



UiT Norges arktiske universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi – master Integreert Bygningsteknologi

Potensial for reduksjon av livssyklus klimagassutslipp ved gjenbruk og resirkulering av betong

Thomas Dinh

BYG-3900 Masteroppgave, mai 2021



MASTEROPPGAVE

for

Thomas Dinh

(Studentnummer 553814)

Vår 2021

Potensial for reduksjon av livssyklus klimagassutslipp ved gjenbruk og resirkulering av betong

(Potential for reducing the life cycle of greenhouse gas emissions through reuse and recycling of concrete)

Bakgrunn

Norsk byggeindustri står for tre millioner tonn byggavfall årlig, hvorav betong utgjør en million tonn. 73% av dette deponeres, 22% brukes som fyllmasse, og bare 5% materialgjenvinnes. Intuitivt vil man anta at en økt gjenvinning og resirkulering av betong vil redusere miljøpåvirkningen. Ifølge studier av Yazdanbakhsh et al. (2018) og Eberhardt et al. (2019), er det imidlertid også vesentlig miljøpåvirkning knyttet til resirkulering og transport som må tas med i betraktning når man vurderer gjenbruk og resirkulering av betong. Denne masteroppgaven vil utforske ulike perspektiver ved miljøpåvirkningen av sirkulære strategier for betong.

Opgaven vil undersøke klimarelaterte fordeler ved å ta i bruk betongavfall fra et typisk rivingsprosjekt. Effekter av bruk i lokale alternativer som landskapsutforming og fundament (inkludert karboniserings effekter) vil bli evaluert sammen med flere alternativer for gjenbruk og resirkulering. Basert på beregnede klimagassutslipp for valgte case, vil resultatene kunne skaleres til nasjonalt nivå og gi nasjonale anbefalinger. Opgaven vil også undersøke hvordan sirkulære bruk av betong vil kunne bidra til å redusere klimafotavtrykket til bygninger. En referansebygning vil bli sammenlignet med flere sirkulære alternativer, som total renovering (med direkte gjenbruk av bærende betongstruktur), stor grad av gjenbruk av betongelementer, stor grad av bruk av betong med resirkulert tilslag. Klimapåvirkningen vil bli evaluert med utgangspunkt i NS3720.

Opgaven vil hovedsakelig fokusere på de mulige veiene betongmassene kan ta fra revet bygg til ny bruk og klimapåvirkningen ved de ulike praksisene. Dette inkluderer bruk av resirkulert eller gjenbrukt betong i nye eller renoverte bygninger og klimapåvirkningen ved dette. Kvantitative effekter vil bli beregnet med LCA-programvaren One Click LCA. Datagrunnlag vil genereres gjennom kontakt med Circulus-prosjektet.

Begrensning av oppgaven

Ingen spesielle.

Arbeidet skal omfatte (men ikke nødvendigvis avgrenses til):

1. Innledende arbeid/litteraturstudium med avgrensninger og definisjoner.
2. Generelt om LCA metode og prinsipper
3. Beskrive dagens praksis i Norge samt relevante faktorer for økt bruk av resirkulerte /gjennbrakte betongprodukter. Erfaringer fra andre bygg der det er brukt resirkulerte/gjennbrakte betongelementer/strukturer
4. For gitt case, sette opp systemet i One Click LCA ved bruk av data fra Circulus-prosjektet.
5. Analyse av systemet gitt ulike antakelser og scenarier, inkludert sensitivitetsanalyse.
6. Analysere og diskutere konsekvensene av ulike strategier gitt målsetninger om å begrense klimaendringer og *når* utslippene /utslippskuttene finner sted.
7. Analysere og diskutere hvordan sementproduksjon med CCS vil kunne endre resultatene.
8. Diskutere styrker og svakheter med analysen og foreslå fremtidige forskningsbehov.
9. Beskriv oppgavens faglige og samfunnsmessige relevans, samt relevans i forhold til FNs bærekraftsmål.
10. Det skal utarbeides en vitenskapelig artikkel/paper basert på besvarelsen, maks 10 sider. (Artikkelen kan sees på som en kortversjon av hele besvarelsen og bør være på engelsk)

Samarbeidspartner

Opgaven gjennomføres i samarbeid med Circulus-prosjektet.

Generelt

Senest 14 dager etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven. Det innledende arbeid skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Definisjon i forhold til begrensninger og omfang av oppgaven.
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk, kildehenvisninger etc. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekke. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

Utleveringsdato:	11.01.2021
Innleveringsdato:	15.05.2021 kl 1200
Kontaktperson samarbeidspartner:	Emil Dæhlin Telefon: 479 09 145 E-post: emil.daehlin@sintef.no
Bi-veileder:	Professor Magnus Sparrevik, NTNU Telefon: 928 63 511 E-post: magnus.sparrevik@ntnu.no
Veileder UiT - IVT:	Førsteamanuensis Raymond Riise Telefon: 957 22 023 E-post: raymond.riise@uit.no

UiT – Norges Arktiske Universitet
Institutt for bygg, energi og materialteknologi



Raymond Riise
Faglig ansvarlig/veileder

Førord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved institutt master i teknologi/sivilingeniør. Oppgaven er en avsluttende del av toårige sivilingeniør- master i Integrert bygningsteknologi i emnet BYG-3900 ved UiT Norges arktiske universitet. Oppgaven er skrevet våren 2021.

Denne oppgaven handler om klimagassberegning ved gjenbruk og ombruk av betong. Oppgaven er utført i samarbeid med Circulus prosjektet, ledet av UiT.

Det har vært en lærerik prosess og en god innsikt rundt livssyklusanalyse av bygninger. Jeg vil gjerne takke Magnus Sparrevik og Emil Dæhlin for god oppfølging og rådgivning gjennom perioden med masteroppgaven

Narvik, 15 mai 2019

Thomas Dinh

Sammendrag

Verden står ovenfor store klimaendringer og klimagassmengden fortsetter å øke. For å begrense økning av gjennomsnittstemperaturen må tiltak iverksettes for å redusere utslippene. Betong er det mest anvendte byggematerialet i verden og det brukes dobbelt så mye betong enn andre byggematerialer til sammen. Sementproduksjon antas å bidra til 7-8 prosent av klimagassutslipp på verdensbasis.

Betong står for store avfallsmengder i Norge. Med økende fokus på å redusere avfallsmengden, setter denne studien søkelyset på klimapåvirkningen, ved ta i å bruk gjenbruk og ombruk av betong. Denne oppgaven har gjennomført en Livssyklusanalyse (LCA). Metoden går ut på å vurdere miljøeffekter for et produkt eller bygning gjennom en avgrenset syklus, oftest fra vugge til grav. Det er blitt utført klimaregnskap av to bygg, herunder bygg A som skal rives, og bygg B nybygg.

Denne studier ser på hvordan resirkulering og gjenvinning av betong kan redusere avfallsmengde og miljøbelastning. Ved klimaregnskapet var det gjort en baseline at bygg A rives og havner i deponi, og bygg B benytter vanlig standard betong. Studien har sett på ulike scenarioer ved bruk av resirkulert betong, ombruk av hulldekker og lavkarbon betong. Samtidig unngått deponi for å undersøke hvordan tiltakene kan påvirke klimagassutslippene.

Resultatene viser at eksisterende betongmengder som unngår deponi og gjenbrukes ved rivning, gir reduksjon i klimaregnskapet, enten ved å bruke materialet som tilslag eller i lokalt bruk. Gjenbruk av betongmassene hadde størst miljøfordel. Det som utgjorde gevinsten var karbonatiseringen, imidlertid avhenger det av at betongmassene blir knust og ligger i åpen overflate, slik at karbonatiseringen oppnår størst effekt. Ombruk av hulldekker har minst utslipp i produksjonen, ettersom disse var hentet direkte fra bygg A, siden produksjonen av nye hulldekker reduseres. Bruk av lavkarbon B har lavere utslipp, ettersom utslippsfaktoren er lavere enn betong med resirkulert tilslag.

Betong skaper store mengder avfall årlig fra rivning, rehabilitering og nybygg. Med mer ombruk og resirkulering av betong vil avfallsmengden som havner i deponi reduseres. Produksjonen av sement i betongen er en energikrevende prosess som står for store deler utslipp. Bruk av lavkarbon minimerer utslipp fra sementproduksjon, som følge av andel sement som erstattes av andre råmaterialer. Med økende fokus på å redusere utslippene fra produksjonen, er det behov for å tilrettelegge for gjenbruk og ombruk av betong. Dermed kan utslippene fra utvinning av nye råmaterialer reduseres og danne et grunnlag for sirkulær økonomi.

Abstract

The world is facing major climate change and the number of greenhouse gases continues to increase, and to limit the development in the average temperature, emissions must be reduced, and measures implemented. Concrete is the most widely used building material in the world and twice as much concrete is used compared to other building materials combined. Cement production is assumed to contribute to 7-8 percent of greenhouse gas emissions worldwide.

Concrete accounts for large parts of waste in Norway with increasing focus on reducing the amount of waste, this study has investigated the climate impact by reusing concrete. In this thesis, a Life Cycle Analysis (LCA) has been carried out. The method involves assessing the environmental effects of a product or building through a limited cycle, most often from cradle to grave. Climate accounting have been carried out in two cases. Case 1 to be demolished, and case 2 to be rebuilt.

This thesis has investigated how recycling of concrete can reduce waste and environmental impact. In the climate accounting, a baseline was made for “Building A” being demolished and ending up in a landfill and “Building B” using ordinary standard concrete. Further has multiple scenarios of use of recycled concrete, reuse of hollow core slabs, and low carbon concrete been discussed. At the same time avoided landfills to research how the measures can affect greenhouse gas emissions.

The results show that existing quantities of concrete that avoid landfills and are reused will reduce the climate accounting, either by using the material as aggregate or in local use. Reuse of the concrete masses had the greatest environmental benefits, and what constituted the gain was the carbonization, but it depends on the concrete masses being crushed and lying on an open surface so that the carbonization achieves the greatest effect. Reuse of hollow core slabs has the least emissions in production, as these were obtained directly from “Building A”, since the production of hollow core slabs is reduced. The use of low carbon B has lower emissions as the emission factor is lower than concrete with recycled aggregate.

Concrete generates large amounts of waste annually from demolition, rehabilitation, and new construction. With more reuse and recycling of concrete, the amount of waste that ends up in landfills will be reduced significantly. The production of cement in concrete is an energy-intensive process that accounts for large parts of global emissions. The use of low carbon minimizes emissions from cement production, as a result of the proportion of cement that is replaced by other raw materials such as, fly ash, slag etc. With an increasing focus on reducing emissions from production, there is a need to facilitate the reuse of concrete. Thus, emissions from the extraction of new raw materials can be reduced and facilitate a circular economy.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract.....	iii
Figurliste	vi
Tabelliste	vi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Forsknings spørsmål	2
1.3 Omfang og avgrensninger.....	2
1.4 Oppgavens oppbygging	2
2 Teori.....	3
2.1 Klimaendringer	3
2.2 Potensielle utslippskutt i bygg-, anleggs- og eiendomssektoren	4
2.3 Bygg- anleggsavfall	5
2.4 Ombruk og materialgjenvinning	6
2.4.1 Avfallshierarkiet	7
2.4.2 Eksempler på ombruk i Norge	7
2.5 Betong.....	10
2.5.1 Karbonatisering og opptak av CO ₂	11
2.5.2 Ombruk og materialgjenvinning av betong.....	11
2.5.3 Lavkarbonbetong	13
2.5.4 Karbonfangst- lagring (CCS)	14
2.6 Livsyklusvurdering (LCA).....	15
2.7 Allokering, gjenbruk og gjenvinning	18
2.7.1 Klimagassberegninger.....	18
3 Caseprosjekt.....	20
3.1 Case.....	20
3.2 Arealer og betongmengder.....	22
4 Metode	23
4.1 Litteraturstudie.....	23
4.2 Klimagassberegning.....	23
4.2.1 Innsamling av data og mengder	24

4.2.2	One Click LCA	24
4.2.3	Systemgrense og funksjonell enhet	25
4.2.4	Sensitivitetsanalyse	26
5	Resultater	28
5.1	Betongregnskap	28
5.2	Sensitivitetsanalysen	31
6	Diskusjon	32
6.1	Tolking av resultatene	32
6.1.1	Bruk av resirkuler tilslag versus lavkarbon B	32
6.1.2	Ombruk av hulldekker	32
6.1.3	Karbonatisering effekt versus deponering.....	33
6.2	Allokering av utslipp mellom byggene	33
6.3	Styrker og svakheter med metoden	34
7	Konklusjon.....	35
8	Forslag til videre arbeid	36
	Referanse	37
	Appendix A.....	41
	Appendix B.....	42
	Vedlegg.....	44

Figurliste

Figur 2.1. Framstilling av graf som viser at utslippene skal gå ned mot null i 2100. (FN,2020).	4
Figur 2.2. Avfallshierarkiet som viser prioriteringer norsk og europeisk avfalls- og gjenvinningspolitikk (Avfall Norge, u.å).	7
Figur 2.3. Kristian August gate 13 (Entra, u.å).	8
Figur 2.4 Max bygget i Trondheim. (Byggalliansen, 2019).....	9
Figur 2.5. Studentsiloen i Oslo. (Sørnes, et al. 2014)	9
Figur 2.6. Betongoverflate (ByggogBevar, 2019).....	10
Figur 2.7. Viser hvordan ombruk kan erstatte nye byggevarer på nye råstoffer eller materialgjenvinning. (Sørnes et al., 2014)	13
Figur 2.8. De fire fasene i Livsløpsvurdering. (Hentet fra SINTEF, 2014 A).	16
Figur 2.9. Viser livssyklusfasene for en bygning (Standard Norge, 2011)	17
Figur 3.1. Bilde av fasade av hovedbygget til Bygg A. Hentet fra miljøkartleggingen Halka kaserne, fra Multiconsult.....	20
Figur 3.2. Viser planløsningen som er identisk i 1 og 2 etasje, og et snitt fra kortsiden. Hentet fra miljøkartlegging av kaserne Halka, fra Multiconsult.	21
Figur 3.3. Bilde av nybygget. Skjermdump fra SimpleBIM	21
Figur 4.1. Utsnitt av betong dekker fra riving. Skjermdump fra SimpleBIM.....	24
Figur 4.2. Utsnitt av hulldekkesystem. Skjermdump fra One Click LCA.	25
Figur 5.1. Betongregnskap over alle casene. Utslipp oppgitt i tonn CO ₂ ekv.	29
Figur 5.2. Totalt klimagassutslipp for summert sammen fra bygg A og B. Utslipp er oppgitt i kg CO ₂ ekv.....	30

Tabelliste

Tabell 2.1. Mengder avfall fra nybygging, rehabilitering og rivning (SSB, 2021a).	5
Tabell 2.2. Behandling av betongavfall fra 2019. Oppgitt i 1000 tonn (SSB, 2021b).....	6
Tabell 2.3. Lavkarbonklasser angitt med maksimalt tillatt klimagassutslipp i kg CO ₂ -ekv/m ³ . (Unicon, u. å).....	14
Tabell 3.1. Arealer over bygningsdeler i bygg A og B.	22
Tabell 3.2. Arealer av vindu, ytterdører og innvendig dører i bygg A og B.....	22
Tabell 3.3. Mengder betong fra bygg A og B.	22
Tabell 4.1. Tabell over utslippsfaktor for betong B30 og resirkulert betong. Oppgitt i kg CO ₂ -eq. Hentet fra Appendix B.....	26
Tabell 5.1. Total betongregnskap for gitte scenarier. Klimagassutslippene er oppgitt i tonn CO ₂ ekv.....	28
Tabell 5.2. Totalt klimagassregnskap. Utslippene er oppgitt i tonn kg CO ₂ ekv.	29
Tabell 5.3. Resultater fra sensitivitetsanalysen	31
Tabell 6.1. Utslipp i kg CO ₂ ekv/m ² for bygg B.....	33
Tabell 6.2. Utslipp i kg CO ₂ ekv/m ² summert rivning og deponi fra bygg A pluss bygg B... 34	34

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Verden står ovenfor store klimaendringer og klimagassmengden fortsetter å øke. Klimaendringer er synlig over hele verden, og den globale gjennomsnittstemperaturen har steget 1 celsius grader siden den før-industriell tid. I tillegg fortsetter havnivået å øke (FN, 2021). FN har i denne forbindelsen et mål om å redusere klimagassutslippene. Norge og EU har igjennom Parisavtalen forpliktet seg til et felles utslippsreduksjonsmål tilsvarende 50-55 prosent innen 2030, sammenliknet med 1990-nivå (Regjeringen.no, 2020). Gjennom EU er det satt hovedmål for behandling av avfall. Avfallet skal behandles på miljømessig måte, og bidra til sirkulær økonomi av avfallet som oppstår (EU, 2008). Nyeste rapport fra FNs klimapanel (FN, 2020) la frem at det var viktig å begrense økning av gjennomsnittstemperaturen til 1,5 celsius grader, der alt over ville føre til høyere grad global oppvarming.

Bygg og anlegg har lenge vært en viktig del av samfunnet. Betong er det mest anvendte byggematerialet i byggindustrien. Det brukes dobbelt så mye betong enn andre byggematerialer sammenlagt. Hovedkomponenten i betong er sement, som frigjør betydelige mengder karbondioksid. Produksjon av betong har en stor innvirkning på miljøet, og er i dag et av de store miljøproblemene i byggindustrien. Sement antas å bidra til 7-8 prosent av klimagassutslippet på verdensbasis, der sement i betongen utgjør 90 prosent av utslippene (Kvellheim & Bramslev, 2020).

En av mulighetene for reduksjon av klimagassutslippet er gjenbruk av materialer. Norsk byggindustri står for tre millioner tonn byggavfall årlig. En vil kunne anta at miljøpåvirkningen vil reduseres ved resirkulering og gjenvinning. Avfallssektoren har potensial til å kutte ned utslippet. Det vil derfor være gunstig med materialgjenvinning fremfor å forbrenne i avfallsanleggene.

En av metodene som har blitt utviklet for vurdering av miljøbelastninger, er livsløpsvurdering (LCA). Metoden kan identifisere CO₂-utslippet i hele livsløpet til bygg, bygningsdeler eller ulike materialer (SINTEF, 2015). LCA er et verktøy som kan brukes til å sammenlikne og se hva som har størst påvirkning på miljøet.

1.2 Forskningsspørsmål

Oppgavens formål er å utforske ulike perspektiver ved miljøpåvirkningen av sirkulære bruk av betong og hvordan det kan redusere klimafotavtrykket i bransjen. Problemsstillingen er derfor som følger:

«Hvordan vil miljøpåvirkningen kunne reduseres ved å ta i bruk av betongavfall fra et typisk rivingsprosjekt?»

For å besvare problemstillingen er følgende forskningsspørsmål formulert: Hvordan vil klimaregnskap påvirkes...

- ved at rivingsprosjekt havner i deponi?
- ved å unngå å havne i deponi?
- ved bruk av resirkulert tilslag i betong?
- ved ombruk av hulldekker?
- ved bruk av lavkarbon betong?

1.3 Omfang og avgrensninger

Oppgaven har hovedsakelig til hensikt å fokusere på de mulige veiene betongmassen kan ta fra et revet bygg, til ny bruk og klimapåvirkningen som følger av de ulike praksisene. Det gjelder bruk av resirkulert eller gjenbruk betong som skal brukes i nybygg, hentet fra et rivingsprosjekt. Klimagassberegningene skal utføres i programmet One Click LCA for å vurdere hvilke materialendringer som vil gi størst miljøgevinst.

Hovedfokuset er å se på gjenbruk av betong og utslaget av miljøpåvirkningen som følger.

1.4 Oppgavens oppbygging

I kapittel 2 presenteres teorien for det som fremlegger grunnlag for oppgaven. I kapittel 3 beskrives bygningene som skal brukes til klimagassberegninger. I kapittel 4 vil metoden lagt til grunn for klimagassberegningene gjort rede for samt oppgavens forutsetninger. I kapittel 5 er resultatene fra analysen presentert. Under kapittel 6 diskuteres de viktigste funnene. I kapittel 7 oppsummeres de viktigste konklusjonene, og til slutt blir forslag videre arbeid beskrevet i kapittel 8.

2 Teori

I dette kapitlet gjennomgås relevant teoribakgrunn som legger til grunnlag for resultatene.

2.1 Klimaendringer

Begrepet klimaendring skiller mellom vær og klima. Været er det man opplever fra dag til dag. Klima blir målt gjennomsnittet av været over lengre tid (FN, 2019). Med andre ord er det vanskelig å kunne forutsi hvordan klima vil endre seg fra dag til dag.

Drivhuseffekten er et naturlig fenomen som gjør det mulig for oss mennesker å leve på jorden. Gjennom å slippe inn sollys i atmosfæren, blir varmen bevart og økosystemet fungerer som det skal. Foruten drivhuseffekten ville gjennomsnittstemperaturen vært 35 grader kaldere (Naturvernforbundet, 2019). I atmosfæren er det klimagasser, et av disse er karbondioksid (CO₂) som påvirker og gjør drivhuseffekten sterkere. På den måten slipper varme mindre ut i atmosfæren.

Siden industrialiseringen har utslippene av klimagasser økt kraftig enn det som er det naturlige, som allerede eksisterer i atmosfæren. I naturen er det ulike kretsløp der CO₂ blir sluppet ut og fanget opp av til eksempel hav og skog. Dette er et naturlig karbonkretsløp. Årsakene til klimaendringer er økningen av klimagasser, og da vil det naturlige karbonkretsløpet ikke klare å fange opp all CO₂ som miljøet blir eksponert for.

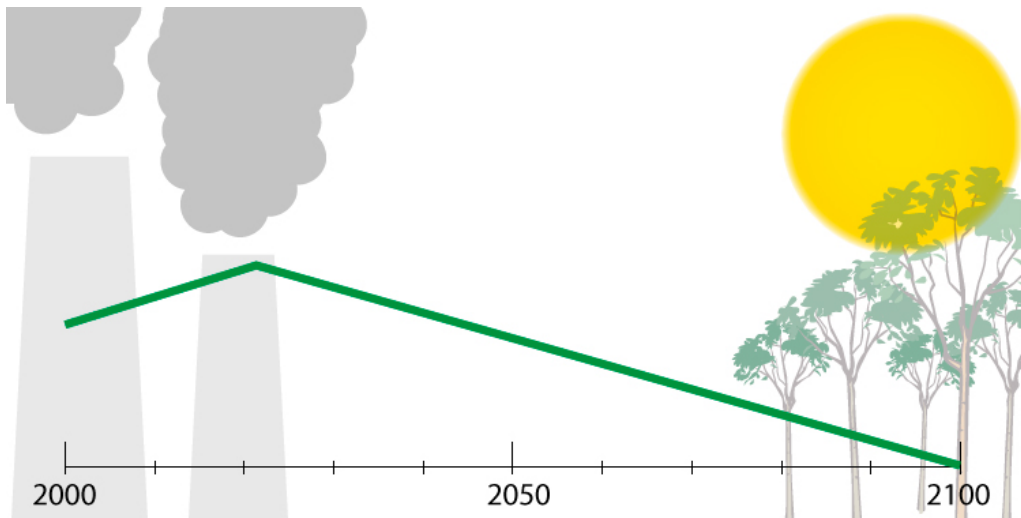
Klima har endret seg de siste hundre årene og utviklingen vil bare fortsette. Norge som er et langstrakt land med klimaforskjeller, vil klimaendringer påvirke forskjellig på ulike steder. Forskningsprosjektet RegiClim har forsket på hvordan klimaendringer vil være de neste 100 årene (RegiClim, 2005), funnene er som følger:

- Årstemperaturen vil kunne stige mellom 2,5 til 3,5 grader. Temperaturen vil stige høyest i Innlandet og i Nord. Vinteren vil bli mildere med en minimumstemperatur mellom 2,5-4 grader over dagens nivå, med størst økning i Finnmark. Sommerens maksimumstemperatur blir 2 til 3 grader høyere, og får størst økning i Sørlandet.
- Avhengig av landsdel vil årlige nedbørmengden øke med mellom 5-20 prosent, med størst økning på Vestlandet, i Midt-Norge og i Nord-Norge. Det vil komme kraftige nedbør oftere i Norge, og ekstremvær vil opptre hyppigere i fremtiden.
- Havnivået vil forventes å øke mer enn det globale gjennomsnittet. Havstigningen i Sørlandet og Vestlandet kan forventes å øke 70 centimeter innen år 2100. Havstigningen blir mindre i Nord-Norge, og rundt 40 centimeter i Oslo og Trondheimsfjorden.

Parisavtalen er en internasjonal enighet om klimapolitikk mellom alle FNs medlemsland for å begrense klimaendringene og trusselen som klimaendringene utgjør. Det er tre overordnende mål som landene er forpliktet seg til (Jakobsen, Kallbekken & Lahn, 2021);

1. Å begrense økningen av gjennomsnittstemperaturen til godt under 2 °C, og helst begrense til 1,5 °C sammenliknet med førindustriell tid.
2. Å øke evnen til å tilpasse seg skadevirkningene av klimaendringer.
3. Å gjøre finansieringsstrømmer forenelig med bane mot lavutslippsutvikling.

Mot andre halvdel av dette århundre er det et mål om netto nullutslipp. Det vil si at all menneskeskapte utslipp skal ikke være større enn naturens opptak av klimagasser. Illustrasjonen i Figur 2.1 viser hvordan utviklingen er tiltenkt.



Figur 2.1. Framstilling av graf som viser at utslippene skal gå ned mot null i 2100. (FN,2020).

2.2 Potensielle utslippskutt i bygg-, anleggs- og eiendomssektoren

Bygg- og anleggsnæringen står for store mengder utslipp. Totalt bidrar norsk bygg- og anleggsektor til 14,7 millioner tonn CO₂- utslipp (Byggalliansen, u.å). Bygg står for 9 prosent av klimagassutslippene i verden. Om man tar med de indirekte utslippene som kraftproduksjon til oppvarming, og utslippene fra bygg-industrien, vil det utgjøre opp mot 40 prosent (Energi og klima, u.å). FNs bærekraftsmål tar derfor til sikte å redusere disse utslippene med innen år 2030.

For å oppnå klimamålene har byggenæringen gjennom statlig initierte samarbeidsprogrammet Bygg21 undersøkt hvordan bygg- og eiendomssektoren kan bidra til å redusere klimagassutslippene. I rapporten “Bygg- og eiendomssektorens betydning for klimagassutslipp” (Bygg21, 2018), fremlegges tiltak som kan redusere klimagassutslipp:

- Kraftig reduksjon av direkte utslipp fra oppvarming og kjøling av bygg gjennom oljeforbud.
- Bygg- og anleggsplasser kan reduseres nær 100 prosent av direkte utslipp.
- Stille krav til lavutslippsmaterialer kan redusere utslipp i industrisektoren.
- Gjennom riktig lokalisering og fossilfri transport kan byggsektoren redusere utslippene i transportsektoren.
- Byggsektoren kan erstatte fossil energi og frigi elektrisitet som kan brukes i andre sektorer.
- Gjennom avfallsreduksjon og økt materialgjenvinning kan utslipp i byggsektoren reduseres i avfallssektorene.

Bruk av fossil olje til oppvarming av bygg er små, og målet er å kraftig redusere gjennom fossil olje forbud. Dette trådte i kraft 01.01.2020. Det vil forventes at utslippene halveres mot 0,65 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i år 2020. Og ytterligere 0,55 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030 (Bygg21, 2018). Bruk av fossil gass til oppvarming er den nest største utslippskilden. Regjeringen har varslet at det vurderes å utvide forbudet mot bruk av fossil gass til oppvarming (Bygg21, 2018).

Bygg- og anleggsvirksomhet utgjør 0,85 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, som er knyttet til bygge- og anleggstransport, utslipp fra maskiner og utstyr til arbeid og oppvarming på bygg- og anleggsplasser (Bygg21, 2018). En rapport fra 2017 viser at sektoren kan oppnå en reduksjon inntil 99 prosent og NO_x med 96 prosent (Bygg21, 2018). Det bør gjennomføres bruk av alternative energikilder og bedre planlegging. Tiltak ved anvendelse av fjernvarme eller elektrisitet til oppvarming av byggeplass gir stor effekt. I tillegg vil det ved benyttelsen av elektriske anleggsmaskiner til transport av masser, materialer og avfall, til og fra byggeplassen gi en miljøgevinst. Mulighetene rundt biodiesel eksisterer og blir ansett som et godt alternativ til tradisjonelt drivstoff.

Produksjon og transport av materialer utgjør en vesentlig del av det samlede utslippet i et bygg. I bygg- og anleggssektoren danner produksjonen av sement, kalk, gips og aluminium, plast og gummi, samt bearbeiding og impregnering av tre, de største miljøskadene. På globalt nivå er materialbruken i bygg- og anleggsbransjen estimert til å stå for 40 til 50 prosent av det samlede forbruket på tvers av alle industrier (Bygg21, 2018). Konsist valg av materialer og fokus på miljø vil redusere klimagassutslipp.

2.3 Bygg- anleggsavfall

Byggsektoren står for store mengder avfall årlig, og utgjør den næringen som skaper mest avfall. Økonomisk vekst bidrar til økt produksjon og forbruk. Mer ombygging og oppussing oppstår raskere enn noen gang før. Samtidig blir det bygget større boliger (Miljødirektoratet, 2021). Norge har et nasjonalt mål om å generere mindre mengde avfall enn den økonomiske veksten.

Statistisk sentralbyrå (SSB) fastslår at det oppstår omkring 1,9 millioner tonn avfall som kommer fra nybygging, rehabilitering og rivning (se tabell 2.1) (SSB, 2021a). Til sammen utgjør bygg og anlegg 3,2 millioner tonn avfall (SSB, 2021b).

Tabell 2.1. Mengder avfall fra nybygging, rehabilitering og rivning (SSB, 2021a).

	Tonn	Andel i %	Endring i prosent 2018-2019
Byggeaktivitet i alt	1 948 651	100	5,6
Nybygging	657 706	33,8	1,1
Rehabilitering	494 681	25,4	9,7
Rivning	796 254	40,9	7,0

Tabell 2.2. Behandling av betongavfall fra 2019. Oppgitt i 1000 tonn (SSB, 2021b).

Avfallsbehandling i alt	Materialgjenvunnet	Brukt til fyllmasse/dekkmasse	Leverert til deponi
1474	70	439	896

Tabell 2.2 fra SSB viser behandling av betongavfall. Totalt betongavfall i 2019 var ca. 1,5 millioner tonn. Rundt 4,7 prosent var materialgjenvunnet, 29,8 prosent ble brukt til fyllmasse eller dekkmasse og 60,8 prosent ble sendt til deponi. SSB viser to avfallsregnskaper, et fra total byggeaktivitet, og et for total i bygg og anlegg. I avfallsregnskapet fra byggeaktivitet er det ikke fremkommet bruk av fyllmasse i betongen, men dette er lagt sammen som materialgjenvinning i regnskapet.

Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall 2021-2023, herunder forkortet NHP 5, fastsetter bygg- og anleggsnæringen nasjonale mål og ambisjoner for avfallsreduksjon og materialgjenvinning av bygg- og anleggsavfall (NHP 5, 2021). NHP 5 skal indentifisere tiltak for å oppnå mål og ambisjoner for de kommende tre årene. Hovedmålene i NHP 5 (NHP 5, 2021) er definert på følgende måte:

- Avfallsreduksjon fra planleggingsfasen til utførte bygge- og anleggsprosjekter.
- 80 % byggavfall skal innen 2023 leveres i kvaliteter egnet for materialgjenvinning.
- Vekt på miljøkartlegging, sortering og håndtering av farlig avfall.
- Hindre resirkulering av miljøfarlige stoffer i overgangen til sirkulær økonomi.

NHP-nettverket som fremgår av dugnad skal gjennom hovedmålene bistå og øke kunnskapsdelingene mellom ulike interessenter, og overvåke initiativ til ombruk av materialer i bygg- og anleggsektoren. Eventuelt være en aktiv partner i disse. I tillegg driver NHP ressursiden "Byggemiljø", som inneholder informasjon, aktuelle saker, veiledningsmateriell om farlig avfall, håndtering av miljøgifter og gjenvinning.

2.4 Ombruk og materialgjenvinning

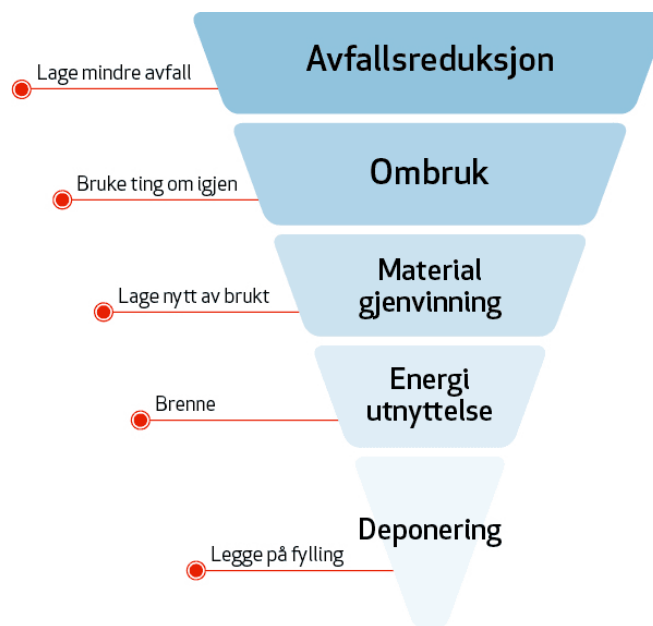
Ombruk brukes om en ny utnyttelse av et produkt i dets opprinnelige form (Høines, 2010). Betegnelsen deles to kategorier: lokal ombruk og ombruk annetsteds. Lokal ombruk er ombruk av bygningselementer som kommer til ved oppgradering av den samme bygningen. Med andre ord gjenbrukes elementene til bygget i dets transformasjonsprosess. På den andre siden er annetsteds bruk, en ombruk av bygningskomponenter, som kommer fra andre bygninger (Sørnes et al., 2014). Ombruk kan også bety å bevare eller rehabilitere et bygg fremfor å rive det. Den mest miljøvennlige formen for ombruk er å bevare bygget på en måte at mest mulig av komponentene beholdes på opprinnelig sted og benyttes til samme formål. (Norby, 2020). En annen form for ombruk er oppsirkulering, som er bearbeiding og utvikling av brukte komponenter som kan gjenbrukes i samme bygg eller i andre prosjekter og til samme formål (Norby, 2020).

Materialgjenvinning defineres å utnytte ressursene i avfallet der materialer beholdes helt eller delvis (Leland, 2008). Materialgjenvinning kan være i form av direkte eller indirekte

gjenvinning. Ved direkte gjenvinning brukes avfall som råstoff for tilsvarende produkter, mens ved indirekte gjenvinning vil avfallet omdannes til andre typer produkter (Leland, 2018).

2.4.1 Avfallshierarkiet

I avfallspolitikken er det et mål i avfallssektoren å redusere mengder avfall, og gjøre minst mulig skade på mennesker og natur. Det innebærer å redusere avfallsmengden, og bruke materialer på nytt, før det igjen blir forsøkt å gjenvinne materialer i avfallet. Om det ikke lar seg gjenvinne, skal det være egnet som brensel til energiproduksjon. Det som er igjen, skal leveres i godkjente deponier (Avfall Norge, u.å.). Denne rekkefølgen blir beskrevet gjennom avfallshierarkiet i Figur 2.2.



Figur 2.2. Avfallshierarkiet som viser prioriteteringene i norsk og europeisk avfalls- og gjenvinningspolitikk (Avfall Norge, u.å.).

Hovedmålet er at avfallsreduksjonen skal være høyest prioritert, og at det skal deponeres så lite som mulig.

2.4.2 Eksempler på ombruk i Norge

Kristian Augusts gate 13

KA13 er et pilotprosjekt som gjennomføres innen sirkulære prinsipper og ombruk. Prosjektet ligger i Tullinløkka i Oslo og Entra er byggherre. Bygget er det første i Norge hvor ombruk av byggematerialer og sirkulære løsninger er benyttet i stor skala. Det eksisterende bygget er fra 50-tallet, og skal beholde sin opprinnelige fasade. Det nye tilbygget skal skille seg fra den eksisterende delen og danne et eget uttrykk. Det gule bygget i figur 2.3 er det eksisterende bygget, det mønstrende bygget er et nytt tilbygg. Bygget består av 8 etasjer samt én kjelleretasje (Entra, u. å.).

Bygget er et pilotprosjekt i FutureBuilt og er det første bygget som tester ut kriteriene for sirkulære bygg. Det eksisterende bygget skal rehabiliteres etter sirkulære prinsipper, både innvendig og utvendig. Nye tilbygget skal anvende ombruk av bygningsdeler fra det

eksisterende bygget, samtidig ombruk av bygningsdeler fra andre bygg (FutureBuilt, 2021). Fra prosjektet er 80 prosent av stålet i bygget gjenbrukt, og betongelementene i etasjeskillene er hentet fra regjeringskvartalet (Fjeld, 2020).



Figur 2.3. Kristian August gate 13 (Entra, u.å).

Max-bygget

KLP Eiendom valgte å rehabilitere det gamle Max-bygget i Trondheim, framfor å rive det og bygge nytt. I dag er Max-bygget et av Norges mest bærekraftige bygg, og har igjennom BREAM-NOR fått Outstandig-sertifikat. Her ble det prioritert å beholde den eksisterende konstruksjonen i bygget. Fordelene her var blant annet kortere byggetid, reduserte byggekostnader, tidsbesparelser ved å unngå nytt grunnarbeid, samt oppsett av nytt bæresystem. Prosjektet har gjenbrukt mye av betongkonstruksjonen, og har kuttet karbonutslippet med over 60 prosent (Byggalliansen, 2019). Illustrasjon av Max-bygget er vist i Figur 2.4.



Figur 2.4 Max bygget i Trondheim. (Byggalliansen, 2019)

Studentsiloen

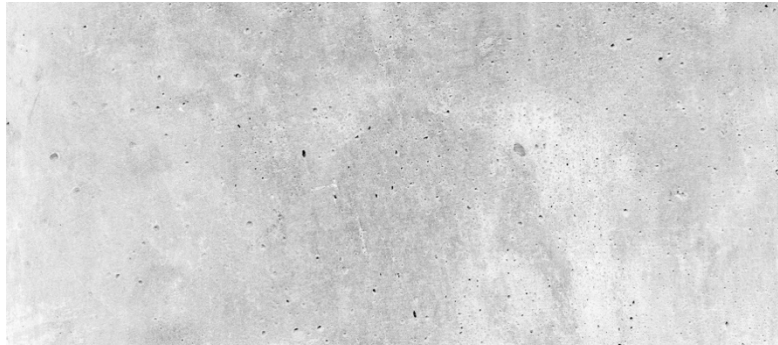
Studentsiloen ligger i Oslo og eies av studentskipnaden (se figur 2.5). Her har studentboligprosjektet i 2002 tatt i bruk ombruk av eksisterende betong, hvor betongen til en tidligere silo er gjenbrukt i sin helhet. Bygningen var en kornsilo oppført i 1953 i plasstøpt betong, før det ble rehabilitert til studentboliger. Det ble dokumentert gjennom miljøkartlegging at bygningen hadde ingen miljøfarlige komponenter tilknytning til veggene i silocellene eller ved utskjæringen av betongblokkene. Da siloen er en gunstig konstruksjon for ombygging til studentboliger (Sørnes, et al. 2014).



Figur 2.5. Studentsiloen i Oslo. (Sørnes, et al. 2014)

2.5 Betong

Betong er det mest anvendte byggemateriale i bygg- og anleggsbransjen, og anses som klimaverstingen. Betong har lenge vært et viktig byggemateriale og stammer helt fra oldtiden (Thue, 2019). Globalt står betong for 7-8 prosent utslipp av klimagasser, og 90 prosent av sementen i betongen utgjør utslippene (Kvellhiem & Bramslev, 2020). Betong har potensialet til å være klimaløsningen for å redusere store utslipper i bygg- og anleggsbransjen. Det forsøkes å se på ulike metoder å redusere utslippene fra betongen ved resirkulering, karbonfangst på sementfabrikk og mindre sement i betong. Betongens overflate er illustrert i Figur 2.6.

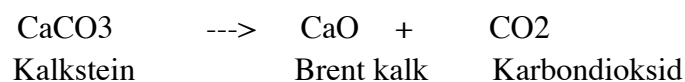


Figur 2.6. Betongoverflate (ByggogBevar, 2019).

Betong er sement som blandes med vann, tilslag av sand og stein, og tilsetningsstoffer. Ved blanding av sement og vann, dannes sementlim, som fyller hulrommene mellom tilslaget. Tilslaget kan være knust stein (pukk) og sand, eller singel og sand. For å redusere betongvekten kan lettklinker (korn av porøs, brent leire) brukes i tilslaget (Thue, 2019). Tilsetningsstoffer kan brukes i fersk eller herdet betong for å danne ønskede materialegenskaper. Fremskynde herdingen (akselererende) og forsinke herdingen (retardende) er manipuleringer som faller under denne kategorien.

Sementen reagerer med vannet og det danner en kjemisk reaksjon, kalt hydratisering. Etter hvert som hydratiseringen pågår, gjennomgår betongen en herdeprosess og blir til et fast materiale. Betongen får stor trykkfasthet, men oppnår nærmest neglisjerbar strekkfasthet. For å forbedre strekkfastheten må betongen armeres med armeringsjern. Betongens trykkfasthet kan kontrolleres av vannsementforholdet (v/c), som er forholdet mellom antall liter vann per kilogram sement i betongen. (Thue, 2019) Dette gjør materialet ekstremt sterkt med god formbarhet og lang levetid.

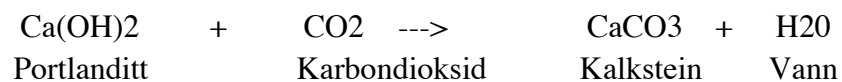
Portlandsement er den meste vanlige sementtypen som blir benyttet i betong. Det lages ved å brenne en blanding av kalkstein sammen med andre råstoffer som skifer, kvarts og leire på rundt 1450 grader celsius. Dette blir til klinker som males sammen med gips og videre dannes sement. Når kalkstein varmes opp, igangsettes en kjemisk prosess som kalles kalsinering hvor karbondioksid brennes bort fra kalksteinen (Norcem, u.å (B)). Denne prosessen kan fremstilles slik (Norsk betongforening, u.å):



Mesteparten av utslippene fra sementproduksjonen kommer fra kalsineringsprosessen. De resterende utslippene kommer fra oppvarming av ovnene og transport. Dersom ingen tiltak iverksettes under sementproduksjon, vil store mengder CO₂ slippes ut – omtrent 1 tonn CO₂ per tonn klinker. 40 prosent utgjør forbrenning av drivstoff, finmaling o.l. 60 prosent utgjør dekarbonatisering av kalkstein for å danne klinkermineraler (Norcem, u.å (A)). I dag slippes det ut omtrent 700-800 kg CO₂ per tonn, ren sement (CEM 1) fra sementproduksjonen (Norsk betongforening, u.å).

2.5.1 Karbonatisering og opptak av CO₂

Når betong kommer i kontakt med luft starter en aldringsprosess som kalles karbonatisering. Gjennom denne prosessen vil betongen ta opp CO₂ fra luften og løse det opp i porevannet, som vil karbonatiseres tilbake til kalkstein. Denne prosessen er det motsatte av kalsinering. Den kjemiske reaksjonen kan fremstilles slik (Norskbetongforening, u.å)



Karbonatiseringsprosessen er ikke ønskelig i betongen, fordi dette medfører at pH-verdien i betongen vil synke fra 13 til 9 (Svendsen & Torblaa, 1989). For armert betong vil ikke betongen lenger være korrosjonshindrende, og faren for at armeringskorrosjon øker. Fersk betong har pH-verdien 13. Dette danner en oksydfilm på armeringen, som opptrer som en beskyttende hinne på stålet. Når pH-verdien synker brytes filmen ned og armeringen mister denne beskyttelsen (Svendsen & Torblaa, 1989). Betong vil ha bedre motstand mot karbonatisering ved at betongen er tettere og mer bestandig.

Det er flere forhold som har innvirkning på hvor stor mengde CO₂ betongen kan ta opp. Avgjørende faktorene her er betongkvalitet, sementmengde, type bruk og eksponeringsoverflater. En undersøkelse utført av SINTEF (Engelsen & Justnes, 2014) viste at 94 kg CO₂ blir gjennomsnittlig bundet per tonn sement benyttet i betongelementer, fabrikkbetong og betongvarer i Norge over en 100 års periode. Ved produksjonsutslippet til sement på 700 kg CO₂ per tonn sement, vil det tilsvare 15 prosent (Engelsen og Justnes, 2014). Betong har kapasitet til å binde mer CO₂ ettersom betongen ikke blir karbonisert gjennom hele tykkelsen. Ved å knuse betongen i mindre biter etter rivningen vil overflatearealet øke, og da vil betongen raskere suge opp CO₂.

2.5.2 Ombruk og materialgjenvinning av betong

Delkapittel 2.4 bygg og anleggsavfall viste at det genereres store mengder betongavfall årlig. Produksjonen av sement står for store deler CO₂-utslipp. Fra rapportens «Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer» fra SINTEF (Sørnes, et al., 2014), er det prefabrikkerte betongelementer som er aktuelle for ombruk. Ved demontering og ombruk er det lettest å gjennomføre når betongelementene er produsert for demontering. I dag blir betongdekkeelementer støpt i endene for avstivning, en slik løsning gjør det vanskelig for demontering. Utvikle demonterbare metoder for avstivning av konstruksjoner som skruer,

bolter etc. vil gjøre lettere for ombruk (Leland, 2008). Hulldekker har gode utnyttelsesforhold og er i tråd med sirkulære prinsipper.

Materialgjenvinning av betongen er egnet som gjenvinning som tilslag i ny betong. Ved å knuse betongen etter at konstruksjonen rives tilrettelegges det for at luften kan nå frem overalt slik at fullstendig karbonatisering oppnås. Da vil betongen ta betydelig stor andel CO₂ enn det den ville opprinnelig slippet ut i forbindelse med produksjonen av betongen. Knust betong som tilslag er i praksis vanskelig å få til i bærende konstruksjoner grunnet garanti- og ansvarsforhold (Hagen, Haupt & Bramslev, 2017). Knust betong egner seg godt til fyllmasse.

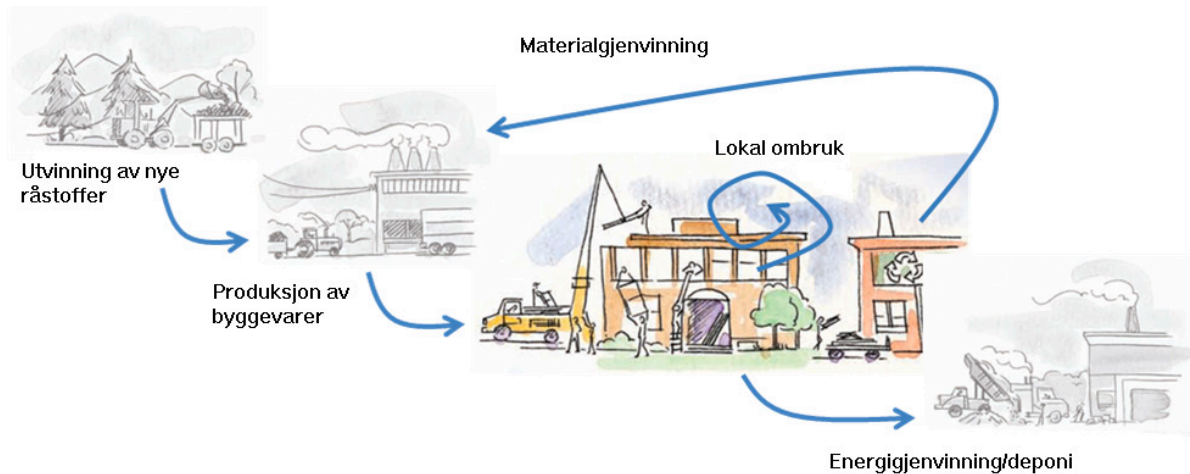
Ved gjenbruk av betongmassene som ikke skal havne i deponi, må massene kunne gjenbrukes til et formål. Tønne (2019) gjengir fire kriterier for gjenbruk av rivemasser. Kriteriene er som følger:

1. Egenskapene i materialet må en funksjon.
2. Må tilfredsstillende fastsatte spesifikasjoner.
3. Må kunne omsettes i et marked.
4. Må vær rent.

Egenskapene til massene som skal gjenbrukes må være til et formål. Dette kan være å erstatte andel av tilslag i betongen med resirkulert betong. Ved erstatning av jomfruelig tilslag, må resirkulerte massene tilpasses etter dimensjoner for tilslag. Rivningsmassene som skal tas i bruk må være til at kan det skal benyttes. Et eksempel er om en mottaker er villig til å betale for rivningsmassene. Det stilles krav til at massene skal være rent, og ikke inneholde farlige miljøstoffer (Tønne, 2019). Det bør utføres miljøkartlegging for å kartlegge farlige stoffer slik at alt blir korrekt håndtert i deponi.

Prosjektet Circulus, ledet av UiT Norges Arktiske Universitet i Narvik utgjør i samarbeid med SINTEF Helgeland, Norut Narvik, NTNU og KUPA en prosjektgruppe. Prosjektet forsker på gjenbruk og gjenvinning av betong. Circulus er i gang i et stort næringsrettet prosjekt med et mål om bærekraftig gjenvinning av betongmassene. Målet er løfte betong høyere opp i avfallshierarkiet, og oppnå 75 prosent gjenbruk og gjenvinning av betongkonstruksjoner (Eidum, 2019). Prosjektet omfatter blant annet forskning relatert til miljøpåvirkninger, tilstandskartlegging, demontering og rivning, gjenvinning og resirkulering og analyse av bærekraft (Eidum, 2019). Gjennom Circulus skal ny kunnskap samles, som skal gi økt gjenvinning og lavere miljøfotavtrykk for betongkonstruksjoner i et livsløpsperspektiv.

Ombruk og materialgjenvinning vil bidra med å minimere utvinning av nye råstoffer og samtidig hindrer avfall i deponi. Ved å utnytte sirkulær bruk av livssyklusen til betongen, vil miljøgevinsten kunne utnyttes (se Figur 2.7).



Figur 2.7. Viser hvordan ombruk kan erstatte nye byggevarer på nye råstoffer eller materialgjenvinning. (Sørnes et al., 2014)

Det er i dag ikke vanlig med ombruk av betongelementer, siden elementene ikke er konstruert for ombruk. I tillegg er det krevende å dokumentere krav til styrke og sammensetning.

Ombruk av bygningselementer bør følgende punkter vurderes (Sørnes et al., 2014):

- Fins det FDV- dokumentasjon eller prosjekteringsgrunnlag som kan studeres?
- Er det mulig å demontere uten skade på komponenten?
- Hvordan er komponenten med tanke på dimensjonering?
- Hvilke påførte belastninger har vært under bruk?
- Hvilke påførte belastninger vil forekomme under demontering?
- Har det forekommet kjemiske påvirkninger under bruk?
- Er det korrosjonsskader på komponenten?
- Er tilstanden på armeringsjern tilfredsstillende?

2.5.3 Lavkarbonbetong

Det er fokus på å få redusert klimabelastning fra sementproduksjonen. Lavkarbonbetong er et av tiltakene for å begrense klimagassutslippet. I betongblandingen byttes en del av klinkeren med andre materialer, som slagg, kalksteinpulver, flygeaske, silikastøv og naturlige pozzolaner (Norcem, u.å.). Felles for disse materialene er at de er fra restprodukter fra industrien. Flygeaske er restprodukter fra kullkraftindustrien, mens slagg fra jernindustrien og silikastøv fra ferrosilisium (Bjøntegaard, Vikan & Bathen. 2019). Restproduktene vil bli klimanøytrale og vil ikke ha noe bidrag til klimagassutslippet i betongen. Normal flygeaskeandel er fra 15 til 30 prosent i den totale sementblandingen, som reduserer CO₂ utslippet med inntil en tredjedel (Hagen et al., 2017). Lavkarbonbetong publikasjon nr.37 deler dette inn i fire forskjellige nivåer: Lavkarbonklassene Ekstrem som er det strengeste, deretter komme pluss, A og B. I Tabell 2.3 vises nivået av klimagassutslippene til de ulike fasthetsklassene av betong. Ved å benytte lavkarbonklasse A i for eksempel betong B30 M45 vil det kunne spare miljøet 80 kg CO₂ per. m³ sammenliknet med vanlig standard B30.

Tabell 2.3. Lavkarbonklasser angitt med maksimalt tillatt klimagassutslipp i kg CO₂-ekv/m³. (Unicon, u. å)

Fasthetsklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55
	M90	M90	M45/MF45	M40/MF40	M40/MF40	M40/MF40
Karbonklasse	Maksimal tillatt klimagassutslipp (kg CO ₂ -ekv. /m ³ betong)					
Bransjereferanse	240	260	280	330	360	370
Lavkarbon B	190	210	230	280	290	300
Lavkarbon A	170	180	200	210	220	230
Lavkarbon Pluss			150	160	170	180
Lavkarbon Ekstrem			110	120	130	150

I lavkarbonbetongen vil flygeaske og slagg gi redusert total varmeutvikling, og kan brukes til lavvarmebetong for å begrense rissdannelse og oppsprekking. Det gir langsommere fasthetsutvikling, men det kan kompenseres med bruk av herdeakselererende stoffer. I elementproduksjon med høye krav til tidligfasthet vil lavkarbon B gi utfordringer (Norsk betongforening, 2020).

2.5.4 Karbonfangst- lagring (CCS)

Produksjonen av sementen står for 2 prosent av CO₂-utslippet i Norge (Norcem, u.å (B)). Det er nødvendig å kutte ned utslippene for å nå klimamålene. Det er anvendt andre råmaterialer i betongen fra restprodukter fra annen industri, som gir lavere CO₂-utslipp i betongen. For å redusere klimagassutslippene unngås ikke diskusjon rundt karbonfangst og lagring. Hensikten med CCS er å fange og lagre utslippene av CO₂, som kan bli en viktig løsning for å redusere utslippene. Kvellheim og Bramslav (2020) publiserte kronikken «*Betong er en del av klimaløsningen*», hvor tre av fire scenarier fra FN klimapanel viste at man er avhengig av CCS for nå klimamålene.

I Norge er det to fullskala CCS-anlegg, tilknytting til gassproduksjonen, og er de eneste anleggene i Europa. Norcem skal legge til rette for CCS-anlegg i sementfabrikken på Brevik, utenfor Porsgrunn. Dette skal bli til første fullskala CCS-anlegg i verden som er tilknyttet sementproduksjon (Kvellheim og Bramslav, 2020). Norcem har sammen med Aker Solution testet fangst og rensing av CO₂ på fabrikken. Testene har vært suksessfulle. Fangstanlegget skal integreres i det eksisterende anlegget på Brevik, og derfra skal CO₂ fraktes med båt til Øygarden på Vestlandet. Videre fraktes gassen i rørledning ut til et permanent lagringssted i Nordsjøen (Norcem, u.å (b)). Tiltakene som har blitt gjort i Brevik er av høy innovasjon, og har et spredningspotensial som vil føre til at flere karbonfangster i sementfabrikker.

2.6 Livsyklusvurdering (LCA)

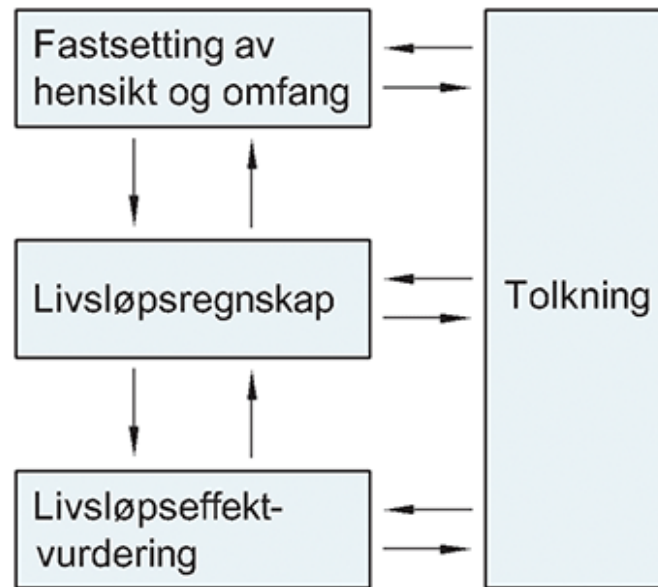
Livssyklusvurdering, heretter forkortet som LCA, er en standardisert metode for å kartlegge og vurdere miljøpåvirkningen av et produkt eller et bygg har gjennom hele livsløpet, fra utvinning av råvarer til det blir avhending (SINTEF, 2015). Å utføre en LCA er et viktig verktøy for å identifisere produksjonsprosesser der hele verdikjeden til produktet inngår i analysen. Det gjelder all transport og energibruk som kreves for å produsere. En slik analyse kan angi forbedringspotensialer og støtte kartleggingen av negative effekter på miljøet. Verktøyet kan være nyttig til å sammenlikne ulike designalternativer på bygningsnivå, konstruksjonsnivå eller ulike materialer alternativer (SINTEF, 2015).

Det er to overordnede rammeverk for LCA. Det skiller mellom to standardiserte ISO standarder:

- NS-EN ISO 14040:2006- «Miljøstyring- Livsløpsvurderinger- Prinsipper og rammeverk»
- NS-EN ISO 14044:2006- «Miljøstyring- Livsløpsvurderinger- Krav og retningslinjer»

NS-EN ISO 14040 deler inn LCA i fire faser (Standard Norge, 2006 A) (se Figur 2.8)

- Fastsettelse av hensikt og omfang: Det må presiseres hvordan analysen skal brukes og grunnen til at studien skal utføres, og i tillegg til hvem resultatene skal kommuniseres til. Omfanget skal blant annet omfatte produktsystemet som skal studeres, funksjonelle enhet, systemgrenser, forutsetninger og begrensninger.
- Livsløpsregnskap: Omfatter innsamling data og beregninger av hvor mye materialer og energi som går med å produsere varen, og mengde avfall og utslipp som produseres. Dataene skal benyttes for å kvantifisere inngangsfaktorer og utgangsfaktorer for et produktsystem.
- Livsløpseffektvurdering: Her vurderes miljømessige konsekvenser forbruk av energi, materialer og ulike utslipp kan gi fra livsløpsegenskapet.
- Tolkning: I denne fasen analyseres resultatene fra livsløpsregnskapet og livsløpseffektvurdering som sees i sammenheng, det trekkes frem konklusjoner og anbefalinger blir rådet.



Figur 2.8. De fire fasene i Livsløpsvurdering. (Hentet fra SINTEF, 2014 A).

Det skiller mellom to typer LCA: Regnskap-LCA (attributjonal LCA) og konsekvens-LCA (consequential LCA). Regnskap-LCA ser på miljøpåvirkningen av modellering av spesifikk eller verdikjede til et produkt eller et system. Konsekvens-LCA inkluderer påvirkningen av det analyserte produktet har på omverdenen, og bygger at et system ikke kan sees isolert fra relaterte systemer (Rønning, Lyng & Vold, 2011). I utførelsen av en LCA er det viktig å definere hensikt og omfang av studien. Dette vil ha en stor påvirkning på definisjon av funksjonell enhet og systemgrense (Rønning, Lyng & Vold, 2011). En funksjonell enhet gir en referanse som inngangsfaktorer og utgangsfaktorer, som enheten forholder seg til. Det kan være en referanseenhet i livsløpsvurdering knyttet til produktets funksjon og livsløp (SINTEF, 2015). Valg av funksjonell enhet i bygninger er det vanlig å sette enhet til 1 m² bruksareal (BRA) over en levetid på 60 år (SINTEF, 2015).

Systemgrenser angir hvilke prosesser som skal omfattes i systemet. Livsløpsfasene er definert i NS-EN 15978 for hele bygningen, og for byggevarer er det definert i NS-EN 15804. For bygninger som skal bygges ny skal systemgrensen omfatte bygningens livsløp, vist i Figur 2.9. Eksisterende eller en del av bygning skal det omfatte alle stadier som representerer gjenværende levetid og livsløpets slutt-stadium for bygninger (Standard Norge, 2011).

Fra Figur 2.9 deler fasene inn i produksjon (A1-A3), byggefasen (A4-A5), bruksfasen (B1-B7) og avhendingsfase (C1-C4), og i tillegg kommer en fase etter livsløpet D, som er potensiell for gjenvinning. I NS-EN 15804 og NS-EN 15978 beskriver de ulike fasene i systemgrensen:

Produksjon

- A1- utvinning og bearbeiding av råver.
- A2- transport av råvarer til produsent.
- A3- produksjon.

Byggefasen

A4- transport fra fabrikk til byggeplass.

A5- bygging og installering.

Bruksfasen

B1- bruk av installerte produkter.

B2- vedlikehold.

B3- reparasjoner.

B4- utskifting.

B5- ombygging.

B6- energiforbruk i drift

B7- vannforbruk i drift

Avhendingsfasen

C1- rivning.

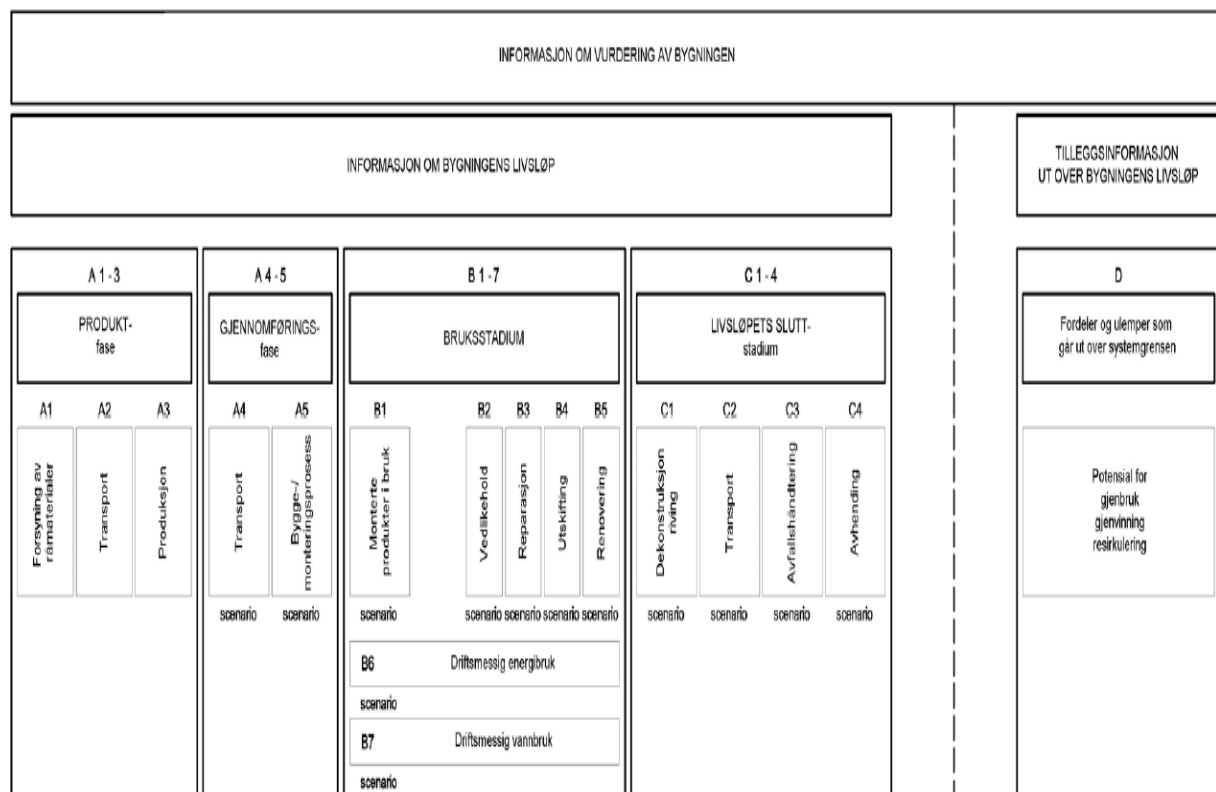
C2- transport til deponi.

C3- håndtering av avfall

C4- avhending av avfall

Grense for fordeler og ulemper utenfor systemgrense

D- potensielle miljømessige fordeler og ulemper for fremtidig bruk av gjenvinning og gjenbruk av materialer. og energigjenvinning.



Figur 2.9. Viser livssyklusfasene for en bygning (Standard Norge, 2011)

2.7 Allokering, gjenbruk og gjenvinning

Allokering er prinsipper for fordeling av utslipp i inngangsstrømmer til eller utgangsstrømmer i et produktsystem som skal undersøkes (Norsk Standard, 2006 B). Allokering brukes når en enhetsprosess i produktets livsløp har mer enn ett råmateriale eller produkt, som er del av et annet livsløp. I NS-EN ISO14044:2006 for livsløpsvurderinger er det anbefalt å splitte opp enhetsprosessen i flere delprosesser slik at man unngår allokering (Standard Norge, 2006 B). Ved allokering knyttet til resirkulering og avfallsbehandling kan ulike metoder benyttes (Solli, Nordby & Dahlstrøm, 2015). Metodene er som følger:

- Avgrensning (Cut off): For hvert produkt tildeles miljøbelastningene direkte til produksjon og avhending. Første produktet vil miljøbelastningen allokere til det jomfruelig materiale, og belastninger fra resirkulering går videre til neste produkt. Miljøbelastninger fra avfall vil allokere til siste bruker av materialet.
- Kvalitetsferringelse (Loss of quality): Fordeling av miljøbelastning i henhold til kvalitet og restlevetiden på produktet.
- Lukket kretsløp (Closed loop): Produktene blir fordelt gjennomsnittlig miljøbelastning fra produksjon, resirkulering og avhending.
- 50/50 fordeling: Gevinsten ved resirkulering fordeles lik mellom dem tilbyr og dem som bruker resirkulerte produktet.

2.7.1 Klimagassberegninger

Klimagassberegning er en metode som brukes i et livsløpsperspektiv i en bygning, der LCA danner grunnlag for beregningene. På den måten kan man identifisere hvilke byggematerialer som utgjør en stor del av klimafotavtrykket i bygningene. I klimaregnskapet presenteres en fullstendig oversikt over ulike livsløpene til produktene, og kan danne beslutningsgrunnlag for tiltak som kan redusere utslippene.

2.7.1.1 NS 3720

NS 3720:2018 «Metode for klimagassberegninger for bygninger» beskriver beregningsmetode for klimagassutslipp gjennom byggets livsløp. Dette omfatter produkter, varer, tjenester relatert til bygging samt drift, bruk og avhending av bygningen (Norsk Standard, 2018). Standarden bygger på NS-EN 15978 og er begrenset til beregning av klimagasser. I NS 3720 utvider systemgrensen ved inkludere transport i driftsfase, og det vil si transport av personer som bruker bygningen og varetransport (Norsk Standard, 2018).

Standarden skiller mellom to nivåer av datakvalitet, nivå 1 og 2. I nivå 1 skal datakvaliteten reflektere det reelle produktet eller tjeneste innenfor et tidsrom. I nivå 2 er det andre datakvaliteter i LCA-dataene som ikke tilfredsstillt kravet i nivå 1. Dette kan være generiske data, gjennomsnittsdata og representative data. Bransje-EPD som representerer alle eller en produsenter av produkttype er i datakvalitet på nivå 2 (SINTEF, 2018).

2.7.1.2 EPD- miljødeklarasjon

EPD er en forkortelse for Environmental Product Declaration, som er et kortfattet dokument som oppsummerer miljøprofilen til en komponent, produkt eller tjeneste. Dette kan brukes til å sammenlikne lignede produkter med hverandre for å redusere miljøpåvirkningen. Miljødeklarasjonen bygger på samme grunnlag av LCA etter ISO 14040- 14044 (EPD-Norge, u.å). Ved utarbeidelse av miljødeklarasjon er det krav på uavhengig verifisering enten internt eller eksternt (SINTEF, 2014 B). I Norge er det EPD-Norge (The Norwegian EPD Foundation) som er programoperatører for EPDer, og har etablert system for verifisering, registrering og publisering (EPD-Norge). For at produkter skal kunne sammenlignes, må produktene være i samme produktkategori. Hensikten er at det skal sikre at miljødeklarasjoner bearbeides likt, uavhengig organisasjon som påtar seg oppgaven (SINTEF, 2014 B).

Miljødeklarasjon skal utarbeides etter internasjonale standarder, og den europeiske standarden NS-EN 15804, angir regler miljødeklarasjon av byggevarer. I en miljødeklarasjon er basert på livsløpsvurdering for en byggevare, som viser produktsystemets ressurs- og miljøbelastning gjennom hele livsløpet, det vil si «vugge til vugge» (SINTEF, 2014 B).

3 Caseprosjekt

3.1 Case

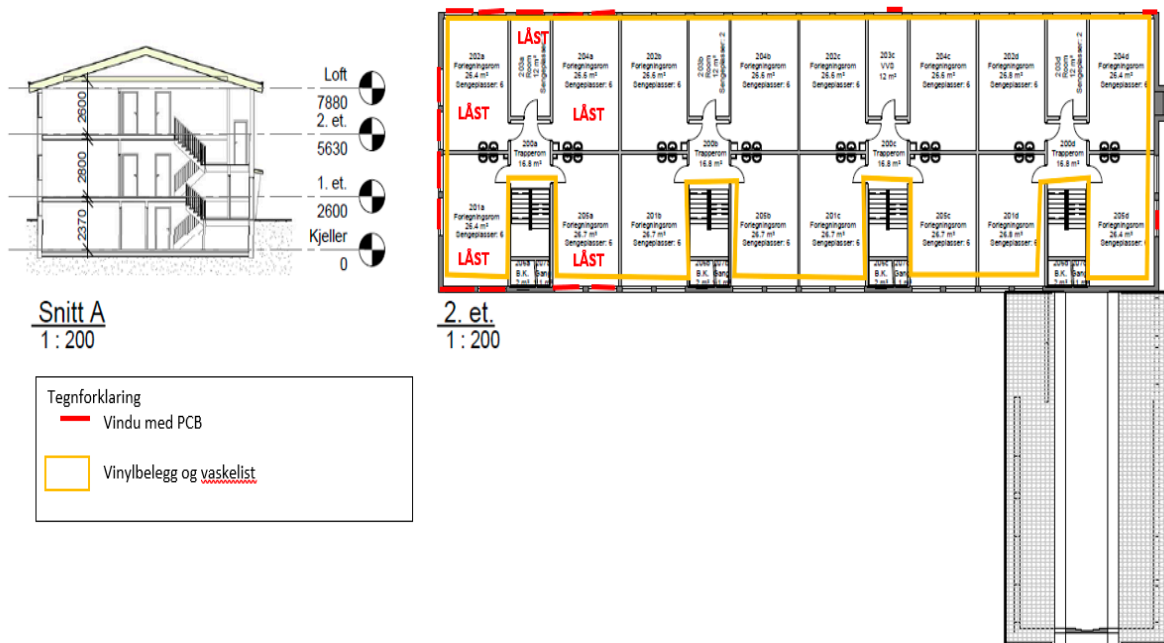
I denne oppgaven er det benyttet to bygninger. Bygg A skal rives, mens bygg B skal bygges helt nytt. Bygg A er i Porsangermoen og er del av et forsvarsbygg. I forbindelse med oppbyggingen av landforsvar i Finnmark, skal det bygges ny mannskapsforlegning og kvarter for befalet. Det skal prosjekteres og bygges tre nye kvarter med mindre leiligheter for befalet (Forsvarsbygg, 2021). Informasjon om bygg A er hentet fra miljøkartlegging, som er utført av Multiconsult. Det har benyttet SimpleBIM til å hente ut mengder og typer materialer i begge bygningene. Videre er det benyttet One Click LCA for klimagassberegning. Det skal se på ulike scenarioer ved endring av reduksjon i betongmasser som havner i deponi, og hvordan resirkulert tilslag, ombruk hulldekker og lavkarbon betong påvirker klimagassutslippet. I bygg B skal det bygges standard, som er baseline, hvor det ikke er tatt høyde for spesielle egenskaper og krav til materialene.

Bygg A er et betongbygg med tre etasjer inkludert kjeller, som ble oppført i 1956. Bygget består av et hovedbygg og et tilbygg. Det var bestemt i oppgaven å ekskludere tilbygget, og kun gjennomføre klimagassberegning av hovedbygget. Hovedbygget har et bruttoareal på ca. 1980 m².

Dekker og vegger består av betong. I fasaden er det kledd steniplater og taket er av korrugerte stålplater. Bæresystemet er antatt som plasstøpt betong. Figur 3.1 og 3.2 viser bilde av fasade og planløsningen for bygg A.

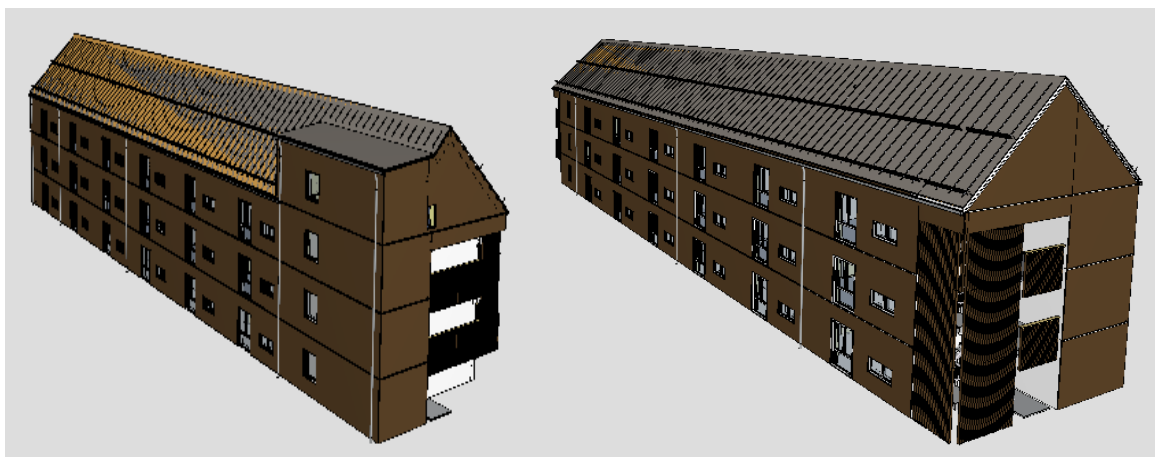


Figur 3.1. Bilde av fasade av hovedbygget til Bygg A. Hentet fra miljøkartleggingen Halka kaserne, fra Multiconsult.



Figur 3.2. Viser planløsningen som er identisk i 1 og 2 etasje, og et snitt fra kortsiden. Hentet fra miljøkartlegging av kaserne Halka, fra Multiconsult.

Bygg B består av 3 etasjer, og har et totalt bruttoareal rundt 1374 m². Gulv på grunn antatt til å være betong og etasjeskillere bestående av hulldekker. Utvendig vegg er av isolert bindingsverk, og innvendig vegg er av stålstender fylt med isolasjon. Taket er antatt å være av taksperre. Figur 3.3 viser bilde av Bygg B.



Figur 3.3. Bilde av nybygget. Skjermdump fra SimpleBIM

3.2 Arealer og betongmengder

I tabellene nedenfor er det hentet arealer fra bygningene, og videre brukt til klimagassberegning.

Tabell 3.1. Arealer over bygningsdeler i bygg A og B.

Bygg A	Arealer	Enhet	Bygg B	Arealer	Enhet
Gulv på grunn	660	m2	Gulv på grunn	458,1	m2
Yttervegg m/vindu	730,61	m2	Yttervegg m/vindu	1012,5	m2
Innervegger m/dører	1394,46	m2	Innervegger	1564,05	m2
Dekker	1320	m2	Dekker	1446,42	m2
Yttertak	660	m2	Yttertak	458,1	m2

Tabell 3.2. Arealer av vindu, ytterdører og innvendig dører i bygg A og B.

Bygg A	Arealer	Enhet	Bygg B	Arealer	Enhet
Vindu	197,74	m2	Vindu	158,26	m2
Ytterdører	15,75	m2	Ytterdører	17,88	m2
Innvendig dører	190,89	m2	Innvendig dører	240,25	m2

Tabell 3.3. Mengder betong fra bygg A og B.

	Ferdigbetong fra bygg A		Ferdigbetong fra bygg B	
Bygningsdel	m3	kg	m3	kg
Grunn og fundament	39,932	95837	27,717	66520
Bæresystemer	2,93	7031	12,193	29263
Yttervegg	182,75	438600		
Innervegg	180,3	432720		
Dekker	165	396000	160,3	384720
Trapper	74	177600	65	156000
Sum	644,912	1547788	265,21	636503
Hulldekker fra bygg A og B				
	Bygg A		Bygg B	
	m3	kg	m3	kg
	264	369600	183,2	246458

4 Metode

Dette kapittelet har til hensikt å belyse hvilke metoder som er blitt benyttet for å besvare på forskningsspørsmålene. En forskningsmetode gir strategiske fremgangsmåter som er av avgjørende betydning for vitenskapelig forskning. Det finnes en rekke ulike metoder som kan anvendes til ulike formål. For denne oppgaven var det nærliggende å anvende en kvantitativ forskningsmetode. Kvantitativ forskningsmetode anvendes i forskningsspørsmål der hensikten er å innsamle data som lar seg tallfeste (Grønmo, 2020). For å fange opp ytterligere momenter som styrker opp belegg for resultatene, anvendes den kvalitative forskningsmetoden. Kvalitativ forskningsmetode samler data som går i dybden, fanger opp meninger og erfaringer, dette kan ikke den kvalitative metoden alene forsørge (Grønmo, 2020).

Oppgaven anvender derfor en blandingsmetode av kvalitativ- og kvalitativt verktøy. I det som følger, gis det en gjennomgang av den kvalitative metoden, herunder litteraturstudie som belyser livssyklusanalyse og klimaregnskap. Den kvantitative delen baserer seg på et klimaregnskap i medfølgende scenarier.

4.1 Litteraturstudie

I litteraturstudiet har målet vært å finne bakgrunnsinformasjon rundt forskningsspørsmålene. Det har blitt gjort litteratursøk for å finne forskning på klimagassutslipp på betong og muligheter for reduksjon av klimagassutslipp av bygninger. Databasene som har blitt benyttet for å søke på litteratur er Oria som er UiTs bibliotekskatalog og Google Scholar. I tillegg ble det brukt artikler som ble tilsendt av veileder. Litteraturen som har blitt benyttet har lagt vekt på nyere studier. Standarder om livssyklusanalyse er hentet fra Standard Norge.

Litteraturstudien har bidratt til å styrke kunnskap rundt forskningen. En svakhet med litteraturstudien er at det kan ha blitt funnet eldre litteraturer som kan være utdaterte mens nyere forskning ikke har blitt publisert. Det kan ikke garanteres at det har blitt brukt riktige søkeord eller kilder, som har unnlatt å være relevant forskning.

4.2 Klimagassberegning

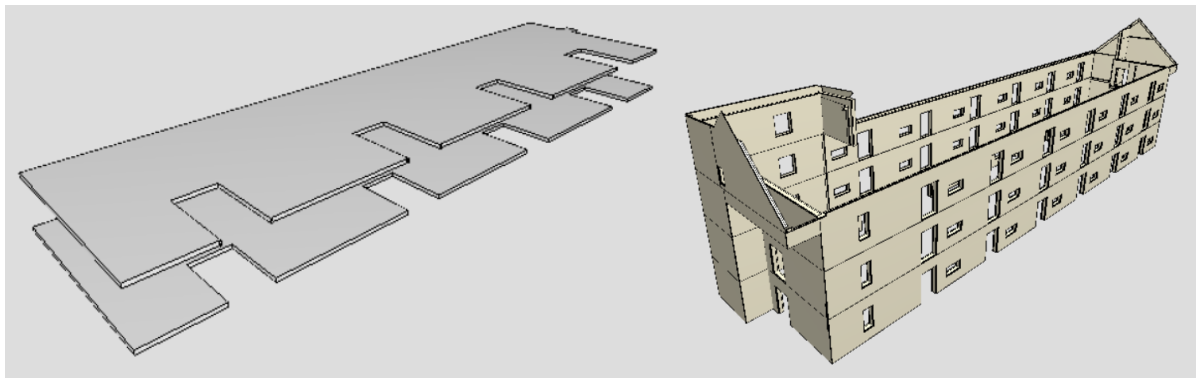
I klimagassberegning av bygningene er det benyttet One Click LCA, som er utviklet av Bionova. Det er et verktøy som brukes til å utføre klimagassberegninger og kan analysere utslippskonsekvenser ved planlegging og prosjektering av bygg (OneClickLCA, u.å). I programvaren er det stor samling av EPDer, som gjør det effektivt å endre og se på ulike materialer etter klimafotavtrykk. Modellene som brukes til klimagassberegning er av formatet IFC som står for «Industry Foundation Classes». Dette er et standardisert filformat som muliggjør utveksling av modeller mellom aktører i byggenæringen i mål om å oppnå en enkel og sømløs informasjonsflyt (buildingSMART, u, å).

SimpleBIM er et program som kan brukes til å lese av og ekskludere IFC filer. I klimagassberegning er det kombinert generiske verdier fra Carbon designer i One Click LCA og SimpleBIM. Først var det innhenting mengder fra IFC i SimpleBIM, og lastet opp i One Click LCA, og lastet ned i excel-fil for å summere mengde. Videre ble dataene brukt til Carbon

Designer, som lager et referansebygg etter tilpasset mengder. I denne oppgaven er det benyttet NS3720 for beregning av klimautslipp av bygningene.

4.2.1 Innsamling av data og mengder

Det var i første omgang prøvd å importere IFC-filene direkte til One Click LCA, men det ble oppført at det var flere komposittsjikt i filen. Dette medførte at filen som var importert ikke klarte å ta med alle materialene. Løsningen falt på å bruke SimpleBIM til å finne ut arealer, mengder og typer materialer, og deretter legge det manuelt inn på One Click LCA. Ved å laste opp hele filen, var det usikkerheter på hvilke bygningsdeler og arealer som var tilknyttet til de ulike delene. Framgangsmåten var å laste opp filene etter bygningsdeltabellen, og videreimportere dette i One Click LCA, og deretter eksportere dette som excel-fil for å summere arealer. I kapittel 3 er arealer listet fra casene som skal brukes videre i klimagassberegningene. Figur 4.1 viser utsnitt av betongdekker fra riving og yttervegg fra nybygg.



Figur 4.1. Utsnitt av betong dekker fra riving. Skjermdump fra SimpleBIM.

Opplæringen av SimpleBIM var gjennom veilenende videoer på deres hjemmeside. En av styrkene å benytte et slikt program er at brukeren kan enkelt lese av IFC-filer og endre på filen. Svakheten med programvaren er at den er avhengig at filen er godt detaljert for å få gode verdier. I et av casene som ble brukt i oppgaven var mangelfull, og måtte dermed gjøre antagelser.

4.2.2 One Click LCA

I oppstarten ble det opprettet et prøveprosjekt for å se hvordan programvaren skulle brukes ved hjelp veiledende videoer. Gjennom opplæringsfasen har videoene vært mangelfulle. Spesielt har import av BIM-filene vært krevende og har tatt stor del av fremdriften. One Click LCA klarte ikke å lese alle typer materialer og mengder av det som var i filen. Et av problemene var at programvaren ikke klarte lese av kompositt, som førte til feilmeldinger, der materialer og mengder ble utelatt. Da ble det besluttet å bruke Carbon designer inne på One Click LCA. Denne funksjonen danner et referansebygg, som er bygget opp som en sko. Dette kan brukes til å sammenlikne og redusere utslippet fra et prosjektert bygg. Opprettelse ved carbon designer kan man justere etter arealer av bygningsdelene, og får tilnærmet lik fil som hadde blitt importert.

Behandling av komposittsjiktet fra modellen ble det brukt systemløsninger fra One Click LCA. Figur 4.2 viser eksempel på en løsning for hulldekke, som ble bruk i klimagassberegningene. Slike løsninger ble gjort for de ulike bygningsdelene og er justert etter arealer.

Hulldekkesystem ?	916.0 m ²	
Betong, B30, lavkarbonklass B (2019) ?	916.0 m ²	x 50 mm
Forsterkning stål (armering), gener ?	2034 kg	
Glass wool, acoustic ceiling panel, ?	916 m ²	
Self levelling mortar, for floors, ?	916 m ²	x 20 mm
Hulldekker, generisk, B30, C30/37 (?	183.2 m ³	

Figur 4.2. Utsnitt av hulldekkesystem. Skjermdump fra One Click LCA.

Svakheter med å lage carbon designer er at det ikke gir et totalt inntrykk av bygget som er i BIM-filen siden det er bygget opp som en skoese. Så det vil føre til avvik i klimagassberegninger hvor totale mengder av materialer ikke er inkludert. Klimagassberegninger i One Click LCA gir et bilde av hvor store utslippene kan bli, men enkelte avvik kan oppstå.

4.2.3 Systemgrense og funksjonell enhet

Målet med oppgaven er å analysere miljøpåvirkning gjennom klimaregnskap ved rivning og bygge nytt. Fasene som er blitt inkludert i klimaregnskapet i nybygg er:

Produktfasen: A1-A3

Byggefasen: A4-A5

Bruksstadiet: B1-B7

Livets slutt: C1-C4

Bygget A som skal rives er det kun tatt hensyn til fase fra C1-C4. I tillegg skal det sees på potensielle besparelser ved karbonatiseringen av betongmassene som gjenbrukes ved rivning, som kommer i fase D. Dette skal da videre i regnskapet til bygg B.

Funksjonell enhet som er benyttet er 1 m² bruttoareal. Alle utslippene som generes fra rivning av bygg A og bygging av bygg B blir sett helhetlig sammen, ettersom bygningene har forskjellig areal. Levetiden til den nye bygningen er satt til 60 år. Utslippene som kommer fra rivning i bygg A og bygging i B skal summeres sammen. Resultatene av det totale byggets utslipp er oppgitt GWP-verdi, Global Warming Potensial med enhet kg CO₂ ekvivalenter.

4.2.3.1 Utslippsfaktor

Fra bygget som skal rives er det benyttet faktorer for C1-C4. Faktorene er hentet fra Appendix A. Punktene som er listet opp under er blitt benyttet for beregning av utslippene ved rivning av betongen:

C1: 4,13 kg CO₂e/tonn

C2: 1,33 kg CO₂e/tonn (7 km til deponi)

C3-C4: 5,3 kg CO₂e/tonn

I bygg B skal betongverdier fra Appendix B benyttes. Det er valgt å benytte standard betong og betong med maksimalt resirkulert tilslag. I Tabellen 4.1 er det listet opp utslippsfaktor for betongtypene.

Tabell 4.1. Tabell over utslippsfaktor for betong B30 og resirkulert betong. Oppgitt i kg CO₂-eq. Hentet fra Appendix B.

Produkt	Produsent	A1	A2	A3	A1-A3
Ferdigbetong B30 M60	Jaro, Alta	250	4,29	4,78	259
RCACrete MAX	Jaro, Alta	247	3,50	4,78	255

4.2.4 Sensitivitetsanalyse

I henhold til NS3720 skal det utføres en sensitivitetsanalyse for å se hvilke faktorer som har størst innvirkning på resultatene.. I klimagassberegning er det satt en baseline, bygg A rives og havne i deponi, mens bygg B skal benytte standard løsninger for betong. Ulike endringer av scenarioene er som følger:

- Gjenbruk av betongmassene brukes til lokalt. Bygg B bygges standard.
- Bruk av resirkulert tilslag av betongmassene i bygg B.
- Ombruk av hulldekker fra Bygg A, resterende havner i deponi.
- Endring av standard betong til lavkarbon i bygg B.

Bygg A rives, og rivningsmassene havner i deponi. Bygg B bygges standard.

Denne oppgaven tar for seg to bygg (Bygg A og Bygg B). Bygg A skal rives, mens bygg B skal bygges på nytt. Det skal undersøkes hvor stort utslipp som kommer fra rivningen og sendt til deponi. Utslippet skal videre inn i regnskapet til bygg B. Ved standard bygg er det ikke valgt noen spesielle egenskaper eller krav til betong.

Gjenbruk av betongmassene brukes til lokalt. Bygg B bygges standard.

Det skal undersøkes på hvor mye utslipp som kommer ved å unngå at betongmassene skal brukes lokalt. Resten av massene som ikke er betong havner i deponi. Utslippet fra rivningen skal i regnskapet til bygg B. I tillegg kommer karbonatisering av betongmassene som brukes lokalt. Ved standard bygg er det ikke valgt noen spesielle egenskaper eller krav til betong.

Bruk av resirkulert tilslag av betongmassene i bygg B.

Betongmassene som kommer fra rivningen, blir andel av massen brukt til resirkulert tilslag. Resept for betong med resirkulert tilslag er tilsendt av veileder, som er en tilsvarende EPD. Denne resepten er i Appendix B. Resterende av betongmassene blir brukt lokalt, og karbonatisering av betongmassene kommer i tillegg i regnskapet til bygg B

Ombruk av hulldekker

Hulldekker fra Bygg A skal brukes i Bygg B, og det som er igjen skal havne i deponi.

Bruk av lavkarbon

Det skal bli sett på hvordan klimaregnskapet blir ved bruk av lavkarbon. Produsenten som skal brukes er Jaro, men det ikke fins noen EPDer fra Jaro i databasen i One Click LCA. Da er det blitt valgt å bruke generisk, som er tilnærmet og tilpasset avstanden fra produsent til byggeplass. Avstanden fra Jaro til byggeplass er ca 185km.

5 Resultater

I dette kapitlet presenteres resultatene fra klimaregnskapene for de forskjellige scenarioene. Det har lagd en tabell som viser betongregnskapet og en tabell for det totale klimaregnskapet.

5.1 Betongregnskap

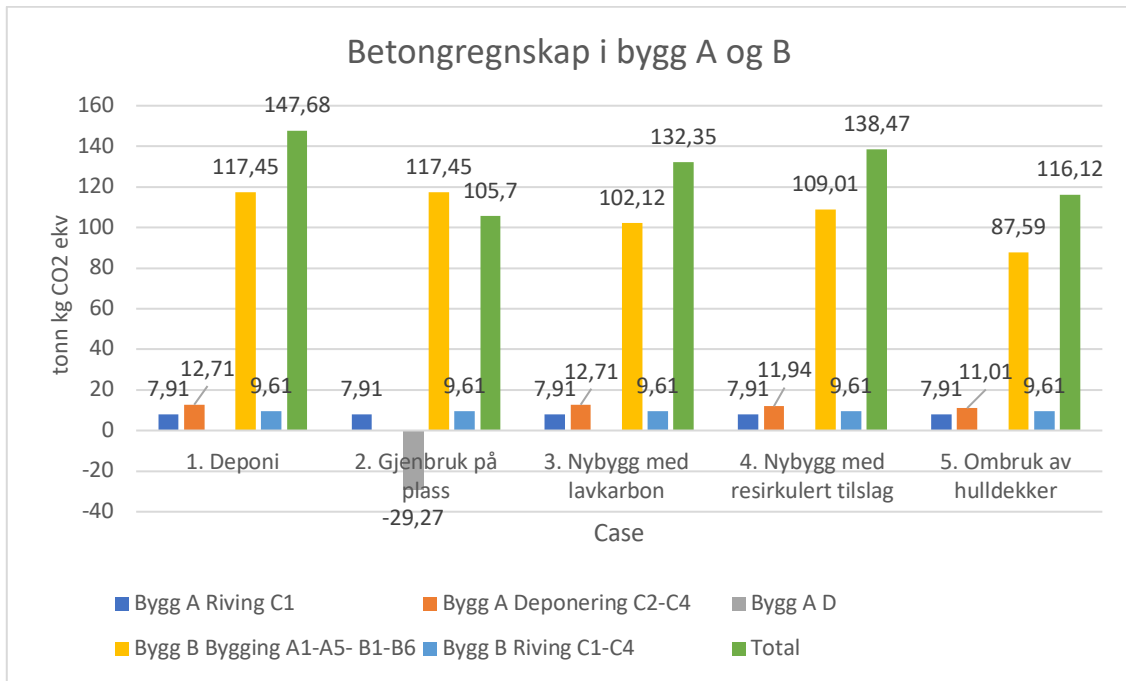
Tabell 5.1. Total betongregnskap for gitte scenarioer. Klimagassutslippene er oppgitt i tonn CO₂ ekv.

Scenarioer	Bygg A			Bygg B		Total
	C1	C2-C4	D	A1-A5- B1-B5	C1-C4	
1.Deponi	7,91	12,71		117,45	9,61	147,68
2.Gjenbruk på plass	7,91	-	-29,27	117,45	9,61	105,70
3.Nybygg med lavkarbon B	7,91	12,71		102,12	9,61	132,35
4.Nybygg med resirkulert tilsag	7,91	11,94		109,01	9,61	138,47
5.Ombruk av hulldekker	7,91	11,01		87,59	9,61	116,12

Betongregnskapet i Tabell 5.1 viser størst reduksjon i scenario 2 ved å unngå deponi og avfallsbehandling, etterfulgt ombruk av hulldekker.

Det er lagt opp en fase D, som er mulig gevinst ved å gjenbruke betongmassene gjennom karbonatisering. Ved gjenbruk av betongmassene fra bygg A skal betongmassene brukes lokalt, hvor massene blir knust og karbonatisert gjennom 60 år. Utslippene som er mulig gevinst i fase D i bygg A, er summert sammen i regnskapet til bygg B.

Figur 5.2 viser en fremstilling av betongregnskapet i grafen. Største utslippene fra bygg B er produksjonsfasen. I scenarioene ved deponi og gjenbruk på plass har de høyeste utslippene, der har det regnet på standard betong med B30. I scenario med lavkarbon betong klasse B ga mindre utslipp enn resirkulert tilsag i betongen, selvom det var reduksjon av betongmasser, som skal til deponi. Ombruk av hulldekker viser høyest gevinst av alle casene ved utbygging av bygg B. Resultatet var forventet, ettersom det ikke er noe produksjon av hulldekker. I vedlegg B viser totale betongregnskapet for rivning i bygg A og endring av betong i B ved ulike scenarioene.

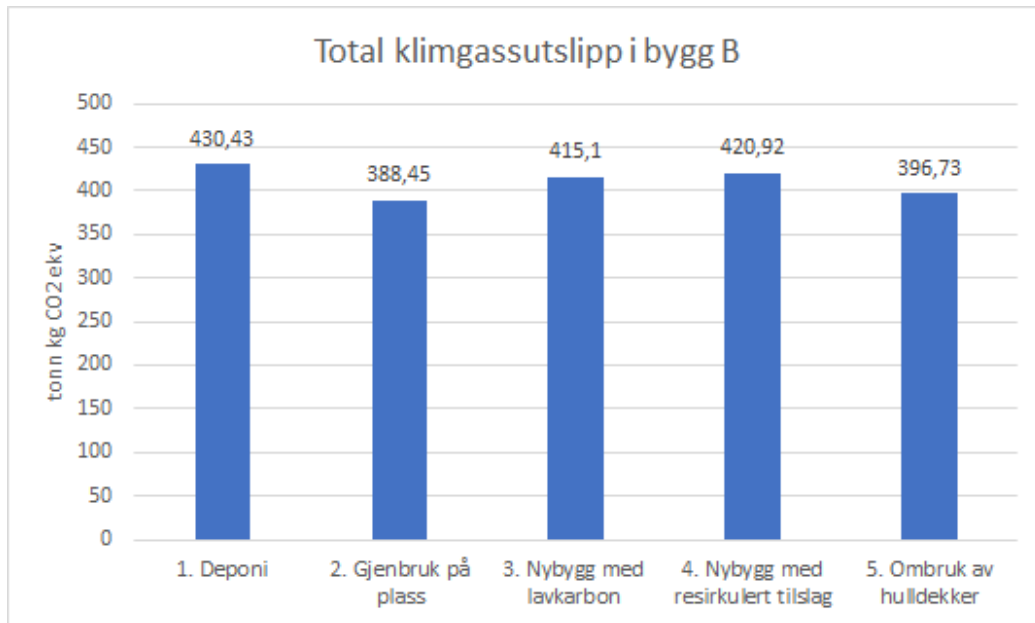


Figur 5.1. Betongregnskap over alle casene. Utslipp oppgitt i tonn CO2ekv.

Tabell 5.2. Totalt klimagassregnskap. Utslippene er oppgitt i tonn kg CO2 ekv.

Case	Bygg A		Bygg B		Total
	C1-C4	D	A1-A5- B1-B5	C1-C4	
1. Deponi	31,74		371,92	26,77	430,43
2. Gjenbruk på plass	19,03	-29,27	371,92	26,77	388,45
3. Nybygg med lavkarbon B	31,74		356,59	26,77	415,10
4. Nybygg med resirkulert tilsag	30,67		363,48	26,77	420,92
5. Ombruk av hulldekker	30,04		340,99	26,77	397,80

Tabell 5.2 viser totale klimaregnskapet, inkludert alle materialer som skal rives i bygg A, og alle materialer som er blitt benyttet i bygg B. Det totale klimagassutslippet er summen av rivning av bygg A og bygg B fra fase A1-C4. I vedlegg C er det klimaregnskap av inkluderte materialer fra bygningene og scenarioene.



Figur 5.2. Totalt klimagassutslipp for summert sammen fra bygg A og B. Utslipp er oppgitt i kg CO2ekv.

Figur 5.2 fremstiller at gjenbruk på plass av betongmassene har mest miljøgevinst og ombruk av hulldekker. Klimaregnskapet viser at ved å unngå deponi og gjenbruk av betongmassene lokalt, gir høyest gevinst blant alle scenarioene og i tillegg bygges bygg B i standard betong. Lavkarbon betong ga mindre utslipp enn betong med resirkulert tilslag. Scenario 1 viser høyest utslipp, hvor alt havnet deponi og bygges standard

5.2 Sensitivitetsanalysen

Fra resultatene av sensitivitetsanalysen er det studert på baseline casen ved riving og deponi i bygg A, og standard betong i bygg B. Da har tatt i utgangspunktet det totale klimaregnskapet fra Tabell 5.2, og det reduserte utslippet vises med negativt sammenliknet med base case..

Tabell 5.3. Resultater fra sensitivitetsanalysen

Endring fra base case	Endring i prosent
Unngå deponi og gjenbruk	-9,5
Bruk av lavkarbon klasse B	-3,5
Bruk resirkulert tilslag	-2,2
Ombruk av hulldekker	-7,6

Sensitivitetsanalysen viser at ved unngå deponi og heller gjenbruke betongmassene gir dette minst klimagassutslipp, og det som utgjorde størst reduksjon var karbonatisering av betongmassene. Bruken av lavkarbon klasse B har 1,3 prosent mindre utslipp sammenliknet med å bruke resirkulert tilslag. Ombruk av hulldekkene har nest minst klimagassutslipp av scenarioene.

6 Diskusjon

Kapittelets hensikt er å presentere en tolkningsgjennomgåelse, herunder funnene og resultatene fra klimaregnskapet. I det som følger vises det til en diskusjon av allokering mellom byggene for omgjøring til kvadratmeter (m²).

6.1 Tolking av resultatene

6.1.1 Bruk av resirkuler tilslag versus lavkarbon B

Resultatene viser at bruken av lavkarbon B har mindre klimagassutslipp enn å bruke resirkulert tilslag. Begge har lik transportavstand og var tiltenkt å skulle produseres hos Jaro. Utslippsfaktor i fase A1-A3 for lavkarbon var 230 kg CO₂ekv/m³, og betong med maks resirkulert var 255 kg CO₂ekv/m³. De største utslippene er produksjon av sement. Produksjonen av sementen i A1 er 225 kg CO₂ekv/m³ for betong med resirkulert tilslag. Mens i lavkarbon er det kuttet ned mengden på sementen, og byttet ut med flygeaske eller slagg slik at utslippsfaktoren blir vesentlig mindre. I resepten for RCAcrete max var det antatt at betongmassene knuses og betongen blandes på byggeplassen. Om betongen skal blandes hos produsenten må resirkulerte tilslaget fra rivningen transporteres til produsenten. Fra Appendix B vil resepten for betongen bli høyere hvis betongmassene må transporteres til produsent om det ligger lengre enn 35 km. I dette tilfelle ligger Jaro 185 km fra byggeplass. Dermed vil klimaregnskapet for resirkulert betong gjøre jomfruelig betong bedre i regnskapet. Beregningene har ikke tatt høyde for utstyr som er brukt for knusing av betongmassene i fase A3 for RCAcrete max. I oppgaven ble det antatt samme for ferdigbetong. Det vil da i realiteten forekomme ekstra utslipp fra maskiner for knusing av betongen i fase A3.

6.1.2 Ombruk av hulldekker

Ombruk av hulldekker ga en signifikant reduksjon i klimaregnskapet med 7,6 prosent fra sensitivitetsanalysen. Dette er fordi hulldekker ikke produseres fra fase A1-A3. Ved fase C1-C4 viser reduksjon 5,4 prosent. Ved ombruk av hulldekkene var det antatt i at hulldekkene blir testet på byggeplassen for ombruk. Fra regjeringskvartalet ble det demontert hulldekker fra en etasje, som skal ombrukes videre i Kristian August gate 13. Før montering av hulldekkene ble massene sendt til SINTEF i Oslo for testing, og sendt videre til byggeplassen (Aarhus, 2019). Det er antatt at det er mulig å gjøre nødvendige tester, før hulldekkene kan tas i bruk. Dermed kan hulldekkene være kortreiste, og ekstra utslipp vil ikke forekomme i fase A1-A3. Hvis hulldekkene må transporteres til testing ved for eksempel Trondheim må utslippene inkluderes i regnskapet. Beregningene har ikke tatt høyde for dette, og dermed har ikke dette blitt tatt i betraktning under resultatene. Ved demontering av hulldekkene fra rivning kreves det at avretting som ligger over hulldekkene fjernes. Hvor omfattende dette er, er ikke blitt forsket på. Faktoren som ble benyttet for C1 var 4,13 kg CO₂ekv/tonn, som inkluderer knusing. Demontering av hulldekke vil ikke kreve at hulldekkene skal knuses, men bare demonteres, og da vil utslippene reduseres. Ettersom data for hulldekkene ikke var tilgjengelig, ble samme verdi for ferdigbetong antatt.

6.1.3 Karbonatisering effekt versus deponering

I scenario 2 ble det undersøkt hvordan klimagassutslippene blir ved å unngå at betongmassene havner i deponi. Resultatene viste en besparelse på 9,5 prosent fra sensitivitetsanalysen inkludert karbonatisering av betongen gjennom 60 år. For at karbonatiseringen skal være effektiv må betongmassene knuses til mindre biter slik at flere overflater CO₂ kan komme til. Karbonatisering er omdiskutert tema, i gjeldende standarder åpner for inkludering av karbonatisering så lenge det gjenspiller med hensikt og omfang med studien (Lyng et al., 2014). I totale regnskapet er opptaket av karbonatiseringen av betongmassene inkludert som negative utslipp gjennom bruksfasen på 60 år i bygg B. Ved gjenbruk av betongmassene som ikke skal havne i deponi, må massene kunne gjenbrukes til et formål, som vil gi miljøgevinst. For at betongmassene skal kunne gjenbrukes, må armeringen og miljøfarlige stoffer fjernes, og kan deretter brukes videre. Det er tenkt at masse brukes til landskapsutforming. En annen utnyttelse er å knuse massene til grus slik at det brukes til veifylling. Da vil det ikke forekomme utslipp av nye råvarer til dette. Denne studien har ikke inkludert landskapsutforming, fyllmasse eller veifylling.

Gjenbruk av betongmassene vil suge og lagre CO₂-opptaket. På samme måte som treverk gjør. Ombruk og gjenbruk av betong vil minimere avfall som havner i deponi, og redusere utvinning av nye råvarer. Med tanke på sirkulære prinsipper som har blitt gjort i denne oppgaven vil det dermed lønne seg å gjenbruke betongmassene.

6.2 Allokering av utslipp mellom byggene

Bygningene som er benyttet i klimagassberegning har forskjellige arealer. Allokering mellom bygningene er blitt gjort gjennom to utgangspunkter. Det er blitt sett på samlede klimagassutslippet for bygg B, eksklusivt rivningen fra bygg A. Når resirkulert råvare blir inkludert i nytt produkt, og skal summeres per m², ser man bare på et enkelt bygg eller systemgrensen. I Tabell 6.1 er det regnet frem til totalt utslipp per kvadratmeter, som kan videre brukes til sammenlikning av studier som har blitt gjennomført på tilsvarende måte.

Tabell 6.1. Utslipp i kg CO₂ekv/m² for bygg B.

Scenario	Total utslipp kg CO ₂ ekv/m ²
1. Deponi	290,17
2. Gjenbruk på plass	290,17
3. Nybygg med lavbarbon	279,01
4. Nybygg med resirkulert tilslag	284,02
5. Ombruk av hulldekker	267,66

Det andre utgangspunktet er å summere rivning og deponi av betong som enten brukes lokalt eller til tilslag. I Tabell 6.2 er det regnet frem til utslipp per kvadratmeter. Da er gjenbruksgevinsten i fase D fra bygg A tatt med i bygg B, men gevinsten som må fordeles likt er ikke inkludert i beregningen. Resultatene kan ikke brukes til å sammenlikne med andre studier ettersom at bygg A blir inkludert i regnskapet til bygg B. Ulikheter på mengde betong

som gjenbrukes varierer og dermed kan ikke resultatene måles opp mot andre studier, ettersom størrelsen av gjenbruket ikke er sammenliknbart.

Tabell 6.2. Utslipp i kg CO₂ ekv/m² summert rivning og deponi fra bygg A pluss bygg B.

Scenario	Total utslipp kg CO ₂ ekv/m ²
1. Deponi	305,18
2. Gjenbruk på plass	274,63
3. Nybygg med lavbarbon	294,02
4. Nybygg med resirkulert tilslag	298,47
5. Ombruk av hulldekker	281,43

6.3 Styrker og svakheter med metoden

Datamengder fra bygningsdeler, som er hentet fra IFC-filene antas å være riktig. Dette er hentet direkte fra modellen av bygget og summert sammen. Det var nødvendig å gjøre antagelser av byggene ettersom tilstrekkelig med informasjon av bygg A manglet. I oppgaven ble det valgt å bruke Carbon Designer i One Click LCA. Denne funksjonen vil ikke gi et helhetlig bilde av bygget ved at modellen blir bygget opp som en skoese. Hovedsakelig er det valgt å bruke generisk data fra databasen i One Click LCA. Det er en usikkerhet at informasjonen ikke er egnet for etterspurt formål.

Det er usikkerheter ved karbonatisering av betongmassene som gjenbrukes og kan avhenge av flere faktorer. Betongmassene som gjenbrukes må knuses og lagres åpnet for at det skal ha full effekt. Dersom massene brukes til fylling, vil ikke karbonatisering ha en effekt. I oppgaven er det brukt faktor for karbonisering av betong fra One Click LCA. Programmet hadde ingen registrert faktor for hulldekkene, så det ble antatt at hulldekkene blir kategorisert som vanlig betong.

Verdiene som ble benyttet for hulldekker ved C1-C4 kan ikke garanteres å være helt nøyaktige og kan medbringe sine usikkerheter. Oppgaven har tatt utgangspunkt i verdiene for betong og det gir et bilde på hvor utslippene kan forekomme. Energibehovet vil da ikke være like stort ved knusing sammenliknet med demontering av hulldekkene.

7 Konklusjon

Denne studier ser på hvordan resirkulering og gjenvinning av betong kan redusere avfallsmengde og miljøbelastning. Ved klimaregnskapet var det gjort en baseline at bygg A rives og havner i deponi, og bygg B benytter vanlig standard betong. Studien har sett på ulike scenarioer ved bruk av resirkulert betong, ombruk av hulldekker og lavkarbon betong. Samtidig unngått deponi for å undersøke hvordan tiltakene kan påvirke klimagassutslippene.

Resultatene viser at eksisterende betongmengder som unngår deponi og gjenbrukes ved rivning, gir reduksjon i klimaregnskapet, enten ved å bruke materialet som tilslag eller i lokalt bruk. Gjenbruk av betongmassene hadde størst miljøfordel. Det som utgjorde gevinsten var karbonatiseringen, imidlertid avhenger det av at betongmassene blir knust og ligger i åpen overflate, slik at karbonatiseringen oppnår størst effekt. Ombruk av hulldekker har minst utslipp i produksjonen, ettersom disse var hentet direkte fra bygg A, siden produksjonen av nye hulldekker reduseres. Bruk av lavkarbon B har lavere utslipp, ettersom utslippsfaktoren er lavere enn betong med resirkulert tilslag.

Betong skaper store mengder avfall årlig fra rivning, rehabilitering og nybygg. Med mer ombruk og resirkulering av betong vil avfallsmengden som havner i deponi reduseres. Produksjonen av sement i betongen er en energikrevende prosess som står for store deler utslipp. Bruk av lavkarbon minimerer utslipp fra sementproduksjon, som følge av andel sement som erstattes av andre råmaterialer. Med økende fokus på å redusere utslippene fra produksjonen, er det behov for å tilrettelegge for gjenbruk og ombruk av betong. Dermed kan utslippene fra utvinning av nye råmaterialer reduseres og danne et grunnlag for sirkulær økonomi.

8 Forslag til videre arbeid

Det er flere funn i oppgaven som kan undersøkes videre på. Et forslag er å forske videre på resirkulert betongen. En vurdering av hvordan transportdistanser kan påvirke gevinsten av resirkulering av tilslag. Med økt avstand fra steinbrudd til produksjon vil resirkulerte betongen bli et bedre alternativ gitt miljøgevinsten som kan oppnås. I tillegg vil det være interessant å utføre en livssyklusanalyse der flere bygningsdeler, enten ved gjenbruk eller ombruk av materialer kan sammenlignes med et standard bygg.

Denne studien har konkludert med at ombruk og gjenbruk har sine klare miljøfordeler. Selv om dette peker i riktig retning, er det fortsatt av høy interesse å se på de økonomiske aspektene ved en slik byggeløsning. Hvor stor er kostnadsdifferansen i et slik tilfelle der et bygg anvender resirkulerte materialer fremfor å bygge helt nytt.

Referanse

- Avfall Norge, u.å. Avfall er ressurser. Hentet fra: <https://avfallnorge.no/om-avfall-norge/om-bransjen> . Lastet ned: 02.04.2021.
- Aarhus. 2019. Podcast: Hulldekker fra Regjeringskvartalet får nytt liv med ombruk. Lastet ned: <https://www.bygg.no/article/1413140> . Lastet ned: 11.05.2021.
- buildingSMART, u.å. Industry Foundation Classes (IFC)- An Introduction. Hentet fra: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/> . Lastet ned: 14.05.2021.
- Byggalliansen, 2019. Tipshefte. Tenk deg om før du river.
- Byggalliansen, u.å. Klimakur for bygg og eiendom. Hentet fra: <https://byggalliansen.no/kunnskapscenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/#1610543721156-39143120-001d> . Lastet ned: 25.02.2021.
- ByggogBevar, 2019. Betong. Hentet fra: <https://www.byggogbevar.no/enok/groenne-materialvalg/konstruksjonsmaterialer/betong> . Lastet ned: 19.04.2021.
- Bygg21, 2018. Bygg- og eiendomssektorens betydning for klimagassutslipp.
- Bjøntegaard Ø., Vikan H. & Bathen L., 2019. Betong og handlingsrom. Hentet fra: https://www.vegvesen.no/attachment/2855996/binary/1351170?fast_title=Betong+og+handlingsrom.pdf . Lastet ned: 19.04.2021.
- Eidum, E.V., 2019. Får 14 mill. til forskning på gjenvinning av betong. Hentet fra: https://uit.no/nyheter/artikkel?p_document_id=625603&p_dim=265634 . Lastet ned: 19.04.2021.
- Engelsen, C.J & Justnes, H., 2014. CO2-binding by concrete. SINTEF rapport nr. SBF2014A0019.
- Energi og klima, u, å. Bygninger må bli mer energieffektive. Hentet fra: <https://energiogklima.no/klimalosninger/bygg/> . Lastet ned: 25.02.2021.
- Entra, u. å. Kristian Augusts gata 13. Hentet fra: <https://www.entra.no/properties/kristian-augusts-gate-13/195> . Lastet ned: 12.04.2021.
- EU, 2008. Construction and demolition waste. Hentet fra: https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en . Lastet ned: 13.05.2021.
- Fjeld, I.E., 2020. Her gjenbrukes deler av regjeringskvartalet- men dagens regler gjør det vanskelig. Hentet fra: <https://www.nrk.no/norge/her-gjenbrukes-deler-av-regjeringskvartalet--men-dagens-regler-gjor-det-vanskelig-1.15104239> . Lastet ned 12.04.2021.
- FN, 2021. Stoppe klimaendringer. Hentet fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene> . Lastet ned: 19.01.2021.

- FN, 2020. Parisavtalen, Hentet fra: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen> . Lastet ned: 21.02.2021.
- FN, 2019. Klimaendringer. Hentet fra: <https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer> Lastet ned: 19.01.2021.
- Forsvarsbygg, 2021. Nye byggeprosjekt klar for anbud på Porsangermoen. Hentet fra: <https://www.forsvarsbygg.no/no/nyheter/nyhetsarkiv-finnmark-landforsvar/nye-byggeprosjekt-klar-for-anbud-pa-porsangemoen/> . Lastet ned: 13.05.2021.
- FutureBuilt, 2021. Kristian August gata 13. Hentet fra: <https://www.futurebuilt.no/Forbildeprosjekter#!/Forbildeprosjekter/Kristian-August-gate-13> . Lastet ned: 12.04.2021.
- Grønmo, S, 2020. Kvalitativ metode. Hentet fra: https://snl.no/kvalitativ_metode Lastet ned: 01.05.2021.
- Hagen R, Haupt H. M. & Bramslev, K., 2017. Grønn materialguide-veileder i miljøriktig materialvalg versjon 2.2.
- Høines, E., 2010. Status og muligheter: Ombruk. Hentet fra: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/subnettsteder/framtidens_byer/samlinger/sarpsborg_september_2010/erik_hoines_ombruk.pdf . Lastet ned: 12.04.2021.
- Jakobsen, I, U., Kallbekken, S. & Lahn, B., 2021. Parisavtalen. Hentet fra: <https://snl.no/Parisavtalen> . Lastet ned: 20.01.2021.
- Kvellheim, A.K & Bramslev, K, 2020. Kronikk: Betong er en del av klimaløsningen. Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/betong-er-en-del-av-klimalosningen/489468> Lastet: 14.04.2021.
- Leland, B.N., 2008. Prosjektering for ombruk og gjenvinning. Hentet fra: https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2014/10/26_Prosjektering-for-Ombruk-og-Gjenvinning.pdf . Lastet ned: 11.04.2021.
- Lyng, K.A., Rønning, A., Vold, M. & Svanes, E., 2014. Karbonopptak i betong i LCA og EPD. ISBN: 978-82-7520-712-6
- Miljødirektoratet, 2021. Avfall. Hentet fra: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/avfall/>. Lastet ned: 01.03.2021.
- Naturvernforbundet, 2019. Global oppvarming og drivhuseffekten. Hentet fra: https://naturvernforbundet.no/hva-er-global-oppvarming/category1362.html?gclid=Cj0KCOjwmIuDBhDXARIsAFITC_5cHW40XxenxOWsmYDWi3TokOPpLyhpqNNQO1-9MfVc96cC8UXpWBkaAqVfEALw_wcB . Lastet ned: 21.02.2021.
- NHP, 2021. Handlingsplan 2021-2023- Nasjonal handlingsplan for bygg-og anleggsavfall (NHP 5).

- Norcem, u.å (A). Sementproduksjon og CO2. Hentet fra: <https://www.norcem.no/no/sementproduksjon-co2> . Lastet ned: 19.04.2021.
- Norcem, u.å (B). Karbonfangst ved Norcem Brevik. Hentet fra: https://www.norcem.no/no/CCS_Brevik . Lastet ned: 10.05.2021.
- Norby, S., 2020. NOTAT Kriterier for sirkulære bygg, FutureBuilt 2.0.
- Norsk betongforening, u.å. Visste du dette om betong og miljø? Hentet fra: <https://betong.net/wp-content/uploads/17966-Visste-du-dette-om-betong-og-miljo-WEB.pdf> . Lastet ned: 19.04.2021.
- Norsk betongforening, 2020. Lavkarbonbetong- revidert NB publikasjon nr. 37. Hentet fra: <https://betong.net/wp-content/uploads/Fordrag-Tom-i.-Fredvik-Norcem-Pub.nr.-37.pdf> . Lastet ned: 19.04.2021.
- One Click LCA, u.å. Caculate your environmental impacts in minutes. Hentet fra: <https://www.oneclicklca.com> . Lastet ned: 13.05.2021.
- RegiCilm, 2005. Norges klima om 100 år Usikkerhet og risiko. Hentet fra: http://regclim.met.no/presse/download/regclim_brosjyre2005.pdf . Lastet ned: 01.03.2021.
- Regjeringen.no, 2020. Klimaendringer og norsk klimapolitikk. Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/> . Lastet ned: 18.01.2021.
- Regjeringen, 2019. Avfall. Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/forurensning/innsiktsartikler-forurensning/avfall/id2076495/> . Lastet ned: 07.04.2021.
- Rønning, A., Lyng K.A & Vold M, 2011. Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer. Rapport nr: OR.02.11. ISBN: 978-82-7520-638-9.
- SINTEF, 2015. Metodiske valg og problemstillinger ved livsløpsvurderinger (LCA). Byggdetaljblad 470.102 .
- SINTEF, 2014 A. Livsløpsvurderinger (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper. Byggdetaljblad 470.101 .
- SINTEF, 2014 B. Miljødeklarasjoner (EPD) av byggevarer. Byggdetaljblad 470.103 .
- SimpleBIM. u.å. Makes BIM normal. Lastet fra: <http://simplebim.com> . Lastet ned: 13.04.2021.
- Solli, C., Nordby, A.S. & Dahlstrøm, O., 2015. Helhetlig miljøvurdering av byggematerialer. Dokumentasjonsrapport utgave 1.

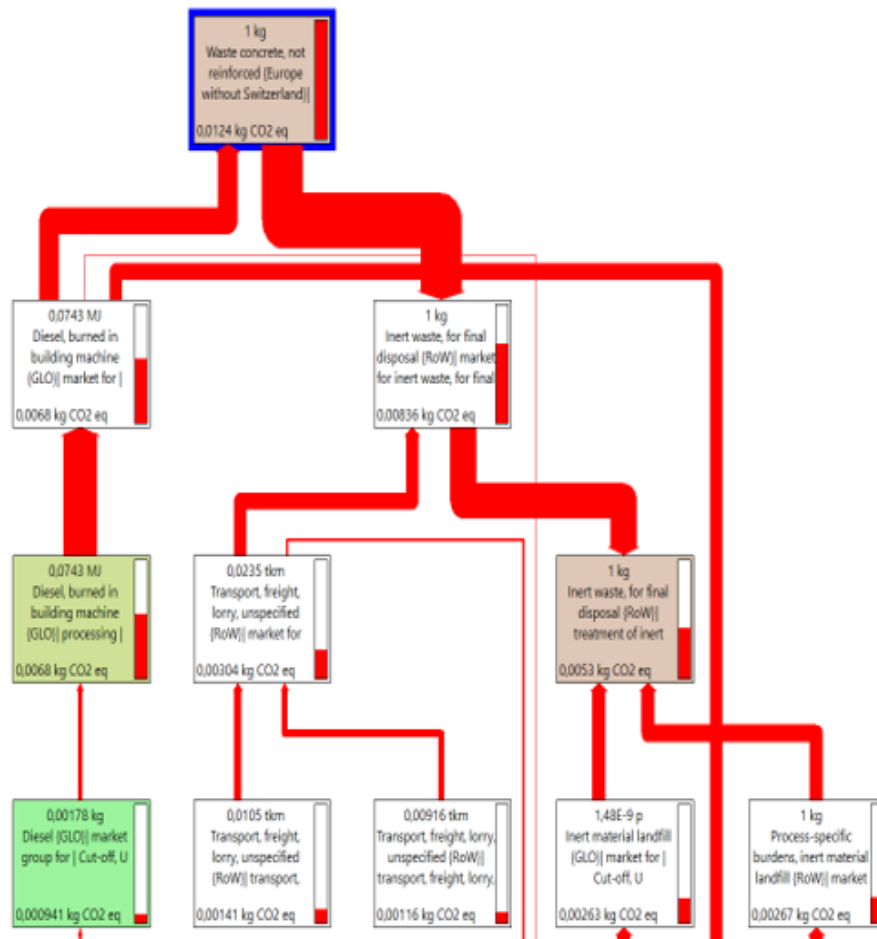
- SSB, 2021a. Avfall fra byggeaktivitet. Hentet fra: <https://www.ssb.no/avfbygganl> . Lastet ned:12.04.21.
- SSB. 2021b. Avfallregnskapet. Hentet fra: <https://www.ssb.no/avfregno> . Lastet ned: 12.04.2021.
- Standard Norge, 2018. NS3720- Metode for klimagassberegninger for bygninger.
- Standard Norge, 2011. NS-EN 15978- Bærekraftige byggverk. Vurdering av bygningers miljøpresentasjon.
- Standard Norge, 2006 A. NS-EN ISO 14040- Miljøstyring- Livsløpsvurdering- Prinsipper og rammeverk.
- Standard Norge, 2006 B. NS-EN ISO 14044-Miljøstyring- Livsløpsvurdering-Krav og retningslinjer.
- Svendsen, V. N & Torblaa, E. J., 1989. Karbonatisering av betong, et problem på norske dammer? Hentet fra: http://publikasjoner.nve.no/publikasjonV/publikasjonV_19.pdf . Lastet ned:19.04.2021.
- Sørnes, K., Norby A.S., Fjeldheim H., Hashem S. M. B., Mysen M. & Schlanbusch R. D., 2014b. Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer. ISSN 1894–1583.
- Unicon, u.å. Lavkarbonbetong. Hentet fra: <https://www.unicon.no/produkter-tjenester/lavkarbonbetong/> . Lastet ned: 19.04.2021.
- Thue, J. V., 2019. Betong. Hentet fra: <https://snl.no/betong> . Lastet ned:14.04.2021.
- Tønne, M., 2019. Kriterier for gjenbruk av rive- og anleggsmasser. Hentet fra: <https://www.franzefoss.no/blogg/kriterier-for-gjenbruk-av-rive-og-anleggsmasser> . Lastet ned 10.05.2021.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>

Appendix A

Deponi/håndtering av betongavfall simapro

Riving -> deponi

- *Waste concrete, not reinforced [Europe without Switzerland?] treatment of waste concrete, not reinforced, collection for final disposal | Cut-off, U (kg)*
- **C1-C4 = 12.4 kgCO₂-eq/tonn**
- Hvorav:
- **C1 Demolition = 4.13 kg CO₂-eq/tonn**
- **C2 Transportation: 3.04 kg CO₂-eq/tonn**
- **C4 Waste disposal = 5.3 kg CO₂-eq/tonn**
- **Kan anta C3 = 0 her.**



Kilde: Ecoinvent, Waste concrete, not reinforced, treatment of waste concrete, collection for final disposal, Europe without Switzerland, ecoinvent database version 3.5

Appendix B



SINTEF Helgeland AS
Postadresse:
Postboks 1364
8602 Mo i Rana

Notat

Foretaksregister:
NO 917 468 044 MVA

Klimagassutslipp fra betongprodukter med resirkulert tilslag

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Ada Louise Heyerdal Jervell

BEHANDLING
UTTALELSE
ORIENTERING
ETTER AVTALE

GÅR TIL

Thomas Dinh

Magnus Sparrevik

Emil Dæhlin

PROSJEKTNR / SAK NR
CIRCULUS

DATO
2021-04-21

GRADERING
Intern

VERSJON

1

Klimafotavtrykket til betongproduktene (A1-A3) har blitt regnet ut vha Simapro og Excel.

Disse EPDene er brukt som datagrunnlag:

- Norcem std FA Kjøpsvik (A1-A3)
- Pukk, produsert ved avd Gullkista, Sortland (A1-A3)

Disse prosessene i Simapro har blitt brukt:

- Tap water, {Europe without Switzerland}, market for
- Transport freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RER}
- Transport freight, lorry 7,5-16 metric ton, EURO6 {RER}
- Electricity, medium voltage {NO}, market for
- Heat, district or industrial, other than natural gas {Europe without Switzerland}, heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace IMW
- Diesel, burned in building machine {GLO}, market for
- Chemical, inorganic {GLO}, market for chemicals

Livssyklus definert i EPD for betongprodukter:

A: Betongproduksjon

- A1: råmaterialer
- A2: transport av råvarer til betongprodusent
- A3: forbruk i produksjon
- A4: transport til byggeplass

B: produkt i bruk

C: levetidens slutt

D: andre effekter



Produkter:

- Ferdigbetong B30 M60 (produsert hos Jaro i Alta). Egenvekt: 2392 kg/m³. I denne resepten er det 600 kg grovtilslag og 1240 kg fintilslag.
- RCAcrete-EN206: CIRCULUS-resept, ferdigbetong (tenkt produsert hos Jaro i Alta) med grov RCA som erstatning for 20 % av grus i resept og fin RCA som erstatning for 5 % av sand i resept. Det tilsvarer en total utbytting av 10 % av tilslaget med resirkulerte masser.
- RCAcrete-max: CIRCULUS-resept, ferdigbetong (tenkt produsert hos Jaro i Alta) med grov RCA som erstatning for 60 % av grus i resept og fin RCA som erstatning for 20 % av sand i resept. Det tilsvarer en total utbytting av 33 % av tilslaget med resirkulerte masser.
- RCZcrete-EN206: CIRCULUS-resept, ferdigbetong (tenkt produsert hos Jaro i Alta) med Re-Con Zero aggregater som erstatning for 20 % av grus i resept.
- RCZcrete-max: CIRCULUS-resept, ferdigbetong (tenkt produsert hos Jaro i Alta) med Re-Con Zero aggregater som erstatning for 60 % av grus i resept.

Antagelser:

- Grovknust revet betong erstatter grovt tilslag (grus) i resept uten å påvirke betongens egenskaper sammenlignet med jomfruelig resept
- Finknust revet betong erstatter fint tilslag (sand) i resept uten å påvirke betongens egenskaper sammenlignet med jomfruelig resept
- Det er ikke behov for økt mengde sement ved bruk av resirkulerte masser
- Klimafotavtrykket til resirkulert tilslag er gitt av klimafotavtrykket fra prosesseringen av revet betong utover nedknusing som i alle tilfeller ville blitt gjort på byggeplass. Riving og første nedknusing regnes som avfallshåndtering og faller på forrige byggs klimafotavtrykk (forrige bygnings end of life, LCA-modul C)
- Resirkulert tilslag, fint og grovt, har samme massetetthet som sand og grus
- Resirkulert tilslag sparer 5 kg CO₂-eq per tonn, sammenlignet med jomfruelig tilslag.
- I tabellen under er det ikke regnet inn transport av resirkulerte masser. 1 kg CO₂ tilsvarer ca. 5 tkm transport. I RCAcrete-max er det 608 kg resirkulerte masser. En besparelse på 4 kg CO₂ per tonn (se tabell under) tilsvarer at massene til denne resepten kan bli transportert 35 km fra rivingsplass til betongprodusent før klimaregnskapet kommer dårligere ut.
- Andre effekter er ikke tatt med
- Effekten av redusert deponi er ikke regnet med her.

Klimafotavtrykket av de ulike betongproduktene er beregnet som følger:

Produkt	Produsent	A1 (kg CO ₂ -eq)	A2 (kg CO ₂ -eq)	A3 (kg CO ₂ -eq)	Totalt A1-A3
Ferdigbetong B30 M60	Jaro, Alta	250	4.29	4.78	259
RCAcrete-EN206	Jaro, Alta	249	4.06	4.78	258
	Jaro, Alta	247	3.50	4.78	255
RCZcrete-EN206	Jaro, Alta	250	4.14	4.71	258
RCZcrete-max	Jaro, Alta	249	3.82	4.71	257

Kommentarer og tilleggsopplysninger til tabellen, til videre utregninger:

A1: Det største utslippet er sement, som utgjør 225 kg CO₂-e. Tilslag utgjør ca. 18 kg CO₂-e.

A2: I Alta finnes et lokalt steinbrudd som Jaro kjøper tilslaget sitt fra (ligger 7 km unna). På steder der dette ikke er tilfelle, kan A2 ha mye høyere verdier, noe som kan gjøre klimaregnskapet for resirkulert betong relativt til jomfruelig betong bedre. For ferdige betongelementer må massene transporteres fra rivingsplass til betongprodusent. Dette må også gjøres for ferdigbetong dersom det skal blandes hos produsent, men et scenario det er verdt å utforske er å anta at blandingen kan foregå på byggeplass og dermed spares transporten av de resirkulerte massene når riving av ett bygg og bygging av et annet

Vedlegg

Vedlegg A: Artikkel: Potential for reducing the life cycle of greenhouse gas emissions through reuse and recycling of concrete

Vedlegg B: Vedlegg B Betongregnskap ved rivning og deponi av bygg A og regnskap for endring av betong i bygg B

Vedlegg C: Klimaregnskap for bygg A og B og materialer fra One Click LCA

Potential for reducing the life cycle of greenhouse gas emissions through reuse and recycling of concrete

Thomas Dinh

UiT Norges arktiske universitet i Narvik, Lodve Langesgate 2, Postboks 385, 8505 Narvik.

15 May 2021

Summary

The study has looked at how recycling and reuse of concrete can reduce waste and environmental impact. In the climate accounting, a baseline was made for “Building A” which was being demolished and ending up in a landfill, while “Building B” was using ordinary standard concrete. The study has explored different scenarios such as using recycled concrete, reuse of hollow core slabs, and low carbon concrete. At the same time avoided landfill to research how the measures can affect greenhouse gas emissions.

The results show that existing quantities of concrete that avoid landfills and are reused will reduce the climate accounts, either by using the material as aggregate or in local use. Reuse of the concrete masses had the greatest environmental benefits, and what constituted the gain was the carbonization, but it depends on the concrete masses being crushed and lying on an open surface so that the carbonization achieves the greatest effect. Reuse of hollow core slabs has the least emissions in production, as these were obtained directly from “Building A”, since the production of hollow core slabs is reduced. The use of low carbon B has lower emissions as the emission factor is lower than concrete with recycled aggregate.

Concrete generates large amounts of waste annually from demolition, rehabilitation and new constructions. With more reuse and recycling of concrete, the amount of waste that ends up in landfills will be reduced significantly. The production of cement in concrete is an energy-intensive process that accounts for large parts of global emissions. The use of low carbon minimizes emissions from cement production, as a result of the proportion of cement that is replaced by other raw materials such as, fly ash, slag etc. With an increasing focus on reducing emissions from production, there is a need to facilitate the reuse of concrete. Thus, emissions from the extraction of new raw materials can be reduced and facilitate a circular economy.

Keyword: Recycled concrete, hollow core slabs, LCA

1. Introduction

1.1 Background

The world is facing major climate change and the number of greenhouse gases continues to increase. Climate change is visible all over the world, and the global average temperature has risen 1 degree Celsius since pre-industrial times, and in addition, sea levels continue to rise (FN, 2021). In this connection, the UN has a goal of reducing greenhouse gas emissions. Through the Paris Agreement, Norway and the EU have committed to a common emission reduction target corresponding to 50-55 percent by 2030, compared with the 1990 level (Regjeringen.no, 2020). Through the EU, the main goals

have been set for construction and demolition waste (CDW). The waste must be treated environmentally and contribute to the circular economy of the waste that is generated (EU, 2008). The latest report from the UN Climate Panel (FN, 2020) stated that it was important to limit the increase in the average temperature to 1.5 degrees Celsius and that everything above would lead to a greater degree of global warming.

Construction has long been an important part of society. Concrete is the most widely used building material in the construction industry, and twice as much concrete is used compared to other building materials combined. The main component in concrete is cement, which releases significant amounts of carbon dioxide. The production of concrete has a major impact on the environment and is today one of the major environmental problems in the construction industry. Cement is assumed to contribute to 7-8 percent of greenhouse gas emissions worldwide, with cement in concrete accounting for 90 percent of emissions (Kvellheim & Bramslev, 2020).

One of the possibilities for reducing greenhouse gas emissions is the reuse of materials. The Norwegian construction industry accounts for three million tonnes of construction waste annually. It can be assumed that the environmental impact will be reduced by recycling and reusing. The waste sector has the potential to reduce emissions. It will be beneficial with material recycling rather than incineration in the waste facilities.

The purpose of the thesis is to explore different perspectives on the environmental impact of circular use of concrete and how it can reduce the climate footprint in the industry. To do this, the following research question is defined:

"How can the environmental impact be reduced by using concrete waste from a typical demolition project?"

1.2 Life cycle assessment (LCA)

LCA, life cycle assessment, is a standardized method for mapping and assessing the environmental impact of a product or building throughout its life cycle, from the extraction of raw materials until it is disposed of (SINTEF, 2015). Performing an LCA is an important tool for identifying production processes in which the entire value chain of the product is included in the analysis. This applies to all transport and energy use required to produce. Such an analysis can indicate the potential for improvement and support the mapping of negative effects on the environment. Such tool can be useful for comparing different design alternatives at building level, construction level, or different material alternatives (SINTEF, 2015).

There are two overall frameworks for LCA. It distinguishes between two standardized ISO standards:

- NS-EN ISO 14040: 2006- «Environmental management- Life cycle assessments- Principles and framework»
- NS-EN ISO 14044: 2006- «Environmental management - Life cycle assessments - Requirements and guidelines»

System boundaries indicate which processes are to be included in the system. The life cycle phases are defined in NS-EN 15978 for the entire building. NS-EN 15978 divides the phases into production (A1-A3), the construction phase (A4-A5), the use phase (B1-B7), and the disposal phase (C1-C4), and in addition, there is a phase after the life cycle D, which is potential for recycling.

2. Case

In this task, two buildings have been used. “Building A” will be demolished, while “Building B” will be built completely out of new materials. “Building A” is located at Porsangermoen, Norway. In connection with the development of land defense in Finnmark, new crew accommodation and a building for the commander will be constructed (Forsvarsbygg, 2021). Three buildings will be planned and built with smaller apartments for the commander. Information about building A is taken from an environmental survey, which was carried out by Multiconsult. It has used SimpleBIM to extract quantities and types of materials in both buildings.

“Building A” is a concrete building with 3 floors including a basement, which was built in 1956. The building consists of the main building and an extension. It was determined in this research to exclude the extended building, and only do greenhouse gas calculations for the main building. The main building has a gross area of approx. 1980 m². Figure 1 shows a picture of “Building A”.



Figure 1. Picture of the facade of the main building of Building A. Taken from the environmental survey Halka karserne, from Multiconsult.

Covers and walls consist of concrete. The facade is clad with stone slabs and the roof is made of corrugated steel slabs. The support system is assumed to be cast-in-place concrete.

“Building B” consists of 3 floors and has a total gross area of around 1374 m². Floor due to be assumed to be concrete and floor separators consisting of hole coverings. The outer wall is made of an insulated truss, and the inner wall is made of steel posts filled with insulation. The roof is believed to be made of rafters. Figure 2 shows a picture of “Building B”.

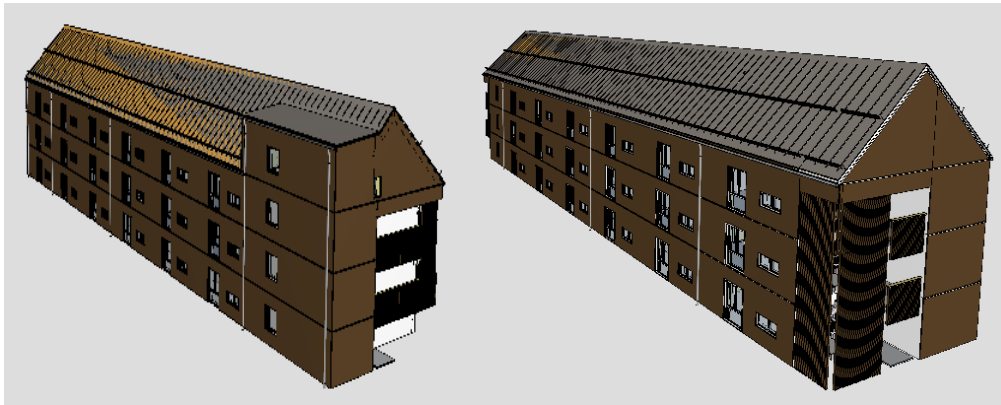


Figure 2. Picture of the new building. Screenshot from SimpleBIM

In Table 1, there are quantities of concrete from buildings A and B, which are used to calculate greenhouse gas emission.

	Precast concrete building A		Precast concrete building B	
Table of building element	m3	kg	m3	kg
Ground and foundations	39,932	95837	27,717	66520
Load-bearing system	2,93	7031	12,193	29263
External walls	182,75	438600		
Internal walls	180,3	432720		
Slabs	165	396000	160,3	384720
Stairs	74	177600	65	156000
Total	644,912	1547788	265,21	636503
Hollow core slabs from building A og B				
	Building A		Building A	
	m3	kg	m3	kg
	264	369600	183,2	246458

Table 1. Quantities of concrete from buildings A and B.

3. Method

The thesis aims to analyze environmental impact through climate accounting during demolition and newly constructed building. The phases that have been included in the climate accounts in new buildings are the following:

Product phase: A1-A3

Construction phase: A4-A5

Stage of use: B1-B7

End of life: C1-C4

The building to be demolished has only considered the phase from C1-C4. In addition, potential savings will be considered in the carbonization of the concrete masses that are reused by demolition, which will be in phase D. This will then be continued in the accounts for the new building.

The functional unit used is a 1 m² gross area, and the lifespan of the new building is set at 60 years. The results of the total building's emissions are given in units of kg CO₂ equivalents.

3.2. Greenhouse gas calculation

In the greenhouse gas calculation of the buildings, One Click LCA, developed by Bionova, has been used in the greenhouse gas calculation of the cases. It is a tool used to perform greenhouse gas calculations and can analyze emission consequences when planning and designing buildings (OneClickLCA, u.å). The software has a large collection of EPDs, which make it effective to change and look at different materials according to the climate footprint. The models used for greenhouse gas calculation are of IFC format, which stands for "Industry Foundation Classes". This is a standardized file format that enables the exchange of models between one party to another in the construction industry (buildingSMART, u.å). SimpleBIM has been used to obtain quantities and data from the IFC-file. SimpleBIM is a program that can be used to read and exclude IFC-files (SimpleBIM, u.å). In this thesis, NS3720 has been used to calculate climate emissions from the buildings.

3.2.1 Scenarios

This thesis has looked at different scenarios to see which factors have the greatest impact on the results. Changes that have been made:

- Building A is demolished, and the demolition materials end up in the landfill. Building B is built as standard (Building standard there are no requirements for specifications or properties for the concrete).
- Reuse of the concrete masses is used locally. Building B is built as standard.
- Use of recycled aggregate of the concrete masses in building B.
- Reuse of perforated decks from Building A, remaining parts in the landfill.
- Change of standard concrete to low carbon in building B.

3.2.2 Emission factor

From the building to be demolished, factors for C1-C4 have been used (Appendix A):

- C1: 4.13 kg CO₂e / ton
- C2: 1.33 kg CO₂e / ton (7 km to landfill)
- C3-C4: 5.3 kg CO₂e / ton

In the new building, concrete values from the table shall be used. It has been chosen to use concrete B30 and concrete with a maximum recycled aggregate. Table 3.1 lists the emission factor for the concrete types.

Product	Producer	A1	A2	A3	A1-A3
Concrete B30 M60	Jaro, Alta	250	4,29	4,78	259
RCAcrete Max	Jaro, Alta	247	3,50	4,78	255

Table 2. Table of emission factor for concrete for standard and recycled concrete. Given in kg CO₂-eq/m³ (Appendix B).

4. Results

The concrete accounting in Table 3 shows the largest reduction in scenario 2 by avoiding landfill and waste treatment, followed by reuse of hollow core slabs. Demolition in building B is the same in all cases.

Phase D has been set up, which is a possible gain by reusing the concrete masses through carbonation. When reusing the concrete masses from “Building A”, the concrete masses must be used locally, where the masses are crushed and carbonized for 60 years. The emissions that are possible gains in phase D in building A are summed up in the accounting for “Building B”.

Scenario	Building A			Building B	Total	
	C1	C2-C4	D	A1-A5- B1-B5		
1. Landfills	7,91	12,71		117,45	9,61	147,68
2. Recycled locally	7,91	-	-29,27	117,45	9,61	105,70
3. Building B with lavkarbon B	7,91	12,71		102,12	9,61	132,35
4. Recycled aggregate in building B	7,91	11,94		109,01	9,61	138,47
5. Reuse of hollow core slabs	7,91	11,01		87,59	9,61	116,12

Table 3. Concrete emission accounting. Giving in ton CO₂-eq

Figure 3 shows a presentation of the concrete accounting in a graph. The largest emissions from “Building B” is generated during the production phase. Scenarios 1 and 2 have the highest emissions, which have been calculated on concrete with B30. In scenario 3 with low-carbon concrete class B gave lower emissions compared to recycled aggregate in concrete, even though there was a reduction in concrete masses, which will be used as landfill. In scenario 5 with the reuse of hollow core slabs, gained the highest of all the cases in the development of “Building B”. The result was expected - as there is no production of hollow core slabs decks.

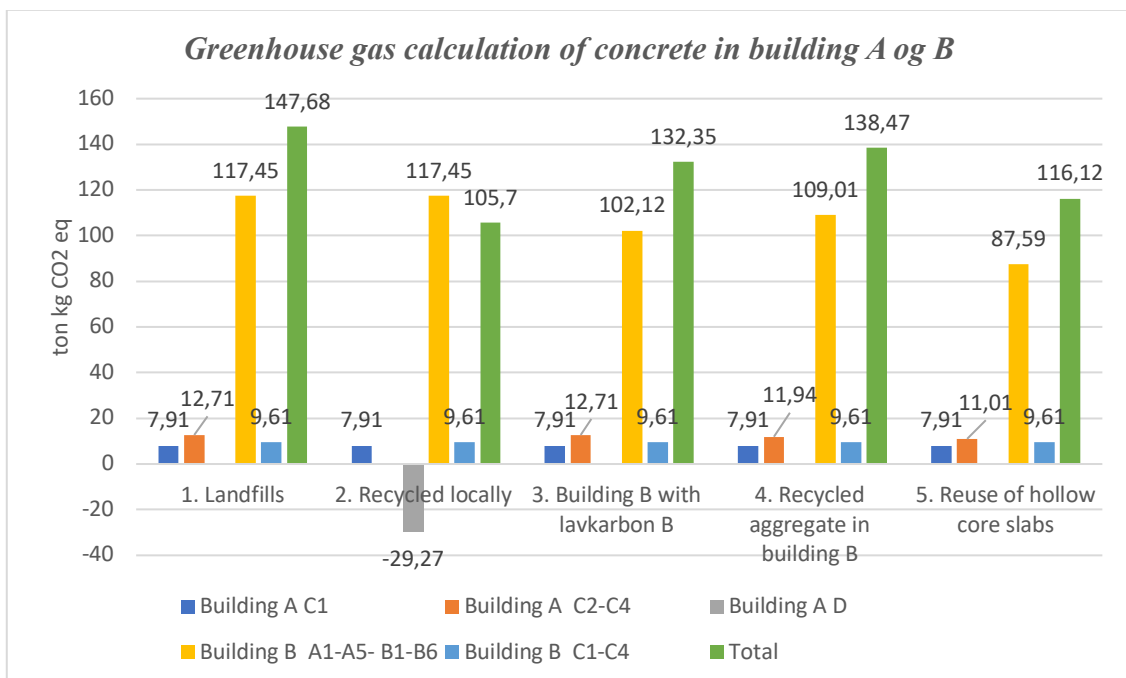


Figure 3. Graph of the cases in concrete emission accounting. Given ton kg CO₂-eq.

Table 4 shows the total, including all materials to be demolished in building A, and all materials that have been used in building B. The total greenhouse gas emissions are the summation of the demolition of “Building A” and “Building B” from phase A1-C4.

Scenario	Building A		Building B		Total
	C1-C4	D	A1-A5- B1-B5	C1-C4	
1. Landfills	31,74		371,92	26,77	430,43
2. Recycled locally	19,03	-29,27	371,92	26,77	388,45
3. Building B with lavkarbon B	31,74		356,59	26,77	415,10
4. Recycled aggregate in building B	30,67		363,48	26,77	420,92
5. Reuse of hollow core slabs	30,04		340,99	26,77	397,80

Table 4. Total greenhouse gas calculation. Given ton CO₂ eq.

Table 4 shows that reuse of the concrete masses and reuse of hollow core slabs has the most environmental benefits. The climate accounting show that avoiding landfilling and reuse of the concrete masses locally, gives the highest gain among all the cases, and in addition, building B is built with concrete B30. Low carbon concrete produced lower emissions than concrete with recycled aggregate. Scenario 1 shows the highest emissions - where everything ended up in a landfill and is built as standard.

5. Discussion

5.1. Use of recycled aggregates versus low carbon

The results show that low carbon B generates less greenhouse gas emissions when compared to recycled aggregate. Both have the same transport distance and were intended to be produced at Jaro. The emission factor in phase A1-A3 for low carbon was 230 kg CO₂eq /m³, and concrete with maximum recycled was 255 kg CO₂eq /m³. After observations it's clear that the largest emissions are from cement production. The production of the cement in A1 is 225 kg CO₂eq /m³ for concrete with recycled aggregate. While in low carbon, the amount of cement has been cut down and replaced with fly ash or slag so that the emission factor is significantly less. In the recipe for RCAcrete max, it was assumed in the task that the concrete masses are crushed, and the concrete is mixed on the construction site. If the concrete is to be mixed at the manufacturer, the recycled aggregate from the demolition must be transported to the manufacturer. From Appendix B, the recipe for the concrete will be higher if the concrete masses must be transported to the manufacturer if it is longer than 35 km. In this case, Jaro is 185 km from the construction site. Thus, the climate accounts for recycled concrete will make virgin concrete better in the accounting. The calculations have not taken into account the equipment used for crushing the concrete masses in phase A3 for RCAcrete max. In the thesis, it was assumed the same for ready-mixed concrete. In reality there will be additional emissions caused by machines associated to concrete crushing in phase A3.

5.2. Reuse of hollow core slabs

Reuse of hollow core slabs resulted in a significant reduction in the climate accounts. This is because perforated tires are not produced from phase A1-A3. When reusing the hollow core slabs, it was assumed in the assignment that hollow core slabs can be tested on the construction site for reuse. From the governmental building in Oslo which is being demolished, hollow core slabs were dismantled and will further be reused in Kristian August gate 13 in Oslo. Before reusing, the masses were sent to SINTEF in Oslo for testing and then sent to the construction site (Aarhus, 2019). The study has assumed that it is possible to do necessary tests before the hollow core slabs can be used. Thus, the hollow core slabs can be short-travelled, and extra emissions will not occur in phases A1-A3. If the masses must be transported for testing to Trondheim, the emissions must be included in the accounting. The simulations in thesis have not taken this into account. When removing the hollow core slabs from demolition, it is required that the levelling above the slabs is removed. How extensive this is having has not been researched in this paper. The factor used for C1 was 4.13 kg CO₂eq /ton, which includes crushing. Disassembly of hollow core slabs will not require the slabs to be crushed, but only dismantled, and then the emissions will be reduced. As data for the hole decks were not available, the same value for ready-mixed concrete was assumed.

5.3 Carbonization effect versus landfill

In scenario 2, it was investigated how the greenhouse gas emissions will be by avoiding concrete masses to end up in the landfill. The results showed a saving of 9.5 percent including carbonation of the concrete over 60 years. For carbonization to be effective, the concrete masses must be crushed into smaller pieces so more surface can be created. Carbonization is a controversial topic, in current standards allow for the inclusion of carbonation as long as it reflects the purpose and scope of the study (Lyng, Rønning, Vold, Svanes, 2014). In the total accounts, the uptake of the carbonization of the concrete masses is included as negative emissions through the use phase of 60 years in “Building B”. When reusing the concrete masses that are avoiding landfills, the masses must be reusable for a purpose that will provide environmental benefits. For the concrete masses to be reusable, the reinforcement and environmentally hazardous substances must be removed and can then be used further. It is thought that mass is used for landscaping. Another use is to crush the masses into the gravel so that it is used for road filling. Then there will be no discharge of new raw materials for this. This study has not included landscape design, fill mass or road filling in the simulations. Reusing the concrete masses will absorb CO₂ uptake. In the same way that wood does. Reuse and recycling of concrete will minimize waste that ends up in landfills and reduce the extraction of new raw materials. Given the circular principles that have been made in this task, it will thus pay to reuse the concrete masses.

6. Conclusion

The study looked at how recycling and recycling of concrete can reduce waste and environmental impact. In the climate accounts, a baseline was made for “Building A” being demolished and ending up in a landfill, and “Building B” using ordinary standard concrete. The study has looked at different scenarios using recycled concrete, reuse of hollow core slabs, and low carbon concrete. At the same time avoided landfill, to research how the measures can affect greenhouse gas emissions.

The results show that existing quantities of concrete that avoid landfills and are reused will reduce the climate accounts, either by using the material as aggregate or in local use. Reuse of the concrete masses had the greatest environmental benefits, and what constituted the gain was the carbonization, but it depends on the concrete masses to be crushed and lying on an open surface so carbonization achieves

the greatest effect. Reuse of hollow core slabs has the least emissions in production, as these were obtained directly from “Building A”, since the production of hollow core slabs is reduced. The use of low carbon B has lower emissions as the emission factor is lower than concrete with recycled aggregate.

Concrete generates large amounts of waste annually from demolition, rehabilitation, and new construction. With more reuse and recycling of concrete, the amount of waste that ends up in landfills will be reduced significantly. The production of cement in concrete is an energy-intensive process that accounts for large parts of global emissions. The use of low carbon minimizes emissions from cement production, as a result of the proportion of cement that is replaced by other raw materials such as, fly ash, slag etc. With an increasing focus on reducing emissions from production, there is a need to facilitate the reuse of concrete. Thus, emissions from the extraction of new raw materials can be reduced and facilitate a circular economy.

References

- Aarhus, 2019. Podcast: Hulldekker fra Regjeringskvartalet får nytt liv med ombruk, <https://www.bygg.no/article/1413140> (11.05.2021).
- buildingSMART, u.å. Industry Foundation Classes (IFC)- An Introduction. <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/> (14.05.2021).
- EU, 2008. Construction and demolition waste, https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en 1(3.05.2021).
- FN, 2021. Stoppe klimaendringer, <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene> (19.01.2021).
- FN, 2020. Parisavtalen. <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen> (21.02.2021).
- Forsvarsbygg, 2021. Nye byggeprosjekt klar for anbud på Porsangermoen, <https://www.forsvarsbygg.no/no/nyheter/nyhetsarkiv-finnmark-landforsvar/nye-byggeprosjekt-klar-for-anbud-pa-porsangmoen/> (13.05.2021).
- Kvellheim, A.K & Bramslev, K. 2020. Betong er en del av klimaløsningen, <https://www.tu.no/artikler/betong-er-en-del-av-klimalosningen/489468> (14.04.2021).
- Lyng, K.A., Rønning, A., Vold, M. & Svanes, E. 2014. Karbonopptak i betong i LCA og EPD. ISBN: 978-82-7520-712-6
- Regjeringen.no. 2020. Klimaendringer og norsk klimapolitikk, <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/> (18.01.2021)
- One Click LCA, u.å. Calculate your environmental impacts in minutes, <https://www.oneclicklca.com> (13.05.2021)
- SINTEF, 2015. Metodiske valg og problemstillinger ved livsløpsvurderinger (LCA), https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninger_innfoering_og_begreper (13.02.2020).
- SimpleBIM, u.å. Makes BIM normal, <http://simplebim.com> (13.04.2021)
- Standard Norge, 2011. NS-EN 15978- Bærekraftige byggverk. Vurdering av bygningers miljøpresentasjon.
- Standard Norge, 2006 A. NS-EN ISO 14040- Miljøstyring- Livsløpsvurdering- Prinsipper og rammeverk.
- Standard Norge, 2006 B. NS-EN ISO 14044- Miljøstyring- Livsløpsvurdering- Krav og retningslinjer.

Vedlegg B Betongregnskap ved rivning og deponi av bygg A og regnskap for endring av betong i bygg B

Bygg A						
Scenario: Rives og deponi						
Avsnitt	Ressurstype	Brukerinngang	Enhet	Masse kg	Klimgassutslipp kg CO ₂ e	Transportavstand km
C1	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	644,912	m3	1547788	6392,36	
C1	Hulldekker generisk B30	264	m3	369600	1526,45	
C2	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	644,912	m3	1547788	2058,56	7 (til deponi)
C2	Hulldekker generisk B30	264	m3	369600	491,57	7 (til deponi)
C3-C4	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	644,912	m3	1547788	8203,28	
C3-C4	Hulldekker generisk B30	264	m2	369600	1958,88	
C1-C4					20631,1	
Scenario: Rives og gjenbruk på plass						
C1	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	644,912	m3	1547788	6392,36	
C1	Hulldekker generisk B30	264	m3	369600	1526,45	7 (til deponi)
C2	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	644,912	m3	1547788	0	7 (til deponi)
C2	Hulldekker generisk B30	264	m3	369600	0	
C3-C4	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	644,912	m3	1547788	0	
C3-C4	Hulldekker generisk B30	264	m3	369600	0	
C1-C4					7918,81	
D	Karbonatisering	908,912	m3	1917388	-29266,97	
Scenario: Rives og deponi - tilslag til bygg B						
C1	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	644,912	m3	1547788	6392,36	
C1	Hulldekker generisk B30	264	m3	369600	1526,45	
C2	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	577,81	m3	1386752,49	1844,38	7 (til deponi)
C2	Hulldekker generisk B30	264	m3	369600	491,57	7 (til deponi)
C3-C4	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	577,81	m3	1386752,49	7349,79	
C3-C4	Hulldekker generisk B30	264	m2	369600	1958,88	
C1-C4					19563,43	
Scenario: Rives og deponi - hulldekker til bygg B						
C1	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	644,912	m3	1547788	6392,36	
C1	Hulldekker generisk B30	264	m3	369600	1526,45	
C2	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	644,912	m3	1547788	2058,56	7 (til deponi)
C2	Hulldekker generisk B30	80,8	m3	113120	150,45	7 (til deponi)
C3-C4	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	644,912	m3	1547788	8203,28	
C3-C4	Hulldekker generisk B30	80,8	m3	113120	599,54	
C1-C4					18930,64	

Thomas Dinh / Masteroppgave: Potensial for reduksjon av livssyklus klimagassutslipp ved gjenbruk og resirkulering av betong, UIT (2021)

Bygg B							
Scenario: Nybygg med standard betong							
Avsnitt	Ressurstype	Brukerinngang	Enhet	Masse kg	Klimagassutslipp kg CO2e	Transportavstand km	Datakilde
A1-A3	Ferdigbetong B30 M60	265,21	m3	636503	68689,39		Jaro, resept fra appendix
A1-A3	Huldekker generisk B30	183,2	m3	256480	28046,3		Database i One Click LCA
A4	Ferdigbetong B30 M60	265,21	m3	636503	15307,93	185	Jaro, resept fra appendix
A4	Huldekker generisk B30	183,2	m3	256480	1816,94	185	Database i One Click LCA
A5	Ferdigbetong B30 M60	265,21	m3	636503	3594,7		Jaro, resept fra appendix
A5	Huldekker generisk B30	183,2	m3	256480	0		Database i One Click LCA
A1-A5					117455,26		
C1-C4	Ferdigbetong B30 M60	265,21	m3	636503	6848,77	7 (til deponi)	Jaro, resept fra appendix
C1-C4	Huldekker generisk B30	183,2	m3	256480	2759,72	7 (til deponi)	Database i One Click LCA
C1-C4					9608,49		
Scenario: Nybygg med lavkarbon B							
A1-A3	Ferdigbetong generisk, B30 lavkarbon B	265,21	m3	636503	60998,3		Database i One Click LCA
A1-A3	Huldekker generisk B30 lavkarbon B	183,2	m3	256480	20663,93		Database i One Click LCA
A4	Ferdigbetong B30 M60 lavkarbon B	265,21	m3	636503	15307,93	185	Database i One Click LCA
A4	Huldekker generisk B30 lavkarbon B	183,2	m3	256480	1816,94	185	Database i One Click LCA
A5	Ferdigbetong generisk, B30 lavkarbon B	265,21	m3	636503	3334,6		Database i One Click LCA
A5	Huldekker generisk B30 lavkarbon B	183,2	m3	256480	0		Database i One Click LCA
A1-A5					102121,7		
C1-C4	Ferdigbetong generisk, B30 lavkarbon B	265,21	m3	636503	6257,92	7 (til deponi)	Database i One Click LCA
C1-C4	Huldekker generisk B30	183,2	m3	256480	2759,72	7 (til deponi)	Database i One Click LCA
C1-C4					9017,64		
Scenario: Nybygg med resirkulert tilslag							
A1-A3	Ferdigbetong B30 M60 RC Acrete-max	265,21	m3	636503	67628,56		Jaro, resept fra appendix
A1-A3	Huldekker generisk B30 lavkarbon B	183,2	m3	256480	20663,93		Database i One Click LCA
A4	Ferdigbetong B30 RC Acrete-max	265,21	m3	636503	15307,93	185	Jaro, resept fra appendix
A4	Huldekker generisk B30 lavkarbon B	183,2	m3	256480	1816,94	185	Database i One Click LCA
A5	Ferdigbetong B30 M60 RC Acrete-max	265,21	m3	636503	3594,7		Jaro, resept fra appendix
A5	Huldekker generisk B30 lavkarbon B	183,2	m3	256480	0		Database i One Click LCA
A1-A5					109012,06		
C1-C4	Ferdigbetong B30 RC Acrete-max	265,21	m3	636503	6848,77	7 (til deponi)	Database i One Click LCA
C1-C4	Huldekker generisk B30	183,2	m3	256480	2759,72	7 (til deponi)	Database i One Click LCA
C1-C4					9608,49		
Scenario: Ombruk av huldekker							
A1-A3	Ferdigbetong B30 M60	265,21	m3	636503	68689,39		Jaro, resept fra appendix
A1-A3	Huldekker generisk B30 fra riving bygg A	183,2	m3	256480	0		Database i One Click LCA
A4	Ferdigbetong B30 M60	265,21	m3	636503	15307,93	185	Jaro, resept fra appendix
A4	Huldekker generisk B30 fra riving bygg A	242,33	m3	581591	0	185	Database i One Click LCA
A5	Ferdigbetong B30 M60	265,21	m3	636503	3594,7		Jaro, resept fra appendix
A5	Huldekker generisk B30 fra riving bygg A	183,2	m3	256480	0		Database i One Click LCA
A1-A5					87592,02		
C1-C4	Ferdigbetong B30 M60	265,21	m3	636503	6848,77	7 (til deponi)	Jaro, resept fra appendix
C1-C4	Huldekker generisk B30 fra riving bygg A	183,2	m3	256480	2759,72	7 (til deponi)	Database i One Click LCA
C1-C4					9608,49		

Vedlegg C Klimaregnskap for bygg A og B og materialer fra One Click LCA

Halka: Klimagassregnskap etter NS3720. Rives og deponi					Klimagassutslipp kg CO2ekv				
Bygningsdels	Ressurstype	Brukerinngang	Enhet	Masse kg	C1	C2	C3-C4	C1-C4	Kilde av utlipp i C1-C4
21 - Grunn og fundamenter	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	95837	kg	95837	395,8	127,46	507,94	1031,2	Appendix A
21 - Grunn og fundamenter	Forsterkning stål for betong (rebar)	6237	kg	6237				48,34	One Click LCA
22 - Bæresystemer	Ferdigbetong for konstruksjoner (bjelker, søyler, piling)	7031	kg	7031	29,04	9,35	37,26	75,65	Appendix A
22 - Bæresystemer	Forsterkning stål for betong (rebar)	583	kg	583				4,52	One Click LCA
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	7387	kg	7387				57,25	One Click LCA
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	35370	kg	35370				274,12	One Click LCA
23 - Yttervegger	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	731	m2	438600	1811,42	583,34	2324,58	4719,34	Appendix A
23 - Yttervegger	Forsterkning stål for betong (rebar)	17535	kg	17535				135,9	One Click LCA
23 - Yttervegger	Metall- og industrideører	16	m2	696				0,56	EPD-MT-0.1.1
23 - Yttervegger	Aluminum profile for windows and doors, 2600 kg/m3	89	kg	89				0,24	S-P-00833
23 - Yttervegger	3-lags vindu med tre-aluminiumskledning	198	m2	5940				258,81	One Click LCA
23 - Yttervegger	Glassullisolasjon	731	m2	913,75				39,81	One Click LCA
23 - Yttervegger	Naturstein	731	m2	59211				161,6	S-P-01058
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	1186	kg	1186				148,87	NEPD-376-262-EN
23 - Yttervegger	Strukturelle stål- og stålprofiler	11690	kg	11690				90,6	One Click LCA
24 - Innervegger	Ferdigbetong for yttervegger og gulv	1202	m2	432720	1787,13	575,52	2293,42	4656,07	Appendix A
24 - Innervegger	Forsterkning stål for betong (rebar)	15326	kg	15326				118,78	One Click LCA
24 - Innervegger	Tre- og trebrettdører	195	m2	7515,28				943,35	NEPD-1535-525-EN
24 - Innervegger	Mørtel (murverk / murstein)	1202	m2	1682,8				4,59	INIES_DMOR20170317_174244, 6396
24 - Innervegger	Mørtel (murverk / murstein)	1202	m2	1682,8				4,59	INIES_DMOR20170317_174244, 6396
25 - Dekker	Ferdigbetong for yttervegger og gulv B30 generisk	660	m2	237600	981,29	316,01	1259,28	2556,58	Appendix A
25 - Dekker	Ferdigbetong for yttervegger og gulv B30	1320	m2	158400	654,19	210,67	839,52	1704,38	Appendix A
25 - Dekker	Hulldekke B30	1320	m2	369600	1526,45	491,57	1958,88	3976,9	Appendix A
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	2930	kg	2930				22,71	One Click LCA
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	17820	kg	17820				138,1	One Click LCA
25 - Dekker	EPS (utvidet polystyren) isolasjon	660	m2	2640				35,74	NEPD-1236-244-EN
25 - Dekker	Dampsperre i plast, 0.2 mm	660	m2	122,1				5,32	NEPD-341-230-NO
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	660	m2	18480				50,44	EPD-PCI-20160262-IBE1-DE
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	1320	m2	36960				100,87	EPD-PCI-20160262-IBE1-DE
25 - Dekker	Gulvbelegg vinyl	1057	m2	1715,91				4334,13	INIES_IREV20160331_155658, 4881
25 - Dekker	Himlingsplater	1320	m2	5280				14,41	S-P-00891
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	26	m3	10920				1370,73	NEPD-308-179-EN
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	59	m2	569,94				71,54	NEPD-308-179-EN
26 - Yttertak	Dampsperre i plast, 0.2 mm	660	m2	122,1				5,32	NEPD-341-230-NO
26 - Yttertak	Glassullisolasjon	660	m2	4950				215,68	One Click LCA
26 - Yttertak	OSB plater	660	m2	6039				54,59	One Click LCA
26 - Yttertak	Plastmembraner	660	m2	924				2333,89	BREG EN EPD000067
26 - Yttertak	Korrugerte stålplater	660	m2	5181				4,18	INIES_CBAR20120105_153612_1410, 4801
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Ferdigbetong for yttervegger og gulv B30	19	m3	45600	188,33	60,65	241,68	490,66	Appendix A
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Ferdigbetong for yttervegger og gulv B30	55	m3	132000	545,16	175,56	699,6	1420,32	Appendix A
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	1915	kg	1915				14,84	One Click LCA
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	5520	kg	5520				42,78	One Click LCA
Sum					31738,3	kg CO2e		31738,3	

Thomas Dinh / Masteroppgave: Potensial for reduksjon av livssyklus klimagassutslipp ved gjenbruk og resirkulering av betong, UiT (2021)

Bygg A: Klimagassregnskap etter NS3720. Rives og betongmassene gjenbrukes					Klimagassutslipp kg CO2ekv					
Bygningdels	Ressurstype	Brukerinngang	Enhet	Masse kg	C1	C2	C3-C4	C1-C4	D	Kilde av utslipp C1-C4
21 - Grunn og fundamenter	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	95837	kg	95837	395,8			395,8		Appendix A
21 - Grunn og fundamenter	Forsterkning stål for betong (rebar)	6237	kg	6237				48,34		One Click LCA
22 - Bæresystemer	Ferdigbetong for konstruksjoner (bjelker, søyler, piling)	7031	kg	7031	29,04			29,04		Appendix A
22 - Bæresystemer	Forsterkning stål for betong (rebar)	583	kg	583				4,52		One Click LCA
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	7387	kg	7387				57,25		One Click LCA
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	35370	kg	35370				274,12		One Click LCA
23 - Yttervegger	Ferdigbetong, normal styrke, generisk, B30	731	m2	438600		1811,42			1811,42	
23 - Yttervegger	Forsterkning stål for betong (rebar)	17535	kg	17535				135,9		One Click LCA
23 - Yttervegger	Metall- og industrideører	16	m2	696				0,56		EPD-MT-0.1.1
23 - Yttervegger	Aluminum profile for windows and doors, 2600 kg/m3	89	kg	89				0,24		S-P-00833
23 - Yttervegger	3-lags vindu med tre-aluminiumskledning	198	m2	5940				258,81		One Click LCA
23 - Yttervegger	Glassullisolasjon	731	m2	913,75				39,81		One Click LCA
23 - Yttervegger	Naturstein	731	m2	59211				161,6		S-P-01058
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	1186	kg	1186				148,87		NEPD-376-262-EN
23 - Yttervegger	Strukturelle stål- og stålprofiler	11690	kg	11690				90,6		One Click LCA
24 - Innervegger	Ferdigbetong for yttervegger og gulv	1202	m2	432720	1787,13				1787,13	
24 - Innervegger	Forsterkning stål for betong (rebar)	15326	kg	15326				118,78		One Click LCA
24 - Innervegger	Tre- og trebrettører	195	m2	7515,28				943,35		NEPD-1535-525-EN
24 - Innervegger	Mørtel (murverk / murstein)	1202	m2	1682,8				4,59		INIES_DMOR20170317_174244, 6396
24 - Innervegger	Mørtel (murverk / murstein)	1202	m2	1682,8				4,59		INIES_DMOR20170317_174244, 6396
25 - Dekker	Ferdigbetong for yttervegger og gulv B30 generisk	660	m2	237600	981,29			981,29		Appendix A
25 - Dekker	Ferdigbetong for yttervegger og gulv B30	1320	m2	158400				654,19		Appendix A
25 - Dekker	Hulldekke B30	1320	m2	369600	1526,45			1526,45		Appendix A
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	2930	kg	2930				22,71		One Click LCA
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	17820	kg	17820				138,1		One Click LCA
25 - Dekker	EPS (utvidet polystyren) isolasjon	660	m2	2640				35,74		NEPD-1236-244-EN
25 - Dekker	Dampsperre i plast, 0.2 mm	660	m2	122,1				5,32		NEPD-341-230-NO
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	660	m2	18480				50,44		EPD-PCI-20160262-IBE1-DE
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	1320	m2	36960				100,87		EPD-PCI-20160262-IBE1-DE
25 - Dekker	Gulvbelegg vinyl	1057	m2	1715,91				4334,13		INIES_IREV20160331_155658, 4881
25 - Dekker	Himlingsplater	1320	m2	5280				14,41		S-P-00891
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	26	m3	10920		188,33			1370,73	
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	59	m2	569,94				71,54		NEPD-308-179-EN
26 - Yttertak	Dampsperre i plast, 0.2 mm	660	m2	122,1				5,32		NEPD-341-230-NO
26 - Yttertak	Glassullisolasjon	660	m2	4950				215,68		One Click LCA
26 - Yttertak	OSB plater	660	m2	6039				54,59		One Click LCA
26 - Yttertak	Plastmembraner	660	m2	924				2333,89		BREG EN EPD000067
26 - Yttertak	Korrugerte stålplater	660	m2	5181				4,18		INIES_CBAR20120105_153612_1410, 4801
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Ferdigbetong for yttervegger og gulv B30	19	m3	45600	545,16			188,33		Appendix A
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Ferdigbetong for yttervegger og gulv B30	55	m3	132000				545,16		Appendix A
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	1915	kg	1915				14,84		One Click LCA
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	5520	kg	5520				42,78		One Click LCA
	Karbonatisering	908,912		1917388					-29266,97	One Click LCA
Sum					19026,01	kg CO2e		19026,01		

Thomas Dinh / Masteroppgave: Potensial for reduksjon av livssyklus klimagassutslipp ved gjenbruk og resirkulering av betong, UiT (2021)

Bygg B: Klimagassregnskap etter NS3720. Standard betong																
Byggningsdels	Ressurstype	Brukerinngang	Enhet	Masse kg	A1-A3	A4	A5	B1-B5	C1	C2	C3-C4	C1-C4	Levetid	EPD	Transport km	
21 - Grunn og fundamenter	Ferdigbetong B30 M60	66520	kg	66520	7178,7	1599,83	375,68			274,73	88,47	352,56	715,76	60	Appendix B	185
21 - Grunn og fundamenter	Forsterkning stål for betong (rebar)	4329	kg	4329	2699,45	18,23	133,44						33,55	60	Database i One Click LCA	110
22 - Bæresystemer	Ferdigbetong B30 M60	29263	kg	29263	3157,99	703,78	165,27			120,86	38,92	155,09	314,87	60	Appendix B	185
22 - Bæresystemer	Forsterkning stål for betong (rebar)	2385	kg	2385	1487,22	10,05	73,51						18,48	60	Database i One Click LCA	110
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	6783	kg	6783	24525,91	28,57	812,03						52,57	60	Database i One Click LCA	110
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	19224	kg	19224	39920,2	80,98	1324,96						148,99	60	Database i One Click LCA	110
23 - Yttervegger	Metall- og industridører	18	m2	783	1485,65	3,9	0	1490,17					0,63	30	EPD-MT-0.1.1	130
23 - Yttervegger	Aluminium (vindu)	71	kg	71	346,98	0,11	26,05						0,19	60	S-P-00833	40
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	81	m2	1632,96	206,06	8,13	75,03						204,98	60	NEPD-308-179-EN	130
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	91	m2	458,64	57,88	2,28	21,07						57,57	60	NEPD-308-179-EN	130
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	117	m2	12186,72	1537,85	60,67	559,96						1529,73	60	NEPD-308-179-EN	130
23 - Yttervegger	3-lags vindu	158	m2	4740	3815,82	10,89	40,32	4033,26					206,52	35	Database i One Click LCA	60
23 - Yttervegger	Glassullisolasjon	895	m2	5593,75	1029,21	14,99	103,03						243,73	60	Database i One Click LCA	70
23 - Yttervegger	Glassullisolasjon	932	m2	1165	214,35	3,12	21,46						50,76	60	Database i One Click LCA	70
23 - Yttervegger	Terrassebord, kledning, og høvellast for tømring (Vindu)	950	kg	950	278,03	4,73	71,96						119,25	60	NEPD-376-262-EN	130
23 - Yttervegger	Vanlig gipsplater	1013	m2	11299,37	2925,96	30,29	431,07						492,34	60	Database i One Click LCA	70
23 - Yttervegger	Dampspærre i plast, 0.2 mm	1013	m2	187,41	430,53	0,79	43,95	439,48					8,17	30	NEPD-341-230-NO	110
23 - Yttervegger	Utvendig-X typ EH2 (GU-X), 9.5 mm	1013	m2	6909,68	1727,42	18,52	229,93						93,54	60	NEPD-109-177-EN	70
23 - Yttervegger	Terrassebord, kledning, og høvellast for tømring	1013	m2	11487,42	3361,92	57,18	870,13						1441,95	60	60NEPD-376-262-EN	130
24 - Innervegger	Tre- og trebrettører	240,25	m2	9259,21	13915,57	46,09	0	15123,92					1162,26	40	NEPD-1535-525-EN	130
24 - Innervegger	Vanlig gipsplater	1324	m2	14768,38	3824,25	39,59	563,42						643,5	60	Database i One Click LCA	70
24 - Innervegger	Vanlig gipsplater	1324	m2	14768,38	3824,25	39,59	563,42						643,5	60	Database i One Click LCA	70
24 - Innervegger	Glassullisolasjon	1324	m2	3310	609,01	8,87	60,97						144,23	60	Database i One Click LCA	70
24 - Innervegger	Strukturelle stål- og stålprofiler	3663	kg	3663	7606,52	15,43	252,46						28,39	60	Database i One Click LCA	110
25 - Dekker	Ferdigbetong B30 M60	114,5	m3	274800	29655,5	6608,94	1551,95			1134,92	365,48	1456,44	2956,84	60	Appendix B	185
25 - Dekker	Ferdigbetong B30 M60	45,8	m3	109920	11862,2	2643,58	620,78			453,97	146,19	582,58	1182,74	60	Appendix B	185
25 - Dekker	Hulldukke generisk, B30	183,2	m3	256480	28046,3	1816,94	0			1059,26	341,12	1359,34	2759,72	60	Database i One Click LCA	185
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	916	m2	25648	10593,52	68,75	1395,19						70	60	EPD-PCI-20160262-IBE1-DE	70
25 - Dekker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	67	m2	6275,22	791,87	31,24	288,33						787,69	60	NEPD-308-179-EN	130
25 - Dekker	Tetningsmasse (silikon og andre)	75	m2	112,5	55,32	1,57	5,84						1,52	20	EPD-PCI-20150039-IBE1-DE	150
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	75	m2	105	43,37	0,28	5,71						0,29	60	EPD-PCI-20160141-IBE1-DE	70
25 - Dekker	Vegg- og gulvfliser	75	m2	1800	58,68	4,82	6,84						4,91	30	S-P-00676	70
25 - Dekker	Glassullisolasjon	391	m2	2199,38	404,67	5,9	40,51						95,83	60	Database i One Click LCA	70
25 - Dekker	EPS (utvidet polystyren) isolasjon	458	m2	1832	8125,81	12,63	326,53						24,8	60	NEPD-1236-244-EN	180
25 - Dekker	Dampspærre i plast, 0.2 mm	458	m2	84,73	194,65	0,36	19,87	198,7					3,69	30	NEPD-341-230-NO	110
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	458	m2	12824	5296,76	34,37	697,6						35	60	EPD-PCI-20160262-IBE1-DE	70
25 - Dekker	Himlingsplater	458	m2	5108,7	1322,89	13,69	194,9						222,6	60	Database i One Click LCA	70
25 - Dekker	Sponplater	458	m2	6156,44	474,16	30,65	213,36						772,78	60	EPD-SON-20160209-IBA1-EN	130
25 - Dekker	Akustiske isolasjonspaneler	916	m2	3664	2965,63	9,82	238,84						10	60	S-P-00891	70
25 - Dekker	Gulvbelegg	1176	m2	1909,09	7066,45	8,04	1189,66	23793,16					4822,08	25	INIE5_IREV20160331_155658_4881	110
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	2034	kg	2034	1268,35	8,57	62,7						15,76	60	Database i One Click LCA	110
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	12366	kg	12366	7711,12	52,09	381,16						95,84	60	Database i One Click LCA	110
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	18	m3	7560	954	37,63	347,37						948,96	60	NEPD-308-179-EN	130
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	41	m2	396,06	49,98	1,97	18,2						49,72	60	NEPD-308-179-EN	130
26 - Yttertak	Dampspærre i plast, 0.2 mm	458	m2	84,73	194,65	0,36	19,87	198,7					3,69	30	Database i One Click LCA	110
26 - Yttertak	Glassullisolasjon	458	m2	3435	632,01	9,21	63,27						149,67	60	Database i One Click LCA	70
26 - Yttertak	OSB plater	458	m2	4190,7	247,4	20,86	51,13						37,88	30	Database i One Click LCA	130
26 - Yttertak	Plastmembraner	458	m2	641,2	1465,63	2,7	308,79	3087,91					1619,58	20	Database i One Click LCA	110
26 - Yttertak	Bitumen og annen takteking	458,1	m2	4122,9	7362,5	9,47	738,32	14766,44					11,25	25	Database i One Click LCA	60
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Trapp betong, ferdigbetong B30 M60	14	m3	33600	3626	808,08	189,76			138,77	44,69	178,08	361,54	60	Appendix B	185
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Trapp betong, ferdigbetong B30 M60	41	m3	98400	10619	2366,52	555,72			406,39	130,87	521,52	1058,78	60	Appendix B	185
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Balkong betong, ferdigbetong B30 M60	10	m3	24000	2590	577,2	135,54			99,12	31,92	127,2	258,24	60	Appendix B	185
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	1200	kg	1200	748,29	5,05	36,99						9,3	60	Database i One Click LCA	110
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	1436	kg	1436	895,45	6,05	44,26						11,13	60	Database i One Click LCA	110
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	4140	kg	4140	2581,6	17,44	127,61						32,09	60	Database i One Click LCA	110
					274070,49	18021,39	16695,72	63131,74				26769,38				
Sum					Total klimagassutslipp			398688,72	kg CO2e							

Thomas Dinh / Masteroppgave: Potensial for reduksjon av livssyklus klimagassutslipp ved gjenbruk og resirkulering av betong, UiT (2021)

Bygg B: Klimagassregnskap etter NS3720. Lavkarbon B																
Bygningdels	Ressurstype	Brukerinngang	Enhet	Masse kg	A1-A3	A4	A5	B1-B5	C1	C2	C3-C4	C1-C4	Levetid	EPD	Transport km	
21 - Grunn og fundamenter	Ferdigbetong generisk B30 lavkarbon B	66520	kg	66520	6374,91	1599,83	348,5			274,73	88,47	352,56	715,76	60	Database i One Click LCA	185
21 - Grunn og fundamenter	Forsterkning stål for betong (rebar)	4329	kg	4329	2699,45	18,23	133,44						33,55	60	Database i One Click LCA	110
22 - Bæresystemer	Ferdigbetong generisk B30	29263	kg	29263	2804,39	703,78	153,31			120,86	38,92	155,09	314,87	60	Database i One Click LCA	185
22 - Bæresystemer	Forsterkning stål for betong (rebar)	2385	kg	2385	1487,22	10,05	73,51						18,48	60	Database i One Click LCA	110
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	6783	kg	6783	24525,91	28,57	812,03						52,57	60	Database i One Click LCA	110
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	19224	kg	19224	39920,2	80,98	1324,96						148,99	60	Database i One Click LCA	110
23 - Yttervegger	Metal- og industridører	18	m2	783	1485,65	3,9	0	1490,17					0,63	30	EPD-MT-0.1.1	130
23 - Yttervegger	Aluminium (vindu)	71	kg	71	346,98	0,11	26,05						0,19	60	S-P-00833	40
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	81	m2	1632,96	206,06	8,13	75,03						204,98	60	NEPD-308-179-EN	130
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	91	m2	458,64	57,88	2,28	21,07						57,57	60	NEPD-308-179-EN	130
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	117	m2	12186,72	1537,85	60,67	559,96						1529,73	60	NEPD-308-179-EN	130
23 - Yttervegger	3-lags vindu	158	m2	4740	3815,82	10,89	40,32	4033,26					206,52	35	Database i One Click LCA	60
23 - Yttervegger	Glassullisolasjon	895	m2	5593,75	1029,21	14,99	103,03						243,73	60	Database i One Click LCA	70
23 - Yttervegger	Glassullisolasjon	932	m2	1165	214,35	3,12	21,46						50,76	60	Database i One Click LCA	70
23 - Yttervegger	Terrassebord, kledding, og høvellast for tømring (Vindu)	950	kg	950	278,03	4,73	71,96						119,25	60	NEPD-376-262-EN	130
23 - Yttervegger	Vanlig gipsplater	1013	m2	11299,37	2925,96	30,29	431,07						492,34	60	Database i One Click LCA	70
23 - Yttervegger	Dampsperre i plast, 0,2 mm	1013	m2	187,41	430,53	0,79	43,95	439,48					8,17	30	NEPD-341-230-NO	110
23 - Yttervegger	Utvendig-X typ EH2 (GU-X), 9,5 mm	1013	m2	6909,68	1727,42	18,52	229,93						93,54	60	NEPD-109-177-EN	70
23 - Yttervegger	Terrassebord, kledding, og høvellast for tømring	1013	m2	11487,42	3361,92	57,18	870,13						1441,95	60	60NEPD-376-262-EN	130
24 - Innervegger	Tre- og trebrettører	240,25	m2	9259,21	13915,57	46,09	0	15123,92					1162,26	40	NEPD-1535-525-EN	130
24 - Innervegger	Vanlig gipsplater	1324	m2	14768,38	3824,25	39,59	563,42						643,5	60	Database i One Click LCA	70
24 - Innervegger	Vanlig gipsplater	1324	m2	14768,38	3824,25	39,59	563,42						643,5	60	Database i One Click LCA	70
24 - Innervegger	Glassullisolasjon	1324	m2	3310	609,01	8,87	60,97						144,23	60	Database i One Click LCA	70
24 - Innervegger	Strukturelle stål- og stålprofiler	3663	kg	3663	7606,52	15,43	252,46						28,39	60	Database i One Click LCA	110
25 - Dekker	Ferdigbetong generisk, B30 lavkarbon B	114,5	m3	274800	26335	6608,94	1439,66		1134,92	365,48	1456,44	2956,84	60	Database i One Click LCA	185	
25 - Dekker	Ferdigbetong generisk, B30 lavkarbon B	45,8	m3	109920	10534	2643,58	575,86		453,97	146,19	582,58	1182,74	60	Database i One Click LCA	185	
25 - Dekker	Hulldekke generisk, B30 lavkarbon B	183,2	m3	256480	20663,93	1816,94	0		1059,26	341,12	1359,34	2759,72	60	Database i One Click LCA	185	
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	916	m2	25648	10593,52	68,75	1395,19						70	60	EPD-PCI-20160262-1BE1-DE	70
25 - Dekker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	67	m2	6275,22	791,87	31,24	288,33						787,69	60	NEPD-308-179-EN	130
25 - Dekker	Tetningsmasse (silikon og andre)	75	m2	112,5	55,32	1,57	5,84						1,52	20	EPD-PCI-20150039-1BE1-DE	150
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	75	m2	105	43,37	0,28	5,71						0,29	60	EPD-PCI-20160141-1BE1-DE	70
25 - Dekker	Vegg- og gulvfliser	75	m2	1800	58,68	4,82	6,84						4,91	30	S-P-00676	70
25 - Dekker	Glassullisolasjon	391	m2	2199,38	404,67	5,9	40,51						95,83	60	Database i One Click LCA	70
25 - Dekker	EPS (utvidet polystyren) isolasjon	458	m2	1832	8125,81	12,63	326,53						24,8	60	NEPD-1236-244-EN	180
25 - Dekker	Dampsperre i plast, 0,2 mm	458	m2	84,73	194,65	0,36	19,87	198,7					3,69	30	NEPD-341-230-NO	110
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	458	m2	12824	5296,76	34,37	697,6						35	60	EPD-PCI-20160262-1BE1-DE	70
25 - Dekker	Himlingsplater	458	m2	5108,7	1322,89	13,69	194,9						222,6	60	Database i One Click LCA	70
25 - Dekker	Sponplater	458	m2	6156,44	474,16	30,65	213,36						772,78	60	EPD-SON-20160209-1BA1-EN	130
25 - Dekker	Akustiske isolasjonspaneler	916	m2	3664	2965,63	9,82	238,84						10	60	S-P-00891	70
25 - Dekker	Gulvbelegg	1176	m2	1909,09	7066,45	8,04	1189,66	23793,16					4822,08	25	INIES_IREV20160311_155658_4881	110
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	2034	kg	2034	1268,35	8,57	62,7						15,76	60	Database i One Click LCA	110
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	12366	kg	12366	7711,12	52,09	381,16						95,84	60	Database i One Click LCA	110
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	18	m3	7560	954	37,63	347,37						948,96	60	NEPD-308-179-EN	130
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	41	m2	396,06	49,98	1,97	18,2						49,72	60	NEPD-308-179-EN	130
26 - Yttertak	Dampsperre i plast, 0,2 mm	458	m2	84,73	194,65	0,36	19,87	198,7					3,69	30	Database i One Click LCA	110
26 - Yttertak	Glassullisolasjon	458	m2	3435	632,01	9,21	63,27						149,67	60	Database i One Click LCA	70
26 - Yttertak	OSB plater	458	m2	4190,7	247,4	20,86	51,13						37,88	30	Database i One Click LCA	130
26 - Yttertak	Plastmembraner	458	m2	641,2	1465,63	2,7	308,79	3087,91					1619,58	20	Database i One Click LCA	110
26 - Yttertak	Bitumen og annen taktekkning	458,1	m2	4122,9	7362,5	9,47	738,32	14766,44					11,25	25	Database i One Click LCA	60
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Trapp betong generisk, B30 lavkarbon B	14	m3	33600	3220	808,08	176,03		138,77	44,69	178,08	361,54	60	Database i One Click LCA	185	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Trapp betong generisk, B30 lavkarbon B	41	m3	98400	9430	2366,52	515,51		406,39	130,87	521,52	1058,78	60	Database i One Click LCA	185	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Balkong betong generisk, B30 lavkarbon B	10	m3	24000	2300	577,2	125,73		99,12	31,92	127,2	258,24	60	Database i One Click LCA	185	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	1200	kg	1200	748,29	5,05	36,99						9,3	60	Database i One Click LCA	110
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	1436	kg	1436	895,45	6,05	44,26						11,13	60	Database i One Click LCA	110
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	4140	kg	4140	2581,6	17,44	127,61						32,09	60	Database i One Click LCA	110
				Sum	258997,03	18021,39	16435,62	63131,74				26769,38				
				Total klimagassutslipp	383355,16 kg CO2e											

Thomas Dinh / Masteroppgave: Potensial for reduksjon av livssyklus klimagassutslipp ved gjenbruk og resirkulering av betong, UiT (2021)

Bygg B: Klimagassregnskap etter NS3720. Resirkulert tilslag																
Byggningsdels	Resurstype	Brukerinngang	Enhet	Masse kg	A1-A3	A4	A5	B1-B5	C1	C2	C3-C4	C1-C4	Levetid	EPD	Transport km	
21 - Grunn og fundamenter	Ferdigbetong RCACrete-max	66520	kg	66520	7067,84	1599,83	375,68		274,73	88,47	352,56	715,76	60	Appendix B	185	
21 - Grunn og fundamenter	Forsterkning stål for betong (rebar)	4329	kg	4329	2699,45	18,23	133,44					33,55	60	Database i One Click LCA	110	
22 - Bæresystemer	Ferdigbetong RCACrete-max	29263	kg	29263	3109,22	703,78	165,27		120,86	38,92	155,09	314,87	60	Appendix B	185	
22 - Bæresystemer	Forsterkning stål for betong (rebar)	2385	kg	2385	1487,22	10,05	73,51					18,48	60	Database i One Click LCA	110	
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	6783	kg	6783	24525,91	28,57	812,03					52,57	60	Database i One Click LCA	110	
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	19224	kg	19224	39920,2	80,98	1324,96					148,99	60	Database i One Click LCA	110	
23 - Yttervegger	Metall- og industrideører	18	m2	783	1485,65	3,9	0	1490,17				0,63	30	EPD-MT-0.1.1	130	
23 - Yttervegger	Aluminium (vindu)	71	kg	71	346,98	0,11	26,05					0,19	60	S-P-00833	40	
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	81	m2	1632,96	206,06	8,13	75,03					204,98	60	NEPD-308-179-EN	130	
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	91	m2	458,64	57,88	2,28	21,07					57,57	60	NEPD-308-179-EN	130	
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	117	m2	12186,72	1537,85	60,67	559,96					1529,73	60	NEPD-308-179-EN	130	
23 - Yttervegger	3-lags vindu	158	m2	4740	3815,82	10,89	40,32	4033,26				206,52	35	Database i One Click LCA	60	
23 - Yttervegger	Glassullisolasjon	895	m2	5593,75	1029,21	14,99	103,03					243,73	60	Database i One Click LCA	70	
23 - Yttervegger	Glassullisolasjon	932	m2	1165	214,35	3,12	21,46					50,76	60	Database i One Click LCA	70	
23 - Yttervegger	Terrassebord, kledning, og høvellast for tømring (Vindu)	950	kg	950	278,03	4,73	71,96					119,25	60	NEPD-376-262-EN	130	
23 - Yttervegger	Vanlig gipsplater	1013	m2	11299,37	2925,96	30,29	431,07					492,34	60	Database i One Click LCA	70	
23 - Yttervegger	Dampspærre i plast, 0.2 mm	1013	m2	187,41	430,53	0,79	43,95	439,48				8,17	30	NEPD-341-230-NO	110	
23 - Yttervegger	Utvendig-X typ EH2 (GU-X), 9.5 mm	1013	m2	6909,68	1727,42	18,52	229,93					93,54	60	NEPD-109-177-EN	70	
23 - Yttervegger	Terrassebord, kledning, og høvellast for tømring	1013	m2	11487,42	3361,92	57,18	870,13					1441,95	60	NEPD-376-262-EN	130	
24 - Innervegger	Tre- og trebrettører	240,25	m2	9259,21	13915,57	46,09	0	15123,92				1162,26	40	NEPD-1535-525-EN	130	
24 - Innervegger	Vanlig gipsplater	1324	m2	14768,38	3824,25	39,59	563,42					643,5	60	Database i One Click LCA	70	
24 - Innervegger	Vanlig gipsplater	1324	m2	14768,38	3824,25	39,59	563,42					643,5	60	Database i One Click LCA	70	
24 - Innervegger	Glassullisolasjon	1324	m2	3310	609,01	8,87	60,97					144,23	60	Database i One Click LCA	70	
24 - Innervegger	Strukturelle stål- og stålprofiler	3663	kg	3663	7606,52	15,43	252,46					28,39	60	Database i One Click LCA	110	
25 - Dekker	Ferdigbetong RCACrete-max	114,5	m3	274800	29197,5	6608,94	1551,95		1134,92	365,48	1456,44	2956,84	60	Appendix B	185	
25 - Dekker	Ferdigbetong RCACrete-max	45,8	m3	109920	11679	2643,58	620,78		453,97	146,19	582,58	1182,74	60	Appendix B	185	
25 - Dekker	Huldekke generisk, B30 lavkarbon B	183,2	m3	256480	20663,93	1816,94	0		1059,26	341,12	1359,34	2759,72	60	Database i One Click LCA	185	
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	916	m2	25648	10593,52	68,75	1395,19					70	60	EPD-PCI-20160262-IBE1-DE	70	
25 - Dekker	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	67	m2	6275,22	791,87	31,24	288,33					787,69	60	NEPD-308-179-EN	130	
25 - Dekker	Tetningsmasse (silikon og andre)	75	m2	112,5	55,32	1,57	5,84					1,52	20	EPD-PCI-20150039-IBE1-DE	150	
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	75	m2	105	43,37	0,28	5,71					0,29	60	EPD-PCI-20160141-IBE1-DE	70	
25 - Dekker	Vegg- og gulvfliser	75	m2	1800	58,68	4,82	6,84					4,91	30	S-P-00676	70	
25 - Dekker	Glassullisolasjon	391	m2	2199,38	404,67	5,9	40,51					95,83	60	Database i One Click LCA	70	
25 - Dekker	EPS (utvidet polystyren) isolasjon	458	m2	1832	8125,81	12,63	326,53					24,8	60	NEPD-1236-244-EN	180	
25 - Dekker	Dampspærre i plast, 0.2 mm	458	m2	84,73	194,65	0,36	19,87	198,7				3,69	30	NEPD-341-230-NO	110	
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	458	m2	12824	5296,76	34,37	697,6					35	60	EPD-PCI-20160262-IBE1-DE	70	
25 - Dekker	Himlingsplater	458	m2	5108,7	1322,89	13,69	194,9					222,6	60	Database i One Click LCA	70	
25 - Dekker	Sponplater	458	m2	6156,44	474,16	30,65	213,36					772,78	60	EPD-SON-20160209-IBA1-EN	130	
25 - Dekker	Akustiske isolasjonspaneler	916	m2	3664	2965,63	9,82	238,84					10	60	S-P-00891	70	
25 - Dekker	Gulvbelegg	1176	m2	1909,09	7066,45	8,04	1189,66	23793,16				4822,08	25	INIES_IREV20160331_155658_4881	110	
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	2034	kg	2034	1268,35	8,57	62,7					15,76	60	Database i One Click LCA	110	
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	12366	kg	12366	7711,12	52,09	381,16					95,84	60	Database i One Click LCA	110	
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	18	m3	7560	954	37,63	347,37					948,96	60	NEPD-308-179-EN	130	
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (bartre og hardtre)	41	m2	396,06	49,98	1,97	18,2					49,72	60	NEPD-308-179-EN	130	
26 - Yttertak	Dampspærre i plast, 0.2 mm	458	m2	84,73	194,65	0,36	19,87	198,7				3,69	30	Database i One Click LCA	110	
26 - Yttertak	Glassullisolasjon	458	m2	3435	632,01	9,21	63,27					149,67	60	Database i One Click LCA	70	
26 - Yttertak	OSB plater	458	m2	4190,7	247,4	20,86	51,13					37,88	30	Database i One Click LCA	130	
26 - Yttertak	Plastmembraner	458	m2	641,2	1465,63	2,7	308,79	3087,91				1619,58	20	Database i One Click LCA	110	
26 - Yttertak	Bitumen og annen taktekkning	458,1	m2	4122,9	7362,5	9,47	738,32	14766,44				11,25	25	Database i One Click LCA	60	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Trapp betong, RCACrete-max	14	m3	33600	3570	808,08	189,76		138,77	44,69	178,08	361,54	60	Appendix B	185	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Trapp betong, RCACrete-max	41	m3	98400	10455	2366,52	555,72		406,39	130,87	521,52	1058,78	60	Appendix B	185	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Balkong betong, RCACrete-max	10	m3	24000	2550	577,2	135,54		99,12	31,92	127,2	258,24	60	Appendix B	185	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	1200	kg	1200	748,29	5,05	36,99					9,3	60	Database i One Click LCA	110	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	1436	kg	1436	895,45	6,05	44,26					11,13	60	Database i One Click LCA	110	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	4140	kg	4140	2581,6	17,44	127,61					32,09	60	Database i One Click LCA	110	
					265627,29	18021,39	16695,72	63131,74				26769,38				
Sum				Total klimagassutslipp		390245,52 kg CO2e										

Thomas Dinh / Masteroppgave: Potensial for reduksjon av livssyklus klimagassutslipp ved gjenbruk og resirkulering av betong, UiT (2021)

Bygg B: Klimagassregnskap etter NS3720. Ombruk av hulldekker																
Byggningsdels	Ressurstype	Brukerinnng	Enhet	Masse kg	A1-A3	A4	A5	B1-B5	C1	C2	C3-C4	C1-C4	Levetid	EPD	Transport km	
21 - Grunn og fundamenter	Ferdigbetong B30 M60	66520	kg	66520	7178,7	1599,83	375,68			274,73	88,47	352,56	715,76	60	Appendix B	185
21 - Grunn og fundamenter	Forsterkning stål for betong (rebar)	4329	kg	4329	2699,45	18,23	133,44						33,55	60	Database i One Click LCA	110
22 - Bæresystemer	Ferdigbetong B30 M60	29263	kg	29263	3157,99	703,78	165,27			120,86	38,92	155,09	314,87	60	Jaro, respekt i appendix	185
22 - Bæresystemer	Forsterkning stål for betong (rebar)	2385	kg	2385	1487,22	10,05	73,51						18,48	60	Database i One Click LCA	110
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	6783	kg	6783	24525,91	28,57	812,03						52,57	60	Database i One Click LCA	110
22 - Bæresystemer	Strukturelle stål- og stålprofiler	19224	kg	19224	39920,2	80,98	1324,96						148,99	60	Database i One Click LCA	110
23 - Yttervegger	Metall- og industridører	18	m2	783	1485,65	3,9	0	1490,17					0,63	30	EPD-MT-0.1.1	130
23 - Yttervegger	Aluminium (vindu)	71	kg	71	346,98	0,11	26,05						0,19	60	S-P-00833	40
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (barte og hardtre)	81	m2	1632,96	206,06	8,13	75,03						204,98	60	NEPD-308-179-EN	130
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (barte og hardtre)	91	m2	458,64	57,88	2,28	21,07						57,57	60	NEPD-308-179-EN	130
23 - Yttervegger	Tre / saget tømmer (barte og hardtre)	117	m2	12186,72	1537,85	60,67	559,96						1529,73	60	NEPD-308-179-EN	130
23 - Yttervegger	3-lags vindu	158	m2	4740	3815,82	10,89	40,32	4033,26					206,52	35	Database i One Click LCA	60
23 - Yttervegger	Glassullisolasjon	895	m2	5593,75	1029,21	14,99	103,03						243,73	60	Database i One Click LCA	70
23 - Yttervegger	Glassullisolasjon	932	m2	1165	214,35	3,12	21,46						50,76	60	Database i One Click LCA	70
23 - Yttervegger	Terrassebord, kledning, og høvellast for tømring (Vindu)	950	kg	950	278,03	4,73	71,96						119,25	60	NEPD-376-262-EN	130
23 - Yttervegger	Vanlig gipsplater	1013	m2	11299,37	2925,96	30,29	431,07						492,34	60	Database i One Click LCA	70
23 - Yttervegger	Dampsperre i plast, 0.2 mm	1013	m2	187,41	430,53	0,79	43,95	439,48					8,17	30	NEPD-341-230-NO	110
23 - Yttervegger	Utvendig-X typ EH2 (GU-X), 9.5 mm	1013	m2	6909,68	1727,42	18,52	229,93						93,54	60	NEPD-109-177-EN	70
23 - Yttervegger	Terrassebord, kledning, og høvellast for tømring	1013	m2	11487,42	3361,92	57,18	870,13						1441,95	60	60NEPD-376-262-EN	130
24 - Innenvegger	Tre- og trebrettdører	240,25	m2	9259,21	13915,57	46,09	0	15123,92					1162,26	40	NEPD-1535-525-EN	130
24 - Innenvegger	Vanlig gipsplater	1324	m2	14768,38	3824,25	39,59	563,42						643,5	60	Database i One Click LCA	70
24 - Innenvegger	Vanlig gipsplater	1324	m2	14768,38	3824,25	39,59	563,42						643,5	60	Database i One Click LCA	70
24 - Innenvegger	Glassullisolasjon	1324	m2	3310	609,01	8,87	60,97						144,23	60	Database i One Click LCA	70
24 - Innenvegger	Strukturelle stål- og stålprofiler	3663	kg	3663	7606,52	15,43	252,46						28,39	60	Database i One Click LCA	110
25 - Dekker	Ferdigbetong B30 M60	114,5	m3	274800	29655,5	6608,94	1551,95		1134,92	365,48	1456,44	2956,84	60	Appendix B	185	
25 - Dekker	Ferdigbetong B30 M60	45,8	m3	109920	11862,2	2643,58	620,78		453,97	146,19	582,58	1182,74	60	Appendix B	185	
25 - Dekker	Hulldekke generisk, B30 fra bygg A	183,2	m3	256480	0	0	0		1059,26	341,12	1359,34	2759,72	60	Database i One Click LCA	185	
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	916	m2	25648	10593,52	68,75	1395,19						70	60	EPD-PCI-20160262-IBE1-DE	70
25 - Dekker	Tre / saget tømmer (barte og hardtre)	67	m2	6275,22	791,87	31,24	288,33						787,69	60	NEPD-308-179-EN	130
25 - Dekker	Tetningsmasse (silikon og andre)	75	m2	112,5	55,32	1,57	5,84						1,52	20	EPD-PCI-20150039-IBE1-DE	150
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	75	m2	105	43,37	0,28	5,71						0,29	60	EPD-PCI-20160141-IBE1-DE	70
25 - Dekker	Vegg- og gulvfliser	75	m2	1800	58,68	4,82	6,84						4,91	30	S-P-00676	70
25 - Dekker	Glassullisolasjon	391	m2	2199,38	404,67	5,9	40,51						95,83	60	Database i One Click LCA	70
25 - Dekker	EPS (utvidet polystyren) isolasjon	458	m2	1832	8125,81	12,63	326,53						24,8	60	NEPD-1236-244-EN	180
25 - Dekker	Dampsperre i plast, 0.2 mm	458	m2	84,73	194,65	0,36	19,87	198,7					3,69	30	NEPD-341-230-NO	110
25 - Dekker	Mørtel (murverk / murstein)	458	m2	12824	5296,76	34,37	697,6						35	60	EPD-PCI-20160262-IBE1-DE	70
25 - Dekker	Himlingsplater	458	m2	5108,7	1322,89	13,69	194,9						222,6	60	Database i One Click LCA	70
25 - Dekker	Sponplater	458	m2	6156,44	474,16	30,65	213,36						772,78	60	EPD-SON-20160209-IBA1-EN	130
25 - Dekker	Akustiske isolasjonspaneler	916	m2	3664	2965,63	9,82	238,84						10	60	S-P-00891	70
25 - Dekker	Gulvbelegg	1176	m2	1909,09	7066,45	8,04	1189,66	23793,16					4822,08	25	INIES IREV20160331_155658,4881	110
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	2034	kg	2034	1268,35	8,57	62,7						15,76	60	Database i One Click LCA	110
25 - Dekker	Forsterkning stål for betong (rebar)	12366	kg	12366	7711,12	52,09	381,16						95,84	60	Database i One Click LCA	110
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (barte og hardtre)	18	m3	7560	954	37,63	347,37						948,96	60	NEPD-308-179-EN	130
26 - Yttertak	Tre / saget tømmer (barte og hardtre)	41	m2	396,06	49,98	1,97	18,2						49,72	60	NEPD-308-179-EN	130
26 - Yttertak	Dampsperre i plast, 0.2 mm	458	m2	84,73	194,65	0,36	19,87	198,7					3,69	30	Database i One Click LCA	110
26 - Yttertak	Glassullisolasjon	458	m2	3435	632,01	9,21	63,27						149,67	60	Database i One Click LCA	70
26 - Yttertak	OSB plater	458	m2	4190,7	247,4	20,86	51,13						37,88	30	Database i One Click LCA	130
26 - Yttertak	Plastmembraner	458	m2	641,2	1465,63	2,7	308,79	3087,91					1619,58	20	Database i One Click LCA	110
26 - Yttertak	Bitumen og annen takteking	458,1	m2	4122,9	7362,5	9,47	738,32	14766,44					11,25	25	Database i One Click LCA	60
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Trapp betong, ferdigbetong B30 M60	14	m3	33600	3626	808,08	189,76		138,77	44,69	178,08	361,54	60	Appendix B	185	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Trapp betong, ferdigbetong B30 M60	41	m3	98400	10619	2366,52	555,72		406,39	130,87	521,52	1058,78	60	Appendix B	185	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Balkong betong, ferdigbetong B30 M60	10	m3	24000	2590	577,2	135,54		99,12	31,92	127,2	258,24	60	Appendix B	185	
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	1200	kg	1200	748,29	5,05	36,99						9,3	60	Database i One Click LCA	110
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	1436	kg	1436	895,45	6,05	44,26						11,13	60	Database i One Click LCA	110
28 - Trapper, balkonger, m.m.	Forsterkning stål for betong (rebar)	4140	kg	4140	2581,6	17,44	127,61						32,09	60	Database i One Click LCA	110
Sum					246024,19	16204,45	16695,72	63131,74				26769,38				
					Total klimagassutslipp			368825,48 kg CO2e								