtte og prioritert offentlig saksbehandling. De beskriver seg selv slik:

«FutureBuilt er et innovasjonsprogram og utstillingsvindu for de mest ambisiøse aktørene i byggenæringen. Visjonen er å vise at det er mulig å utvikle den bærekraftige og attraktive nullutslippsbyen.» [66]

FutureBuilt jobber med å realisere forbildeprosjekter i byggebransjen [66]. Forbildeprosjektene er byggeprosjekter som innfrir obligatoriske krav satt av FutureBuilt, og på den måten går frem som et godt eksempel med å vise at det i stor grad er mulig å redusere utslipp i byggeprosjekter. Prosjektene kan også innfri ett eller flere valgfrie tilleggskrav. Kravene til FutureBuilt tar utgangspunkt i FN sine klimamål fra Paris-avtalen fra 2015 [11, 67]. FutureBuiltZero bygg (Zero B), eller FutureBuilt-metoden, er en forenklet dynamisk beregningsmetode for klimagassberegning av bygg [65]. Hovedkriteriet til Zero B er at bygget skal ha minimum 50% lavere utslipp fra materialbruk, byggefase og energibruk i drift enn Paris-målene. FutureBuilt-metoden bygger på NS3720, men har en rekke presiseringer til hvordan standarden skal brukes i tillegg til tillagte krav og utslippsposter.

FutureBuilt forbildeprosjekter skal:

- Ha redusert utslipp med 50% i forhold til utslippsmålene fra Paris-avtalen, og ligge 10 år foran.
- Ikke ha direkte utslipp fra energibruk på byggeplass.
- Benytte seg av elektrisitet biogass eller hydrogen for all massetransport.
- Dokumentere øvrige bygningsdeler som ikke inngår i hovedkravene.
- Ha god lokalisering for grønn mobilitet, (ligge nær kollektivakser eller sentrum).
- Ivareta verdifull natur, (Unngå nedbygging av natur).
- Ivareta eksisterende materialressurser
- Ha høy arkitektonisk kvalitet, (bidra til et godt bymiljø utover vanlig praksis).
- Bidra til sosialt bærekraftige lokalsamfunn, (Gjennomføre inkluderende prosesser og bidra til utvikling av en attraktiv lokalsamfunn).
- Ha høy miljømessig kvalitet i tråd med EUs vurdering av bærekraftig økonomisk aktivitet.
- Ta i bruk innovative løsninger for å imøtekomme disse kravene.

Forbildeprosjektene skal for bygg innfri minst ett av tilvalgskravene:

- Bidra til økt naturmangfold.
- Legge til rette for ressursutnyttelse på høyest mulig nivå, og ha mål om minimum 50% sirkularitet.
- For nabolag: Legge til rette for ressursutnyttelse på høyest mulig nivå, ha mål om 100% massebalanse og overoppfylle Paris-målene med minimum 50% sirkularitet for den samlede bygningsmassen fra og med 2030.
- Redusere bruk av plast i størst mulig grad. Plasten som ikke brukes skal benyttes på en sirkulær og bærekraftig måte.
- Prosjektet skal produsere mer lokal fornybar energi enn det som kreves til drift av bygget eller området.

FutureBuilt-metoden regner med en driftsperiode på 50 år, hvor byggefasen er år 0 og slutfasen er år 51. Tabell 2.5 viser hovedfasene og hvilke utslippsposter fasene inneholder.

Tabell 2.5 Oversikt over hovedfasene i FutureBuilt-metoden

Hovedfase	Utslippsposter
Byggefase: År 0	- Produksjon og transport av materialer - Materialbruk, inkludert kapp og svinn - Direkte energibruk på byggeplass. - Transport av masser ut av byggeplass, inkludert rivning og demontering av eksisterende bygg. - Avfallshåndtering av materialer fra avhendet eksisterende bygningsmasse, vekster og lignende på tomten. - Gevinster fra tilrettelegging for, og gjennomføring av ombrukbarhet av demonterte byggematerialer.
Driftsfase: År 1-50	- Utskiftning av materialer. - Biogent karbonopptak. - Karbonatisering av sement. - Levert og eksportert energi i drift.
Slutfase: År 51	- Transport av material til avfallshåndtering. - Avfallshåndtering.

Standarden NS-EN 15978 definerer livsløpsmoduler fra A til D, med nummererte undermoduler, som gjelder for både NS3720 og FutureBuilt-metoden [68]. Livsløpsfasene er beskrevet i Tabell 2.6. Produksjonsfasen går fra utvinning av råmaterialer til produksjon av materialer. Byggefasen innebærer transport til byggeplass og bygging. Bruksfasen innebærer bruk, vedlikehold og forbruk av energi og vann i drift. Avhendingsfasen innebærer rivning, transport og avfallsbehandling, mens etter endt levetid innebærer gjenbruk, gjenvinning og resirkulering.

Tabell 2.6 Oversikt og forklaring av livsløpsfasene i FutureBuilt-metoden

Livsløpsfase	Livsløpsfase – nummerert	Forklaring
Produksjonsfase	A1	Råvarer – utvinning og bearbeiding
Produksjonsfase	A2	Transport av råvarer
Produksjonsfase	A3	Produksjon
Byggefase	A4	Transport til byggeplass
Byggefase	A5	Bygging og installering
Bruksfase	B1	Bruk
Bruksfase	B2-B5	Vedlikehold
Bruksfase	B6-B7	Forbruk av energi og vann ved drift
Avhending	C1-C4	Riving, transport og avfallsbehandling
Etter endt levetid	D	Gjenbruks-, gjenvinnings- og resirkuleringspotensiale

Både FutureBuilt og NS3720 bruker livsløpsmodulene fra NS-EN 15978, som vist i Tabell 2.7. I øverste rad står livsløpsfasene, og i venstre kolonne står utslippspostene. Tabellen viser i hvilken livsløpsfase utslippene blir medregnet.

Tabell 2.7 Oversikt over utslippspostene i FutureBuilt-metoden

Livsløpsfase/ Utslippskilde	A1-A3	A4	A5	B1	B4	B6	C2	C3	D
Produksjon av materialer	x		x		x				
Transport av materialer		x	x		x		x		
Avfallsforbrenning			x		x			x	
Biogent karbonopptak				x					
Sementkarbonatisering				x					
Ombrukbarhet									x
Materialgjenvinning									x
Energibruk og produksjon			x			x			x

FutureBuilt bruker en dynamisk beregningsmetode [65]. Det antas en forenklet vekstfunksjon, som har en rotasjonsperiode på 100 år. Ved $t = 100$ år, har trærne vokst tilbake til den størrelsen de hadde da de ble hogd. Ved slutten av byggets levetid ($t = 50$ år), vil 82% av byggets lagrede karbon være tatt opp i nye trær. Hva som skjer med videre opptak av karbon ($t > 50$ år) er utenfor dette regnskapet. Karboninnholdet i treprodukter varierer rundt 50%. I denne metoden brukes 50% i beregningene. I en beregningsperiode på 50 år, vil lagringseffekten være på 59% per kg CO₂ lagret. Dette gjelder kun for materialer som har levetid lik byggets levetid (50 år). For materialer som må

skiftes ut innen 50 år, vil lagringseffekten være lavere. Ettersom overforbruk av en begrenset ressurs er uønsket, er det i FutureBuilt-metoden kun mulig å oppnå en delvis kompensasjon for klimaeffekten av biogent opptak fra fremstilling og avfallsforbrenning av trevirke.

En beregning av biogent karbonopptak for hvert år t i levetiden for et produkt anvendt i år T er

$$\text{Formel 2. a} = -0.114 * e^{-0.03*(t-T)} * m_T * f_{\% \text{ biogent karbon}} * f_{t,tid}, \quad t - T \geq 0 \quad [kgCO_2e]$$

Hvor,

- m_T [kg] er vekten av produktet benyttet i år T .
- $f_{\% \text{ biogent karbon}}$ [kgC/kg] er biogent karboninnhold per tørrvekt. Forenkles til 50% for treprodukter.
- $f_{t,tid}$ er antall år for beregningsgrunnlaget. $0 \leq f_{t,tid} \leq 50$ år, [65].

Opptaket av biogent karbon er begrenset av følgende:

- Det medregnes kun karbonopptak som skjer i bygningens levetid (50 år).
- Biogent karbonopptak gjelder verken for kapp eller svinn.
- Det biogene opptaket begrenses slik at det ikke kan være større enn summen av;
 - a) Utslipp fra avfallshåndtering av treproduktet.
 - b) $2 \times f_{\% \text{ biogent karbon}}$, hvor $f_{\% \text{ biogent karbon}} = 50\%$.

En forenklet beregning av biogent karbonopptak for et produkt anvendt i byggefasen er

$$\text{Formel 2. b} = -2.584 * m_{\text{byggefase}} * f_{\% \text{ biogent karbon}}, \quad [kgCO_2e], \quad [65]$$

Biogent karbonopptak for et produkt anvendt i driftsfasen er

$$\text{Formel 2. c} = -1.495 * m_{\text{driftsfase}} * f_{\% \text{ biogent karbon}}, \quad [kgCO_2e]$$

Andre retningslinjer og begrensninger innebærer blant annet at FutureBuilt Zero B tar hensyn til karbonopptak fra både tre- og sementbaserte produkter [65]. Karbonopptaket skjer i driftsfasen og tilordnes modul B1 [69]. Utslipp blir tidsvektet og regnes med en reduksjonsfaktor på 1 % reduksjon per år, med en gjennomsnittsverdi på 0,81 [70]. Albedoeffekten handler om hvor mye av lyset fra sola som blir reflektert tilbake fra jordoverflaten [71]. For eksempel har is høyere albedo og reflekterer mer lys enn vann, derfor vil vannet ta opp mer varme enn isen. Albedoeffekten for boreal skog er ikke hensyntatt fordi resultatene har store variasjoner mellom positive og negative tall. Greiner, topper og annet hogstavfall som blir liggende igjen i skogen blir kalt for GROT [72]. Karbonet fra GROT blir enten lagret i jordsmonnet eller sluppet ut gjennom en forråtnelsesprosess. Denne lagringen og disse utslippene blir ikke hensyntatt. FutureBuilt tar hensyn til teknologiutviklingen over tid når det kommer til materialproduksjon, materialtransport og avfallsforbrenning [70].

2.5. Beregningsprogrammer for livssyklusanalyser

Klimagassberegninger har ofte et stort omfang med mange parametere, derfor blir det ofte brukt egne dataprogram for å gjennomføre beregningene. De fungerer slik at en legger inn mengder av

hvert materiale brukt i bygget, bruksareal, bruttoareal, transportavstander, EPD-er og annen relevant informasjon om det spesifikke bygget, etterfulgt av at dataprogrammet gjennomfører beregningene etter valgt metode. To av dataprogrammene som gjennomfører klimagassberegninger er Reduzer og OneClick LCA.

2.5.1. Reduzer

Reduzer er en LCA-programvare utviklet på Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU) i samarbeid med Danmarks Tekniske Universitet (DTU) [73]. Programvaren kan gjennomføre utslippsberegninger blant annet etter FutureBuilt-metoden og NS3720.

2.5.2. OneClick LCA

OneClick LCA er ifølge dem selv verdensledende innen vugge-til-grav klimaberegninger [74]. I Norge er OneClick LCA en bransjestandard for LCA-programvare, og den kan brukes til blant annet utslippsberegninger etter FutureBuilt-metoden og NS3720.

2.6. Arealbruk, arealbruksendringer og skogbruk

En viktig faktor når det diskuteres dynamisk metode og statiske metode er skogbruket. Det er stor forskjell på både skogen og skogbruket vi finner i Norge og for eksempel regnskogen i Sør-Amerika. Skogen vi finner i Norge er en type skog som kalles boreal skog [75]. Den boreale skogen strekker seg som et belte på den nordlige delen av kloden gjennom nordlige deler av Norge, Sverige, Finland, Russland, Kina, Japan, USA (Alaska) og Canada [76]. Selv om den boreale skogen stort sett består av trær fra gran- og furufamilien, er den hjem til tusenvis av andre organismer. Bartrærne i boreal skog har utviklet seg til å bli svært motstandsdyktige mot ytre påvirkninger som kalde temperaturer, lite sol, skogbrann, insektangrep og sterk vind. Omtrent to tredjedeler av all boreal skog er tatt i bruk av mennesker. Norge, Sverige og Finland har omtrent 5% av den globale andelen av boreal skog. I disse landene er omtrent 90% av skogen tatt i bruk av mennesker. I følge SSB bestod Norge av 37,8% skog i 2024 [77]. Til tross for den relativt høye andelen skog, er andelen skog med høy alder og uten synlige spor av menneskelig aktivitet kun omtrent 2% [78]. Et skogbruk med høy intensitet kan blant annet føre til at det redusert vann- og jordkvalitet i tillegg til at det biologiske mangfoldet reduseres [79]. I tillegg til den tropiske regnskogen er også den boreale skogen en av verdens største karbonlagre [80].

Arealbruk, arealbruksendringer og skogbruk (LULUCF, fra Land Use, Land Use Change and Forestry) er begrep som blir brukt om menneskelig bruk og endring av areal hvor det slippes ut og fanges opp klimagasser [81], [82], [83]. Arealbruk handler om hva slags aktivitet som foregår på et stykke areal. På lokalt nivå i Norge er arealbruk ofte politisk bestemt i form av reguleringsplaner [84]. OECD kom i 2022 ut med en gjennomgang av hvorvidt Norge jobber med å oppnå satte klimamål [85]. De understreker at selv om Norge ikke er en del av EU, følger de mange av retningslinjene til EU. Tidvis er de strengere og mer ambisiøse enn enkelte medlemsland. Selv om Norge investerer stort i grønn teknologi og innovasjon, har de utfordringer særlig med bærekraftige forbruksvaner og beskyttelse av det biologiske mangfoldet. Norge har en rekke forskjellige lokale klimatiske forhold, landskapstyper, vegetasjon og arealbruk. I tillegg har Norge størst andel og høyest konsentrasjon av

uberørt natur i flere typer landskap [85, 86]. OECD anser Norge til å ha en viktig rolle i å bevare det biologiske mangfoldet på kontinentet. Den største trusselen for det biologiske mangfoldet er arealbruk og arealbruksendringer [78, 85, 87]. Arealbruksendringer handler om at arealbruken går fra en arealbrukskategori til en annen. For eksempel fra skog til bolig, eller fra beiteområde til industri [81, 82]. Det er ofte motstridende interesser når det diskuteres arealbruksendringer, som økonomisk fortjeneste mot biologisk mangfold. Norsk institutt for naturforskning (NINA) har hatt en systematisk gjennomgang av naturvitenskapelig- og samfunnsvitenskapelig forskning på temaet, og påpeker at det er manglende samlet og omfattende oversikt over arealbruk og arealendringers påvirkning på arter, naturgoder og økosystemer [78].

2.7. Avfallshåndtering av treverk

Avfallshåndteringen i Norge har potensial for å bidra til å redusere Norges klimagassutslipp. Norsk Institutt for Bioøkonomi (NIBIO) rapporterer om økende interesse for ombruk og resirkulering av treprodukter [88]. I følge NS3720 skal avfallshåndtering skje etter følgende prioriterte rekkefølge:

1. **Ombruk** av materialene i andre byggeprosjekt.
2. **Materialgjenvinning** og bearbeiding av materialene til bruk i andre produkt.
3. **Energigjenvinning** ved forbrenning av materialene til produksjon av fjernvarme.
4. **Deponi** skal unngås ettersom det ikke har en miljømessig gevinst [52].

Systemgrensene er satt slik at avfall regnes som avfall helt til det kan regnes som ressurs. Når det skal beregnes utslipp fra avfallshåndtering skal det lages scenarioer. De skal være basert på statistikk som er relevant for behandling av avfall fra byggeaktivitet i tillegg til siste teknologi for avfallshåndtering. Metoden til FutureBuilt tar utgangspunkt i NS3720 og har de tre følgende alternativer for avfallshåndtering [89]:

1. **Ombruk**
2. **Materialgjenvinning**
3. **Energigjenvinning**

Avfallshåndteringen av materialer skjer i byggefase (A), bruksfase (B) og slutfase (C og D). Tabell 2.8 viser i hvilken livsløpsfase utslipp fra avfallshåndtering skjer, for hver av de tre alternativene.

Tabell 2.8 Oversikt over utslippsposter i FutureBuilt-metoden

Utslippspost / livsløpsfase	A1- A3	A4	A5	B1	B4	B6	C2	C3	D
Materialgjenvinning									x
Ombruk									x
Energigjenvinning			x		x			x	

FutureBuilt inkluderer ikke deponi i utslippsberegningene fra avfallshåndtering. I utslippsberegningene skal det for hvert materiale utarbeides en sannsynlighetsfordeling mellom de tre alternativene. Sannsynligheten for hvordan hvert materials avfall håndteres skal ta utgangspunkt i dagens praksis. Et eksempel på en sannsynlighetsfordeling mellom metoden for avfallsbehandling er:

- Ombruk 30%
- Gjenvinning 45%
- Energigjenvinning 20%
- Deponi 5% (blir ikke tatt med i utslippsberegningene)

Det både forventes og hensyntas at andelen deponert og forbrent materiale vil synke med 1% per år, samtidig som andelen ombrukt og gjenvunnet materiale vil øke tilsvarende, sammenlignet med dagens praksis. FutureBuilt har utarbeidet kriterier for sirkulære bygg, som kan leses i VEDLEGG D [90]. Materialer som oppfyller kriteriene for materialgjenvinnbarhet kan tillegges en reduksjon på 10% av produksjonsutslippene.

Tall hentet fra Statistisk sentralbyrå (SSB) i Tabell 2.9 viser hvordan forskjellige mengder avfall har blitt håndtert i Norge og prosentvis fordeling mellom håndteringsmetoder [91]. Merk at ombrukt treverk ikke er med i tabellen ettersom tabellen kun gjelder avfall.

Tabell 2.9 Fordeling av avfallsbehandling

Avfallsbehandling	Mengde (tonn)	Fordeling (%)
Avfallsbehandling i alt	232283	100 %
Levert til materialgjenvinning	149989	65 %
Levert til kompostering	166	0 %
Levert til biogassbehandling	0	0 %
Energiutnyttelse	76788	33 %
Levert til deponering	0	0 %
Annen behandling/uspesifisert	5340	2 %

2.8. Litteratur

For å oppnå økt forståelse for de forskjellige fagområdene det har blitt undersøkt, var det nødvendig med et litteratursøk. I tillegg brukes litteraturen til å bygge opp under diskusjonen av resultatene. Først blir det presentert litteratur som handler om forskjellige metoder for gjennomføring av LCA. Deretter kommer litteratur som omhandler biogent bundet karbon i LCA, før det til slutt kommer artikler som handler om konsekvenser av klimaendringene. Dette er bare et utdrag av litteraturen som er brukt, resterende litteratur har blitt referert til i løpet av kapittel 2.

Rapporten fra F. Morris, S. Allen og W. Hawkins viser forskjellen mellom bruk av limtre og stål i en bærende bjelke ved bruk av en LCA-studie [22]. De undersøker også forskjellige metoder for gjennomføringen av LCA-studiet. Blant annet konkluderer de med at den eventuelle gevinsten med å bruke biobaserte materialer er sensitiv for en rekke variabler, hvor de mest utslagsgivende var end-of-life scenarioet for limtre og på hvilken måte biogent karbon og utslippstidspunktet ble hensyntatt. Så lenge limtre ble forbrent med energigjenvinning, ga det alltid et lavere GWP enn stål-alternativet, uansett hva slags hensyn til biogent karbon og utslippstidspunkt som har blitt gjort. Ved en eventuell deponering av limtre var GWP i stor grad avhengig av hensynet til biogent bundet karbon ettersom deponering mulig kan bli sett på som karbonlagring. Derimot, hvis det ikke ble medregnet karbonlagring av deponeringen, ville stål-alternativet gi en lavere GWP forutsatt at stålet bestod av

en høy andel resirkulert stål (gjelder for livsløpsfase A-C). Hvis også livsløpsfase D blir hensyntatt er deponert limtre blant de alternativene med høyest GWP. Hvis limtre ble antatt resirkulert hadde det omtrent lik GWP som stål, men når det ble hensyntatt opptak og utslipp hadde limtre alltid lavere GWP enn stål. Når det kommer til tidspunkt for utslipp konkluderte de med at det ikke var en tilstrekkelig standardisert metode, slik at de ikke fikk et godt nok sammenligningsgrunnlag mellom metodene. Til slutt konkluderte de med at det ikke er et svart-hvitt-svar hvor det ene er klart bedre enn det andre. Allikevel virker det som at det er andre fordeler enn potensielt lavere GWP ved bruk av limtre, og at disse fordelene må undersøkes videre. Med energigjenvinning har limtre lavere GWP enn stål, også ved deponering med hensyn til biogent karbon som i et karbonlager. Viktigheten av valg av metode har også blitt poengtert av M. D. Rosa, M. Pizzol og J. Schmidt i rapporten *How methodological choices affect LCA climate impact results: the case of structural timber*. De har undersøkt hvordan forskjellige metodologiske valg påvirker resultatene av en LCA studie av konstruksjonstrevirke [59]. De undersøker åtte ulike scenarier ved bruk av konsekvensbasert LCA hvor fire metodologiske valg varierte. Det gjelder:

1. Inkludering av arealbruk og arealbruksendringer (LULUC), både direkte og indirekte.
2. Hensyn til tidspunkt for utslipp ved bruk av statisk eller dynamisk metode.
3. Valg av tidshorisont, 20 år eller 100 år.
4. Bruk av karbonlagre i forskjellig grad, bare stammen, biomasse over jorden eller hele biomassen også under bakken.

Resultatene varierte i stor grad, avhengig av metodevalg. De valgene som bidro mest, var valg av tidshorisont og valg av statisk eller dynamisk metode. De to andre alternativene påvirket også resultatene, men i mindre grad. Ut ifra studiens mål er det viktig å begrunne valg av metode. I tillegg bør LULUC og karbonet fra hele biomassen hensyntas for å få mer nøyaktige resultater. For å presisere metodevalg har S. Barbhuiya og B. B. Das i rapporten *Life Cycle Assessment of construction materials: Methodologies, applications and future directions for decision-making* tatt for seg metodikker for LCA i byggebransjen, og spesielt av byggematerialer [48]. Når det kommer til treverk minner de om at for at treverk som materiale skal være bærekraftig, er det avhengig av at materialene stammer fra bærekraftig skogbruk. Det er tilfellet blant annet i Norge, men ikke i Amazonas-regnskogen [23], [92]. De har gjennomgått flere aspekter med LCA og etterlyser standardiserte tilnærminger for å ha bedre sammenlignbare og konsekvente resultater. Dette er et dokument for forskere, beslutningstakere eller andre som jobber med LCA. GWP har blitt kritisert som en klimametrikk, og i rapporten *Enhancing life cycle impact assessment from climate science: Review of recent findings and recommendations for application to LCA* kommer A. Levasseur et al. med nye forslag til klimametrikker [93]. Bakgrunnen er at GWP som klimametrikk tar hensyn til CO₂, mens flere andre miljøskadelige faktorer ikke blir hensyntatt. De anbefaler bruk av flere klimametrikker parallelt for å teste hvor robuste LCA-resultatene er. De vil også inkludere temperatur, havnivånedbør og strålingspådriv. I tillegg konkluderer de med at det ikke finnes én perfekt metrikk, og derfor må klimametrikkene tilpasses formål og kontekst av LCA-studie.

Hoxha et al. har undersøkt hvordan biogent bundet karbon hensyntas i livsløpsanalyser av bygninger i rapporten *Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods* [26]. Gjennom en litteraturstudie og en case-studie av et trebyggeri har de sett hvordan ulike metoder påvirker resultatene i en LCA-studie. De har sammenlignet 0/0-metoden og -1/+1-metoden, i tillegg til dynamisk og statisk metode. Resultatene viste at resultatene varierte i stor grad avhengig av metodevalg. I tillegg la de merke til at begrensede systemgrenser kan gi misvisende resultater. De

argumenterer for å bruke en dynamisk beregningsmetode fordi den tar hensyn til skogens vekstperiode, noe som viste seg å ha stor innvirkning på resultatene. LULUC er også en viktig faktor som ikke blir hensyntatt i stor grad i denne rapporten. Arealbruk (LUC) blir videre undersøkt av Joost G. Vogtländer, Natascha M. van der Velden og Pablo van der Lugt i rapporten *Carbon sequestration in LCA, a proposal for a new approach based on the global carbon cycle; cases on wood and on bamboo*. De har undersøkt hvordan karbonlagring kan håndteres i LCA, for biomasser som treverk og bambus [30]. De foreslår en ny metode som baserer seg på global karbonbalanse. Noen av dagens metoder tillater å gi rabatter for midlertidig karbonlagring. Det kan føre til at resultatene ikke stemmer overens med den globale karbonbalansen. Forfatterne foreslår at gevinsten ved å bruke treverk skal tildeles endring i arealbruk (LUC) og energigjenvinning ved slutten av treverkets livsløp. De konkluderer med at bruk av treverk fra områder hvor skogflaten øker gir en positiv effekt, mens bruk av treverk fra for eksempel regnskogen i Sør-Amerika hvor skogflaten minsker, kan gi negativ effekt. Forslaget til ny metode går ut på å se karbonflyten i et globalt perspektiv, og å ta hensyn til den globale karbonbalansen. For å støtte opp om bruk av karbonnøytral tilnærming har Ilkka Leinonen i rapporten *A general framework for including carbon emissions and removals in the life cycle assessments for forestry products* undersøkt hvordan biogent bundet karbon i produkter fra skogsindustrien kan bli hensyntatt i LCA på en god måte [27]. Utfordringen er at det finnes flere metoder for å hensynta det biogene karbonet. Når det kommer til tidsaspektet mener Leinonen at når vi ser på CO₂-utslipp fra skogbruk kan vi se bort fra tidsaspektet. Det er fordi mengden CO₂ som blir sluppet ut til atmosfæren, blir tatt opp igjen av skogbruket. På den andre siden vil CO₂-utslipp fra fossile kilder til atmosfæren aldri bli tatt opp igjen av kilden, som vil føre til økt mengde CO₂ i atmosfæren. Massebalanse er også en sentral faktor i forslaget til Leinonen. Det går ut på at summen av utslipp og opptak av CO₂ skal være lik null. Derfor kommer Leinonen med et forslag til et rammeverk som går ut på at:

- Masseflyten til både fossilt og biogent karbon skal kvantifiseres ved bruk av massebalanse.
- Det skal ikke hensyntas tidspunkt for utslipp
- Ved LCA-studier, spesielt i mindre skala, er det viktig å ha kontroll på grensene mellom tilliggende systemer for å sørge for at hvert utslipp eller opptak kun blir hensyntatt én gang.

For å sammenligne tre med andre byggematerialer har først F. Pierobon, M. Huang, K. Simonen og I. Ganguly i rapporten *Environmental benefits of using hybrid CLT structure in midrise non-residential construction: An LCA based comparative case study in the U.S. Pacific Northwest* undersøkt miljøpåvirkningen av en konstruksjon bygget med hybrid krysslaminert tømmer (hybrid CLT) sammenlignet med en betongkonstruksjon [94]. De bruker en LCA-studie for å gjennomføre sammenligningen. Resultatene viste at hybrid CLT-konstruksjonen:

- reduserte GWP med 26,5% sammenlignet med betongkonstruksjonen (biogent karbonutslipp er ikke medregnet, det blir beregnet for seg selv).
- Reduserte fossil energibruk med 8%.
- Generelt reduserer klimagassutslipp, forsuring og eutrofiering.

Videre har Chun-Liang Lin konkludert med at potensiale for reduksjoner av utslipp i trekonstruksjoner sammenlignet med stål og betong, men det er avhengig av transport, energibruk under produksjon og behandling av avfall. Det etterlyses standardiserte metoder for å beregne lagring og utslipp av karbon [21].

Klimaendringene har store konsekvenser i følge K. Abbass et al. i rapporten *A review of the global climate change impacts, adaption, and susitainable mitigation measeures* [13]. De understreker at

klimaendringene har negativ innvirkning på landbruk, biodiversitet, helse, skogbruk, turisme og økonomi. M. Kotz et al. har videre undersøkt hvordan klimaendringer påvirker verdensøkonomien i rapporten *The economic commitment of climate change* [14]. Studiet bygger på data fra over 40 år tilbake i tid og inkluderer 1600 regioner globalt. De har estimert at skadene som følger av klimaendringene blir seks ganger dyrere enn kostnadene for å begrense den globale gjennomsnittstemperaturen med opptil 2 grader.

3. Forskerspørsmål

For å definere og avgrense analysen, er det nyttig å stille noen forskerspørsmål som kan besvares ved bruk av analysen. Først kommer en oppsummering av problemområdet, før hovedforskerspørsmålet defineres. Videre blir hovedspørsmålet bygget opp av to underspørsmål.

3.1. Hovedspørsmål

Økosystemene, verdensøkonomien og samfunnet blir truet av klimaendringene [9, 10, 12, 14-16]. Det er derfor et stadig behov for å redusere utslipp av klimagasser, også i byggebransjen som står for omtrent 40 % av de globale klimagassutslippene [17]. For at Norge skal nå målene satt i Paris-avtalen må vi fortsette å redusere utslippene betydelig, noe politikken allerede har lagt føringer for [16, 29]. For å avdekke klimagassutslipp kan det brukes livssyklusanalyser. Det finnes forskjellige metoder for gjennomføring av livssyklusanalyser, og resultatene av analysen er avhengig av metodevalg [22, 26, 48, 59]. Et metodevalg som må bli tatt, og som har utslagsgivende kraft, er hensynet til biogent bundet karbon og videre hensynet til tid. Biogent bundet karbon i klimagassberegninger er et tema som er omdiskutert [25-28]. På den ene siden vil -1/+1-metoden følge karbonflyten gjennom hele livsløpet til et produktsystem og på den måten gi en mer detaljert beskrivelse av opptak og utslipp av karbon. Utfordringen er at det blir desto viktigere at systemgrensene er tydelig definert og omfattende nok, slik at ikke opptak eller utslipp av karbon i noen faser utelates eller blir hensyntatt flere ganger. På den andre siden kan 0/0-metoden være mer nøyaktig i det store bildet ettersom alt opptatt karbon fra atmosfæren omsider vil bli enten frigjort tilbake til atmosfæren eller lagret i jorden. Det er derfor ikke så viktig hvordan karbonflyten ser ut i mellomtiden. Det er verdt å merke seg at metoden er basert på karbonnøytralitet. Ved valg av metode kommer derfor hensynet til tid inn i bildet, som fører til valget om hvorvidt en skal bruke statisk eller dynamisk metode. På bakgrunn av disse problemene er hovedspørsmålet formulert slik:

Hvordan påvirkes CO₂-fotavtrykket til et bygg i en LCA av ulike håndteringer av biogent bundet karbon i trevirke?

3.2. Underspørsmål

For å sette lys på betydningen av biogent bundet karbon i klimagassberegninger, skal det i denne oppgaven sammenlignes to ulike beregningsmetoder; FutureBuilt-metoden og NS3720. Blant annet er en av hovedforskjellene mellom metodene hvordan de tar hensyn til biogent bundet karbon i treverk. Det skal undersøkes både hvordan beregningsmetodene skiller seg fra hverandre og hvordan forskjellene i metode påvirker resultatene i en klimagassberegning med gjennomføring av en case-studie. For å videre spesifisere oppgaven er det formulert to underspørsmål:

- *Hvordan håndteres biogent bundet karbon i FutureBuilt-metoden og NS3720?*
- *Ved gjennomføring av en klimagassberegning av et eksempelbygg, hva skyldes de eventuelle forskjellene i resultatene mellom FutureBuilt-metoden og NS3720?*

3.3. Avgrensninger

Analysen inkluderer en livssyklusanalyse av barnehagebygget i Magasinparken. Analysen tar for seg de fleste livløpsfasene for bygget, men noen faser, som energibruk i drift, ekskluderes på bakgrunn av manglende beregningsgrunnlag. Beregningsmetodene, casen og EPD-grunnlaget er basert på at konstruksjonen bygges i Norge. Resultatene kommer kun fra case-studiet og uttrykkes i form av CO₂-ekvivalenter. Det hentes inn tidligere forskning og litteratur, men analysen er ikke en litteraturstudie. Resultatene fra livssyklusanalysen brukes som et sammenligningsgrunnlag for FutureBuilt-metoden og NS3720, som blir sammenlignet på forskjellige områder hvor diskusjonen er fokusert rundt biogent bundet karbon. Analysen ser ikke på økonomiske eller sosiale aspekter, heller ikke andre klimapåvirkninger enn CO₂-utslipp. Videre avgrensninger, og systemgrensene for øvrig, er presentert under *Systemgrenser* i kapittel 4.4.5 Mål og omfang.

4. Metode

Som tidligere nevnt er valg av metode viktig for gjennomføring av et LCA-studie. I dette kapittelet blir metodene brukt i denne analysen gjennomgått, men først blir casen presentert.

4.1. Case

Magasinparken er et nyetablert boligområde bestående av flere leilighetskompleks med til sammen 487 boliger [95]. Magasinparken er utviklet av Solon eiendom, som er en eiendomsutvikler med fokus på arkitektur og gode bomiljø [96]. Nordre Follo kommune har vedtatt å bygge en ny barnehage i Magasinparken [97]. Barnehagen har planlagt ferdigstillelse sommeren 2025, og er i skrivende stund under konstruksjon. Konstruksjonen er to etasjer høy og har et bruksareal på 1642 kvadratmeter (m²). Det er planlagt å være åtte avdelinger i barnehagen, med et tiltalende uteområde som skissert på bildene i Figur 4.1, Figur 4.2 og Figur 4.3 hentet fra Nordre Follo kommune [97].



Figur 4.1 Barnehagebygget som inngår i case-studiet



Figur 4.2 Oversiktsbilde Magasinparken

På slutten av 1800-tallet opplevde omsider også Norge en industriell revolusjon [98]. Ski, som tidligere var et landbruksområde, ble nå et knutepunkt for de nyoppførte jernbanene på Østlandet i dagens Akershus fylke. I tillegg til den industrielle revolusjon hadde Norge relativt nylig skrevet sin egen grunnlov, men var underlagt Sverige som et resultat av Napoleons-krigene. Norge ønsket å være uavhengig av Sverige, men Svenskene ønsket ikke å gi fra seg sitt lovede krigsbytte. Det førte til at Nordmennene oppførte et forsvarsverk langs Glomma kalt Glommalinjen [99]. Forsvarsverket strekker seg langs Glomma fra Halden opp til Kongsvinger og var ment for å beskytte hovedstaden mot svenskene. Den strategiske plasseringen av Ski som jernbaneknutepunkt førte til at det ble etablert et magasinsenter for artilleri og mannskap først i form av et tømmerbygg, og på det meste var det 63 bygninger fordelt over tre leirer i området [98]. Det er Magasinleiren som har holdt sin opprinnelige form i størst grad. Tyskerne tok over Magasinleiren og brukte den som treningsleir under den andre verdenskrig. Etter sistnevnte krig ble leiren overlevert til det norske forsvaret, og brukt som depot og treningsleir frem mot år 2000. Solon eiendom kjøpte leiren i 2010, og markerte overgangen fra militær leir til boligområde.



Figur 4.3 Plantegning av uteområde

Magasinparken barnehage blir brukt som et eksempelbygg i denne oppgaven fordi det er en konstruksjon med utstrakt bruk av treverk. Det er treverk blant annet i kledning både inne og ute, bærekonstruksjonen og vinduer. Effekten av biogent bundet karbon vil bli understreket i klimagassberegningene av den utstrakte bruken av treverk. Norconsult er et konsulentfirma som har levert blant annet et forprosjekt hvor de har gjennomført en tidligfase klimagassberegning av barnehagen [31]. Forprosjektet til Norconsult blir brukt som beregningsgrunnlag for denne oppgaven og finnes i VEDLEGG E. Forprosjektet blir også brukt som grunnlag for sammenligning av klimagassberegninger.

4.2. Materialer

Tabell 4.1 viser en oversikt over de forskjellige programvarene som er brukt til å gjennomføre analysen, i tillegg til en forklaring av hva de er brukt til.

Tabell 4.1 Liste over programvare

Navn	Versjon	Brukt til:	Kommentar
EndNote	21.5	Kildeføring	Utgitt 19.11.2024
Reduzer	2024010401	Klimagassberegning	Utgitt 04.01.2024
OneClick LCA	2025	Sammenlikning av klimagassberegninger	Månedlige oppdateringer
Microsoft Word	16.94	Rapportskriving	
Microsoft Excel	16.95.4	Klimagassberegninger	
Microsoft Project Professional	2501	Fremdriftsplan	
Parallels Desktop	18.3.3	Å kunne bruke Windows OS på Mac	
Windows 11	22H2	Operativsystem	Opererer via Parallels Desktop

Tabell 4.2 viser en liste over hvilke fysiske materialer som er brukt til å gjennomføre analysen.

Tabell 4.2 Liste over fysiske materialer

Navn	Type
PC	MacBook Pro M1 2020

4.3. Litteratursøk

For å ha tilgang på grunnleggende kunnskap, rapporter og relevant faglitteratur å henvise til ble det gjennomført et litteratursøk. Litteraturen ble i hovedsak innhentet ved bruk av *Google Scholar*. Filteret ble satt til å vise artikler som ble utgitt for under ti år siden. Det er fordi det er ønsket med nyere forskning ettersom det fortsatt etterlyses standardiseringer av metode for LCA-studier [22, 28, 100]. De søketreffene med flest siteringer ble prioritert fordi det viser at andre fagfeller støtter forskningen som er gjort. Hvis det ikke var litteratur med foretrukket mengde siteringer, ble litteraturen som ble funnet kontrollert opp mot annen litteratur for å bekrefte at innholdet er støttet av fagfeller. Søket endte i 29 antall treff i form av akademiske artikler til bruk i videre arbeid. Litteratur ble også søkt etter hos Universitetet i Agders bibliotek, så vel som Kristiansand folkebibliotek. I bibliotekene ble det søkt etter litteratur angående biogent bundet karbon ettersom det er et hovedtema i analysen. Det ble også søkt etter noe som kunne være relatert til biogent bundet karbon for å få en bredere forståelse av emnet. Søket på biblioteket endte kun i én bok som handlet generelt om karbonets rolle, *Karbon – en uautorisert biografi* av Dag O. Hessen [32]. Boken bidro til en økt forståelse av karbonets rolle både med tanke på klimaforskning, skogbruk og biologi

for øvrig. Flere forskningsartikler og utdrag fra faglitteratur ble gitt av intern veileder. Blant annet en innføring i LCA-metodikk, *The hitchhikers guide to LCA* av Baumann og Tillman [47]. Boken ga en økt generell forståelse av hva et LCA-studie inneholder og hvordan det gjennomføres. Resterende informasjon, som blant annet utgivelsesår, allmennkunnskap, kommunal prosjektinformasjon eller annen ikke-akademisk litteratur ble hentet direkte fra nettsidene til de gjeldene organisasjonene eller institusjonene. Tabell 4.3 viser en kort oppsummering av hvor litteraturen ble hentet fra og Tabell 4.4 viser hvilken type media litteraturen er.

Tabell 4.3 Oversikt over kilder til litteratur

Kilde	Treff
Google Scholar	38
Bibliotek	1
Veileder	6
Andre nettsider	61

Tabell 4.4 Type media for innhentet litteratur

Type media	Antall
Bok	3
Tabell	1
Artikkel	29
Rapport	12
Standard	10
Upublisert	2
Nettside	49

4.4. LCA

Det ble brukt to metoder i gjennomføringen av LCA-studiet, NS3720 og FutureBuilt Zero B. I dette kapittelet blir metodene brukt i denne analysen gjennomgått med utgangspunkt i metodebeskrivelsen i Kapittel 2 *Kunnskapsbakgrunn*.

4.4.1. NS3720:2018

NS3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger, er en av to metoder som har blitt brukt for å gjennomføre klimagassberegninger [52]. Metoden er gitt ut av Standard Norge og gjelder for klimagassberegninger av bygninger. Den tar ikke hensyn til biogent bundet karbon i treverk.

4.4.2. FutureBuilt-metoden

FutureBuilt Zero B er den andre metoden som har blitt brukt for å gjennomføre klimagassberegninger [65]. Den tar utgangspunkt i NS3720, men bygger videre med flere krav og presiseringer. I motsetning til NS3720, tar FutureBuilt-metoden hensyn til biogent bundet karbon i treverk.

4.4.3. LCA i Reduzer

Livssyklusanalysen (LCA) ble gjennomført i dataprogrammet Reduzer. For å gjennomføre en livssyklusanalyse i Reduzer må det først opprettes et prosjekt, hvor distanse til avfallsstasjon, antall etasjer, brutto grunnareal og bruksareal skal spesifiseres. Disse verdiene ble spesifisert med utgangspunkt i forprosjektet til Norconsult. Deretter ble det lagt inn materialmengder, også hentet fra forprosjektet. Hver mengde ble lagt til som et inventar og tilknyttet en passende EPD. Etter at det ble knyttet EPD-er til hvert inventar, beregner Reduzer utslipp etter valgt beregningsmetode. I denne oppgaven ble det brukt *NS3720 – uten systemgrenser – 60 år*, og *FutureBuilt Zero v3 – Zero Bygg - Hovedkriterium* [52, 65]. Levetiden i begge beregningsmetodene er satt til 60 år. Når beregningsmetoden er valgt, regner Reduzer ut utslipp fra hvert inventar i hver livsløpsfase. Formel 2.a, 2.b, og 2.c i kapittel 2.4.2 for beregning av biogent bundet karbon er brukt av Reduzer. I etterkant av utslippsberegningen var det nødvendig å kontrollere transportavstanden til hvert inventar, altså livsløpsfase A4. Mesteparten av transportavstandene ble lagt inn korrekt, mens en del av transportavstandene måtte legges inn manuelt og noen få måtte bare korrigeres til riktig verdi.

4.4.4. Funksjonell enhet i Reduzer

Reduzer har fire alternativer for funksjonell enhet når resultatene skal presenteres. De er: Global Warming Potential (GWP), bruttoareal, bruksareal og oppvarmet bruksareal. For å ha en funksjonell enhet som er spesifikk nok til å være sammenlignbar med resultater fra andre bygg ble det valgt å bruke bruksareal. Den funksjonelle enheten er kg CO₂ ekvivalenter per kvadratmeter bruksareal [kgCO₂e / m²_{BRA}]. GWP ble ikke brukt fordi den ikke er spesifikk nok, i tillegg har den fått kritikk som en klimametrikk [93]. Oppvarmet bruksareal ble ikke brukt fordi energi i drift er ekskludert i denne analysen. Bruksareal ble valgt over bruttoareal fordi bruksareal i større grad er sammenlignbart mellom forskjellige bygg, ettersom bruksarealet i mindre grad innebærer areal tatt opp av ytterveggene.

4.4.5. Mål og omfang

Det er først og fremst nødvendig å definere produktet. I denne analysen er produktet Magasinparken barnehage i Ski. Produktet er avgrenset til selve barnehagebygget, dermed er uteområder og eventuelt andre konstruksjoner på tomten utenfor systemgrensene. Hensikten med LCA-studiet er å danne et grunnlag for sammenligning av to forskjellige beregningsmetoder, for å videre kunne undersøke hvordan de to metodene hensyntar biogent bundet karbon. Analysen skal i første omgang brukes til å sammenligne og diskutere forskjellene mellom de to beregningsmetodene. Videre skal den brukes til å undersøke fordeler og ulemper med hver metode og eventuelt komme med anbefaling til en foretrukket metode eller videre arbeid. Det er stadig behov for forbedrede klimagassberegningsmetoder. Derfor er bakgrunnen for at denne analysen gjennomføres å bidra til den allerede eksisterende forskningen angående valg av metode for klimagassberegninger. Resultatene skal kommuniseres til personer som viderefører arbeidet med klimagassberegninger, spesielt med tanke på biogent bundet karbon i trekonstruksjoner. Det er essensielt at resultatene fra

hver livsløpsfase presenteres på en slik måte at det er sammenlignbart og kvantifiserbart. Derfor uttrykkes utslipp med enheten $\text{kgCO}_2\text{e} / \text{m}^2_{\text{BRA}}$ i alle livsløpsfaser.

Systemgrensene til produktsystemet er viktig å definere. Ettersom analysen fokuserer på biogent bundet karbon er det nødvendig å inkludere de livsløpsfasene hvor biogent bundet karbon blir hensyntatt. For FutureBuilt-metoden gjelder det B1 og for NS3720 skal det biogene karbonet rapporteres separat. For å både sammenligne de totale utslippene, men og få en oversikt over hvordan metodene hensyntar utslippene gjennom konstruksjonens livsløp, tas de fleste livsløpsfasene med i analysen. Livsløpsfasene som er inkludert og ekskludert er vist i Tabell 4.5. De ekskluderte livsløpsfasene er fase B3, B5-B8, C1 og C4. Grunnen til at disse livsløpsfasene er ekskludert er at det ikke var utslipp tilknyttet disse fasene i beregningsgrunnlaget, altså i forprosjektet.

Tabell 4.5 Inkluderte livsløpsfaser

Livsløpsfase	A1-A5	B1	B2	B3	B4	B5-B8	C1	C2	C3	C4	D
X = Inkludert i analysen	x	x	x		x			x	x		x

4.4.6. Inventaranalyse

EPD-ene som ble brukt, ble hentet i databasen til Reduzer. Det ble gjort for å ha en effektiv dataflyt, i tillegg til å utforske hvordan Reduzer gjennomfører en utslippsberegning. For å øke sammenligningsgrunnlaget mellom de to beregningsmetodene, NS3720 og FutureBuilt, ble det opprettet to forskjellige EPD-grunnlag. Det vil si to forskjellige samlinger med EPD-er som ble benyttet som beregningsgrunnlag. Den ene EPD-samlingen brukte EPD-er med generiske verdier, mens den andre versjonen brukte EPD-er med prosjektspesifikke verdier. EPD-ene som ble brukt kan finnes i VEDLEGG F. Ettersom begge beregningsmetodene har to EPD-grunnlag betyr det at det ble opprettet fire forskjellige modeller, som vist i Tabell 4.6.

Tabell 4.6 Oversikt over de fire forskjellige modellene

EPD-grunnlag / Beregningsmetode	Generiske EPD-er	Prosjektspesifikk EPD-er
NS3720	Modell 1	Modell 2
FutureBuilt	Modell 3	Modell 4

For det første EPD-grunnlaget ble det prioritert å bruke generiske EPD-er med typiske verdier. Hensikten med å bruke generiske EPD-er var å ekskludere de prosjektspesifikke aspektene, som valg av produsent av materialer, noe som vil føre til at forskjellene mellom selve beregningsmetodene blir tydeligere. I tillegg vil det i resultatene bli satt lys på forskjellene som kommer fra valg av EPD-grunnlag. De generiske EPD-ene er utarbeidet av Enova som er et statsforetak som jobber for Norges omstilling til lavutslippssamfunnet. EPD-ene representerer typiske utslippsverdier for hvert produkt [101]. Der generiske EPD-er ikke var tilgjengelig, ble det brukt prosjektspesifikke EPD-er med

utgangspunkt i produktene brukt i forprosjektet fra Norconsult. Der det verken var EPD-er basert på forprosjektet eller generiske EPD-er tilgjengelig, ble det brukt en produktspesifikk EPD med så like egenskaper som mulig sammenlignet med det gjeldende produktet i forprosjektet. Det var for å holde EPD-grunnlaget så konsistent som mulig med beregningsgrunnlaget til denne case-en.

For den andre versjonen ble det prioritert å bruke produktspesifikke EPD-er med utgangspunkt i forprosjektet til Norconsult. Hensikten var å kunne sammenligne EPD-grunnlaget mellom prosjektspesifikke og generiske EPD-er, i tillegg til å se hvordan beregningsmetodenes resultat påvirkes av EPD-grunnlag. Der det ikke var produktspesifikke EPD-er tilgjengelig ble det brukt generiske EPD-er, for å ikke blande inn irrelevante EPD-er.

For å beregne riktig avstand ble det tatt utgangspunkt i at lastebiler ble brukt som transportmiddel, derfor ble avstanden beregnet langs veiene. Alternativet hadde vært tog, men ettersom en større andel av materialene ikke hadde tog tilgjengelig som transportmiddel, ble det brukt lastebil på alle materialene for å gjøre det likt. For inventaret hvor det ble brukt generiske EPD-er, ble transportavstanden satt til en av Reduzer sine fem foreslåtte verdier. De foreslåtte verdiene er beskrevet i Tabell 4.7 og er sortert etter kategori.

Tabell 4.7 Foreslåtte transportavstander i Reduzer

Kategori	Foreslått avstand fra Reduzer (km)	Produkter	Brukte produkter i prosjektet
Lokal	50	Fersk betong, asfalt, stein og andre masser	Fersk betong
Regional	200	Prefabrikkerte betong element	EPS
Standard	500	Trevirke og gipsplater	Trevirke, gipsplater og mineralull
Lang distance	2000	Plastikk- og stålprodukter	Plastikk- og stålprodukter
Veldig lang distance	5000	Interkontinental import	Ingen brukte produkter i denne kategorien

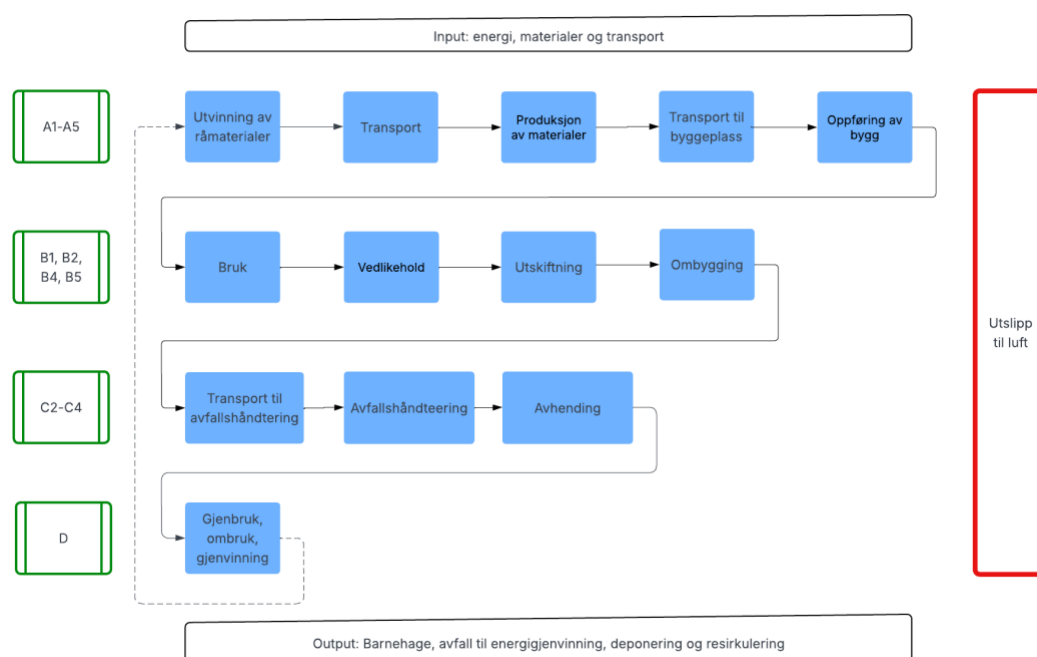
For inventaret med produktspesifikke EPD-er ble det brukt nøyaktige distanser fra produksjonslokasjonen for hvert produkt til Magasinparken i Ski. Transportavstandene er beskrevet i Tabell 4.8.

Tabell 4.8 Prosjektspesifikke avstander i Reduzer

Produkt	Avstand (km)	Produksjonssted
Kobberimpregnert terrassebord	163	Brumunddal, Norge
Fibo veggpanel	418	Lyngdal, Norge
Glassveggssystem	66	Jessheim, Norge

Himlingsplate	481	Skåne, Sverige
Takplater	1772	Sarnen, Sveits
Galvanisert stål	1139	Vimpeli, Finland
Membrantekking	186	Porsgrunn, Norge
Takplater	225	Norge, ikke videre spesifisert
Takvindu	1750	Partizánske, Slovakia
Ståltrapp	47	Trøgstad, Norge
Krysslimt tre	105	Åmot, Norge
Dampsperre	592	Levanger, Norge
Konstruksjonsvirke av gran	128 og 632	Skotterud og Steinkjer, Norge
EPS	72	Gressvik, Norge
Linoleum gulv	2417	Umbria, Italia
Klimadør	377	Agder, Norge
Gyproc gipsplate	944	Kirkkonummi, Finland
Vindu	541	Nordfjordeid, Norge
Vindsperre	46	Svelvik, Norge
Limtre av gran	177	Moelv, Norge

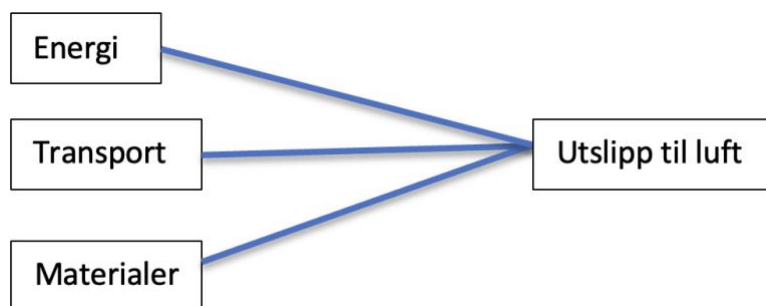
Avgrensningene i form av livsløpsfaser, typer utslipp, input og output er presentert i Figur 4.4. Ettersom målet med analysen er å sammenligne utslipp i form av CO₂-ekvivalenter er det kun tatt med utslipp til luft i flytdiagrammet. Resirkulering og ombruk av materialer fra fase D kan bidra til redusert behov for ressurser i materialfasen A1-A5 for eventuelle andre produktsystemer. Linjen er stiplet fordi det reduserte behovet ikke blir tilegnet produktsystemet selv, men et annet produktsystem.



Figur 4.4 Flytdiagram av produktsystemet

4.4.7. Vurdering av påvirkning

Miljøpåvirkningen til produktsystemet skal vurderes. I denne analysen blir bare utslipp til luft hensyntatt, derfor er modellen for miljøpåvirkning relativt enkel. Påvirkningsmetodikken som Reduzer bruker er EPD-metodikken forklart i kommunikasjon med Reduzer i VEDLEGG G [102]. De henter utslippsverdiene fra EPD-ene som blir brukt. For norske EPD-er blir globalt oppvarmingspotensial med direkte utslipp (GWP-IOBC) brukt, og for internasjonale EPD-er blir Global Warming Potential Greenhouse Gas (GWP GHG) brukt. Det finnes til nå syv forskjellige miljøindikatorer i Reduzer i tillegg til GWP, men det er bare GWP som blir brukt i forbindelse med denne analysen. GWP i Reduzer presenteres i tonn CO₂ ekvivalenter og med enheten tonnCO₂e. Utslipp fra energi, materialer og transport blir kvantifisert slik at det kan uttrykkes utslipp til luft i form av GWP, og videre bearbeidet slik at det kan uttrykkes med den funksjonelle enheten kgCO₂e/m²BRA som vist i Figur 4.5.



Figur 4.5 Modell for miljøpåvirkning

4.4.8. Tolkning og presentering av resultatene

Til slutt skal resultatene presenteres og tolkes. For å presentere resultatene ble først den funksjonelle enheten i Reduzer valgt, kgCO₂e/m²BRA. Reduzer har innebygde funksjoner som viser forskjellige resultater. Resultatene kan sorteres etter en rekke parametere som blant annet livsløpsfase, utslippspost og materialtype. Resultatene ble sortert i Reduzer etter livsløpsfase og utslippspost. Slik ble den mest relevante dataen fra Reduzer sine resultater hentet ut i form av tabeller som ble importert til Excel for videre bearbeiding. I Excel ble resultatene bearbeidet til å kunne bli presentert i form av diagrammer eller tabeller. Da de relevante resultatene var presentert i Excel, begynte tolkningen av resultatene. Presentering av resultatene fra analysen kommer i kapittel 5.1 og tolkning av resultatene kommer i kapittel 5.2.

5. Resultat og diskusjon

Først blir resultatene fra klimagassberegningen utført i Reduzer presentert. Deretter blir resultatene tolket, diskutert og drøftet. Til slutt kommer kritikk av gjennomføringen av analysen.

5.1. Resultat

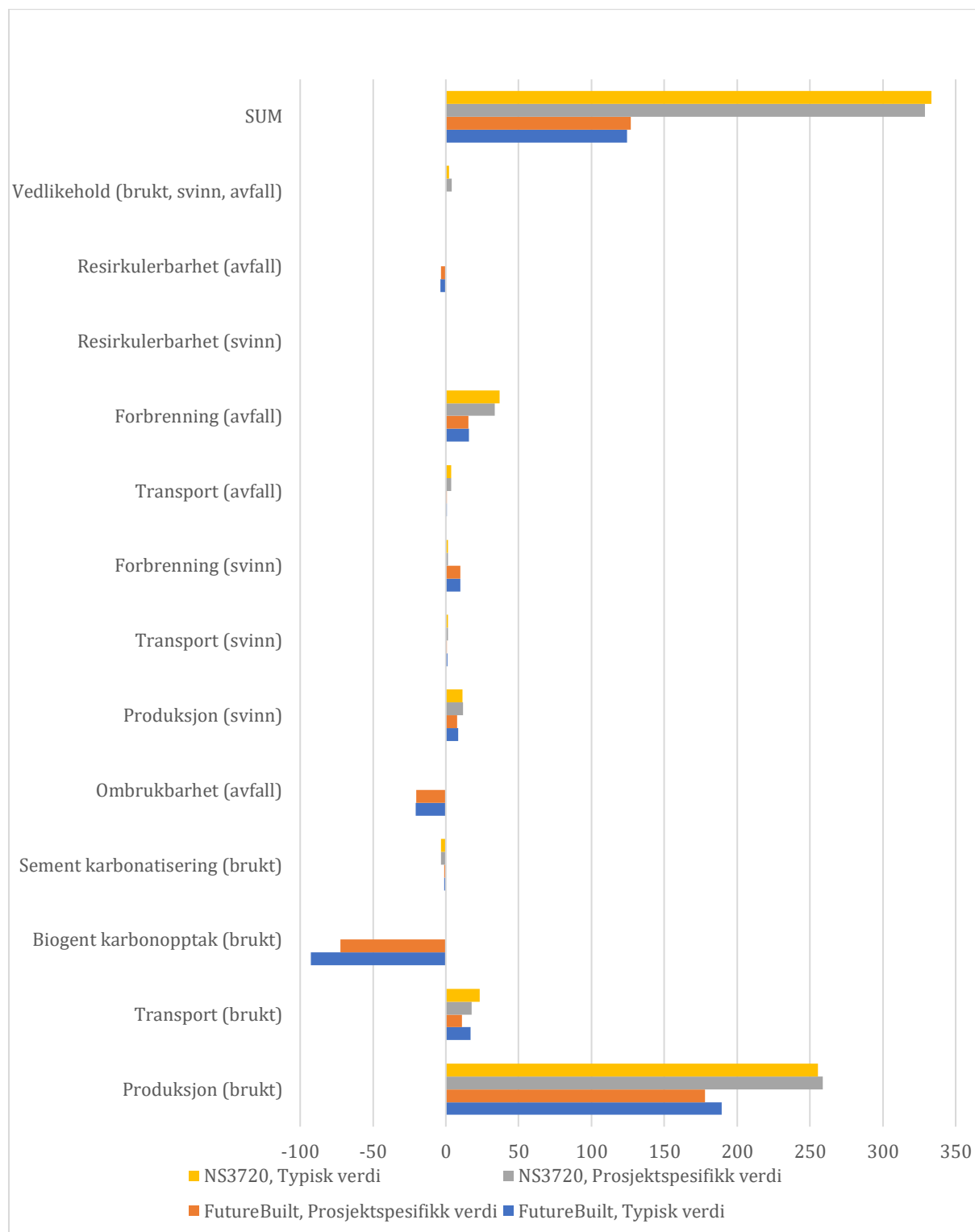
Det kommer til å bli presentert resultater fra fire modeller med forskjellig beregningsgrunnlag. Nummer 1 og 2 bruker NS3720, hvor 1 bruker EPD-er med generiske verdier og 2 bruker prosjektspesifikke EPD-er. Nummer 3 og 4 bruker FutureBuilt-metoden, hvor 3 bruker EPD-er med generiske verdier og 4 bruker prosjektspesifikke verdier. En oversikt kan sees i Tabell 5.1.

Tabell 5.1 Oversikt over de fire forskjellige modellene

EPD-grunnlag / Metode	Generiske EPD-er	Prosjektspesifikk EPD-er
<i>NS3720</i>	Nr. 1	Nr. 2
<i>FutureBuilt</i>	Nr. 3	Nr. 4

(Resultatene fortsetter på neste side)

Figur 5.1 viser utslipp fra forskjellige deler av livsløpet i hver av de fire modellene med enheten $\text{kgCO}_2/\text{m}^2\text{BRA}$. Det er i de to modellene hvor det er brukt NS3720 at utslippene er høyest, og av alle modellene har modellen med generiske EPD-er høyest utslipp. FutureBuilt-metoden gir lavere utslipp og det er modellen med generiske EPD-er som gir lavest utslipp. Ombrukbarhet, biogent karbonopptak, forbrenning og produksjon fører til de største forskjellene i utslipp.



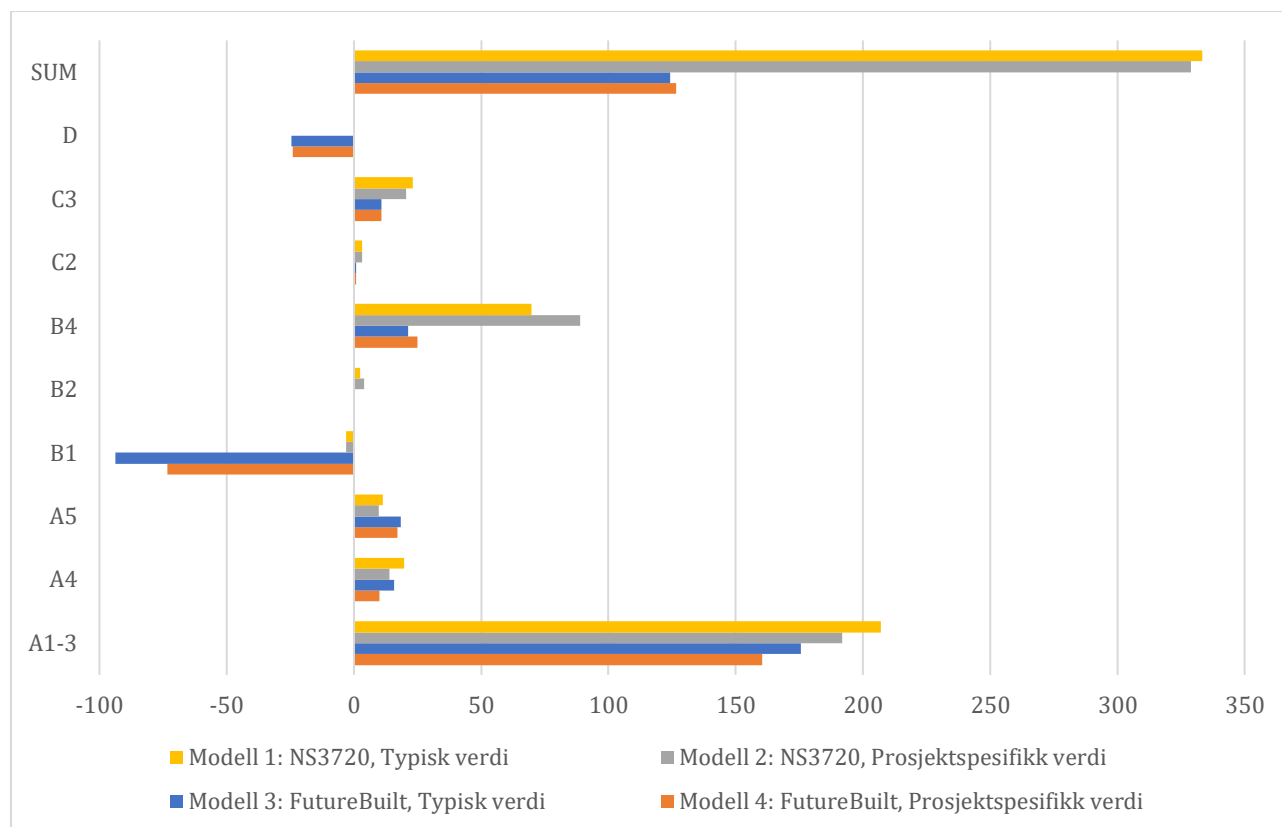
Figur 5.1 Resultat vist med utslippsskilde

Tabell 5.2 viser eksakte tall med enheten $\text{kgCO}_2/\text{m}^2\text{BRA}$ for den grafiske fremstillingen i Figur 5.1.

Tabell 5.2 Resultat vist med utslippsskilde med enheten $\text{kgCO}_2/\text{m}^2\text{BRA}$

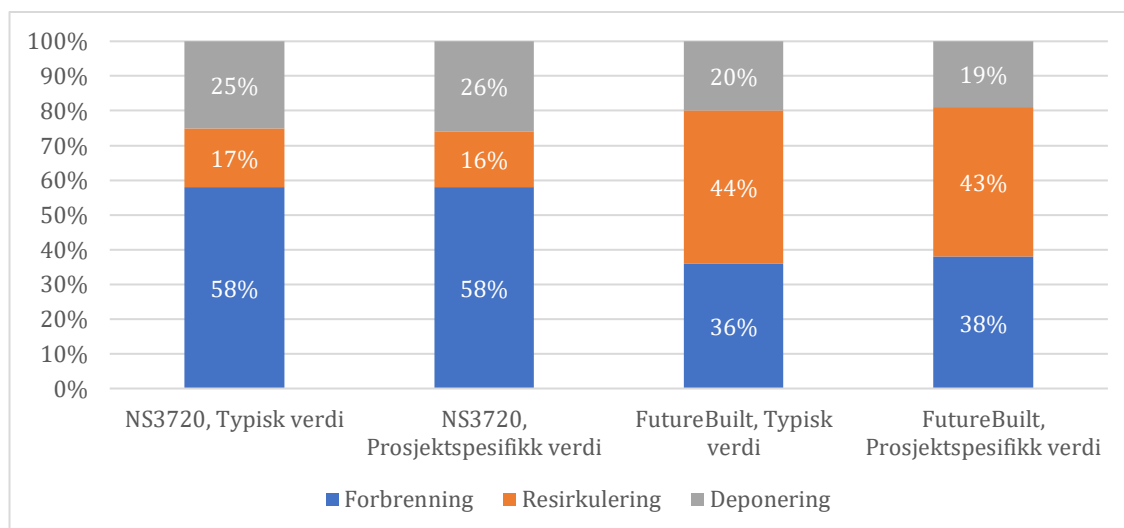
Kategori	NS3720, Typisk verdi Modell 1	NS3720, Prosjektspesifikk verdi Modell 2	FutureBuilt, Typisk verdi Modell 3	FutureBuilt, Prosjektspesifikk verdi Modell 4
Produksjon (brukt)	256	259	189	178
Transport (brukt)	23	18	17	11
Biogent karbonopptak (brukt)	0	0	-93	-72
Sement karbonatisering (brukt)	-3	-3	-1	-1
Ombrukbarhet (avfall)	0	0	-21	-20
Produksjon (svinn)	11	12	8	8
Transport (svinn)	2	1	1	1
Forbrenning (svinn)	2	2	10	10
Transport (avfall)	4	4	1	1
Forbrenning (avfall)	37	33	16	16
Resirkulerbarhet (svinn)	0	0	0	0
Resirkulerbarhet (avfall)	0	0	-4	-3
Vedlikehold (brukt, svinn, avfall)	2	4	Ikke del av FB	Ikke del av FB
Biogent karbonopptak (svinn)	0	0	Ikke del av FB	Ikke del av FB
Reisebruk	0	0	Ikke del av FB	Ikke del av FB
SUM	333	329	124	127

Figur 5.2 viser utslipp i enheten $\text{kgCO}_2/\text{m}^2\text{BRA}$ i hver livsløpsfase for hver av de fire modellene. FutureBuilt-metoden har opptak av CO_2 i livsløpsfase B1 og D, mens NS3720 har opptak av CO_2 i fase B1. Figuren viser også at NS3720 har høyere utslipp enn FutureBuilt-metoden i livsløpsfase B4 som handler om utskiftning under bruksfasen. Forskjellen mellom prosjektspesifikke EPD-er og generiske EPD-er for FutureBuilt-metoden er størst i fase B1 med karbon opptak, ellers er utslippene relativt like hvor det varierer hvilken type EPD som gir høyest utslipp. For NS3720 er resultatene også relativt like og det varierer hvilken metode som har høyest utslipp i hver fase. Prosjektspesifikke EPD-er gir høyest utslipp i fase B4, men det blir tatt igjen i de andre fasene, for de totale utslippene viser at de generiske EPD-ene gir 1,2 % høyere utslipp enn de prosjektspesifikke. Til sammenligning gir de prosjektspesifikke EPD-ene i FutureBuilt-metoden 2,4 % høyere utslipp enn de generiske EPD-ene.



Figur 5.2 Resultat vist med livsløpsfase

Figur 5.3 viser hva Reduzer regner som sannsynligheten for hvert avfallshåndterings-scenario for materialer i hver av de fire modellene. Figuren viser at en større mengde materialer blir resirkulert i FutureBuilt-metoden enn i NS3720. Derimot tar NS3720 utgangspunkt i at en større andel vil gå til forbrenning. Andelen som går til deponering, er relativt lik mellom de to metodene.



Figur 5.3 Sannsynlighetsfordeling for avfallshåndtering

5.2. Diskusjon

Først og fremst viser Figur 5.1 og Figur 5.2 at det er store variasjoner i resultatene fra utslippsberegningene basert på valg av metode. At valg av metode har stor påvirkning på resultatene støttes av flere tidligere forskningsartikler [26, 59, 103]. Det er spesielt store forskjeller på grunn av forskjellene i beregningsmetodene NS3720 og FutureBuilt, men det er også klare forskjeller på grunn av valg av EPD-er. Forskjellene mellom EPD-grunnlagene i samme beregningsmetode er relativt store når vi ser på hver av livsløpsstadiene, men det virker som det balanserer seg ut når vi ser på det totale utslippet. Det som også er verdt å bemerke seg er at i NS3720 gir de generiske EPD-ene størst utslipp, mens det er motsatt i FutureBuilt-metoden. Årsaken til det blir ikke adressert i denne analysen, men kan undersøkes i videre arbeid.

Ettersom FutureBuilt-metoden er basert på NS3720, tar metodene hensyn til mange av de samme utslippspostene. En av de mest avgjørende forskjellene er at FutureBuilt bruker en dynamisk beregningsmetode og NS3720 bruker en statisk beregningsmetode. Ettersom NS3720 resulterer i over dobbelt så høye utslipp som ved bruk av FutureBuilt-metoden, er det tydelig at valg av metode har stor utslagsgivende kraft, også i dette case-studiet. E. Hoxha et al. konkluderte i 2020 at en dynamisk beregningsmetode som tar hensyn til skogens vekstperiode blir mer nøyaktig enn en statisk beregningsmetode [26]. Videre bekrefter F. Morris et al. i 2021 at resultatene i stor grad er avhengige av valg av metode, og sammen med E. I. Wiloso og W. Liu et al. bekrefter de at å anta karbonnøytralitet ikke gir et tilstrekkelig beregningsgrunnlag [22, 28, 100]. Funnene fra Hoxha, Morris, Wiloso og Liu vil antyde at den dynamiske metoden til FutureBuilt gir en mer nøyaktig oversikt over utslippene og dermed mer nøyaktige resultat enn den statiske metoden til NS3720. På den andre siden mener I. Leinonen at vi kan se bort fra tidsaspektet når det kommer til CO₂-utslipp fra skogbruk [27]. Det er i hovedsak fordi skogbruket inngår i det atmosfæriske karbonkretsløpet. Derfor vil CO₂-utslippene fra treverket ikke øke mengden CO₂ i kretsløpet, men være en del av den totale massebalansen. Morris, Wiloso og Liu mener imidlertid at karbonflyten ikke er så enkel som Leinonen skal ha det til, og understreker viktigheten av å følge karbonflyten gjennom hele produktsystemet [22, 28, 100].

Hvis vi legger til den mengden biogent karbon FutureBuilt har regnet med å fjerne i B1, vil utslippene mellom de to metodene være likere, men fortsatt har NS3720 høyere utslipp og vil med et generisk beregningsgrunnlag ha 52 % høyere totale utslipp enn FutureBuilt-metoden med samme EPD-grunnlag. Det er altså ikke bare det biogene karbonet som utgjør forskjellen. Generelt sett tar metodene hensyn til mange av de samme utslippspostene, men flere utslipp blir allokert til forskjellige livsløpsfaser. Sett bort ifra biogent bundet karbon var den største forskjellen at modellene som brukte NS3720 hadde høyere utslipp i B4, utskifting i bruksfasen. Det er trolig på grunn av den dynamiske metoden til FutureBuilt som gir reduksjon av utslippene over tid [70]. FutureBuilt regner fremtidige utslipp med en reduksjonsfaktor som for hvert år blir mindre, snittverdien for reduksjonsfaktoren ligger på 0,81. Det er både på grunn av utvikling av ny teknologi i fremtiden som vil føre til lavere utslipp, og fordi FutureBuilt regner med at utslippene som skjer frem i tid har en mindre skadende effekt enn utslippene som skjer i dag. Det kan også handle om avfallshåndtering hvor FutureBuilt estimerer at en større andel av materialene frem i tid er resirkulert og ombrukt [70]. Modellene med NS3720 har større utslipp både i produksjon (A1-A3) og avfallshåndtering (C3) av materialer. Figur 5.1 viser at FutureBuilt-metoden har betydelig lavere

utslipp i produksjonen enn NS3720. Det kommer trolig av tidsvekting og hensyn til teknologiutvikling på grunn av materialene som skiftes ut i løpet av byggets levetid. Figur 5.1 viser også at forskjellene fra avfallshåndtering skyldes både at FutureBuilt-metoden har et karbonopptak for materialene som er resirkulerbare, og at NS3720 har høyere utslipp fra avfallsforbrenning. Grunnen til at FutureBuilt-metoden har lavere utslipp fra avfallsforbrenning er på grunn av tidsvektingen med hensyn til utvikling av teknologi og reduksjonen av konsekvensene av utslipp frem i tid [70].

Sett bort i fra de overnevnte livsløpsfasene hvor NS3720 hadde høyere utslipp enn FutureBuilt-metoden, er den mest utslagsgivende faktoren hensynet til biogent bundet karbon i FutureBuilt-metoden. Det gjør seg tydelig i bruksstadiet i bruksfasen (B1) hvor FutureBuilt allokerer reduksjon fra karbonopptak. Opptaket av karbon i FutureBuilt-metoden gjelder både biogent bundet karbon fra biomasser og karbonatisering av sement, mens NS3720 tar kun med karbonatisering av sement. I FutureBuilt metoden forekommer det også karbonopptak i livsløpsfase D, men det kommer ikke fra biogent bundet karbon. Så lenge materialene har en dokumentert ombrukbarhet, kan det tillegges en reduksjon av utslipp frem i tid i fase D [89]. Mengden reduksjon i fremtiden er tilsvarende mengden opptak i produksjonsfasen. Materialer med dokumentert gjenvinnbarhet kan tillegges en fremtidig reduksjon av utslipp på 10 % av produksjonsutslippene. Samtidig oppfordrer FutureBuilt til å legge til rette for gjenvinnbarhet. På den andre siden tillater ikke NS3720 reduksjoner på bakgrunn av disse fenomenene. Reduksjonene på grunn av karbonopptak, ombrukbarhet og gjenvinnbarhet bidrar trolig til å holde utslippene relativt lave i forhold til NS3720. Eksportert energi ville også blitt hensyntatt av FutureBuilt-metoden i fase D, men det har ingen effekt ettersom denne analysen ekskluderer energiproduksjon i drift. Oppsummert er de to forskjellene i metode som gir størst utslag i resultatene den forskjellige håndteringen av biogent bundet karbon i hver metode. I tillegg til reduksjonene av utslipp over tid på grunn av teknologiutvikling og tidsvekting i FutureBuilt-metoden.

E. Hoxha et al. oppfordrer til bruk av dynamisk metode for å ta hensyn til skogens vekstperiode [26]. I løpet av skogens vekstperiode tas det opp mest biogent karbon i de årene hvor treet er i vekst før det er hogstmodent. I Norge er bartrær hogstmodne etter omtrent 60-120 år etter planting, og Statsforvalterens anbefaling er å hugge skogen i dette tidsintervallet [61]. Når skogen er hogstmoden, er den økonomisk mest lønnsom i tillegg til at veksten stagnerer og dermed også karbonopptaket. Derfor er vekstperioden til skogen spesielt viktig i den dynamiske metoden. Vekstperioden til skogen impliserer at systemgrensene til relevante LCA-studier bør innbefatte en vekstperiode på mellom 60-120 år for å ha mest mulig realistisk resultat, men det er til slutt avhengig av den reelle vekstperioden for den aktuelle skog i hvert LCA-studie. Det vil si at mengden karbon som er midlertidig lagret i skogene er avhengig av hvor lenge den har stått, det bør bli hensyntatt i dynamisk LCA. FutureBuilt-metoden hensyntar dette og legger til grunn en vekstperiode på 100 år basert på arbeidet til G. Guest [25, 69]. Sammenlignet med tidsrommet for hogstmoden skog anbefalt av statsforvalteren, ligger vekstperioden til FutureBuilt-metoden på den mer konservative siden. Ettersom FutureBuilt-metoden er en fremoverlent beregningsmetode med høye krav og mål, samtidig som det oppnås relativt lave utslipp sammenlignet med NS3720, er det betryggende at det ligger konservative antagelser til grunn, som for eksempel vekstperioden til skogen.

Hensynet til biogent bundet karbon i FutureBuilt-metoden gjorde at utslippene ble redusert med 93 kgCO₂/m²BRA for modell 3 med generiske EPD-er som vist i Tabell 5.2. Det tilsvarer en reduksjon på 43%. For modell 4 med prosjektspesifikke EPD-er tilsvarer nedgangen 37%. Hensynet FutureBuilt-

metoden tar til biogent bundet karbon utgjør en betydelig forskjell i resultatene. For å poengtere forskjellen mellom resultatene av de to forskjellige metodene har FutureBuilt-metoden med generiske EPD-er 63 % lavere utslipp enn NS3720 med tilsvarende EPD-er, og FutureBuilt-metoden med prosjektspesifikk EPD-er har 61 % lavere utslipp enn NS3720 med prosjektspesifikke EPD-er. Det er dermed en mindre spredning i resultatene når det ble brukt prosjektspesifikk EPD-er. Det kan være tilfeldig ettersom dette bare er én case.

Som vist i Figur 5.3, er det store forskjeller mellom metodene når det kommer til avfallshåndtering. NS3720 har en høyere andel avfall til deponering og forbrenning, henholdsvis 58 % og 25-26 % mens resirkuleringsposten kun utgjør 16-17 % av den totale fordelingen. Som vist i Figur 5.2 er utslippene fra fase C omtrent dobbelt så store med NS3720 sammenlignet med FutureBuilt-metoden. Kilden til utslippene blir bekreftet i Figur 5.1, hvor NS3720 har en betydelig større andel utslipp enn FutureBuilt-metoden fra forbrenning av avfall. FutureBuilt-metoden har en relativt høy andel avfall til resirkulering, 44-45 %, mens deponering og forbrenning er på henholdsvis 19-20 % og 36-38 %. De to beregningsmetodene håndterer EPD-dataen relativt likt i hver beregningsmetode. Det er lite forskjell på håndteringen av avfall mellom det generiske EPD-grunnlaget og det prosjektspesifikke EPD-grunnlaget i hver av beregningsmetodene. Det er også verdt å nevne at FutureBuilt forutsetter at samfunnet har omstilt seg til en mer sirkulær økonomi slik at en større andel går til gjenvinning og resirkulering før det blir avfall [70]. Oppsummert vil forskjellene i håndteringen av avfall, og utslippene forskjellene fører til, understreke viktigheten av valg av metode, også for avfallshåndtering. Det er behov for økte politiske beslutninger for å fremme treindustrien, som vil bidra til å redusere Norges utslipp og nå målene fra Paris-avtalen [88].

Et grunnlag for den senere forskningen på den dynamiske metoden i LCA er arbeidet til A. Levasseur et al. [63]. Et av hovedargumentene som støtter bruk av dynamisk LCA er at det fører til en bedre oversikt over karbonflyten gjennom hele produktsystemet. Det virker som det er en positiv effekt å ha kontroll på karbonflyten gjennom et produktsystem. Når hensikten er å ha kontroll på karbonflyten, blir det desto viktigere å ha klare systemgrenser. De skal sørge for at alt opptak og alle utslipp blir medregnet, uten at noe blir regnet flere ganger, altså i flere forskjellige produktsystem. Et eksempel på en problemstilling er hvordan utslipp fra resirkulerte materialer skal hensyntas. I NS3720 og FutureBuilt skal dette hensyntas i EPD-ene som er brukt, men om det har blitt brukt en annen EPD som ikke tar hensyn til opptak og utslipp av de resirkulerte materialene, kan utslippene eller opptakene bli medregnet dobbelt. Det vil være en utfordring å unngå å regne med utslipp eller opptak flere ganger, ettersom det krever tilstrekkelig dokumentasjon av hvert produktsystem. I tillegg til tilgang på dokumentasjonen til senere LCA-studier. I dag er det forskjellig grad av tilgjengelighet til eksisterende LCA-studier, spesielt fra private aktører. Det gjennomføres stadig forskning for å videreutvikle den dynamiske metoden [104, 105]. Samtidig etterlyses det stadig mer forskning for å komme til en enighet i metode [26, 48, 105]. Den dynamiske metoden til FutureBuilt gir en reduksjon av fremtidige utslipp, men både J. G Vogtländer og I. Leinonen poengterer at ved å se på de globale utslippene er det ikke nødvendig å allokere gevinsten av karbonopptak til lokale produktsystem [27, 30]. Vogtländer oppfordrer til å se på den globale karbonbalansen for å uttrykke gevinsten i form av arealbruksendringer [30]. I og med at NS3720 åpner opp for å ta hensyn til biogent bundet karbon og arealbruksendringer, åpner standarden også opp for å rapportere karbonopptak etter Vogtländers forslag [52]. Vogtländer trekker også frem at det kun er en økning av skogsareal og økt bruk av skogbruksbaserte produkter som bidrar til karbonopptak på et globalt nivå

[30]. Vogtländers poeng taler imot å ta hensyn til midlertidig lagring av karbon i lokale produktsystem. Det vil forenkle problematikken rundt å medregne samme opptak og utslipp i flere produktsystem. Hvis forslaget til Vogtländer gjennomføres vil produktsystemenes utslipp og opptak grense til hverandre i form arealbruksendringer, og kun arealbruksendringer.

For å nå målene satt i Paris-avtalen, må det gjennomføres omfattende tiltak. Det vil være viktig for byggebransjen å ha prosjekter å se opp til når det skal gjennomføres grønnere byggeprosjekt. Derfor er det nødvendig å ha forbildeprosjekter til etterfølgelse som hos FutureBuilt. Det stilles stadig strengere krav til reduisering av utslipp i byggebransjen [16]. Arealbruksendringer er en av de større truslene mot å nå 2-gradersmålet [78, 106]. Imidlertid hensyntar verken NS3720 eller FutureBuilt-metoden utslipp som følger av arealbruksendringer direkte, men begge åpner opp for at det kan rapporteres separat. FutureBuilt går imidlertid litt lenger og oppfordrer til å rapportere utslipp som følge av arealbruksendringer, spesielt i større prosjekt. For å få et helhetlig bilde av karbonflyten, som er en av hovedargumentene for å bruke den dynamiske beregningsmetoden, burde utslipp fra arealbruksendringer kartlegges og rapporteres.

Et begrep som har dukket opp når det snakkes om klima er grønnvasking. Det finnes lite litteratur på området, spesielt fra Norge og byggebransjen. Det er et tema det oppfordres til å undersøke videre. En mulig problemstilling er om den dynamiske metoden blir brukt for systemgrenser som er satt fra A til B, men ekskluderer C. Det fører til at det blir medregnet opptak av karbon i A eller B, men ikke utslipp i C. Det vil gi negative utslipp som impliserer at jo mer en produserer av det produktet, jo lavere utslipp oppnås og derfor mer miljøvennlig. Når NS3720 åpner opp for å velge systemgrensene til hvert enkelt LCA-studie, kan de velges strategisk for å oppnå lavere utslipp i klimagassberegningene. Det er ikke et kjent problem, men muligheten er der. Det kan enkelt løses med FutureBuilt sin strategi, nemlig å inkludere så mange utslippsposter som mulig.

Hensikten med analysen var å ha et grunnlag for sammenligning mellom de to beregningsmetodene, spesielt med tanke på biogent bundet karbon. Resultatene oppfyller hensikten på en god måte fordi de legger et grunnlag for sammenligning hvor forskjellene er tydeliggjort. Resultatene viser at valg av metode har mye å si for hvilke resultater en får av klimagassberegningene. Samtidig er biogent bundet karbon en utslagsgivende faktor, i tillegg til den dynamiske beregningsmetodens påvirkning med hensyn til tid.

Analysen har en rekke svakheter som er verdt å vurdere. Utgangspunktet for analysen, som også er beregningsgrunnlaget, er et forprosjekt. Det betyr at det er flere uvisse aspekter og antakelser, som i en senere prosjekteringsfase kunne vært spesifisert i større grad for å ha et mer realistisk beregningsgrunnlag. På den andre siden blir ofte LCA-studier gjennomført i planleggingsfasen for å vurdere forskjellige alternativer. Det blir sånn sett mer realistisk å bruke forprosjektet med tanke på hvordan LCA-studier gjennomføres i praksis. En annen kritikk er at det ikke bare ble brukt generiske EPD-er for det generiske EPD-grunnlaget. Det ble heller ikke brukt bare produktspesifikke EPD-er for det prosjektspesifikke EPD-grunnlaget. Det var fordi det ikke var tilstrekkelig mengde med passende EPD-er tilgjengelig i Reduzer sin database. Reduzer har imidlertid en løsning hvor det kan sendes inn ønskede EPD-er. De blir lagt inn i databasen av Reduzer. Det ble ikke sendt inn ønsker etter EPD-er på grunn av hensyn til begrenset tid. Det har med en feil blitt brukt to forskjellige EPD-er for konstruksjonsvirke av gran. Produktet med lengst transportavstand er fra Steinkjer og det andre er

fra Skottevik. I Tabell 4.8 kan transportavstandene til begge produktene sees. Feilen påvirker resultatene i liten grad. A. Levasseur et al. kritiserer LCA-metoder for å kun bruke GWP som klimametrikk [93]. Denne analysen inkluderer kun CO₂-utslipp med GWP som klimametrikk og ingen andre hensyn til for eksempel havforsuring. Videre kritikk innebærer at vedlegget som lister opp EPD-ene, ikke inneholder alle EPD-ene med riktig referansenummer. Det skjedde trolig i eksporteringen fra Reduzer. Det ble ikke korrigert på grunn av hensyn til begrenset tid, men det bør undersøkes videre.

En avgrensning i analysen er at analysen er begrenset til Norge, både med tanke på casen, beregningsmetodene og EPD-ene som er brukt. For å sammenligne metoder for biogent bundet karbon, kunne det blitt brukt internasjonale beregningsmetoder, EPD-er og caser. I tillegg er skogbrukets grad av bærekraft på et globalt nivå varierende, som spiller inn på både hensyn til biogent bundet karbon og tid. Videre er det gjennomført en livssyklusanalyse av kun ett bygg. Det kunne med fordel blitt gjennomført en analyse av flere forskjellige typer bygg for å danne et bredere sammenligningsgrunnlag, eller for å kunne sammenligne beregningsmetodene i de forskjellige typene bygg for å se hvordan beregningsmetodene håndterer forskjellige sammensetninger av konstruksjonsmaterialer.

Et fenomen som ikke er adressert i tilstrekkelig grad er karbonatisering av sement. Det er imidlertid tatt med i analysen i Reduzer, men ikke nevnt tilstrekkelig i rapporten. Det er fordi karbonatisering av sement bidrar i liten grad til resultatene. I tillegg havner det utenfor systemgrensene ettersom analysen fokuserer på biogent bundet karbon. En av de større svakhetene med selve analysen er at energibruk og vannbruk i drift er ekskludert. Spesielt energibruk i drift kan være en omfattende utslippspost. Det faller imidlertid utenfor systemgrensene.

Når det kommer til utførelsen av selve analysen i Reduzer, ble det brukt lastebil som transportmiddel for alle materialene selv om noen av materialene kunne brukt tog som transportmiddel for å oppnå lavere utslipp. Det ble brukt kun lastebil for å gjøre forholdene like for alle materialene slik at sammenligningsgrunnlaget er likt for begge beregningsmetodene. Et godt alternativ for å oppnå mest mulig realistiske forutsetninger hadde vært å velge den transportmetoden som har enten lavest utslipp, billigst kostnad, eller er mest praktisk gjennomførbar. For å forstå avfallshåndteringen bedre kunne det blitt gått mer inn på hva slags avfallshåndtering som blir gjennomført i praksis i Norge. Det ble søkt etter litteratur og kilder angående praksis for avfallshåndtering i Norge, men det ble svært få treff. Det førte til at det ikke ble laget en omfattende kunnskapsbakgrunn om avfallshåndtering i praksis.

6. Konklusjon

Konklusjoner, anbefalinger for videre arbeid og bruk av analysen blir presentert i de kommende delkapitlene.

6.1. Konklusjon

For å lettere se sammenhengen mellom forskerspørsmål og konklusjon, blir først forskerspørsmålene gjentatt.

- **Hovedspørsmål:** *Hvordan påvirkes CO₂-fotavtrykket til et bygg i en LCA av ulike håndteringer av biogent bundet karbon i trevirke?*
- **Underspørsmål:** *Hvordan håndteres biogent bundet karbon i FutureBuilt-metoden og NS3720?*
- **Underspørsmål:** *Ved gjennomføring av en klimagassberegning av et eksempelbygg, hva skyldes de eventuelle forskjellene i resultatene mellom FutureBuilt-metoden og NS3720?*

Denne analysen konkluderer med at

- CO₂-fotavtrykket til et bygg i en LCA reduseres på grunn av hensynet til biogent bundet karbon i en dynamisk beregningsmetode. I en statisk beregningsmetode reduseres ikke CO₂-fotavtrykket til et bygg av biogent bundet karbon.
- FutureBuilt-metoden bruker en dynamisk beregningsmetode som hensyntar biogent bundet karbon i tillegg til å gi reduksjon av utslipp over tid. NS3720 bruker en statisk beregningsmetode hvor biogent bundet karbon ikke kan føre til reduksjon av CO₂-utslipp.
- Valg av statisk eller dynamisk metode i tillegg til håndteringen av biogent bundet karbon er noen av de mest utslagsgivende faktorene i resultatene av klimagassberegningen av et bygg når FutureBuilt-metoden sammenlignes med NS3720.

6.2. Anbefalinger til videre arbeid

Denne analysen anbefales brukt til videreføring av arbeidet med biogent bundet karbon i klimagassberegninger. Den er ment som et tillegg til den eksisterende litteraturen. Analysen kan brukes av fagpersoner eller andre som arbeider med klimagassberegninger, spesielt av konstruksjoner. Analysen er mest relevant i Norge, ettersom NS3720 og FutureBuilt gjelder for Norge.

For videre arbeid anbefales det først og fremst å videreføre arbeidet med biogent bundet karbon i klimagassberegninger for å nå en enighet om valg av metode. Det er ikke nødvendigvis én metode som passer for alle tilfeller, men det er ønskelig med noen retningslinjer i forskjellige tilfeller, som for eksempel i klimagassberegninger av bygg. Det hadde vært interessant å undersøke mulige kilder til grønnvasking i klimagassberegninger, ettersom usikkerheten rundt valg av metode fører til flere forskjellige metoder som muligens kan bli misbrukt. Det anbefales mer spesifikt å undersøke hvorfor de generiske EPD-ene ga høyere utslipp i den ene beregningsmetodene, men lavere utslipp i den andre beregningsmetoden.

Referanser

- [1] G. Livik. "Hvordan tar vi tempen på kloden?" https://www.yr.no/artikkel/hvordan-tar-vi-tempen-pa-kloden_-1.12979071 (accessed 19.05, 2025).
- [2] Copernicus. "Global Climate Highlights 2024." <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024> (accessed 07.05, 2025).
- [3] NASA. "Temperatures Rising: NASA Confirms 2024 Warmest Year on Record." <https://www.nasa.gov/news-release/temperatures-rising-nasa-confirms-2024-warmest-year-on-record/> (accessed 07.05, 2025).
- [4] NOAA. "2024 was the world's warmest year on record." <https://www.noaa.gov/news/2024-was-worlds-warmest-year-on-record> (accessed 07.05, 2025).
- [5] M. office. "2024: record-breaking watershed year for global climate." <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/news-and-media/media-centre/weather-and-climate-news/2025/2024-record-breaking-watershed-year-for-global-climate> (accessed 07.05, 2025).
- [6] Copernicus. "Surface air temperature for January 2025." <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-january-2025> (accessed 19.05, 2025).
- [7] Copernicus. "Surface air temperature maps." <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-maps> (accessed 19.05, 2025).
- [8] S. R. Weiskopf *et al.*, "Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States," *Science Direct*, vol. 733, 10.03.2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720312948>
- [9] J.-I. Dupuy *et al.*, "Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: a review," *Springer Nature*, vol. 77, 30.03.2020. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13595-020-00933-5#citeas>
- [10] P. Stott, "How climate change affects extreme weather events," *Science*, vol. 352, pp. 1517-1518, 24.06.2016. [Online]. Available: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.aaf7271>
- [11] FN. "FNs bærekraftsmål." <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (accessed 21.05, 2025).
- [12] M. E. Kahn, K. Mohaddes, R. N. C. Ng, M. H. Pesaran, M. Raissi, and J.-C. Yang, "Long-term macroeconomic effects of climate change: A cross-country analysis," *Science Direct*, vol. 104, 20.11.2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988321004898>
- [13] K. Abbass, M. Z. Qasim, H. Song, M. Murshed, H. Mahmood, and I. Younis, "A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures," *Springer Nature*, vol. 29, pp. 42539-52559, 04.04.2022. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-19718-6>
- [14] M. Kotz, A. Levermann, and L. Wenz, "The economic commitment of climate change," *Nature*, vol. 628, pp. 551-557, 17.04.2024. [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07219-0#citeas>
- [15] J. W. S. Nazrul Islam, "Climate Change and Social Inequality," Department of Economic and Social Affairs, Research Oktober 2017, 2017. [Online]. Available: https://bhekisisa.org/wp-content/uploads/2023/09/wp152_2017.pdf

- [16] A. Dechezleprêtre, A. Fabre, T. Kruse, B. Planterose, A. S. Chico, and S. Stantcheva, "Fighting Climate Change: International Attitudes toward Climate Policies," *American Economic Association*, vol. 115, pp. 1258-1300, 04.04.2025. [Online]. Available: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.20230501>
- [17] FN. "Parisavtalen." <https://fn.no/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen> (accessed 02.05, 2025).
- [18] UNEP, "Building Materials and the Climate: Constructing a New Future," UNEP, Rapport September 2023, 2023. [Online]. Available: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/43293>
- [19] ENOVA. "Bygg og anlegg i et klimaperspektiv." <https://2023.enova.no/markedsutvikling-med-enova/bygg-og-anlegg/bygg-og-anlegg-status> (accessed 19.05, 2025).
- [20] Statistisk sentralbyrå. "Utslipp til luft." <https://www.ssb.no/statbank/table/13932/chartViewColumn/> (accessed 19.05, 2025).
- [21] C.-L. Lin, W.-H. Chiang, Y.-S. Weng, and H.-P. Wu, "Assessing the anthropogenic carbon emission of wooden construction: an LCA study," *Taylor and Francis*, vol. 51, no. 2, pp. 138-157, 18.06.2022. [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09613218.2022.2087171#d1e1838>
- [22] F. Morris, S. Allen, and W. Hawkins, "On the embodied carbon of structural timber versus steel, and the influence of LCA methodology," *Science Direct*, vol. 206, 25.11.21. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132321006843?via%3Dihub>
- [23] *Norsk PEFC skogstandard*, PEFC N 02:2022, 2022.
- [24] FSC. "Om sertifisering." <https://no.fsc.org/no-nb/om-sertifisering> (accessed 19.05, 2025).
- [25] G. Guest, R. M. Bright, F. Cherubini, and A. H. Strømman, "Consistent quantification of climate impacts due to biogenic carbon storage across a range of bio-product systems," *Science Direct*, vol. 43, pp. 21-30, 11.06.2013. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019592551300053X?via%3Dihub>
- [26] E. Hoxha *et al.*, "Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods," *Buildings and Cities*, vol. 1, no. 1, pp. 504-524, 12.08.2020. [Online]. Available: <https://journal-buildingscities.org/articles/10.5334/bc.46>
- [27] I. Leinonen, "A general framework for including biogenic carbon emissions and removals in the life cycle assessments for forestry products," *Springer Nature*, vol. 27, pp. 1038-1043, 25.08.2022. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-022-02086-1>
- [28] E. I. Wiloso, R. Heijungs, G. Huppes, and K. Fang, "Effect of biogenic carbon inventory on the life cycle assessment of bioenergy: challenges to the neutrality assumption," *Science Direct*, vol. 125, pp. 78-85, 29.04.2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616301676>
- [29] M. E. K. Marianne Aasen, Eilif Ursin Reed, Arild Vatn, "Folk og klima: Nordmenns holdninger til klimaendringer, klimapolitikk og eget ansvar," CICERO, Research 19.12 2019. [Online]. Available: <https://pub.cicero.oslo.no/cicero-xmlui/handle/11250/2634149?show=full>
- [30] J. G. Vogtländer, N. M. v. d. Velden, and P. v. d. Lugt, "Carbon sequestration in LCA, a proposal for a new approach based on the global carbon cycle; cases on wood and on bamboo," *Springer Nature*, vol. 19, pp. 13-23, 06.08.2013. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-013-0629-6>

- [31] Norconsult. "Om oss." <https://norconsult.com/about-us/> (accessed 29.04, 2025).
- [32] D. O. Hessen, *Karbon - en uautorisert biografi* 1. Utg. Norge: CAPPELEN DAMM, 2015.
- [33] S. I. o. Oceanography. "The Keeling curve." <https://keelingcurve.ucsd.edu> (accessed 15.05, 2025).
- [34] S. I. o. O. a. U. S. Diego, "The Keeling Curve," ed, 2025.
- [35] T. K. Bjørn Pedersen. "Karbon." <https://snl.no/karbon> (accessed 03.03, 2025).
- [36] Greenpeace. "CO2-utslipp i Norge: Alt du trenger å vite om norske utslipp." <https://www.greenpeace.org/norway/fakta/klimaendringer/co2-utslipp-i-norge-dette-ma-du-vite/> (accessed 19.05, 2025).
- [37] CICERO, "Norway's emissions exports," CICERO, Rapport 29.11 2023. [Online]. Available: https://folk.universitetetioslo.no/roberan/t/export_emissions.shtml
- [38] G. M. Laboratory. "Trends in CO₂." <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/graph.html> (accessed 10.05, 2025).
- [39] K. O. Inge Bryhni, Jostein Mamen. "Klimagasser." <https://snl.no/klimagasser> (accessed 20.05, 2025).
- [40] NOAA. "Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide." <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide> (accessed 10.05, 2025).
- [41] Miljødirektoratet. "Tabell for omregning til CO₂ ekvivalenter." <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabell-for-omregning-av-co2-ekvivalenter/> (accessed 20.05, 2025).
- [42] T. F. Takeshi Muramochi, "Emissions Gap Report 2024," UN, Research April 2025, 2025. [Online]. Available: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2024>
- [43] S. Kallbekken. "togradsmålet." <https://snl.no/togradsmålet> (accessed 24.04, 2025).
- [44] Regjeringen. "Norges første rapportering under Parisavtalen." <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/norges-forste-rapportering-under-parisavtalen/id3086410/> (accessed 10.05, 2025).
- [45] N. M. o. C. a. Environment, "Norway's First Biennial Transparency Report under the Paris Agreement," Norwegian Ministry of Climate and Environment, Report Februar 2025. [Online]. Available: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Norways%20first%20Biennial%20Transparency%20Report%20under%20the%20Paris%20Agreement.pdf>
- [46] Statistisk sentralbyrå. "Utslipp til luft i Norge." <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft> (accessed 10.05, 2025).
- [47] A.-M. T. Henrikke Baumann, *The hitchhikers guide to LCA*, 1. Utg. Norge: Studentlitteratur, 2003.
- [48] S. Barbhuiya and B. B. Das, "Life cycle assessment of construction materials: Methodologies, applications and future directions for sustainable decision-making," *Science Direct*, vol. 19, 26.07.2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509523005065>
- [49] *Environmental management Life cycle assessment Principles and framework*, ISO 14040, 2006.
- [50] *Miljøstyring Livsløpsvurdering Krav og retningslinjer*, ISO 14044, 2006.

- [51] J. G. Backes, R. Hinkle-Johnson, and M. Traverso, "The influence of the Functional Unit on the comparability of life cycle assessments in the construction sector: A Systematic Literature Review and attempt at unification for Reinforced Concrete," *Science Direct*, vol. 18, 03.03.2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509523001456>
- [52] *Metode for klimagassberegninger for bygninger*, NS3720, 2018.
- [53] Epd-norge. "Hva er en EPD?" <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/> (accessed 22.04, 2025).
- [54] J. Mamen. "globale oppvarmingspotensialer " https://snl.no/globale_oppvarmingspotensialer (accessed 21.05, 2025).
- [55] *Environmental management - Life cycle assessment - goal and scope definition and inventory analysis*, ISO 14041:1998, 1998.
- [56] *Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment*, ISO 14042: 2000, 2000.
- [57] *Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation*, ISO 14043: 2000, 2000.
- [58] *Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures*, ISO 14025: 2006, 2006.
- [59] M. D. Rosa, M. Pizzol, and J. Schmidt, "How methodological choices affect LCA climate impact results: the case of structural timber," *Springer Nature*, vol. 23, pp. 147-158, 19.04.2017. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-017-1312-0>
- [60] P. Panchal, C. Preece, J. Peñuelas, and J. Giri, "Soil carbon sequestration by root exudates," *Science Direct*, vol. 27, no. 8, pp. 749-757, 13.07.2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138522001303>
- [61] Statsforvalteren. "Gjør det lønnsomt å hogge skog." <https://www.statsforvalteren.no/siteassets/fm-rogaland/bilder-fmro/landbruk/skogbruk/skogserien---gjor-det-lonnsomt-a-hogge-skog.pdf> (accessed 14.05, 2025).
- [62] N. Skogeierforbund, "Vern eller bruk av skog - hva er best for klimaet?," Faktaark Juni 2018, 2018. Accessed: 03.03.2025. [Online]. Available: <https://skog.no/wp-content/uploads/2016/05/Vern-eller-bruk-av-skog---hva-er-best-for-klimaet.pdf>
- [63] P. L. Annie Levasseur, Manuele Margni, Louise Deschênes, Réjean Samson, "Considering Time in LCA: Dynamic LCA and Its Application to Global Warming Impact Assessments," École Polytechnique de Montréal, Research 19.03 2010. [Online]. Available: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es9030003>
- [64] *Tømmer og skurlast — Miljødeklarasjoner — Produktkategoriregler for tre og trebaserte produkter til bruk i byggverk*, NS-EN 16485, S. Norge, 2014.
- [65] FutureBuilt. "ZERO Bygg." <https://futurebuilt-zero.web.app/kriterier/zero-bygg> (accessed 22.01, 2025).
- [66] FutureBuilt. "Om oss." <https://www.futurebuilt.no/Om-oss> (accessed 04.03, 2025).
- [67] FutureBuilt. "FutureBuilt kvalitetskriterier " <https://www.futurebuilt.no/FutureBuilt-kvalitetskriterier> (accessed 24.04, 2025).
- [68] *Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøprestasjon - Beregningsmetode*, NS-EN 15978, 2011.

- [69] FutureBuilt. "Karbonopptak fra materialbruk." <https://futurebuilt-zero.web.app/regneregler/karbonopptak#biogent-karbon> (accessed 05.03, 2025).
- [70] FutureBuilt. "Tidspunkt for utslipp og Dynamisk LCA." <https://futurebuilt-zero.web.app/regneregler/tidspunkt> (accessed 15.05, 2025).
- [71] H. M. Gjeltén. "Albedoeffekten." <https://snl.no/albedoeffekt> (accessed 16.05, 2025).
- [72] K. Hofstad. "GROT (Hogstavfall)." <https://snl.no/GROT - hogstavfall> (accessed 16.05, 2025).
- [73] Reduzer. "About us." <https://reduzer.com/#about> (accessed 12.03, 2025).
- [74] O. LCA. "About us." https://oneclicklca.com/company/about-us?_gl=1*axcf19*_up*MQ..*_gs*MQ..&gclid=Cj0KCQjw4cS-BhDGARIsABg4_J21hU5Q7xpeyVF2b1KeF1swfEGjBLU_QN-J4MspJoJvkVWfA5IG1kAaAlm2EALw_wcB&gbraid=0AAAAADojC51RM6srrIHT0pCijCNypKOCa (accessed 12.03, 2025).
- [75] S. Gauthier, P. Bernier, T. Kuuluvainen, A. Z. Shvidenko, and D. G. Schepaschenko, "Boreal forest health and global change," *Science*, vol. 349, no. 6250, pp. 819-822, 21.08.2015. [Online]. Available: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.aaa9092>
- [76] I. B. F. r. association. "About Boreal Forests " <https://www.ibfra.org/about-boreal-forests> (accessed 01.05, 2025).
- [77] Statistisk sentralbyrå. "Arealbruk og arealressurser " <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/areal/statistikk/arealbruk-og-arealressurser> (accessed 01.05, 2025).
- [78] T. S. Erlend B. Nilsen, Frode T. Singsaas, Lasse F. Eriksen, Håkon Stokland, Thomas E. Sutcliffe, Anders Kolstad, Francesca Pilotto, Matthew Grainger, "Effekter av arealbruk og arealbruksendringer på biodiversitet, økosystemtjenester og karbonlagring i Norge," NINA, Report August 2024, 2024. [Online]. Available: <https://brage.nina.no/nina-xmlui/bitstream/handle/11250/3131811/ninarapport2472.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [79] T. Pohjanmies, M. Triviño, E. L. Tortorec, A. Mazziotta, T. Snäll, and M. Mönkkönen, "Impacts of forestry on boreal forests: An ecosystem services perspective," *Springer Nature*, vol. 46, pp. 743-755, 22.04.2017. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-017-0919-5#citeas>
- [80] H. Yang *et al.*, "Global increase in biomass carbon stock dominated by growth of northern young forests over past decade," *Nature Geoscience*, vol. 16, pp. 886-892, 02.10.2023. [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/s41561-023-01274-4>
- [81] Miljødirektoratet. "Klimabegreper på norsk." <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/fns-klimapanel-ipcc/dette-sier-fns-klimapanel/klimabegreper-pa-norsk/> (accessed 28.04, 2025).
- [82] NIBIO. "Arealbrukssektoren." <https://www.nibio.no/tema/miljo/klimagassregnskapet-for-arealbrukssektoren/arealbrukssektoren> (accessed 01.05, 2025).
- [83] H. Briassoulis, *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modelling Approaches*, 2. ed. West Virginia WVU Research Repository, 2020. [Online]. Available: https://researchrepository.wvu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&&context=rri-web-book&&sei-redir=1&referer=https%253A%252F%252Fscholar.google.com%252Fscholar%253Fq%253Dland%252Buse%252Bchange%252B%2526hl%253Dno%2526as_sdt%253D0%25252C5%2526as_ylo%253D2015%2526as_yhi%253D#search=%22land%20use%20change%22
- [84] K. kommune. "Reguleringsplan." <https://www.kristiansand.kommune.no/navigasjon/bolig-kart-og-eiendom/plan-og-bygg/reguleringsplan/> (accessed 01.05, 2025).

- [85] OECD, "OECD Environmental Performance Reviews: Norway 2022," OECD, Performance Review 22.04 2022. [Online]. Available: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-environmental-performance-reviews-norway-2022_59e71c13-en.html
- [86] R. Ciglic and D. Perko, "Europe's landscape hotspots," *Acta Geographica Slovenica*, vol. 53, no. 1, 15.12.2013. [Online]. Available: <https://ojs.zrc-sazu.si/ags/article/view/1370>
- [87] K. o. miljødepartementet. "Globale miljøutfordringer - Norsk politikk." <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2009-16/id568044/?ch=6> (accessed 01.05, 2025).
- [88] G. A. Lone Ross, Marie Henriksen Bogstad, Fay Madeleine Farstad, Erlend Andre T. Hermansen, "Økt utnyttelse av trevirke og treavfall i Norge," NIBIO, Rapport 2023. [Online]. Available: https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/3101008/NIBIO_RAPPORT_2023_9_125.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [89] FutureBuilt. "Utslipp fra materialbruk." <https://futurebuilt-zero.web.app/regneregler/materialbruk> (accessed 28.04, 2025).
- [90] FutureBuilt, "FutureBuilt kriterier for sirkulære bygg," FutureBuilt, Notat 03.01, 2019. [Online]. Available: <https://futurebuilt-zero.web.app/regneregler/materialbruk>
- [91] Statistisk sentralbyrå. "Behandling av avfall fra nybygging, rehabilitering og riving (tonn), etter behandlingsmåte, statistikkvariabel, år og materialtype." <https://www.ssb.no/statbank/table/09781/tableViewLayout1/> (accessed 28.04, 2025).
- [92] Regnskogforbundet, "Approaching the point of no return," Regnskogforbundet, Report 2015-2020. [Online]. Available: https://dv719tgmsuwvb.cloudfront.net/documents/Publikasjoner/Andre-rapporter/RF_Point_of_no_return_1218_web.pdf
- [93] A. Levasseur, P. Lesage, M. Margni, L. Deschênes, and R. Samson, "Enhancing life cycle impact assessment from climate science: Review of recent findings and recommendations for application to LCA," *Science Direct*, vol. 71, pp. 163-174, 19.07.2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X16303776#sec0100>
- [94] F. Pierobon, M. Huang, K. Simonen, and I. Ganguly, "Environmental benefits of using hybrid CLT structure in midrise non-residential construction: An LCA based comparative case study in the U.S. Pacific Northwest," *Science Direct*, vol. 26, 23.07.2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219302542>
- [95] S. Magasinparken. "Om magasinparken." <https://magasinparken.no/om-magasinparken/> (accessed 29.04, 2025).
- [96] S. eiendom. "Om oss." <https://soloneiendom.no/om-oss> (accessed 29.04, 2025).
- [97] Nordre Follo Kommune. "Magasinparken barnehage." <https://www.nordrefollo.kommune.no/byggeprosjekter/kommunale-byggeprosjekter/magasinparken-barnehage/> (accessed 08.04, 2025).
- [98] K. Falla, "Det begynte med Napoleonskrigene," 2025.
- [99] E. Hammer. "Glommalinjen." <https://snl.no/Glommalinjen> (accessed 29.04, 2025).
- [100] W. Liu, Z. Yu, X. Xie, K. v. Gadow, and C. Peng, "A critical analysis of the carbon neutrality assumption in life cycle assessment of forest bioenergy systems," *Canadian Science Publishing*, vol. 26, March 2018. [Online]. Available: <https://cdnsiencepub.com/doi/full/10.1139/er-2017-0060#sec-5>
- [101] ENOVA. "Om oss." <https://www.enova.no/om-enova/> (accessed 16.05, 2025).

- [102] Reduzer, "Påvirkningsmetodikk," Kommunikasjon med Reduzers hjelpesenter, 20.05.2025, 2025.
- [103] I.-F. Häfliger *et al.*, "Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials," *Science Direct*, vol. 156, pp. 805-816, 25.04.2017. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617307618>
- [104] S. Su, X. Li, Y. Zhu, and B. Lin, "Dynamic LCA framework for environmental impact assessment of buildings," *Science Direct*, vol. 149, pp. 310-320, 09.06.2017. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816320898>
- [105] A. Levasseur, P. Lesage, M. Margni, L. Deschênes, and R. Samson, "Considering Time in LCA: Dynamic LCA and Its Application to Global Warming Impact Assessments," *Environmental Science & Technology*, vol. 44, no. 8, pp. 3169-3174. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1021/es9030003>
- [106] M. D. Rosa, M. V. Odgaard, J. K. Staunstrup, M. T. Knudsen, and J. E. Hermansen, "Identifying Land Use and Land-Use Changes (LULUC): A Global LULUC Matrix," *ACS*, vol. 51, no. 14, 14.06.2017. [Online]. Available: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.6b04684>

Vedlegg

- Vedlegg A – Utslipp fra byggebransjen i Norge over tid.
- Vedlegg B – Tabell fra klimarapport som viser Norges klimagassutslipp.
- Vedlegg C – Livsløpsfaser i LCA.
- Vedlegg D – FutureBuilt krav til sirkulære bygg.
- Vedlegg E – Forprosjektet til Norconsult.
- Vedlegg F – Liste over brukte EPD-er.
- Vedlegg G – Påvirkningsmetodikk i Reduzer.