

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP





LAVKARBONBETONGENS CO₂-AVTRYKK: EN LCA-STUDIE

Kristin Syltøy Hølleland

August 2012

**Mastergradsoppgave i Industriell økonomi,
studieretning Byggeteknikk og arkitektur
Institutt for matematiske realfag og teknologi**

Denne oppgaven har vært et samarbeid mellom:

Veidekke ASA,

Norcem AS,

Østfoldforskning AS

og

Universitetet for miljø- og biovitenskap



FORORD

Jeg har interessert meg for sement og betong helt siden jeg var liten og har observert min fars entusiasme for blandemaskinen og betongens allsidige bruk. Da jeg våren 2010 fikk et tilbud om et mer grunnleggende betongmaterialkurs av Christian Sørensen benyttet jeg meg av det. Lise Bathen var en av gjesteforeleserne i dette kurset og kom med tilbud om mulighet for å skrive masteroppgave for Veidekke i forbindelse med utprøving av en ny og mer miljøvennlig betong. Da jeg alltid har vært opptatt av miljø så jeg dermed dette som en mulighet til å knytte sammen to fagområder jeg interesserer meg for.

Denne masteroppgaven, *Lavkarbonbetongens CO₂-avtrykk: en LCA-studie*, ble ferdigstilt ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, IMT, ved Universitetet for miljø- og biovitenskap UMB, våren/sommeren 2012. Hovedveileder var Tormod Aurlien ved IMT og eksterne veiledere var Lise Bathen fra Veidekke og Liv-Margrethe Bjerge fra Norcem. Jeg vil gjerne takke

- ♥ Liv Margrethe Hatlevik Bjerge, som har vært min kontaktperson hos Norcem. Høydepunktet under arbeidet med oppgaven var da vi fikk en guidet tur ned i kalksteinsgruven 240 meter under havet på anlegget i Brevik.
- ♥ Lise Bathen, som har vært min kontaktperson hos Veidekke og som har vært svært forståelsesfull og minnet meg på om at det er min oppgave.
- ♥ Tormod Aurlien for å ha tatt på seg oppgaven som veileder hele to ganger.
- ♥ Mie Vold og Vibecke Shakenda ved Østfoldforskning for uvurderlig hjelp til innsamling og behandling av data, og for gode råd og omtanke.
- ♥ Til slutt vil jeg takke min kjæreste samboer, David, for en utrolig god støtte og for oppklarende samtaler. Uten dine råd og dine evner til å styrke selvtilliten min hadde jeg ikke kommet dit jeg er nå.

Ås, August 2012

Kristin Syltøy Hølleland

SAMMENDRAG

Energiforbruk og klimagassutslipp er en av de store miljømessige utfordringene ved sementproduksjon. Da markedet i større og større grad etterspør mer miljøvennlige byggematerialer har Norcem AS utviklet en ny sement med lavere klimagassutslipp. I denne sementen er 35 % av klinkeren erstattet med henholdsvis 30 % flygeaske og 5 % kalkmel. Denne nye sementen har fått navnet "Lavakarbonsement". Flygeaske er et restprodukt som kommer fra kullfyrte kraftverk i Europa. CO₂-utslippet ved produksjon av Lavkarbonsementen er halvert sammenlignet med sementer produsert av Norcem på 1990-tallet.

Den høye flygeaskeandelen i sementen gir en betong med tregere fasthetsutvikling. Grunnen til dette er at flygeasken bruker lenger tid før den kommer i gang med sine reaksjoner i betongen. Et sentralt spørsmål blir derfor om Lavkarbonbetongens fasthetsutvikling påvirker fremdriften i forbindelse med støping på byggeplass. Spesielt interessant er det å finne ut om man må iverksette ekstra tiltak, som ekstra fyring, tildekking og ekstra oppvarming av betongen for å opprettholde ønsket fremdrift i byggeprosjektet, og da spesielt på vinterstid. Fyring og andre ekstratiltak betyr også økt energiforbruk og utslipp av klimagasser.

Målet med masteroppgaven er derfor å undersøke om CO₂-gevinst ved produksjon av Lavkarbonsementen tapes, eventuelt reduseres, ved støping vinterstid på grunn av økt ressursbehov for opprettholdelse av ønsket fremdrift i byggeprosjektet. En sentral del av denne oppgaven er derfor å vurdere miljøegenskapene i forbindelse med bruk av Lavkarbonbetong i byggefasen hvor fremdrift og ressursforbruk spesielt vinterstid er kritiske elementer.

Miljøvurderingene som er gjennomført i prosjektet er basert på bruk av livsløpsanalyse, LCA (Life Cycle Analysis). Et produkts livsløp består av fasene råvareuttak, produksjon, bygging, drift og avhending (levetidsslutt). For bygg er driftsfasen den mest dominerende av fasene sett i et miljøperspektiv da det er i denne fasen at energibehovet og klimagassutslippet er størst. Denne oppgaven er imidlertid begrenset til fasene råvareuttak til ferdig bygg. Oppgaven er derfor en delvis LCA-studie.

Datainnsamling til masteroppgaven er basert på et case-studie der lavkarbonsementen delvis er brukt til støping av to boligblokker oppført av Veidekke på Åstadryggen i Asker. Beregningene av klimagassutslippene er utført i dataprogrammet SimaPro.

Hovedkonklusjon:

CO₂-gevinsten ved produksjon av Lavkarbonsementen blir tapt allerede etter fem timers ekstra oppvarming med propanfyring på byggeplassen. Lavkarbonbetongen trengte ekstra oppvarming ved temperaturer fra -8/-10 °C sammenlignet med referansebetongen. Fremdriften ble ikke påvirket av støpingen med Lavkarbonbetong på dette prosjektet.

I fjor hadde vi en veldig kald vinter, mens i år har den vært relativt mild. Ut i fra gjennomsnittstemperaturer rundt om i landet kan Lavkarbonbetongen se ut til å være en ypperlig betong til bruk i kyststrøk om vinteren, da minimumstemperaturene i disse områdene sjelden kryper ned mot -8 °C. Betongen bør på bakgrunn av minimumstemperaturer bli testet ut i disse delene av landet. Sett i det store bilde vil vi få en CO₂-gevinst på årsbasis ved bruk av lavkarbonbetongen i kyst-Norge.

ABSTRACT

Energy consumption and greenhouse gas emissions are some of the major environmental challenges of cement production. As the market increasingly demanding more environmentally friendly building materials, Norcem As has developed a new cement with lower greenhouse emissions. In this cement 35 % of the clinker is replaced with 30 % fly ash and 5 % limestone. This new cement has due to its environmental benefits been given the name “low-carbon cement”. Fly ash is a residual product that comes from coal-fired power plants in Europe. CO₂ emissions during the production of Low-carbon cement are reduced by 50 % compared to the cement produced by Norcem in the 1990s.

The high proportion of fly ash cement gives a concrete with slower strength development. The reason for this is that the fly ash needs time before getting started with the reactions to the concrete. A key question is therefore whether the strength development of the Low-carbon cement affects progress in connection with molding on the building site. It is especially interesting is to find out if you have to take additional measures, such as extra heating, covering and additional heating of the concrete in order to maintain the required progress in the construction project, especially in winter. Heating and other additional measures also means increased energy consumption and greenhouse gas emissions.

The aim of the thesis is to examine whether the CO₂-gain from the production of Low-carbon cement is lost, or reduced, by molding in the winter because of the increased resource requirements of maintaining the desired progress in the construction project. A key part of this task is therefore to assess the environmental attributes associated with the use of low carbon concrete in the construction phase, where progress and resource consumption especially during the winter are critical elements.

Environmental assessments that are conducted in the project are based on the use of LCA (Life Cycle Analysis). A product's life cycle consists of phases of raw material extraction, manufacturing, construction, operation and disposal (life end). The construction phase is the most dominant of the phases seen in an environmental perspective as it is during this phase that the energy demand and greenhouse gas emissions are greatest. This task is limited from the phases of raw materials to finished building. The task is therefore a partial LCA study.

Data collection for the thesis is based on a case-study of the low-carbon cement partially used for the casting of two apartment blocks built by Veidekke Åstadyggen in Asker. The calculations of greenhouse gas emissions is carried out in the computer program SimaPro

Main conclusion ;

The CO₂-benefit of producing Low-carbon cement is lost already after five hours of additional heating with propane fuel on site. The Low-carbon concrete needed extra heating at temperatures from -8/-10 ° C compared with the reference concrete. The progress was not affected by the casting of Low-carbon concrete on this project.

Last year we had a very cold winter, while this year it has been relatively mild. Based on the average temperatures around the country Low-carbon concrete may appear to be an excellent concrete for use in coastal areas in winter, since the minimum temperatures in these areas rarely creeps down to -8 ° C. Set in the big picture we will have a CO₂-gain on an annual basis through the use of low-carbon concrete in coastal Norway.

INNHold

FORORD	II
SAMMENDRAG	III
ABSTRACT	V
INDEKS FOR FIGURER, TABELLER OG VEDLEGG	IX
FORKORTELSER	X
1 INNLEDNING	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.1.1 Norcem sitt hovedmål.....	1
1.2 Problemstilling og problemformulering.....	3
1.3 Hypoteser.....	4
1.4 Avgrensning av oppgaven.....	4
1.5 Aktualitet.....	5
2 METODE- OG TEORIAVSNITT	6
2.1 CO ₂ og CO ₂ -ekvivalenter.....	6
2.2 LCA, oppskriften på løsningen av min oppgave.....	7
2.2.1 LCA-metodikk.....	8
2.2.2 LCA – en iterativ prosess.....	13
2.3 Sement- og betongproduksjon	19
2.3.1 Produksjon av sement.....	19
2.3.2 Utslippsfaktorer og ressursforbruk ved sementproduksjon	21
2.3.3 Betongproduksjon	21
2.3.4 Utslippsfaktorer ved betongproduksjon	22
2.4 Byggeplass	22
2.4.1 Tiltak på byggeplass.....	22
2.5 Værdata.....	23
2.6 Presentasjon av empiri.....	23
2.6.1 Presentasjon av observasjoner på byggeplass.....	23

3	UNDERSØKELSESMETODE	24
3.1	Datainnsamling.....	24
3.1.1	Datainnsamling fra sementproduksjon	25
3.1.2	Datainnsamling fra betongproduksjon	29
3.1.3	Datainnsamling fra byggeprosess	32
3.1.4	Prosess støping av 40 m2 vegg.....	34
3.2	Forutsetninger og datakvalitet.....	36
3.3	Analyse av empiri	38
3.3.1	LCA-metodikk.....	38
4	RESULTATER	39
4.1	Prosesstrær for en plasstøpt 40 m ² vegg.....	40
4.2	Prosesstrær for byggeprosess	43
4.3	Klimagassutslippsberegninger i SimaPro.....	47
4.4	Fremdrift og værforhold.....	48
5	DISKUSJON AV RESULTATER.....	49
5.1	Kritikk av metode	49
5.2	Diskusjon av resultater	49
5.2.1	Klimagassregnskapet.....	49
5.2.2	Fremdrift og Praksis på byggeplass	50
5.2.3	Værforhold.....	51
5.3	Støtte for metode	51
5.4	Bekreftelse/avkreftelse av hypotese.....	52
6	KONKLUSJON	53
7	OPPSUMMERING OG PERSPEKTIVERING – RELEVANS I FAGET OG I VERDEN	54
8	REFERANSER	55
	VEDLEGG	57

INDEKS FOR FIGURER, TABELLER OG VEDLEGG

FIGURER

Figur 1: Omregning av CO ₂ -ekvivalenter [12].....	6
Figur 2: Sammenheng mellom standarder og rammeverk [14].....	8
Figur 3: LCA are iterative [18].....	13
Figur 4: Tabell over ulike EPD'er man kan utføre med hensyn til stadiene i en LCA.[9]	15
Figur 5: Flytdiagram for sementproduksjon	25
Figur 6: Flytdiagram for betongproduksjon	30
Figur 7: Flytdiagram for byggeprosess	33
Figur 8: Flytdiagram for støping av en 40 m ² vegg.....	35
Figur 9: Støp av en 40 m ² vegg i lavkarbonbetong.....	40
Figur 10: Støp av en 40 m ² vegg i Aalborg Portland Betong.....	41
Figur 11: Simulert støp av en 40 m ² vegg i Standard FA betong.....	42
Figur 12: Byggeprosess for 1 m ³ Lavkarbonbetong.....	44
Figur 13: Simulert Byggeprosess for 1 m ³ Standard FA betong.....	45
Figur 14: Byggeprosess for 1 m ³ Aalborg Portland betong.....	46

TABELLER

Tabell 1: Sammenligning av CO ₂ -utslipp for de ulike sementtypene [5].....	2
Tabell 2: Et overblikk over de ulike prosessene.....	20
Tabell 3: Tiltak på byggeplass ved ulike temperaturer	22
Tabell 4: Minimumstemperaturer de siste ti årene Oslo, Blinderen	23
Tabell 5: Forutsetninger og datakvalitet.....	36
Tabell 6: Summert CO ₂ -ekvivalenter med 7 timer med fyring på Lavkarbonbetongen.....	47
Tabell 7: Summert CO ₂ -ekvivalenter uten fyring på Lavkarbonbetongen.....	47
Tabell 8: Antall timer med fyring som må til for annullere	48

VEDLEGG

Vedlegg A: GWP-beregninger for en 40 m ² vegg støpt i de tre betongene.....	57
Vedlegg B: Betongresepter for Lavkarbonbetong og Aalborg Portland betong.....	68
Vedlegg C: Prosesskort For prosessene for Lavkarbonsement	70
Vedlegg D: Prosesstrær for de tre ulike sementene og betongene	88
Vedlegg E: EPD'er for Lavkarbonbetong, Standard FA sement og Standard sement	93

FORKORTELSER

LCA	Life cycle assessment
EPD	Environmental Product Declaration
PCR	Product Category Requirements
CEM	sement
FA	flygeaske
CaCO ₃	kalsiumkarbonat
CaO	kalsiumoksid
CO ₂	karbondioksid
CH ₄	metan
N ₂ O	lystgass
SF ₆	svovelheksafluorid
HFK	hydrofluorkarboner
PFK	perfluorkarboner
m ²	kvadratmeter
m ³	kubikmeter
kg	kilogram
P	vannreducerende plastiserende stoff
SP	vannreducerende superplastiserende stoff
L	luftinnførende stoff

1 INNLEDNING

1.1 BAKGRUNN

I forbindelse med Norcem AS sitt SkatteFUNN-prosjekt [1] gjeldende utvikling av en mer miljøvennlig sement til byggformål har Veidekke sagt seg villig til å prøve ut pilotsementen ved et av sine byggeprosjekter. Sementen har fått navnet lavkarbonsement da CO₂-avtrykket er halvert sammenlignet med sementer produsert på 1990-tallet. For innhenting og dokumentasjon av ferskbetongegenskaper samt miljøvurderinger (CO₂-avtrykk) i byggefasen, har Veidekke engasjert to masterstudenter fra Universitetet for miljø- og biovitenskap.

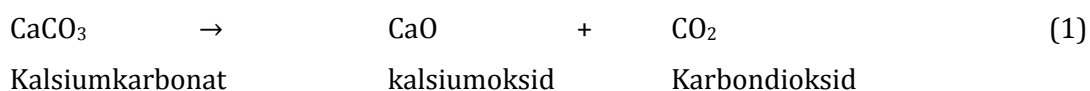
1.1.1 NORCEM SITT HOVEDMÅL

Prosjektets mål er å utvikle en miljøvennlig sement til byggformål. Med miljøvennlig mener man at CO₂-utslippet er halvert sammenliknet med ordinær Portland sement utviklet på 1990-tallet [2]. Norcem skal på sikt fase ut de rene sementene som Norcem Standard sement, Norcem Industrisement og Norcem Anleggsement. (CEM I med 100 % klinker), og ønsker dermed kun å levere blandingssementer som er sementer som inneholder flygeaske [3].

Norcem sin Standard FA sement inneholder inntil 20 % flygeaske. I Lavkarbonsementen er 35 % av klinkeren erstattet med 30 % flygeaske og 5 % kalkmel.

Det er i hovedsak to kilder til CO₂-utslipp ved produksjon av sement.

Ved sementproduksjon males kalkstein sammen med korreksjonsmaterialer til råmel. Ved brenning av råmelet til klinker, avgis CO₂ til atmosfæren gjennom en kjemisk prosess kalt kalsineringsprosess[4]. (1) viser reaksjonslikningen:



Kalsiumkarbonat (CaCO₃) er kalksteinen og kalsiumoksidet (CaO) er den brente kalksteinen hvor CO₂ er blitt frigitt.

For å brenne råmel til klinker krever det en temperatur på rundt 1450 °C. CO₂-utslipp knyttet til kalsineringsprosessen står for 63 %, mens 37 % er knyttet til brensel [2]. For å redusere CO₂-utslippene har Norcem blant annet erstattet 50 % av det fossile brenselet med ikke fossilt brensel som plast, tre, dyremel, fast og flytende spesialavfall. Dette har vært med på å redusere CO₂-utslippene på Norcem sin Standard sement fra 1990-tallet (se tabell 1.1).

Den enkleste måten å redusere CO₂-utslipp knyttet til råmaterialer er å redusere forholdet mellom klinker og sement. I Norge gjøres dette ved å erstatte deler av klinkeren med flygeaske fra kullfyrte kraftverk i Europa [2].

I global sammenheng står sementindustrien for om lag 4-5 % av de totale CO₂-utslippene[10]. Da befolkningsveksten øker og byggevirksomheten øker proporsjonalt med dette vil det også bli en økning i verdens sementbehov. Det er derfor viktig å gjøre produksjonsprosessen så miljøvennlig som mulig, samt å utvikle mer miljøvennlige sementer. Tabell 1.1 viser tonn CO₂-utslipp per tonn produsert sement, og prosentvis CO₂-reduksjon ved produksjon av Lavkarbonsement i forhold til Standard sement og Standard FA sement.

TABELL 1: SAMMENLIGNING AV CO₂-UTSLIPP FOR DE ULIKE SEMENTTYPENE [5]

Tonn CO₂/ tonn sement

Sementtype	Tonn CO ₂ / tonn sement	Kommentar
Norcem Standard Sement	0,730*	CEM I, Ingen klinkererstatning
Norcem Standard FA	0,607*	CEM II, 20 % flygeaske
Lavkarbonsementen	0,498	CEM II, 30 & flygeaske + 5 % kalkmel - ca. 32 % CO ₂ -reduksjon ifht Standard sement - ca. 18 % CO ₂ -reduksjon ifht Standard FA sement
Tidligere Norcem Standard Sement (1990-tallet)	0,9-1,0	CEM I

* Tall hentet fra gjeldene EPD'er, basert på 2007-tall

Som vi ser av tabellen gir produksjon av Lavkarbonsement en reduksjon i CO₂-utslipp på henholdsvis 32 og 18 % i forhold til Norcem Standard sement og Norcem Standard FA sement[5].

En annen viktig årsak til utvikling av en mer miljøvennlig sement, er at markedet i større og større grad etterspør mer miljøvennlige byggematerialer. Det er mer vanlig at byggherre etterspør miljødokumentasjon før man tar materialvalg i nybygg og det er en økende etterspørsel etter mer miljøvennlige og mer bestandige materialer. Med Lavkarbonsement vil Norcem bli svært konkurransedyktige på dette området da denne sementen vil bli det mest miljøvennlige byggematerialet til bruk i bygg på det norske markedet [2].

Det er første gang Norcem produserer en CEM II sement med så høy klinkererstatning og så høy andel flygeaske. Det er derimot svært vanlig i utlandet med bruk av denne typen blandingssementer[3]. Statens vegvesen har eksperimentert med like stor andel flygeaske

direkte i betong til bruk i anlegg, men det mangler erfaringer ved bruk av denne sementen til byggformål [2].

1.2 PROBLEMSTILLING OG PROBLEMFORMULERING

Problemformuleringen min lyder som følger:

Vil CO₂-gevinsten vi får ved å erstatte en større andel klinker med flygeaske i produksjonsfasen gå tapt grunnet økt ressursbehov i byggefasen for å opprettholde ønsket fremdrift?

Oppgaven er videre delt inn i:

- **LCA og klimagassregnskap**
 - Hvor store klimagassutslipp står sementproduksjonen, betongproduksjonen og byggeprosessen for og hvordan ser utslippene ut for Lavkarbonbetong kontra Standard FA betong og Referansebetong?
 - Vil utslippene økes i byggeprosessen ved støping om vinteren og eventuelt hvor store blir de?
- **Byggeplass**
 - Hvordan påvirkes fremdriften? Må man bruke ekstra tiltak for at fremdriften skal opprettholdes?
 - Hvilke tiltak benyttes og når og hvor lenge benyttes de? Krever lavkarbonbetongen ekstra tiltak i forhold til referansebetongen?

Oppgaven skal besvares gjennom utarbeiding av et klimaregnskap. Selve utslippsberegningene gjøres i dataprogrammet SimaPro som er et verktøy basert på LCA-metodikk. LCA-metodikken er et verktøy som skal brukes som metode som jeg skal bruke til innsamling av nødvendige data. Innhenting av data omfatter registrering av praksis på byggeplass under vinterstøp, og behandling av prosessdata fra sement og betongproduksjon.

1.3 HYPOTESER

For å belyse problemstillingen ønsker jeg å sette opp følgende hypoteser for testing. De er satt opp på bakgrunn av forventninger fra Veidekke, Norcem og byggeplassledelsen.

- Hypotese I: Da Lavkarbonbetongen er forventet å ha en tregere fasthetsutvikling under vinterstøp forventes det også at den vil trenge mer oppvarming enn referansebetongen.
- Hypotese II: Det er forventet at fremdriften vil bli påvirket ved bruk av Lavkarbonbetong vinterstid.
- Hypotese III: Det er forventet at Lavkarbonbetongen ikke vil opprettholde CO₂-gevinsten ved støp om vinteren.
- Hypotese IV: Det er forventet at Lavkarbonbetongen vil være det mest miljøvennlige alternativet til byggematerialer til bruk i bygg på det norske markedet.
- Hypotese V: Veidekke vil ha et økt forbruk av energi/propan for å kunne opprettholde fremdriften.

1.4 AVGRENSNING AV OPPGAVEN

Det vil ikke bli utført en fullstendig LCA av Lavkarbonbetongen. En fullstendig LCA, fra "vugge til grav" eller "vugge til vugge" ville inneholdt prosesser fra råvareuttak til en endelig avfallshåndtering. Det vil derfor bli utført en delvis LCA, fra "vugge til port" [9], altså fra råvareuttak til ferdig bygg. Bruksfasen av bygget, vedlikehold og deponering og avfallshåndtering av betong ved riving av bygget er derfor utelatt. Det derfor heller ikke tatt hensyn til karbonatiseringseffekten som omhandler opptak av CO₂ i betong[4]. Årsaken til valget om utførelse av en delvis LCA er at hovedfokuset i oppgaven ligger i byggefasen og lavkarbonsementens egenskaper knyttet til vinterstøp.

For å forenkle forståelsen rundt oppgaven har jeg begrenset selve byggefasen til å omhandle støping av en 40 m² vegg i Lavkarbonbetong, i referansebetongen og en simulert støping med Standard FA betong.

Denne oppgaven omhandler kun faktorer rundt sementens klimagassutslipp. Undersøkelse av Lavkarbonsementens materialeegenskaper er omhandlet i en annen masteroppgave skrevet av Sindre Fossnes våren 2011.

1.5 AKTUALITET

Å redusere CO₂-utslippene har også et økonomisk aspekt for større bedrifter som har store CO₂-utslipp. Dette gjelder også for sementindustrien i Norge som driver sin virksomhet etter utslippstillatelse gitt av KLIF (Klima & Forurensnings Direktoratet). Sementindustrien er en del av det europeiske CO₂ kvotesystemet og er i dag inne i siste år av andre kvoteperiode (2008-2012). I Norge er det kun en sementprodusent, Norcem AS med to fabrikker; en i Kjøpsvik i Nordland og en i Brevik i Telemark. Norcem er eid av det tyske HeidelbergCement konsernet og de to norske fabrikkene er i en situasjon hvor de til nå har hatt et overskudd av CO₂ kvoter. Dette henger sammen med miljøtiltak på fabrikkene som har bidratt til en reduksjon på ca. 200 000 tonn CO₂ årlig sammenlignet med utslippene på 1990-tallet. I neste kvoteperiode (2013 – 2020) vil antall CO₂-kvoter reduseres.

Å utvikle en mer miljøvennlig helårssement til byggformål vil derfor være med å redusere klimagassutslippene fra sementindustrien i Norge betydelig, og vil i tillegg være med å tilfredsstille et marked som i større og større grad etterspør miljøvennlige byggematerialer. Betong er et viktig byggemateriale innen bygg og anlegg. Mer miljøvennlige byggematerialer vil bidra til en mer bærekraftig byggenæring med hensyn til klimagassutslipp og forurensing. Den iboende varmelagringssevnen til betong gjør at oppvarmings- og kjølingsbehovet av bygg over døgnet reduseres. (Varmen fra luften lagres i betongen på dagen og avgis på natten ettersom temperaturen reduseres.) Bygg med eksponerte flater i betong (innervegger, tak) gir redusert energiforbruk i byggets driftstid. Det er i driftsfasen av et bygg at energiforbruket er størst og som igjen bidrar til sterkes miljøpåvirkning.

Det er i dag sterkt fokus verden over på å treffe tiltak som er med å bidra til å redusere menneskeskapte klimagasser. Norge har satt seg som mål å være klimanøytral innen 2030 hvor 2/3 av kuttene skal gjøres nasjonalt. Videre er målet å redusere klimagassutslippene med 15 til 17 millioner tonn innen 2020. CO₂-utslippene fra sementproduksjonen i Norge representerer ca. 2,6 % av de nasjonale CO₂-utslippene. Utslippene skyldes i hovedsak spalting av kalkstein under oppvarming (kalsineringsprosessen) og bruk av høyenergi fossilt brensel.

En måte sementindustrien har til å redusere sine CO₂-utslipp er å redusere klinkerandelen i sementen. Dette gjøres i Norge i hovedsak ved å erstatte klinker med flygeaske og kalkmel (nedmalt kalkstein). Man får dermed en mer miljøvennlig betong med en betydelig CO₂-utslipps reduksjon. I Lavkarbonsementen er 35 % av klinkeren erstattet med 30 % flygeaske og 5 % kalkmel. Til sammenligning inneholder Norcem Standard FA sement inntil 20 % flygeaske.

2 METODE- OG TEORIAVSNITT

2.1 CO₂ OG CO₂-EKVIVALENTER

I den siste tiden har fokuset verden over ligget på å redusere menneskeskapte klimagassutslipp er da klimagasser har vist seg å føre til global oppvarming[11]. CO₂ er en slik klimagass og har et visst oppvarmingspotensial sammen med de andre klimagassene i atmosfæren.

Oppvarmingspotensial blir gjerne omtalt som GWP (Global Warming Potential). For å lettere kunne summere klimagassenes totale oppvarmingspotensial regner man om alle klimagasser til CO₂-ekvivalenter[12]. Figur 2.1 viser en oversikt over de ulike klimagassene og hvilket oppvarmingspotensial de har i forhold til CO₂:

Boks 2. CO₂-ekvivalenter: GWP-verdien (Global Warming Potential) for en gass defineres som den akkumulerte påvirkning på drivhuseffekten fra ett tonn utslipp av gassen sammenlignet med ett tonn utslipp av CO₂ over et spesifisert tidsrom. Ved hjelp av GWP-verdiene blir utslippene av klimagasser veid sammen til CO₂-ekvivalenter

Komponent:	GWP-verdi:	
Karbondioksid (CO ₂)	1	
Metan (CH ₄)	21	
Lystgass (N ₂ O)	310	
Hydrofluorkarboner (HFK)		
HFK-23	11 700	Kyoto-protokollen gir forpliktende mål for industrilandenes utslipp av klimagasser. Protokollen omfatter klimagassene CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, svovelheksafluorid (SF ₆), hydrofluorkarboner (HFK) og perfluorkarboner (PFK)
HFK-32	650	
HFK-125	2 800	
HFK-134a	1 300	
HFK-143a	3 800	
HFK-152a	140	
HFK-227	2 900	
Perfluorkarboner (PFK)		
CF ₄ (PFK-14)	6 500	
C ₂ F ₆ (PFK-116)	9 200	
C ₃ F ₈ (PFK-218)	7 000	
Svovelheksafluorid (SF ₆)	23 900	

FIGUR 1: OMRREGNING AV CO₂-EKVIVALENTER [12]

Når man omtaler CO₂ i forbindelse med global oppvarming, i dagligtale er det i realiteten klimagasser og CO₂-ekvivalenter man snakker om.

2.2 LCA, OPPSKRIFTEN PÅ LØSNINGEN AV MIN OPPGAVE

For å kartlegge lavkarbonsementens CO₂-utslipp vil jeg ta i bruk LCA-metodikk[13]. Det finnes også flere ulike eksempler på klimagassregnskap på internett, men dessverre er mange av disse svært dårlige med ukonkrete kildehenvisninger og ukjent opphav. Det er rett og slett vanskelig å finne ut hvorfor dataene er slik de er, hvor de kommer fra, og hvordan beregningene er gjort. Det som også går igjen er at det er vanskelig å finne utslippsfaktorer for et spesifisert produkt, da valgmulighetene er svært få.

Det var først et ønske fra Veidekke at jeg skulle benytte nettstedet Klimagassregnskap.no til å kartlegge CO₂-avtrykkene. Dette programmet viste seg ikke å være nyansert nok da man ikke kunne velge spesifiserte materialer. Det var for eksempel ikke mulig å endre innholdet i betongene, betong var betong. I mitt tilfelle hvor jeg måtte kunne endre på innholdet ikke bare i betongene men også i de ulike sementtypene var ikke Klimagassregnskap.no godt nok.

Etter et møte med Østfoldforskning Høsten 2010, ble det etter hvert klarere for meg hvordan jeg ville prøve å løse oppgaven. På dette møtet ble jeg for første gang introdusert for LCA.

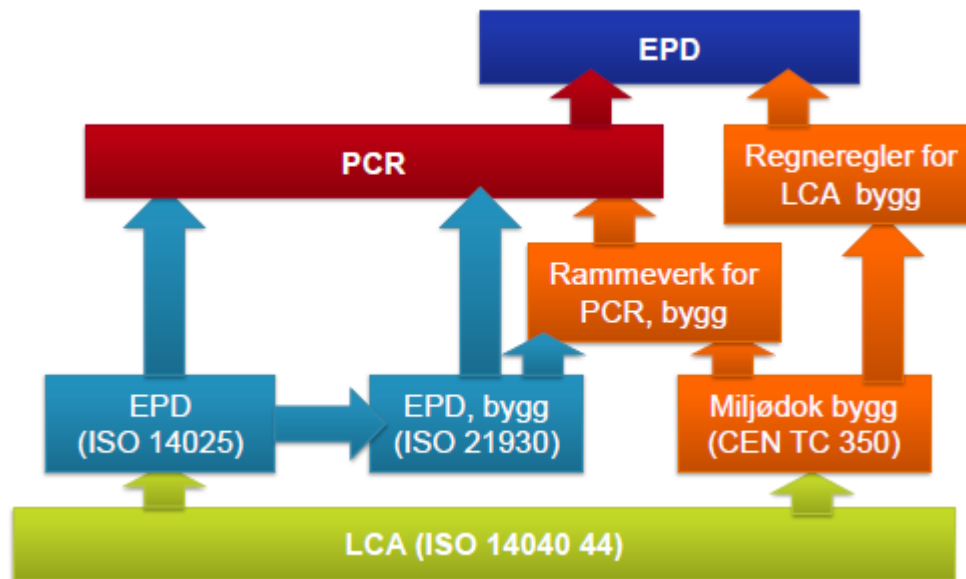
En LCA er

"... en systematisk kartlegging og vurdering av helse-, miljø- og ressurspåvirkninger gjennom hele livsløpet til et produkt eller produktsystem, fra råvareuttak til en endelig avfallshåndtering" . [14]

Det er også vanlig å bruke begrepene "fra vugge til grav" eller "fra vugge til vugge" om en LCA [14].

På det samme møte ble jeg også introdusert for EPD (Environmental Product Declaration) og PCR (Product Category Requirements). En EPD er en miljødeklarasjon som har som mål å vise forbrukeren hvilke miljøpåvirkninger et bestemt produkt har, og er som oftest knyttet til produksjon av produktet. Ved hjelp av slike EPD'er kan forbrukeren selv velge det mest miljøvennlige alternativet. EPD'er blir utarbeidet av en PCR, produktkategoriregler, som er et regelverk for å sikre at EPD'ene er troverdige, sammenlignbare og adderbare. PCR'ene blir igjen utarbeidet av Standarden for EPD ISO 14025 [17], og Standardene for LCA, ISO 14040[15] og ISO 14044 [16].

Figur 2.2 viser sammenhengen mellom standardene og oppbyggingen av rammeverket.



FIGUR 2: SAMMENHENG MELLOM STANDARDER OG RAMMEVERK [14].

En LCA er som sagt en kartlegging av hele livsløpet til et produkt, vugge til grav eller vugge til vugge. I min oppgave vil en LCA av lavkarbonbetongen derimot innebære en kartlegging fra råvareuttak til ferdig bygg, eller fra vugge til port. Dette er i tråd med CEN TC 350, EN 15804:2012 [9].

2.2.1 LCA-METODIKK

I dette delkapittelet vil jeg presentere hovedstegene i gjennomføringen i en LCA.

En livsløpsanalyse kan gi svar på følgende spørsmål [18]:

- Hva er de viktigste miljø- og ressursproblemene relatert til systemet?
- I hvilken del av livsløpet til produktet finner de sted?
- Hva er den mest kostnadseffektive løsningen for å forbedre systemet?

Presentasjon av LCA-metodikken er basert på "International Reference life cycle data system (ILCD) Handbook: General guide for life cycle assessment" [13]. ILCD Handbook [13] er basert på standardene ISO 14040:2006 og ISO 14044:2006.

En LCA-studie kan deles inn i fire ulike trinn [15]:

1. **Fastsettelse av hensikt og omfang;** goal and scope definition
2. **Livsløpsregnskap;** Life cycle Inventory analysis (LCI)
3. **Livsløpseffektvurdering;** Impact assessment
4. **Livsløpstolkning;** Interpretation

1. Fastsettelse av hensikt og omfang

Denne delen av metodikken skal sikre at systemene som skal sammenliknes er mest mulig likeverdige. Det vil si at sammenlikningen gjøres ut fra mest mulig felles og relevante forutsetninger. Det er her viktig at forutsetningene velges og fastsettes i åpne prosesser ved ekstern sammenlikning, j.f. critical review-prosess.

Forutsetningene bør dokumenteres som del av rapporteringen som vedlegg, for å sikre åpenhet og mulighet for kvalitetssikring og sammenlikning mot andre studier

Hensikten

Hensikten med studien kan for eksempel være sammenligning av ulike produkter, grunnlag for ekstern kommunikasjon, økt kunnskap om egne produktsystemer, miljøstrategiske evalueringer og beslutningsgrunnlag for produktforbedringer. Den metodikken og fremgangsmåten man velger avhenger ofte av hva undersøkelsen skal brukes til. Del vil si om det skal brukes internt i en bedrift, som for eksempel å forbedre egne prosesser og produksjonsmåter, eksternt som kommunikasjon mellom bedrifter eller markeder (konkurransesammenheng), som EPD'er, om det er til offentlig bruk.

I følge ILCD handbook[19] for gjennomføring av en LCA går man gjennom følgende punkt for å definere hensikten:

- Definere tiltenkt bruksområdet
- Forklare årsaken til at studien blir utført
- Definere målgruppen for studien
- Oppgi om studien skal brukes offentlig
- Oppgi hvem som er oppdragsgiver til utføring av studien

Omfanget

Omfanget skal forklare hva som er gjenstand for studien, altså hva som skal analyseres. Det som skal studeres skal identifiseres og defineres i detalj. Omfanget skal også gjenspeile hensikten med studien.

En viktig del av definering av omfanget er valg av en funksjonell enhet. Et eksempel på det kan være 1 m³ betong om man skal utføre LCA for en bestemt betong.

En annen viktig ting er å bestemme klassifisering av studien. ILCD Handbook[19] beskriver tre ulike beslutningssituasjoner (A, B og C) for en LCA som har innvirkning på valg av metodikk og hvilke data som skal brukes. Disse er vist nedenfor:

Klassifisering av beslutningssituasjon A, B eller C

- **Situasjon A:** Representerer beslutninger på mikronivå og hvor man fokuserer på forbedring i egne prosesser og verdikjeder, samt markedsføring av egne produkter (fokus på produkter som er i markedet, regnskapstilnærming).
- **Situasjon B:** Representerer beslutninger på makronivå som kan omhandle valg av ny teknologi, og som kan ha påvirkninger på infrastruktur og produksjonskapasitet langt utover egne verdikjeder (konsekvensorientert tilnærming)
- **Situasjon C:** Analyser knyttet til eksisterende produkters effektivitet i et historisk perspektiv, som grunnlag for å gjøre endringer fremover (regnskapstilnærming).

Et annet viktig moment er definering av systemgrenser:

Systemgrensene skal hjelpe til å avgrense studiet og være en pekepinn på hva som er relevant/irrelevant for resultatet. Ulike systemgrenser kan være:

- Avgrense systemet mot andre tilgrensende systemer (produksjons, transport, bruk, avfallsbehandling)systemer som er en del av tilgrensende systemet..
- Avgrensninger med tanke på infrastruktur og menneskelig aktivitet. Med infrastruktur menes kapitalvarer med lang levetid, og der belastningen må regnes ned på et gjennomsnittlig driftsår og fordeles mellom ulike typer bruk. Eksempler på det er fabrikkbygg, veier og transportsystemer, kraftanlegg osv.
- En annen systemgrense kan være geografisk avgrensning. Eksempler på det kan være et markedsområde for et produkt, hvor det er produsert og hvor det skal avfallshåndteres.
- Vi kan ha avgrensninger i forhold til hva som skal kartlegges, (cut-off criteria), hvor vi for eksempel sier at all innvirkning på LCA studien på mindre enn 5 % ikke skal regnes med. Dette gjøres for å forenkle studien og hjelpe til å ha fokus på de viktige delene i studien.
- Vi kan ha avgrensning i tid, og at vi har krav til hvor gamle data som skal benyttes.
- Avgrensninger med tanke på hvilke miljøpåvirkninger som skal studeres, for eksempel GWP (globalt oppvarmingspotensial).

2. Livsløpsregnskap

Livsløpsregnskapet er vanligvis den mest krevende delen i en LCA, og består av datainnsamling, modellering av systemet som skal undersøkes og beregninger av utslippsfaktorer.

Datainnsamlingen og modelleringen av systemet skal gjøres i tråd med hensikten med studien og skal oppfylle de kravene som er avledet i omfanget av studien.

For å vite hvilke data man skal innhente må man lage en modell av systemet. I denne modellen skal man kartlegge alle inn- og utgående masse- og energistrømmer for systemet.

Et eksempel fra sementindustrien kan være hvor mye råmaterialer – kalkstein -, som må inn i systemet for å få ut ett kilo klinker.

Resultatene fra livsløpsregnskapet, LCI (life cycle inventory), er bakgrunnsdatene til den påfølgende LCIA (life cycle inventory analysis) fasen.

I LCIA-fasen skal man finne ut om resultatene av LCI arbeidet gjenspeiler valget av hensikten og omfanget. Resultatet av LCIA fasen fører som oftest til at omfanget trenger justeringer.

Kartleggingstrinnet består av modellering og analyse av masse- og energibalanser for hver prosessenhet.

Kartleggingstrinnet innebærer å:

- sette opp masse- og energibalanser for hver prosessenhet,
- normalisere disse i forhold til referansestrømmene (per masseenhets referansestrøm) og
- summere hver type ressursforbruk og utslipp over hele livsløpet til produktsystemet.

3. Livsløpseffektvurdering

I livsløpseffektvurderingen blir miljøeffektene av produktsystemet vurdert. Dette blir gjort ved å klassifisere, karakterisere og verdivurdere effektene.

I klassifiseringssteget blir de ulike utslipp og energibruk tildelt ulike effektkategorier, basert på de forventede effektene på miljøet (knappheten på ressurser, helseeffekter, økologiske effekter og klimaforandringer).

Hovedmålet er å få frem hvilke miljømessige effekter inndata og utdata kan gi.

Hvilke Miljø- helse- og ressurspåvirkninger får vi fra dette systemet?

Hvilke miljøpåvirkninger gir utslippene?

I karakteriseringssteget blir det potensielle bidraget fra de ulike inndataene og utdataene tilknyttet de ulike effektkategoriene og bidraget til den samme effektkategorien blir lagt til.

Eksempler på miljøeffekter som kan bli vurdert er ressursuttømming, menneskehelse, global oppvarming og forsurening.

I valueringen er viktigheten av ulike miljøeffekter vektet mot hverandre og en indeks for den relative viktigheten av miljøeffekt kalkulert.

Valuering blir gjort ved å legge til ulike valuerings modeller. Målet for alle modellene er å sette en endimensjonal verdi på ressursbruk og utslipp for å kunne kalkulere den totale miljøpåvirkningen av et produkt, GWP.

4. Livsløpstolkning – rapportering og kritisk granskning

“Interpretation[...] is a systematic procedure to identify, qualify, check and evaluate information from the results of the LCI and/or LCIA of a product system [...]”. ISO 14040-44

Kritisk granskning:

Skal alltid gjennomføres for studier hvor man sammenlikner produkter/tjenester som skal brukes. Under gjennomføringen av LCA-studien skal det også kontinuerlig være en kritisk gjennomgangsprosess. Kritisk granskning kan utføres på flere måter:

Den kan utføres av

- Interne eksperter uavhengig av de som har gjennomført analysen
- Eksterne eksperter eller et ekspertpanel, kommersielt uavhengig av den som utfører eller får utført studien
- Berørte parter hvor representantene kvalitetssikrer arbeidet underveis

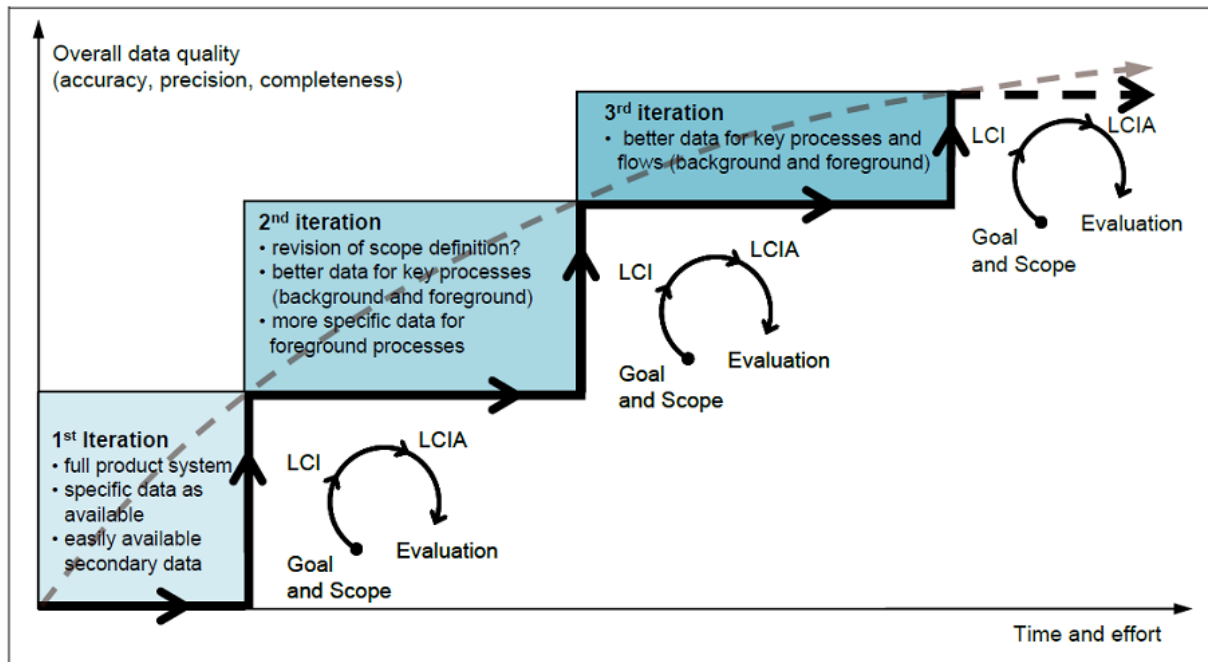
En kritisk granskning kan gjennomføres trinn for trinn parallelt med gjennomføring av analysen. Det gjøres ved å kvalitetssikre og avgrense mål tidlig i arbeidet og velge en metodikk som er i tråd med dette.

Alle forutsetninger, inklusive masse- og energistrømmer bør kvalitetssikres opp mot konklusjoner før analyseresultater presenteres. Det skal ikke være mulig å rette opp forutsetninger i etterkant for å endre resultatene.

2.2.2 LCA – EN ITERATIV PROSESS

Figur 2.3 viser en fremgangsmåte for å utføre en LCA og for å få en tilnærmet strukturert arbeidsprosess. Fremgangsmåten er anbefalt av ILCD Handbook [19] og inneholder viktige punkt og kriterier for en LCA-studie i tråd med ISO 14044:2006.

En LCA-studie er en iterativ prosess, som vil si at man utfører prosessen flere ganger for å komme mest mulig nært det man søker svar på [18].



FIGUR 3: LCA ARE ITERATIVE [18].

Fremgangsmåte ved jobbing med en LCA:

- a) Forberedelse av dokumentering
- b) Fastsette hensikten og omfanget av studien
- c) Gjør en innledende runde av "hensikt og omfang"
- d) Datainnsamling, (LCI, Life cycle inventory)
- e) Utarbeidelse av en grov LCA-modell
- f) Utførelse av en ny iterasjonsprosess
- g) Er det nødvendig med flere iterasjonsutførelser?
- h) Tolkning av resultatene
- i) Rapportering
- j) Kritisk granskning
- k) Behov for korreksjon?
- l) Oppdrag utført

a) Forberedelse av dokumentering

Hva skal undersøkes, hvilken dokumentasjon må innhentes?

b) Fastsettelse av hensikt og omfang

Denne delen av metodikken skal sikre at systemene som skal sammenliknes er mest mulig likeverdige, som vil si at sammenlikningen gjøres ut fra mest mulig felles og relevante forutsetninger.

Det er her viktig at forutsetningene velges og fastsettes i åpne prosesser ved ekstern sammenlikning, j.f. critical review-prosess.

Forutsetningene bør dokumenteres som del av rapporteringen som vedlegg for å sikre åpenhet og mulighet for kvalitetssikring og sammenlikning mot andre studier

c) Gjør en innledende runde av "hensikt og omfang"

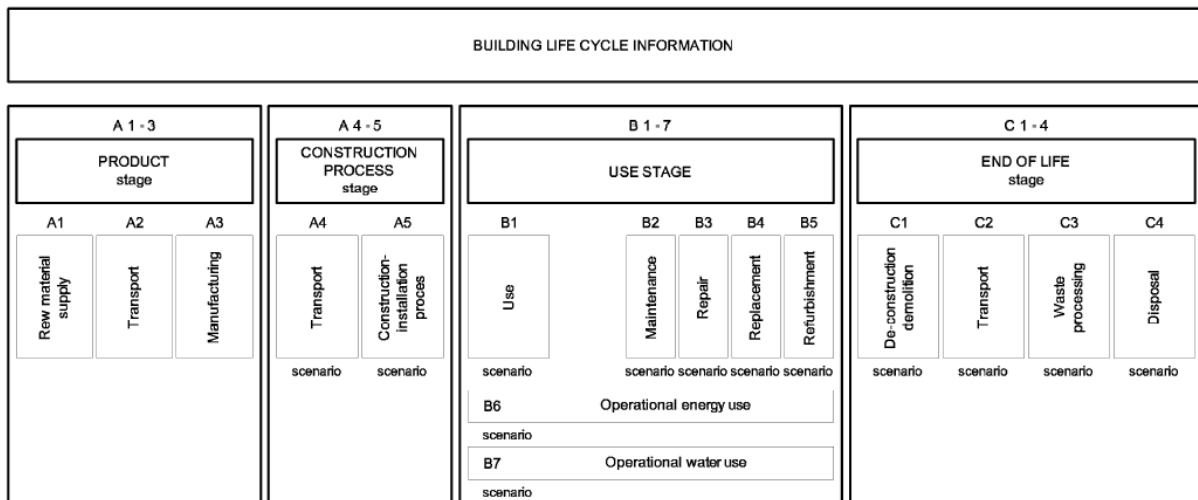
Hensikt:

- Identifisere forhåndsinnstilte begrensninger med hensyn på valg av metode, antakelser, hvilken type miljøpåvirkning (carbon footprint).
- Fastsette årsaken til at studien blir utført.
- Få frem om studien inneholder sammenligninger og om de skal bli offentliggjøres.
- Identifisere oppdragsgiveren og andre potensielle aktører som er aktivt involvert i studien.

Omfang:

- Definere funksjonell enhet og referansestrøm
- Den funksjonelle enheten som blir valgt skal reflektere det som studien omhandler, spesielt da den vil ha en innvirkning på resultatet av studien.
- Alle data vil bli normalisert i henhold til den funksjonelle enheten.
- Den funksjonelle enheten blir til ved å beskrive systemet som skal studeres.
- Det er grunnlaget for sammenlikningen mellom ulike produktsystemer som har samme funksjon.
- Et annet viktig aspekt er at den funksjonelle enheten skal reflektere bruken av produktet.
- Definere systemgrenser.

Figur 2.4 er et eksempel på avgrensninger av system mot tilgrensende systemer.



FIGUR 4: TABELL OVER ULIKE EPD'ER MAN KAN UTFØRE MED HENSYN TIL STADIENE I EN LCA.[9]

Stadiene A1-A3er påkrevd mens stadiene A4-A5, B1-B5 og C1-C4 er valgfrie.

Produktstadiet (A1-A3) omhandler:

- A1: uttak av råmaterialer, og behandling av råmaterialer, behandling av andrehåndsmaterialer (flygeaske)
- A2: Transport til fabrikk
- A3: Produksjon

Stadiene inneholder bestemmelser for alle materialer, produkt og energi og resirkulering helt til en endelig avfallshåndtering av siste rest i produksjonsstadiet.

Modul A1, A2 og A3 kan bli deklartert som en sammensatt modul A1-3.

Byggeprosessen (A4-A5) omhandler:

- A4: Transport til byggeplass
- A5: Konstruksjon, installasjon på byggeplass

Stadiene inneholder bestemmelser for alle materialer, produkt og energi og resirkulering helt til en endelig avfallshåndtering av siste rest i produksjonsstadiet. Modulene omhandler alle påvirkninger og aspekter i tilknytning til tap under konstruksjonsprosessen, dvs. produksjon, transport, avfallshåndtering og avhending av tapte produkter og materialer.

Definering av cut-off criteria:

- Med "cut-off criteria" mener man utelatelse av mindre massestrømmer. Det vil si massestrømmer som ikke har den store betydningen på resultatet.
- Hensikten med cut-off er å redusere arbeidsmengden i datainnsamling uten å påvirke det totale resultatet i vesentlig grad.

Vi har to tilnærminger av cut-off:

- Fast prosentats av total masseutelates (1, 2, 5 %)
- Fast prosentats skal være inkludert (minst 90, 95, 99 %) – anbefales brukt

Skal ideelt omfatte prosentandel av påvirkninger og ikke massestrømmene, men man kan som oftest bruke masse som basis for forenkling.

- Forbered grunnlaget for et livsløpsregnskap (LCIA, life cycle inventory analyses):
Klassifiser påvirkningskategorier (miljø-, ressurs- og helsepåvirkninger), hvilken LCIA metode som skal brukes ..., hvilken normalisering og vektning som skal brukes i forhold til cut-off kriterier og i tolkningen av resultatene.
- Beskrivelse av ønsket kvalitet, nøyaktighet og presisering av dataene man trenger
- Liste over informasjonskilder, hvilken informasjon man trenger
- Planlegging av rapporteringen
- Planlegging av kritisk granskning av rapporten

d) Datainnsamling, (LCI, Life cycle inventory)

Hoveddelen ved arbeidet med LCA er datainnsamlingen, både når man ser på varigheten av studien og ressurser man bruker.

- Identifisere prosessene innenfor systemgrensene. 7.2.3

e) Utarbeidelse av en grov LCA-modell

Utføre en grov LCA-modell for å oppdage vesentlige nøkkelprosesser, parametre, elementære massestrømmer, antakelser og karakteriseringer som i større grad bidrar til å påvirke miljømessige påvirkninger. Dette vil hjelpe til å identifisere datakvaliteten på en enkel måte. En grov modell av en LCA tilfredsstillende de følgende stegene:

- Sette sammen tilgjengelige LCI data, for eksempel råvare data, enhetsprosesser, LCI-resultater og lignende, se 7.4.2, worst-case-scenario data.
- Utføre en innledende livssyklusmodell for å avdekke hvordan man løser multifunksjonalitet, hvordan modellere gjenbruk, resirkulering og gjenvinning.
- Kalkulerer så innledende LCI resultater: en grov livssyklus modell.
- Kalkuler LCIA resultater: inkludert normalisering og vektning (global oppvarming).
- Betydningsfulle prosesser: Som et første steg i tolkningsfasen identifiser de betydningsfulle prosessene, dvs. nøkkelprosesser, parametre, elementære massestrømmer og forutsetninger med relevans for miljømessige påvirkninger
- Sensitivitet, fullstendighet, konsistens sjekk

f) Utarbeidelse av en ny iterasjonsprosess

Man bruker så det man får ut av tolkningen og kvalitetssjekkene for å øke kvaliteten på LCI-modellen. Dette gjøres ved å utføre en gjentakende prosess av omfanget av studien, datainnsamling, effektvurderingen og tolkningen/ kvalitetskontroll helt til LCA-studien møter kravene om nøyaktighet, presisjon og fullstendighet for det tiltenkte bruksområdet.

- Det kan være at man må omdefinere hensikt og omfang. Må man endre den funksjonelle enheten?
- Forbedring av nøkkeldata.
- Forbedring av andre LCI data.
- Forbedring av metode og forutsatte data og informasjon, forbedre kvaliteten på data og informasjon som er brukt for bestemmelse av metode og forutsetninger som for eksempel ulike kriterier.
- Forbedring av LCIA faktorer
- Kalkuler LCIA resultater og utfør igjen en fullstendighets-, sensitivitets – og konsistenssjekk.

g) Er det nødvendig med flere iterasjonsutførelser?

Det kan forventes 2 – 4 iterasjonsutførelser.

Dette avhenger av kompleksiteten til de analyserte prosessene, kvaliteten på dataene, de spesifikke, analyserte spørsmålene, så vel som dataenes tilgjengelighet og kvalitet.

h) Tolkning av resultatene

Når og hvis dataene har oppnådd den ønskede og krevde kvaliteten kan man begynne å tolke resultatene. På dette steget, og kun for LCA-studier, inkluderer også dette en konklusjon.

i) Rapportering

Som et siste punkt i forhold til kritisk granskning av LCA-studien utfører man en rapport.

Rapporten kan være en del av et datasett eller en klassisk rapport. Begge deler vil baseres på de omfattende notatene som ble gjort og revidert/justert underveis i iterasjonsprosessen av LCA-studien. Intensjonen med rapporten er reproduserbarhet og gjennomsiktighet.

Konfidensielle data og informasjon eller data av proprietær art skal dokumenteres i en separat konfidensiell rapport som er laget kun for utøveren av kritisk granskning av rapporten.

"...confidential and proprietary data ... should be documented in separate confidential reports that are made accessible only to the critical reviewer(s)."[18].

For LCA-studier kreves en tredjeparts rapport hvis målgruppen er ekstern. Se 10.3.2[18].

Hvis dataene er ment å brukes for sammenligning skal LCI data møte kravene for sammenlignende påstander, se 10.3.3[18].

Rapportering er et viktig element i enhver LCA. Uten klar og effektiv dokumentasjon til eksperter og uten kommunikasjon til beslutningstakere, kan LCA være gjenstand for feilaktig og villedende bruk og vil ikke bidra til å bedre miljøprestasjonene. Rapportering skal være objektiv og gjennomsiiktig, og det bør være en klar indikasjon på hva som har og hva som ikke har blitt inkludert i studien og hvilke konklusjoner og anbefalinger utfallet til en sammenlignende studie støtter og hva neste steg blir.

Måten og nivåer av rapportering avhenger først og fremst tre faktorer:

- Typen leveranse av studien.
- Formål og tilsiktede anvendelser av studien og rapporten.
- Den tiltenkte målgruppen (spesielt teknisk eller ikke-teknisk og intern eller tredjeparts).

j) Kritisk granskning

Dette er det siste formelle krav til en LCI/LCA studie, og skal utføres av en av eksperter som ikke har vært involvert i utførelsen av LCA-studien. Dette er generelt fordelaktig for kvaliteten og påliteligheten og dermed verdien av studien. Dette gjelder også utelukkende for interne utførelser, selv om det i slike tilfeller ikke er formelle krav om en kritisk granskning.

k) Behov for korreksjon?

Den kritiske granskningen vil ofte føre til at man må foreta korreksjoner og forbedringer av LCA-modellen.

l) Oppdrag utført

2.3 SEMENT- OG BETONGPRODUKSJON

Vi har tre viktige byggematerialer i Norge. Disse er tre, stål og betong hvor betong er det mest brukte. Råmaterialene i betong finnes over hele verden, og riktig sammensatt, utstøpt og utformet, gir de en konstruksjon med god brannmotstand, høy styrke og trykkfasthet og god bestandighet. Betong er et bestandig materiale. Er kombinasjonen riktig av sement vann og tilslag kan konstruksjoner og bygg av betong stå i mange hundre år.

2.3.1 PRODUKSJON AV SEMENT

Sement er et bindemiddel som består av råmaterialet kalkstein med kvarts, oxiton, kisavbrand, jernoksid og gips som tilleggskomponenter eller som korrigerende stoffer[24].

Det blir fremstilt mange ulike typer sementer for å fremstille ulike egenskaper relatert til styrkeutvikling, motstand mot kjemikalier og korroderende omgivelser[24].

Produksjonen av sement kan deles inn i fem ulike prosesser[14]:

1. Utgraving av kalkstein
2. Maling av kalkstein og andre råmaterialer til råmel
3. Brenning av råmel til klinker
4. Maling av klinker til sement
5. Lagring av sement

1. Utgraving av kalkstein

Kalkstein hentes ut fra gruver eller åpne brudd.

Innholdet av CaCO_3 i kalksteinen kan variere, men ligger normalt mellom 60-95 %.

Kalksteinen knuses i mindre biter og transporteres til lagringsenheter.

2. Maling av kalkstein og andre materialer til råmel

På vei til råmelsmøllen blir det tilsatt ulike korreksjonsmaterialer som kvarts, bauxit, kisavbrand og gips. Korreksjonsmaterialene lagres i separate råmelssiloer før de kommer til råmelsmøllen.

Råmelet blir så transportert til siloer for lagring og homogenisering. Avhengig av ønskede egenskaper til sementen blir råmelet fremstilt i ulike kvaliteter.

3. Brenning av råmel til klinker

Produksjon av klinker skjer i en roterovn som holder en temperatur på rundt 1450°C. I denne prosessen smelter råmelet delvis og partiklene sintrer sammen til små kuler som vi kaller klinker. Klinkeren blir så avkjølt i luftkjølere før de blir transportert til siloer for lagring. Kull og koks blir ofte brukt som brensel til roterovnen, men også andre typer av fossilt brensel kan brukes. På Norcem i Brevik brukes en blanding av ulike typer brensel, som dyremel, farlig avfall, restavfall og matavfall.

4. Sementmølle, maling av klinker til sement

I sementmøllen blir andre tilsetningsmaterialer tilsatt. Dette kan være flygeaske, gips, kalkmel og silica. Bruk av flygeaske og silica, kalt pozzolaner, blir kalt fillereffekt da størrelsen på disse partiklene er 1/100 av sementkornene. De fyller med andre ord inn mellom sementkornene. Resultatet blir en tett og fin betong med lite porer. Gips, 3-7 %, blir brukt for å kontrollere størkningstiden. Uten bruk av gips i en ren sement vil betongen begynne å størkne før vi får den ut i formen. Ulike sammensetninger av disse tilsetningsmaterialene blir brukt for å justere sementegenskaper eller produsere spesielle kvaliteter av sement.

Når den ferdige sementen kommer ut av sementmøllen blir det tilsatt jernsulfat for å binde til seg krommet i sementen.

5. Lagring og forsendelser av sement

Etter maleprosessen blir sementen sent til lagringssiloer. Noe av sementen blir pakket mens det meste av sementen blir fraktet med skip og andre transportmidler.

TABELL 2: ET OVERBLIKK OVER DE ULIKE PROSESSENE

Produksjonsforløpet til sement	Ressursforbruk	Utslippsfaktorer
Kalkstein tas ut av gruven	Drivstofforbruk, sprenging	
Kalkstein transporteres til mølle	Drivstofforbruk	
Møllen knuser kalkstein	Strømforbruk	
Kalkstein transporteres på bånd til brenner	Strømforbruk	
Ovnen brenner kalkstein om til klinker v/ 1450 grader C	Fyring av ovn, m/ avfall, kull	
Klinker transporteres på bånd til mølle for å knuses	Strømforbruk	
Møllen knuser klinker til sement	Strømforbruk	
Flygeaske tilsettes sement	Tarnsportert fra Danmark	

Sementen fraktes til betongleverandør/betongelementprodusent hvor tilslag, tilsetningsstoffer og vann tilsettes.	Drivstofforbruk	
---	-----------------	--

2.3.2 UTSLIPPSFAKTORER OG RESSURSFORBRUK VED SEMENTPRODUKSJON

Produksjon av sement medfører utslipp av CO₂ fra to hovedkilder. Det ene er utslipp knyttet til bruk av brensel i roterovnen og den andre er fra den kjemiske prosessen hvor råmelet spaltes og blir til klinker[5].

Den siste kilden kan ikke gjøres noe med da det er selve hovedprosessen for fremstilling av klinker til sement, men ved å erstatte noe av klinkeren med andre materialer som flygeaske og kalkmel vil CO₂-utslippet reduseres betydelig[5].

2.3.3 BETONGPRODUKSJON

Betong er satt sammen av sement, tilslagsmaterialer, tilsetningsstoffer og vann.

Produksjon av betong kan finne sted i en ferdigbetong fabrikk hvor betongen blir transportert til byggeplass, eller ved fabrikker som lager prefabrikkerte betongelementer[24].

Betongens styrkeegenskaper blir karakterisert av stor trykkfasthet og lav strekkfasthet. For å kompensere for den lave strekkfastheten blir betongen styrket ved at det blir lagt inn armering. Sementens funksjon i betongen er å binde tilslagsmaterialer og armering sammen til en homogen, solid masse med en gitt styrke og varighet[24].

Noen ganger blir tilslagsmaterialer som silica og flygeaske brukt i kombinasjon med sement som bindemiddel i betongen. Små mengder av tilsetningsstoffer (1-3 % av sementinnholdet) som vannreducerende stoff, retarderende stoffer og L-stoff er også vanlig å bruke.

Mengden av ulike tilsetningsstoff varierer fra hvilken type egenskaper betongen skal ha.

2.3.4 UTSLIPPSFAKTORER VED BETONGPRODUKSJON

Ressursbruk og miljøpåvirkninger ved fremstilling av betong kan være bruk av de ulike tilslagsmaterialene og tilsetningsstoffene, hvor de kommer i fra og transportutslipp i forbindelse med det. Det kan være bruk av elektrisitet til blanding av betongen, bruk av varmt vann i produksjonen til bruk ved plasstøping på kalde dager, transport til og fra byggeplass. Utslipp til vann og luft[18].

2.4 BYGGEPLASS

2.4.1 TILTAK PÅ BYGGEPLASS

I gjennom året utføres det ofte tiltak på plasstøpt betong for å gi den de rette omgivelsene slik at den størkner og herder slik som ønsket og etter betongens kvalitet tilsier, og at den oppnår de fasthetsresultatene som betongens fasthetsklasse tilsier. Tiltak blir også utført for at betongen ikke skal få skader som uttørring og oppsprekking om sommeren og frostskafer og sprenging om vinteren. Noen vanlige tiltak er tildekking for å beskytte mot frost om vinteren og vanning mot uttørking om sommeren.

Gir man betongen de rette forutsetningene for å herde og å oppnå de egenskapene man ønsker, unngår man å måtte foreta store justeringer eller endringer i etterkant.

Tabell 3 viser en oversikt over temperaturer om vinteren og hvilke tiltak som settes inn ved de ulike temperaturene. Disse er basert på et intervju med Einar Lauritsen som er Formann på anlegget ved bygging av Åstadryggen leiligheter.

TABELL 3: TILTAK PÅ BYGGEPLASS VED ULIKE TEMPERATURER

Tiltak på byggeplass	Værforhold
Fra -1 til -4	Tildekking
Fra -4 til -5	Tildekking og bruk av propan ovn
-12<	Ikke støping

2.5 VÆRDATA

Tabell 4 viser en presentasjon av minimumstemperaturene for de ti siste årene ved målestasjonen på Blinderen i Oslo. Værdataene er hentet i fra nettstedet yr.no [19].

TABELL 4: MINIMUMSTEMPERATURER DE SISTE TI ÅRENE OSLO, BLINDEREN [19]

Måneder	Minimumstemperaturer de siste ti årene										
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Januar	-16,6	-20,1	-15,6	-6,5	-11,1	-14,3	-5,7	-12,2	-20,5	-12,8	-11,3
Februar	-8,7	-13,6	-12,4	-10	-15,7	-14,5	-8,5	-15,8	-17,7	-18,1	-17,1
Mars	-8	-10,8	-11,8	-16,9	-15	-3,6	-13,1	-7,3	-14	-8,1	-3,2
April	-2	-4	-2,6	-1,5	-2,4	-3,1	-0,8	-1	-2,6	-0,8	-4,1
Mai	3	1	2	0,4	2,2	2,6	0,6	2,6	-1,5	0	-1,3
Juni	6,8	9	6,4	3	6,1	5,3	6,4	4,8	7,4	8	4,9
Juli	10,6	11,3	8,3	9,4	9	9,9	8,4	10,5	9,6	9,6	9,5
August	12	7,5	6,1	5,9	9,4	4,2	8,6	6,6	7,9	9,7	8,9
September	1,1	1,1	3,8	1,4	7,5	1,6	4	0,1	1,4	3	
Oktober	-5,2	-6,7	-1,8	-3,3	-0,2	-2,5	-2,5	-2,8	-5	-2,2	
November	-9,4	-5,1	-9,8	-7,8	-5,6	-6,2	-7,4	-1,1	-12,1	-4,9	
Desember	-19,7	-11,1	-9,6	-8,3	-5,7	-11,6	-9,9	-17,5	-19,3	-7,2	

2.6 PRESENTASJON AV EMPIRI

2.6.1 PRESENTASJON AV OBSERVASJONER PÅ BYGGEPLASS

Åstadyggen leiligheter består av to boligblokker, blokk A og blokk B. Støpingen begynte høsten 2010. Lavkarbonbetongen skulle i første omgang brukes i innerveggene i 2. etasje i begge blokkene. Hvis dette var vellykket skulle man også vurdere bruk i andre deler av blokkene. Resten av bygget ble støpt med Aalborg Portland betong.

3 UNDERSØKELSESMETODE

Dette kapittelet skal forsøke å vise hvordan resultatene har blitt utarbeidet ved å forklare hvilke data og hvordan de er blitt bearbeidet og innhentet.

Arbeidet mot å få svar på problemstillingen har i hovedsak dreid seg om informasjonsinnhenting fra fire ulike prosesser: sementproduksjon, betongproduksjon, byggeprosess, og støping av en 40 m² vegg.

SimaPro er et dataprogram som foretar beregningene i en LCA. SimaPro har stått svært sentralt under arbeidet med oppgaven, og har vært til stor hjelp for å finne riktig angrepspunkt. Gjennom å jobbe med SimaPro og forstå hvordan programmet er bygget opp har også selve LCA-metodikken og bruken av den blitt tydeligere. Programmet har bidratt til selve strukturen i oppgaven, og har dermed også dannet grunnlaget for hvilke data måtte innhentes.

Hovedposten under jobbing med oppgaven har vært hos Østfoldforskning. Hos Østfoldforskning har det blitt gitt veiledning i bruke SimaPro, samtidig som deres egen database har vært tilgjengelig sammen med den europeiske databasen EcoInvent. Fordelen med å jobbe hos Østfoldforskning har vært at det allerede er laget prosesser for noen av tilfellene som måtte brukes.

Dataene som har vært samlet inn til bearbeiding og "plotting" i SimaPro er hentet inn fra flere ulike hold, og har blitt samlet inn via korrespondanse som e-post, telefon, intervju og møter. De enkelte dataene vil bli forklart nærmere i de påfølgende underkapitlene, sammen med hvilke avgjørelser som er tatt under innsamlingen, diskusjon rundt hvilke som har blitt valgt å bruke og i hvilken form, og hvilke data de er knyttet opp mot i SimaPro.

Både de innsamlede dataene og de tilknyttede dataene i SimaPro kan også finnes i prosesskortene som er lagt til som vedlegg.

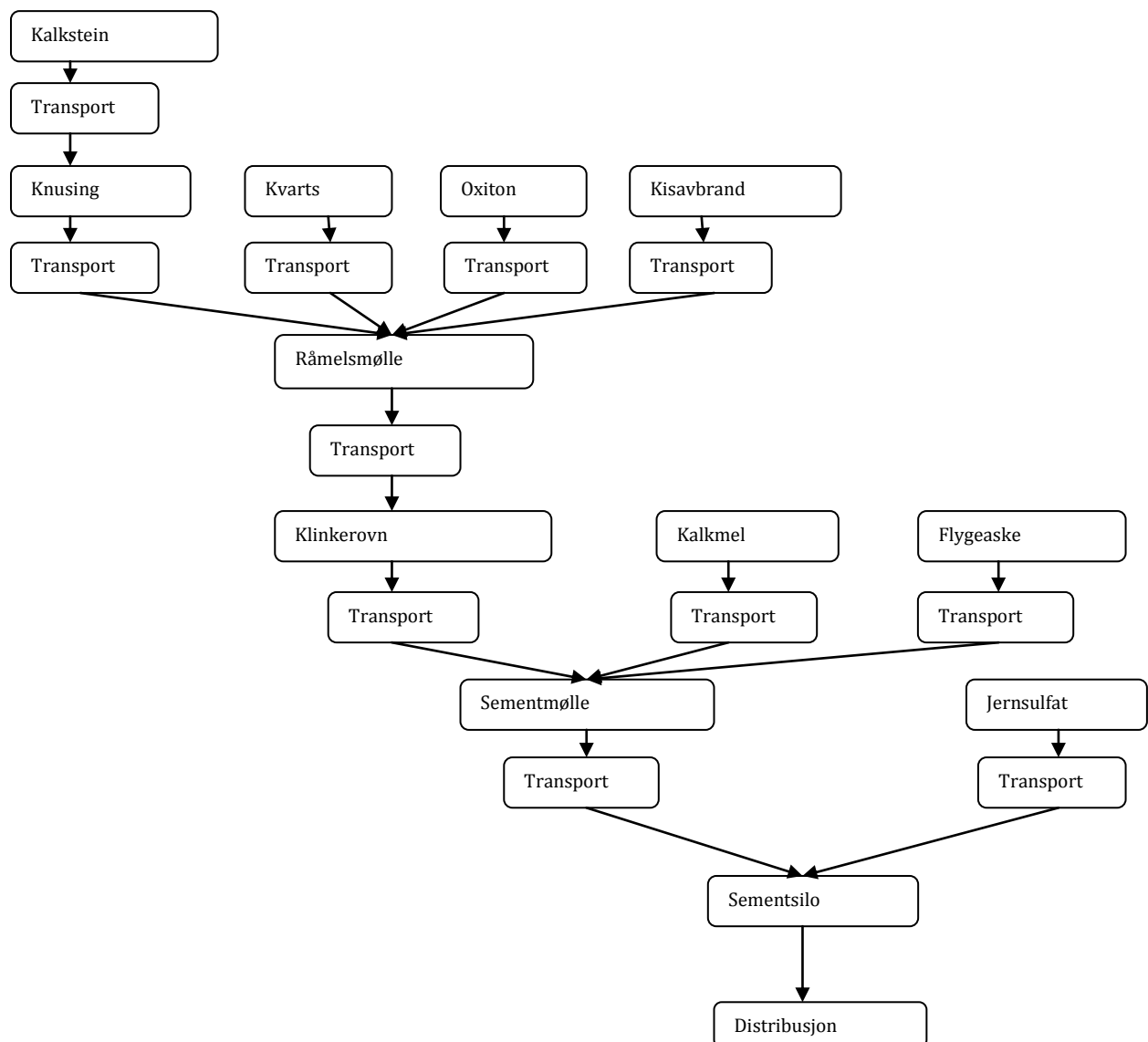
3.1 DATAINNSAMLING

For at Simapro skal kunne foreta korrekte beregninger må data samles inn, bearbeides og knyttes opp mot de relaterte dataene i databasene tilknyttet SimaPro. Det må også lages prosesskort for de enkelte prosessene før man kan knytte de sammen til én prosess.

En måte å vise hvordan de ulike prosessene blir knyttet sammen er illustrert ved flytdiagrammene i kapittel 3.1.1 – 3.1.4.

3.1.1 DATAINNSAMLING FRA SEMENTPRODUKSJON

Datainnsamling, modellering av prosessene og arbeidet med SimaPro har vært en prosess som har gått om hverandre. For å finne ut hvilke data som trengtes måtte det lages en modellering av de ulike prosessene som finner sted og hvordan de hører sammen. Et flytdiagram er en god måte å illustrere dette på. Figur 5 viser et flytdiagram for sementproduksjon:



FIGUR 5: FLYTDIAGRAM FOR SEMENTPRODUKSJON

Alle "boksene" illustrerer prosessene som ble laget i SimaPro for deretter å bli knyttet opp til en prosess som ble kalt produksjon av 1 kg med sement. Bak de enkelte boksene kan det også ligge flere prosesser allokeret til den enkelte prosessen.

Dataene som er plottet i SimaPro for produksjon av 1 kg sement er basert på Norcem sine årsproduksjonsdata for 2010. Årsproduksjonsdataene inneholder produksjonsmengden av de ulike typene av sement, totalt forbruk av de ulike råvarene i sementen og hvor de kommer fra, totalt energiforbruk og utslipp fra produksjon. Årsproduksjonsdataene for Norcem 2010 er ikke lagt ved. Arbeidet med disse dataene var å få fordelt de slik at det blir en riktig belastning og fordeling mellom de ulike prosessene knyttet til produksjon av 1 kg sement.

I det endelige prosesskortet for produksjon av 1 kg sement er det lagt inn følgende prosesskort, som er bygget opp i følgende rekkefølge

- a) Utgraving av kalkstein
- b) Råmaterialer som skal inn i rāmelsmøllen
- c) Transport av råmaterialer til rāmelsmøllen
- d) Prosess rāmelsmølle
- e) Prosess klinkerovn
- f) Råmaterialer til sementmølle
- g) Transport av råmaterialer til sementmølle
- h) Prosess sementmølle
- i) Prosess lagring/ silo
- j) Prosess 1 kg sement

Under er prosessene beskrevet nærmere:

a) Utgraving av kalkstein

Boksen kalkstein presenterer her to prosesser. Den ene prosessen er selve kalksteinen, 1 kg kalkstein. Den andre prosessen er selve energiforbruket ved uttak av 1 kg kalkstein. I SimaPro er det laget ett prosesskort for disse to prosessene. Prosesskortet er lagt ved som vedlegg C.1. Energiforbruket presenteres av en el-mix som Østfoldforskning selv har laget. Dette fordi kraftproduksjon i Norge ikke bare er grønn kraft da vi også importerer en del kraft. Kalksteinen blir så transportert til knusing for så å bli transportert til rāmelsmøllen sammen med de andre råmaterialene som inngår i rāmelsmiksen. Det er ikke laget egne transportkort for transport inne på området. Disse prosessene og utslipp ved dette blir lagt til andre steder undervegs (lagerhus).

b) Råmaterialer som skal inn i råmøllingen

Det er laget et eget prosesskort for sammensetningen av råmaterialene som skal inn i råmøllingen for å presentere 1kg ferdig råmølmix. Råmølmixen er satt sammen av kalkstein kvarts, oxiton og kisavbrand. I SimaPro er kisavbrand byttet ut med jernmalm, da kisavbrand ikke var tilgjengelig i databasen. Prosesskortet for 1 kg råmølmiks er lagt til som vedlegg C.2.

c) Transport av råmaterialer til råmøllingen

Det er laget et eget prosesskort for transport til råmøllingen. I flytdiagrammet representerer dette kortet de fire transportboksene til råmøllingen. Kvarts, oxiton og kisavbrand kommer fra ulike steder i verden og blir fraktet med båt. I transportkortet er transportavstandene lagt inn sammen med hvilken type båt de er fraktet med. Enheten for dette blir kgkm, og presenterer til sammen frakt av 1 kg råmølmix. Transport av kalkstein inne på fabrikkområdet er ikke lagt til i dette kortet. Dette prosesskortet er lagt til som vedlegg C.3.

d) Prosess råmølling

I SimaPro er det laget et prosesskort for selve energiforbruket ved maling av ett kg råmel. Det er også lagt til.

Prosesskortet er lagt til som vedlegg C.4.

e) Prosess klinkerovn

Etter råmøllingen blir råmelet transportert til klinkerovnen. Det er ikke laget et eget prosesskort for det da dette foregår inne på fabrikkområdet.

Prosess klinkerovn presenterer energiforbruk og utslipp ved brenning av en bestemt mengde råmel som tilsvarer 1 kg klinker. De eksakte mengdene som må inn for å få ut et kilo med klinker er laget i et annet prosesskort.

Prosesskortet for prosess klinker er lagt til som vedlegg C.5.

f) Råmaterialer til sementmøllingen

Det er laget to ulike prosesskort for råmaterialer som inngår i sementmøllingen, et for Standard FA sement og et for Lavkarbonsement. Dette er fordi mengdene av de ulike råvarene som inngår er ulike i de to sementtypene. Råvarene som inngår er klinker, jernsulfat, gips, kalkmel og flygeaske.

I disse prosesskortene er ikke klinkeren med da den ikke inngår i hele prosessen før som råmel i prosesskortet for sementer.

Prosesskortene er lagt til som vedlegg C.6.

g) Transport av råmaterialer til sementmøllen

Det er laget to prosesskort for transport av råmaterialer til sementmøllen, et for Standard FA sement og et for Lavkarbonsement. Dette fordi mengden råmaterialer er forskjellig i de to sementene. Kalkmelet produseres på fabrikkområdet og det er derfor ikke lagt inn transportavstand relatert til det. Jernsulfat kommer fra Fredrikstad med lastebil og er lagt inn medrelatert avstand og transportmiddel. Flygeasken kommer fra Danmark med båt og transportavstand med relatert transportmiddel er lagt til. Gips blir transportert fra Spania med båt og transportavstand og relatert transportmiddel er derfor også lagt til i prosesskortet. Prosesskortet for Lavkarbonsement er lagt til som vedlegg C.7.

h) Prosess sementmølle

Dette prosesskortet er det samme for Standard FA sement og for Lavkarbonsement, og representerer energiforbruk med bruk av sementmøllen for å produsere 1 kg sement. Prosesskort er lagt ved som vedlegg C.8.

i) Sementsilo/ lager

Etter sementmøllen blir sementen transportert til silo for oppbevaring og lagring. Det er ikke laget et eget prosesskort for denne transporten da dette foregår inne på fabrikkområdet. Det er derimot laget et prosesskort for lagring da dette medfører et strømforbruk. Prosesskortet er lagt ved som vedlegg C.9.

j) Prosess 1 kg sement

Det er laget prosesskort for produksjon av 1 kg Standard FA sement og 1 kg Lavkarbonsement. I disse prosesskortene inngår alle de foregående prosesskortene som er beskrevet:

- Til produksjon av 1 kg lavkarbonsement inngår 0,9071 kg råmel, 0,9071 ganges da også med prosess for råmelsmølle og transport av råvarer til råmelsmølle. Denne mengden med råmel tilsvarer 0,5987 kg klinker.
- Prosessen klinker blir også lagt til som ganges med 0,5987 kg.
- Videre har vi råmaterialer som inngår i sementmøllen sammen med klinkeren. Disse råmaterialene består av 0,4013 kg av 1 kg råmel.
- Sammen med prosesskortet for råmaterialer til sementmølle må også transporten av råmaterialene til sementmøllen legges til kortet. Dette transportkortet ganges med samme mengde råmaterialer som inngår i sementmøllen.

Det lyktes ikke å få tak i nye produksjons- og utslippsdata fra Unicon angående Aalborg Portland sement. Østfoldforskning hadde derimot data fra 2006 som vi besluttet å kunne bruke i dette tilfellet. Da Aalborg Portland kun er referansebetongen er dette godt nok som sammenligning. Prosesskortet for Lavkarbonsement er lagt til som vedlegg C.10.

Transport'ene er lagt til de tilhørende, kommende prosessene. Norcem må årlig sende inn sine utslipps-tall til staten. Disse dataene ble rapportert inn i mars 2011 og ble brukt til å lage et livsløpsregnskap (LCI) for produksjon av lavkarbonsement og Standard FA sement. Miljødataene som Norcem rapporterer inn til staten er miljø- og utslippsdata forbundet med ett års produksjon av sine produkter. Grunnlagsdataene i LCI-arbeidet er derfor basert på energi- og ressursforbruk forbundet med et års produksjon av lavkarbonsement og Standard FA sement. For å finne utslippsdata for produksjon av 1 kg lavkarbonsement og 1 kg Standard FA sement ble de rapporterte tallene fordelt mellom de ulike prosessene knyttet til produksjon av sementene.

Norcem AS sine miljø-data er konfidensielle og er derfor ikke med som et vedlegg i denne oppgaven, henvendelser angående dette kan rettes til Mie Vold, Østfoldforskning AS. (Jf også metodedel i kapittel 2 om konfidensielle data) [13].

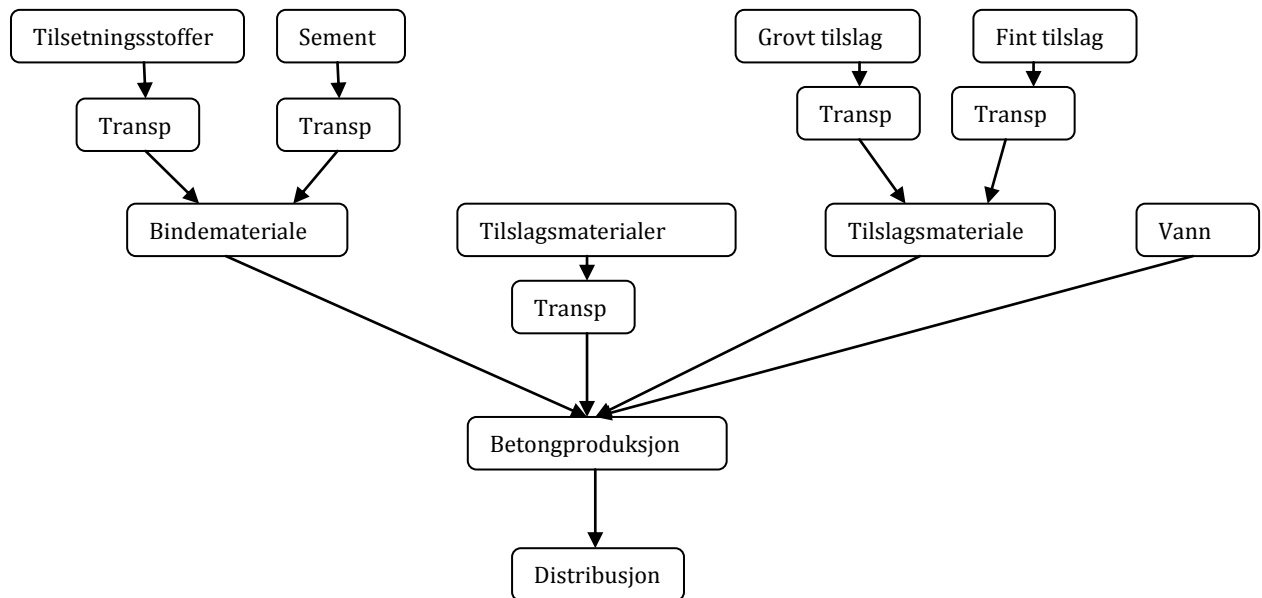
Unicon AS sine LCI-data er basert på grunnlagsdata fra 2006 og er ikke representative for dagens dato. Da østfoldforskning ikke hadde nyere data og det var vanskelig å få tak i nye data fra UNICON besluttet vi å bruke LCI-dataene fra 2006. Dette er tatt i betraktning ved sammenligningen av CO₂-utslipp fra lavkarbonbetong, Standard FA betong og Aalborg Portland betong(Unicon).

3.1.2 DATAINNSAMLING FRA BETONGPRODUKSJON

Lavkarbonbetongen og Aalborg Portland betongen ble produsert hos Unicon. Unicon har fabrikk på Sjursøya og i Sandvika. Lavkarbonsementen ble fraktet med båt fra Norcem i Brevik til Sjursøya. 2 % av Lavkarbonbetongen ble produsert på Sjursøya, mens 98 % av Lavkarbonbetongen ble produsert i Sandvika. Det vil si at i prosesskortet for produksjon av 1m³ Lavkarbonbetong er det lagt til data for transport av 98 % av lavkarbonsementen fra Sjursøya til Sandvika.

All transport fra Unicon i Danmark til Unicon i Oslo kommer med båt til Sjursøya. Aalborg rapid betongen som ble brukt på byggeplassen kom også fra begge fabrikkene. 80 % ble produsert i Sandvika og 20 % ble produsert på Sjursøya. Det vil si at i prosesskortet for produksjon av 1m³ Aalborg rapid betong er det lagt til data for transport av 80 % av Unicon sementen fra Sjursøya til Sandvika.

Figur 3.2 viser en modellering av gangen i betongproduksjon basert på de tilhørende prosessene:



FIGUR 6: FLYTDIAGRAM FOR BETONGPRODUKSJON

Flyttdiagrammet for betongproduksjon presenterer prosesskortet for produksjon av 1 m³ betong av lavkarbonbetong og Aalborg Portland betong.

Flyttdiagrammet er basert på betongreseptene hos Unicon. Disse betongreseptene er lagt ved som vedlegg. Da det er et ønske om også å sammenligne Lavkarbonbetongen med Standard FA betong er det brukt samme resept for Standard FA som det er for Lavkarbonbetong [18]. Unicon hadde heller ingen tilgjengelig betongresepter hvor Standard FA er brukt.

I prosesskortet for produksjon av 1 m³ Lavkarbonbetong er det lagt inn følgende prosesser (prosesskortet for Lavkarbonbetong er lagt ved som vedlegg C.11):

- a) Sement
- b) Transport av sement
- c) Tilsetningsstoffer, SP-stoff og P-stoff
- d) Transport av SP-stoff og P-stoff
- e) Stein
- f) Transport av stein
- g) Sand
- h) Transport av sand

Under er de ulike prosessene beskrevet nærmere:

a) Sement

Prosesskortet for produksjon av 1 kg sement er kortet som ble laget i kapittel 3.1.1.

Prosesskortet for Aalborg Portland sement er basert på data fra 2006.

b) Transport av sement

Lavkarbonsementen kommer med båt til Sjursøya i fra Norcem Brevik. Denne avstanden er lagt inn sammen med tilhørende transportmiddel med enhet kgkm. Da 98 % av Lavkarbonbetongen er produsert ved Sandvika og 2 % er produsert på Sjursøya er det lagt inn en transportavstand med tilhørende transportmiddel av 98 % av sementen fra Sjursøya til Sandvika.

Aalborg Portland kommer med båt til Sjursøya i fra Danmark. I prosesskortet for 1 m³ Aalborg Portland betong er denne transportavstanden lagt inn sammen med tilsvarende transportmiddel med enhet kgkm. 80 % av Aalborg Portland betong er produsert på Sjursøya og 20 % er produsert ved Sandvika.

c) Tilsetningsstoffer

Det er brukt både SP-stoff og P-stoff i reseptene. Se resept vedlegg B.1 og B.2. I SimaPro fantes kun databasetall for SP-stoff og det har derfor også blitt brukt den verdien for P-stoff.

Forskjellene er ubetydelige og har lite å si i forhold til min oppgave [23].

d) Transport av tilsentingsstoffer

Det ble oppdaget litt for sent at det mangler transportavstander på disse i SimaPro.

e) Stein

I resepten er det brukt to ulike størrelser på steinen, 11-16 mm og 16-22 mm. Databasetallene representerer prosess for uttak av stein og utslipp i forbindelse med uttaket.

f) Transport av stein

Steinen blir transportert med lastebil fra Steinskogen og er lagt inn med tilhørende transportmiddel og avstand, enhet kgkm. Da 98 % av Lavkarbonbetongen er produsert ved Sandvika og 2 % er produsert ved Sjursøya, er det lagt inn to ulike transportere med prosentvis fordeling. En fra Steinskogen til Sjursøya og en fra Steinskogen til Sandvika. Samme tilfelle er det for transport av stein til produksjon av Aalborg Portland betong. Her er 80 % produsert ved Sjursøya og 20 % er produsert ved Sandvika, og de respektive avstandene for transport av stein er derfor lagt inn i prosesskortet for produksjon av Aalborg Portland betong.

g) Sand

I resepten er det brukt to ulike sandtyper, 0-8 mm kilemoen fin og 0-8 mm kilemoen II. I SimaPro er det brukt samme databasetall for begge sandtypene og representerer sand brukt som fint tilslag i betong. Databasetallene representerer uttak av sand og utslipp forbundet med uttak.

h) Transport av sand

Sanden blir transportert med lastebil fra Kilemoen og er lagt inn i prosesskortet med tilhørende transportmiddel og avstand, enhet kgkm. I samme tilfellet som ved transport av stein er transporten av sand fordelt med samme prosentvis andel etter hvor mye av betongene som er produsert ved Sjursøya og ved Sandvika.

3.1.3 DATAINNSAMLING FRA BYGGEPROSESS

Støpingen av lavkarbonbetongen på Åstadryggen tok til i august 2010 og fortsatte utover høsten og nyåret 2011. I forbindelse med byggeprosessen var noe av mitt arbeid å registrere om det ble brukt ekstratiltak på byggeplassen utover det som var nødvendig for referansebetongen.

Lavkarbonbetongen og Aalborg Portland betongen skulle så godt det lot seg gjøre bli behandlet så likt som mulig.

Datainnsamling fra byggeprosessen har bestått i observasjoner av betongene, støpemåte, bruk av utstyr under støping, bruk av utstyr etter støping, samtaler med formann og anleggsarbeidere.

For å finne ut om lavkarbonbetongen krever mer på kaldere dager måtte det observeres hvordan den oppførte seg i forhold til referansebetongen. Lavkarbonbetongen og Aalborg rapid betongen ble behandlet noe lunde likt. Men da betongene ble støpt på ulike dager, og ikke samme dag, varierer temperaturen noe og utfallet blir ikke likt. Vinteren 2010/2011 var en relativt kald vinter (se værdata i litteraturkapitlet).

Under samtale med Einar Lauritsen ble det gitt uttrykk for at lavkarbonbetongen ikke var en betong for svært kalde dager [21]. Det ble også uttrykt at ved -8 viste Lavkarbonbetongen seg å reagere betydelig tregere en referansebetong med tanke på varme- og herdeutvikling.

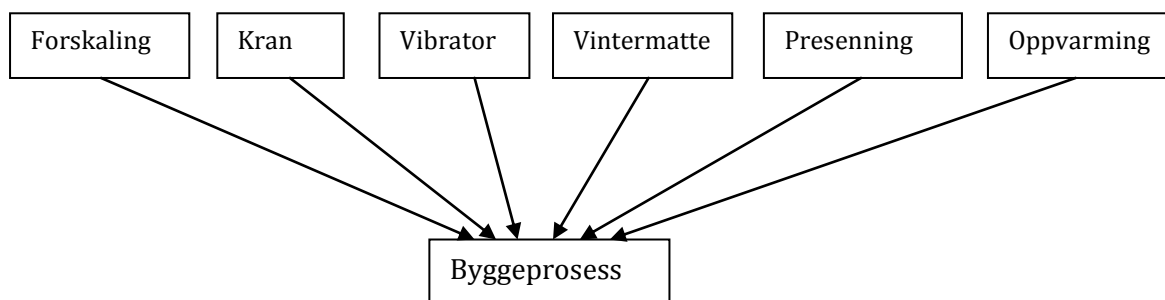
Dagen etter støping av en vegg i Lavkarbonbetong, ble det registrert temperatur i betongen på -4 °C. Dette førte til at betongen krevde oppvarming resten av arbeidsdagen, noe som er estimert til 7 timer ekstra med oppvarming.

Inkludert i prosesskortet for byggeprosessen er transport av betong fra henholdsvis Sjursøya og Sandvika, bruk av utstyr under støping som vibrator, kran, forskalingslemmer, vintermatter, propanovner og presenning.

Alle prosessene har egne prosesskort for at det skal kunne settes sammen til kortet for byggeprosess.

Prosessene som er inkludert i byggeprosessen er:

- a) Bruk av forskaling
- b) Bruk av kran og vibrator ved støping
- c) Bruk av vintermatte
- d) Bruk av propan, 7 timer
- e) Bruk av presenning
- f) Armering



FIGUR 7: FLYTDIAGRAM FOR BYGGEPROSESS

Under er de ulike prosessene beskrevet nærmere:

a) Forskaling

Forskalingen er satt sammen av 25 % finerplater og 75 % stål per m². I følge PERI NORGE AS som leverer forskalingen er gjenbrukstiden på rammen av stålet lenger enn på finerplatene. Levetiden er alt fra 1-150 ganger gjenbruk da gjenbrukstiden på stålformen er 7-10 år mens finerplatene har en levetid på 30-40 ganger[22]. I SimaPro har vi satt gjenbrukstiden for begge deler til 30 ganger. I SimaPro fant vi bare finerplater oppgitt i m³, så vi estimerte tykkelsen til å være 5cm. I prosesskortet er også transport av forskalingen tatt med. Stålet blir laget i Weiserhorn, Tyskland og blir transportert med tungtransport til Peri. Fiberplatene blir laget i Helsinki, Finland og blir transportert med tungtransport. Transportavstandene er funnet i nettstedet ViaMichelin.com.

Prosesskortet for forskaling er lagt ved som vedlegg C.13.

b) Kran og vibrator

Kranen som ble brukt er leid fra Kranor, datablad ligger ved. Selve støpingen av en vegg tar ca én time. Bruk av kranen er derfor basert på et strømforbruk i en time.

Vibrator er leid fra Ramirent. Bruk av vibratoren er også basert på strømforbruk i én time.

c) Vintermatte

Det har blitt brukt to typer vintermatter, vintermatte på rull, etafoam, sydde vintermatter. I prosesskortet er det kun lagt inn vintermatte på rull, etafoam.

Disse mattene kjøper veidekke fra Haukon. Det er ikke lagt inn transportavstander på det.

I SimaPro er det brukt LDPE, Low-density polyethylene, da EcoInvent ikke har data for etafoam. (25 kg/m³) 10 mm. B=155 cm).

Prosesskort er lagt ved som vedlegg C.15.

d) Presenning

Presenningen som er brukt er armert Proflex presenning i polyethylene. (240g/m²).

I SimaPro er det her også brukt LDPE, low-density polyethylene. Den totale mengden presenning som er lagt inn i prosesskortet for byggeprosess er delt på 10 da vi antar at gjenbruket er 10 ganger før de kastes.

e) Oppvarming

Det er brukt propanovner til oppvarming.

(4,7 kg propan i timen)

I SimaPro er det lagt inn 7 timer med fyring.

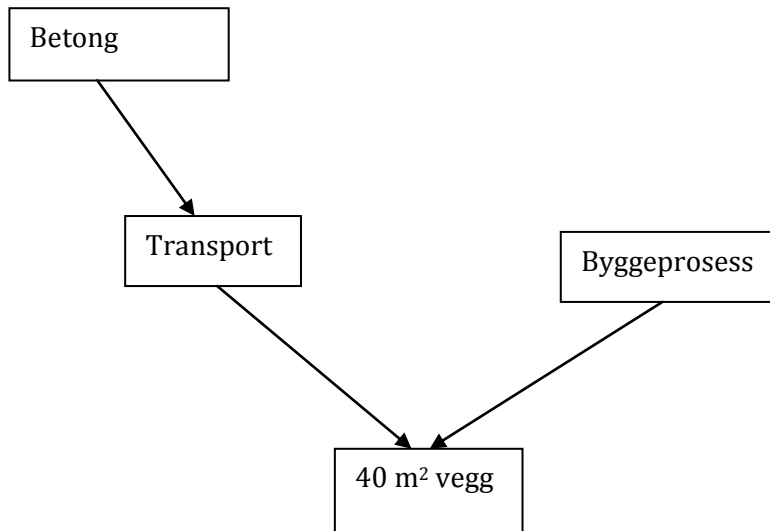
f) Armering

Det er ikke tatt med bruk av armering i veggene (1,9 kg/m²).

3.1.4 PROSESS STØPING AV 40 M2 VEGG

For å kunne sammenligne de ulike betongene (Lavkarbonbetong, Aalborg Portland betong, og Standard FA betong), og å få gjenspeile bruksområdet på best mulig måte ble den funksjonelle enhet til slutt en 40 m² vegg. Dette er en enhet som folk flest kan forholde seg til og som alle har en idé om enn for eksempel om dette hadde vært en 7 m³ vegg.

Prosessene som inngår i dette prosesskortet er produksjon av betong, transport av betong til byggeplassen og byggeprosessen ved støping og størknings/herdefase for betongen.



FIGUR 8:FLYTDIAGRAM FOR STØPING AV EN 40 M² VEGG

Under er de ulike prosessene beskrevet nærmere:

Betong

Til støping av en 40 m² vegg gikk det ca med 7m³ betong. I prosesskortet er derfor prosessen for produksjon av 1m³ betong ganget opp med 7.

Transport

Det er laget egne prosesskort for Transport av betongen til byggeplassen. Dette fordi 98 % kommer fra Sandvika og 2 % kommer fra Sjursøya. Når det gjelder Aalborg Portland kommer 80 % fra Sjursøya og 20 % fra Sandvika. Avstandene er lagt inn med prosentvis fordeling av transport av betongen sammen med tilhørende transportmiddel, se vedlegg C.12.

Byggeprosess

Byggeprosessen er her lagt inn som forklart over. Prosesskortet for byggeprosess er lagt ved som vedlegg C.16.

3.2 FORUTSETNINGER OG DATAKVALITET

Forutsetninger som er lagt til grunn for alle inngående og utgående strømmer fra produksystemet og kildene for de benyttede data er beskrevet i Tabell 5.

TABELL 5: FORUTSETNINGER OG DATAKVALITET

	Operasjon	Forutsetninger	Kilde	Datakvalitet
Råvarer til råmelsmix				
Kalkstein	Råvareuttak	Steds spesifikke data, Årsgjennomsnitt for Norcem gruve	Norcem, 2001	Spesifikke data
	Transport	Faktisk gjennomsnittlig energiforbruk fra gruve/dagbrudd, 2010	Norcem 2011	Spesifikke data
		Utslippstall er basert på databasedata for spesifikke transportmidler	Simapro/østfoldforskning	Spesifikke data
Andre råvarer som blandes med råmel	Produksjon	Livsløpsdata for materialene fra råvare uttak til fabrikkport	SimaPro/ Ecoinvent	Spesifikke databasedata
	Transport	Transportavstander, spesifikke	Oppgitte avstander fra kunde	Steds spesifikke data
		Utslippsdata er basert på databasedata for spesifikk transportmidler	SimaPro, Ecoinvent, østfoldforskning	Spesifikke data
Råmelsmølle	Prosess	Steds spesifikke data, Årsgjennomsnitt for Norcem Breviks råmelsmølle, 2010	Norcem 2010	Spesifikke data
Klinkerproduksjon				
Klinkerproduksjon	Prosess	Basert på Norcem egen bruk av energi og målte/beregnete utslipp fra klinkerovn, årsgjennomsnitt for 2010	Norcem 2011	Spesifikke data
Sementmix				
Kalkmel	Produksjon	Antar data som for råmelsmix, men bruk direkte	Norcem 2011	Spesifikke data
	Transport	Produseres på fabrikkområdet. Interntransport inngår i oppgitte energitall for fabrikk.		
Flygeaske og jernsulfat	Produksjon	Antas å være avfallsmateriale fra andre produksjonsprosesser og alle belastninger er allokert til hovedproduktet.		
	Transport	Transportavstander er spesifikke.	Oppgitte avstander fra Norcem	Stedsspesifikke data
		Utslippstall er basert på databasedata for spesifikke transportmidler	Simapro/EcoInvent/Østfoldforskning	Spesifikke database data
Andre råvarer til sementmix	Produksjon	Livsløpsdata for materialene fra råvareuttak til fabrikkport	SimaPro/EcoInvent	Spesifikke database data
	Transport	Transportavstander spesifikke	Oppgitte avstander fra kunde	Stedsspesifikke data
		Utslippstall er basert på databasedata for	SimaPro/EcoInvent/Østfoldforskning	Spesifikke database data

		spesifikke transportmidler.			
Sementmølle	Prosess	Stedsspesifikke data, Årsgjennomsnitt for Norcem Breviks råmølle, 2010	Norcem 2011	Spesifikke data	
Pakking og håndtering					
Varelager	Prosess	Stedsspesifikke data, Årsgjennomsnitt for Norcem Breviks råmølle, 2010	Norcem 2011	Spesifikke data	
Betongproduksjon					
Sement: Lavkarbonsement og Aalborg Portland sement	Produksjon	Spesifikke data, baser på årsgjennomsnitt for Norcem Breviks sementproduksjon, 2010	Norcem 2011	Spesifikke data	
		Spesifikke data for Aalborg Portland sement, Unicon 2006	Østfoldforskning 2006, Unicon 2006	Spesifikke data	
	Transport	Transportavstander spesifikke for	Oppgitte avstander fra Unicon		Stedsspesifikke data
		Utslippstall er basert på databasedata for spesifikke transportmidler.	SimaPro/ Ecolnvent/ Østfoldforskning		Spesifikke databasedata
P-stoff og SP-stoff	Produksjon	Spesifikke data	SimaPro/ Ecolnvent	Spesifikke database data	
	Transport (til sandvika og til Sjursøya)	Transportavstander spesifikke	Oppgitte avstander fra Unicon	Spesifikke data (avstander)	
		Utslippstall er basert på databasedata for spesifikke transportmidler.	SimaPro/ Ecolnvent/ Østfoldforskning		Spesifikke databasedata
Sten, 11-16 mm og 16-22 mm	Produksjon	Uttak/ knusing på stedet			
	Transport (Fra Sandskogen til Sandvika og til Sjursøya)	Transportavstander spesifikke	Oppgitte avstander fra Unicon		
		Utslippstall er basert på databasedata for spesifikke transportmidler.			
Sand, fin og II, 0-8 mm	Produksjon	Uttak/ knusing på stedet		Spesifikke data	
	Transport (Fra Kilemoen til Sandvika og til Sjursøya)	Transportavstander spesifikke	Oppgitte avstander fra Unicon	Spesifikke data (avstander)	
		Utslippstall er basert på databasedata for spesifikke transportmidler.	SimaPro/ Ecolnvent/ Østfoldforskning		Spesifikke databasedata
Betongproduksjon	Prosess	Spesifikke data, Unicon 2006		Spesifikke data	
	Transport	Transportavstander spesifikke	Oppgitte avstander fra Unicon	Spesifikke data (avstander)	
		Utslippstall er basert på databasedata for spesifikke transportmidler.	SimaPro/ Ecolnvent/ Østfoldforskning		Spesifikke databasedata
Byggeplass					
Betong: Lavkarbonbetong og Aalborg Portland betong	Transport til byggeplass	Transportavstander spesifikke	Oppgitte avstander fra Unicon	Spesifikke data (avstander)	
		Utslippstall er basert på databasedata for spesifikke transportmidler.	SimaPro/ Ecolnvent/ Østfoldforskning	Spesifikke databasedata	
Forskaling	Produksjon	Spesifikke data, Peri Norge AS	Peri Norge AS, SimaPro/ Ecolnvent/ Østfoldforskning	Spesifikke databasedata	
	Transport	Transportavstander spesifikke	Oppgitte avstander fra Peri Norge AS.	Spesifikke data (avstander)	
		Utslippstall er basert	SimaPro/ Ecolnvent/		Spesifikke

		på databasedata for spesifikke transportmidler.	Østfoldforskning	databasedata
Kran	Byggeprosess	Spesifikke data, Kranor	Kranor AS	Spesifikke data
		Utslippstall er basert på databasedata for spesifikke energitall.	SimaPro/ Ecolnvent/ Østfoldforskning	Spesifikke databasedata
Vibrator	Byggeprosess	Spesifikke data, Ramirent	Ramirent	Spesifikke data
		Utslippstall er basert på databasedata for spesifikke tall for energiforbruk.	SimaPro/ Ecolnvent/ Østfoldforskning	Spesifikke databasedata
Oppvarming	Byggeprosess	Spesifikke data, byggeplass Veidekke	Veidekke	Spesifikke data
		Utslippstall er basert på databasedata for spesifikke tall for energiforbruk.	SimaPro/ Ecolnvent/ Østfoldforskning	Spesifikke databasedata
Presenning	Byggeprosess	Spesifikke data, byggeplass Veidekke	Veidekke	Spesifikke data
		Utslippstall er basert på spesifikke databasedata	SimaPro/ Ecolnvent/ Østfoldforskning	Spesifikke databasedata
Vintermatte, etafoam	Byggeprosess	Spesifikke data,	Spesifikke data
		Utslippstall er basert på spesifikke databasedata	SimaPro/ Ecolnvent/ Østfoldforskning	Spesifikke databasedata

3.3 ANALYSE AV EMPIRI

3.3.1 LCA-METODIKK

Arbeidet med LCA har i aller høyeste grad vært en iterativ prosess (jf. figur 3 side 13). Hensikten og omfanget med studien samt den funksjonelle enheten har blitt endret opp til tre ganger før kom frem til den delen som beskrev utfallet best. Den funksjonelle enheten av gått fra å omhandle 1 m³, via 7 m³ til å bli en 40 m² vegg. Omfanget og den funksjonelle enheten endret seg fra å omhandle 1 kg Lavkarbonsement til å dreie seg om en 40 m² vegg støpt i Lavkarbonbetong. Veien for å komme dit har i stor grad fulgt fremgangsmåten beskrevet i ILCD Handbook [13], se fremgangsmåte for utarbeidelse av en LCA i kapittel 2.

Største delen av LCA arbeidet har vært selve datainnsamlingen, utførelse av livsløpsregnskapet (LCI), modelleringen av prosessene, utarbeidelse av prosesskortene i SimaPro.

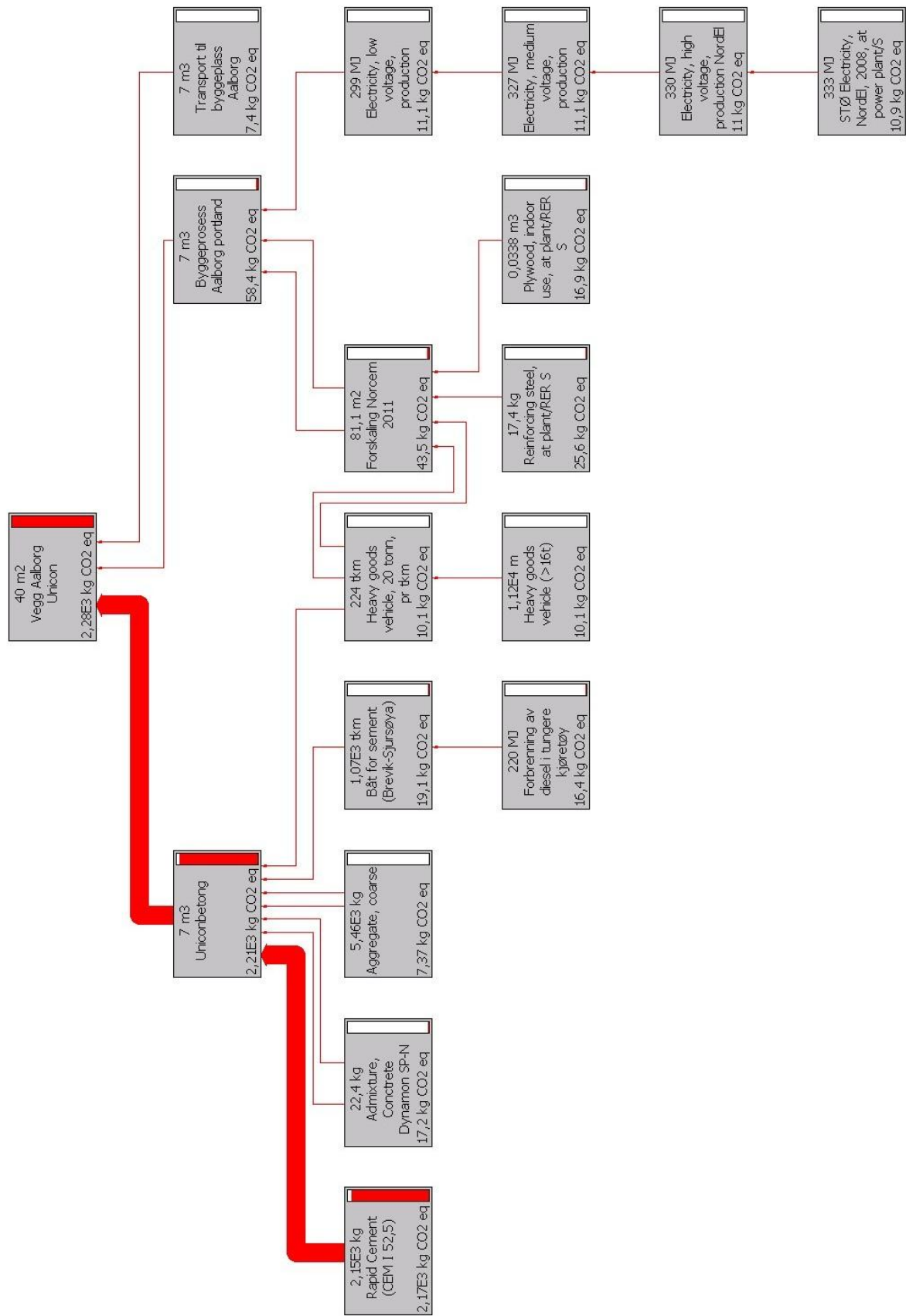
4 RESULTATER

I dette kapitlet skal jeg presentere resultatene vi har fått etter at beregningene har blitt utført i SimaPro. I 4.1 og 4.2 presenteres resultatene ved hjelp av prosesstrær og i 4.3 presenteres resultatene basert på bearbeiding av dataene for det totale utslipp av CO₂-ekvivalenter ved støping av en 40m² vegg i Lavkarbonbetong, Aalborg Portland betong, og simulering av støping av vegg i Standard FA.

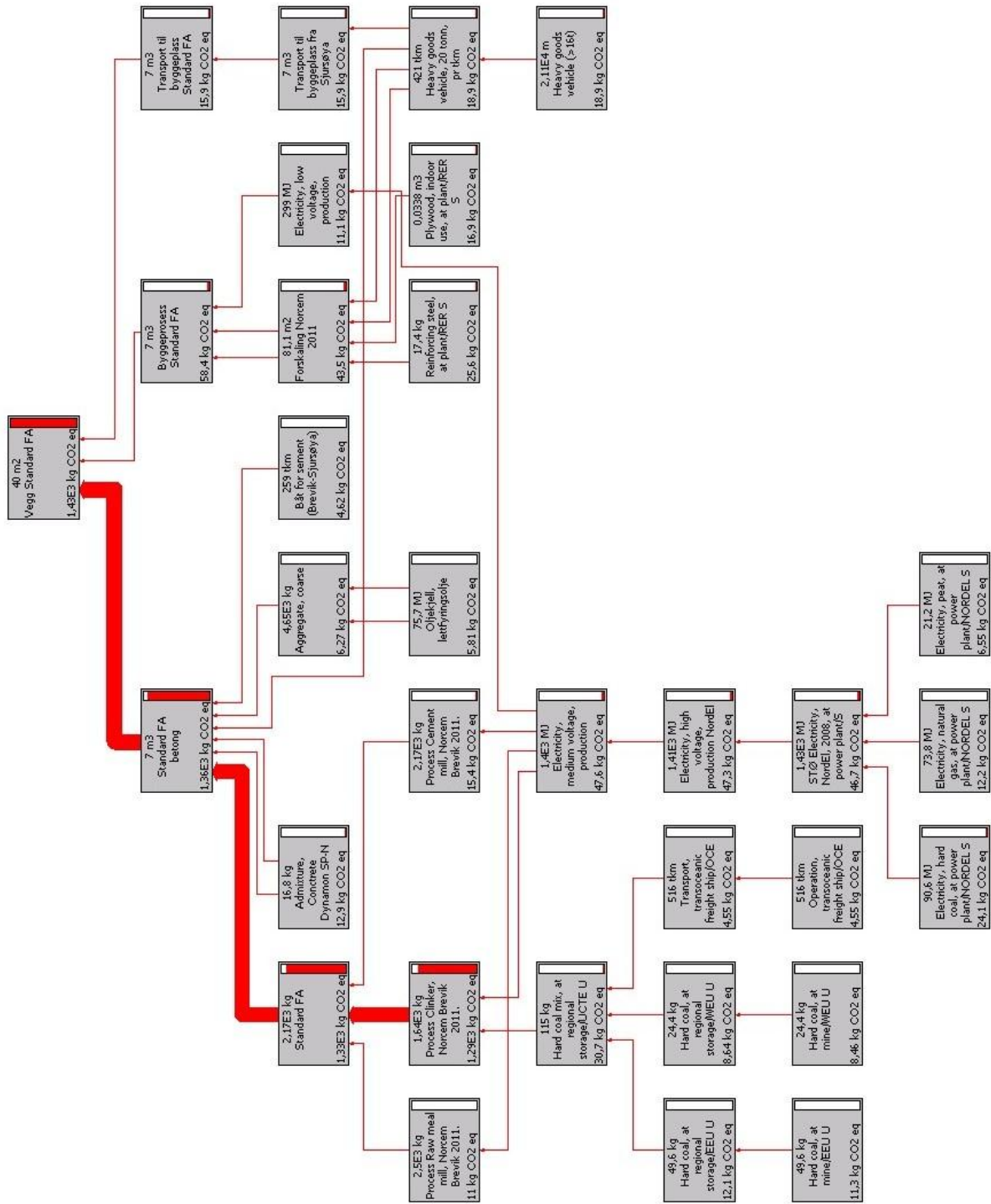
Et prosesstre er et virkemiddel man kan bruke for å illustrere resultater i SimaPro. I prosesstreet vil den prosessen som gir størst belastning i systemet og i forhold til hvilken vektning man har valgt vises ved en størrelsesorden på pilene mellom de ulike prosessene. Det er dermed mulig å se ganske umiddelbart hvilken prosess som har størst belastning og hvor den stammer fra. Dette vil bli forklart nærmere ved diskusjon av de enkelte prosesstrærne.

Da mine kalkulasjoner er basert på GWP (global warming potential) eller CO₂-ekvivalenter, vil hver rute presentere antall kg utslipp av CO₂-ekvivalenter.

Prosesstrærne fra byggeprosessen vil også bli presentert da disse delresultatene er relevant for det endelige resultatet.



FIGUR 10: STØP AV EN 40 M² VEGG I AALBORG PORTLAND BETONG



FIGUR 11: SIMULERT STØP AV EN 40 M² VEGG I STANDARD FA BETONG

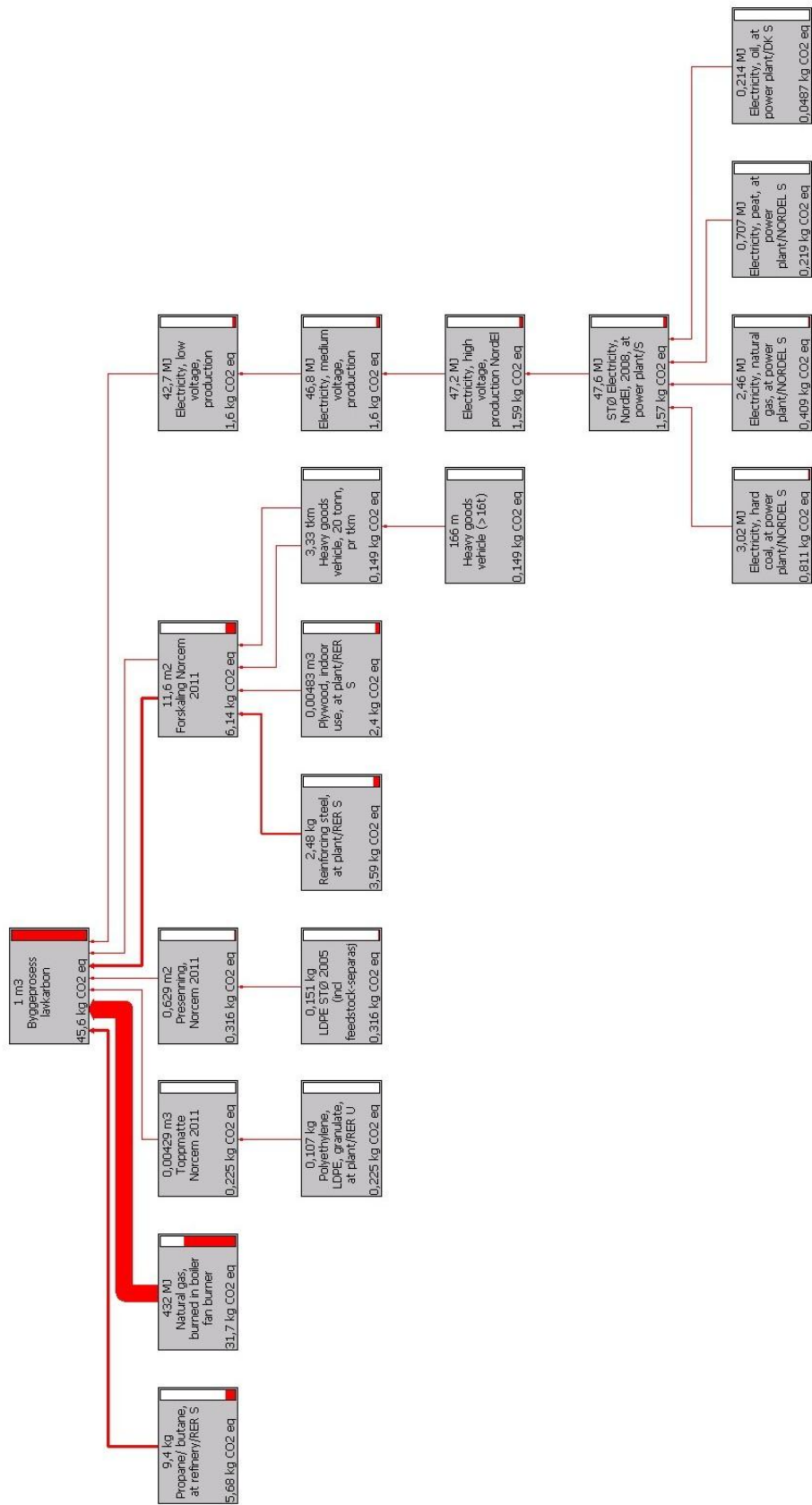
Prosesstrærne representerer også hvordan prosesskortene for de tre veggene er bygget opp. I prosesskortet for støping av en 40 m² vegg i Lavkarbonbetong er det i motsetning til referansebetongen og Standard FA betongen lagt til en fyring på syv timer ekstra i byggeprosesskortet. Årsaken til dette er at det i samtale med Einar Lauritsen ble sagt at ved ett tilfelle trengte betongen ekstra fyring utover det referansebetongen trengte og at det da ble fyrte en hel arbeidsdag ekstra (syv timer), og man kunne ikke rive forskaling som ønsket [21]. At disse syv timene er plottet inn i SimaPro har den betydning at det illustrerer forskjellen mellom de tre betongene at ekstra fyringen også fører til et betydelig større utslipp. I det neste delkapittelet vises prosesstrærne for byggeprosessene av lavkarbonbetong Aalborg og simulering av standard FA. Her illustreres det tydeligere hvor stor belastningen med fyring er.

4.2 PROSESSTRÆR FOR BYGGEPROSESS

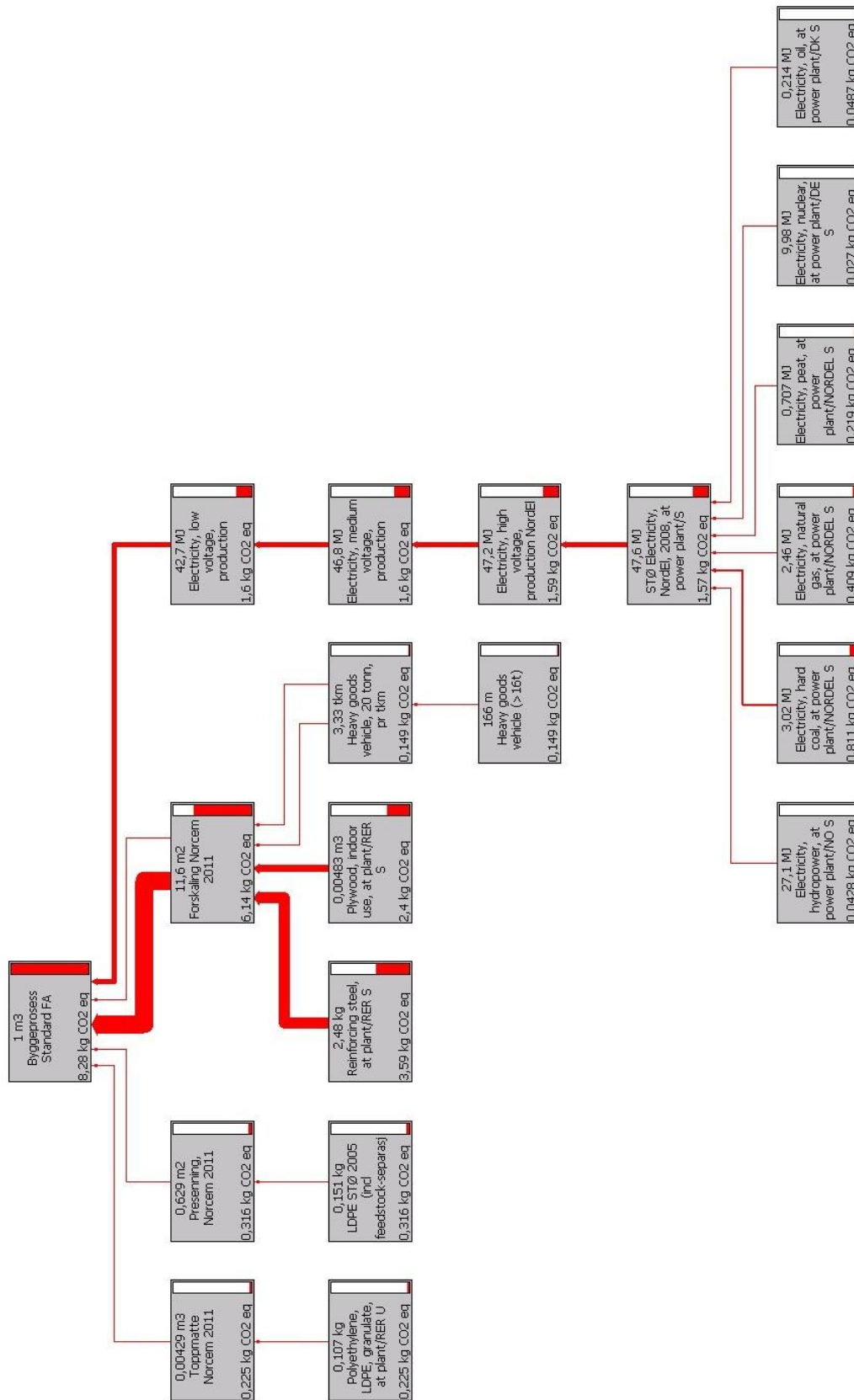
I dette delkapittelet vises prosesstrærne for byggeprosess. Årsaken til at jeg tar disse med byggeprosessene er for å tydeliggjøre fyringen sitt utslag på utslipp av klimagasser.

Den bredeste pilen i et prosesstre viser hvilken prosess som innehar den største belastning og hvor den stammer fra. Her ser vi en klar forskjell på byggeprosess for lavkarbonbetong og byggeprosess for Aalborg betong. I byggeprosess for Lavkarbonbetong er det gassen som gir den største belastningen, mens i byggeprosess for Aalborg betong er det forskalingen som gir den største belastningen. Med belastning menes utslipp av klimagasser.

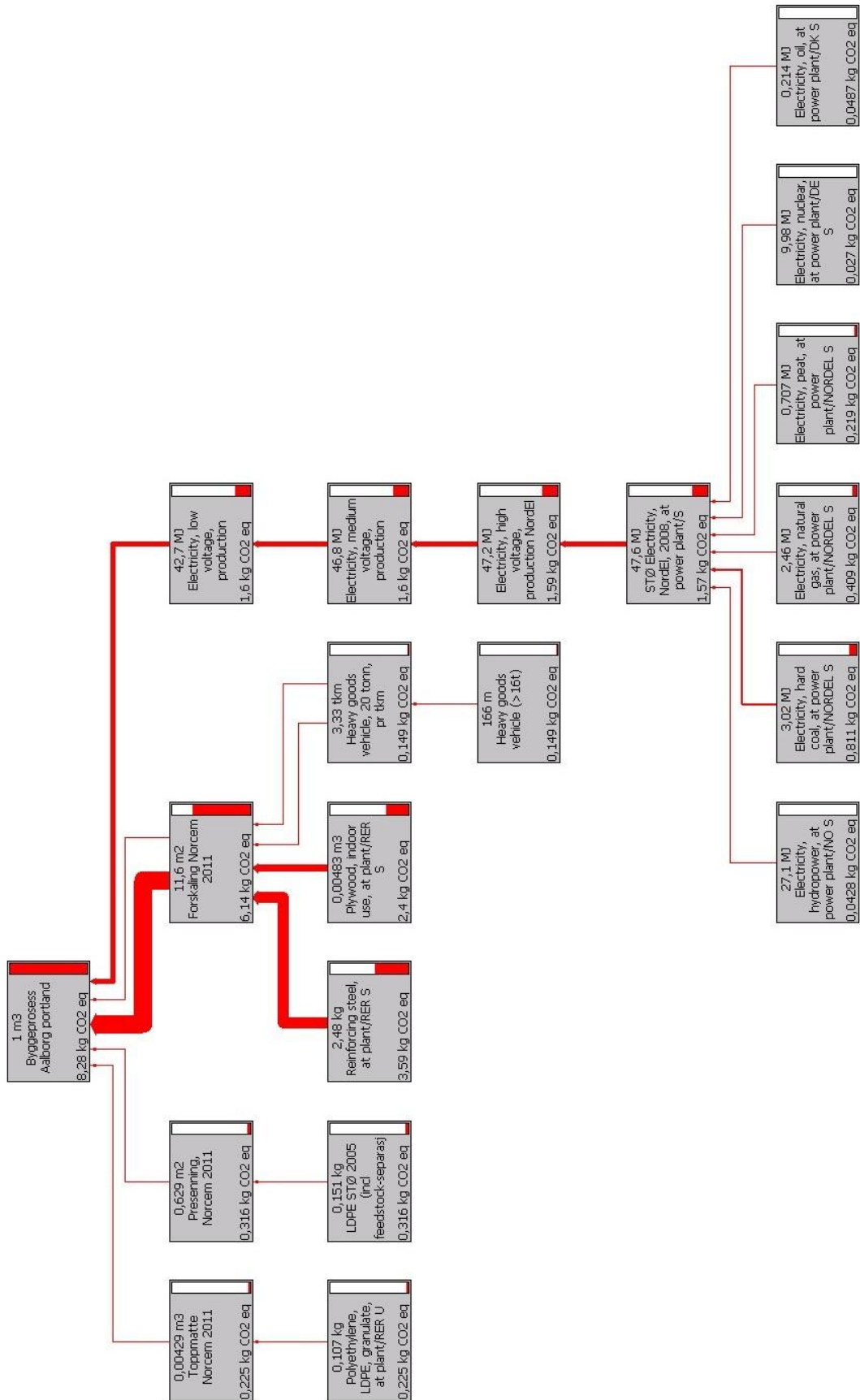
I byggeprosess for lavkarbonbetong er det lagt til som beskrevet i forrige delkapittel en fyring med propan i 7 timer, mens i byggeprosess for Aalborg betong er det ikke lagt til fyring. Foruten dette er byggeprosessene like. Allerede nå ser vi at mengden utslipp av CO₂-ekvivalenter er betydelig høyere for ekstra fyring på Lavkarbonbetongen i syv timer, enn uten fyring på referansebetongen. Men er det så mye at det får utslag for det CO₂-gevinsten vi får under produksjon?



FIGUR 12: BYGGEPROSSE FOR 1 M³ LAVKARBONBETONG



FIGUR 13: SIMULERT BYGGEPROSSE FOR 1 M³ STANDARD FA BETONG



FIGUR 14: BYGGEPROSSE FOR 1 M³ AALBORG PORTLAND BETONG

4.3 KLIMAGASSUTSLIPPSBEREGNINGER I SIMAPRO

For å komme et steg nærmere svaret på problemformuleringen har jeg valgt å belyse hvor mye ekstra fyring man kan tilføre før man ikke lenger har noen CO₂-gevinst.

Fra resultatene av støping av en 40 m² vegg kan jeg hente ut hvor mye CO₂-utslipp som skyldes produksjon av betong, hvor mye som skyldes byggeprosess og hvor mye som skyldes transport av betongen til byggeplassen.

Neden for viser et sammendrag fra utregningene i SimaPro basert på GWP (global warming potential). Tabellene i sin helhet er lagt til som vedlegg i kapittel 10.

TABELL 6: SUMMERT CO₂-EKVIVALENTER MED 7 TIMER MED FYRING PÅ LAVKARBONBETONGEN

Fyring i 7 timer	40 m ² Vegg Lavkarbon-betong m/7 t fyring		40 m ² Vegg Aalborg Portland u/fyring		40 m ² Vegg Standard FA u/fyring	
Betongproduksjon	1180	78,5%	2213	97,1%	1355	95,6%
Byggeprosess	318	21,2%	58	2,5%	58	4,1%
Transport til byggeplass	5	0,3%	7	0,3%	5	0,4%
Summert CO₂-ekvivalenter	1503	100,0%	2278	100%	1418	100,0%

Fra tabell kan vi se at fyring i 7 timer på Lavkarbonbetongen utgjør hele 21,2 % av det totale utslippet av støping av en 40 m² vegg.

Fra tabellen kan vi også finne ut at 1 times fyring med propan utgjør et utslipp av klimagasser på 37 kg CO₂-ekvivalenter ((318-58)/7 = 37).

Tabell 4.2 Viser resultatet uten fyring.

TABELL 7: SUMMERT CO₂-EKVIVALENTER UTEN FYRING PÅ LAVKARBONBETONGEN

Uten fyring	40 m ² Vegg Lavkarbon-betong u/fyring		40 m ² Vegg Aalborg Portland u/fyring		40 m ² Vegg Standard FA u/fyring	
Betongproduksjon	1180	94,9%	2213	97,1%	1355	95,6%
Byggeprosess	58	4,7%	58	2,5%	58	4,1%
Transport til byggeplass	5	0,4%	7	0,3%	5	0,4%
Summert CO₂-ekvivalenter	1243	100,0%	2278	100%	1418	100,0%

Fra denne sammenhengen ser vi at uten fyring har vi at bruk av lavkarbonbetongen til støping av en 40 m² vegg gir en CO₂ gevinst på 1418 - 1243 = 175 kg CO₂ ekvivalenter (12 % gevinst) i forhold til den simulerte støpingen av en 40 m² veggen i Standard FA betong. I forhold til Aalborg Portland gir bruk av lavkarbonbetong ved støping av en 40 m² vegg en CO₂-gevinst på 2278 - 1243 = 1035 kg CO₂-ekvivalenter (45 % gevinst).

Ut i fra dette kan vi finne ut hvor mange timer med fyring som må til for at gevinsten tapes.

Tabell 4.3 viser antall timer.

TABELL 8: ANTALL TIMER MED FYRING SOM MÅ TIL FOR ANNULERE

	Aalborg	Standard FA
Gevinst ved bruk av lavkarbonbetong	1035	175
Kg CO₂-ekvivalenter pr time m/fyring	37	37
Antall timer med fyring for å annullere gevinsten	28	5

Som vi ser kan vi fyre med propan i 28 timer før CO₂-gevinsten blir tapt i forhold til Aalborg rapid betong. I forhold til Standard FA betong er fyringstiden derimot bare 5 timer før gevinsten ved produksjon er tapt.

4.4 FREMDRIFT OG VÆRFORHOLD

Fremdriften på byggeplassen under støp med lavkarbonbetong har ikke blitt påvirket på noen måte under hele støpeperioden[21]. Det har derimot gått igjen i samtalene med Einar Lauritsen at dette ikke er en betong for bruk ved lavere utetemperaturer enn -8 °C. Disse uttalelsene er basert på bred erfaring og resultat av oppfattelse og observasjon av hvordan betongen reagerer på de kalde dagene. At betongen ikke har påvirket fremdriften kommer også frem av at forskalingen har blitt revet når den skulle, bortsett fra ved ett tilfelle hvor man måtte fyre ekstra dagen etter.

5 DISKUSJON AV RESULTATER

5.1 KRITIKK AV METODE

En annen feilkilde kan være at forsøkene ikke har skjedd under kontrollerte omstendigheter. Det er mye som spiller inn for å få identiske forhold når man skal prøve ut to ulike betonger. For det første bør temperaturgrunnlaget være likt. Temperaturen ute bør være den samme, temperaturen i betongene ved ankomst på byggeplass bør være den samme, bruk av samme type oppvarming hvis det er mulig, og lik lengde med oppvarming.

Gjennom støpeprosessen har det vært mulig å få til støp av begge betongene på samme dag én gang. Da det ble brukt oppvarming her på begge stedene, heissjakt og vegg, kan det være vanskelig å si hvor mye denne oppvarmingen virker på de to betongene da de er så pass ulike.

5.2 DISKUSJON AV RESULTATER

Ved -8 °C og lavere trengte Lavkarbonbetongen ekstra tiltak utover det referansebetongen trengte. Ved fyring i 5 timer vil den CO₂-gevinsten som man får ved produksjon av Lavkarbonsement bli annullert.

5.2.1 KLIMAGASSREGNSKAPET

I følge resultatene for utregningene i SimaPro får vi en CO₂-gevinst i produksjonsfasen av Lavkarbonsementen. I byggefasen opprettholdes denne gevinsten så lenge betongen ikke krever ekstra oppvarming.

I følge resultatene spises gevinsten opp etter bare fem timer med ekstra fyring. Da utprøvingen av denne betongen foregikk i et reelt byggeprosjekt med en fremdriftsplan er det vanskelig å si eksakt hvor mange timer ekstra denne betongen trengte i forhold til referansebetongen. For å finne ut av det burde det vært gjort mer kontrollerte forsøk uavhengig av fremdrift, og støping av Lavkarbonbetongen og en referansebetong på samme tidspunkt slik at de også blir påvirket av de samme værforholdene som temperatur og vind.

En annen ting som er verdt å diskutere er hvor lenge man i praksis fyrer ved normal vinterstøp. Ved støping av disse innerveggene startet man gjerne i totiden på ettermiddagen og hvor da fyringen stod på til dagen etter. Fra kl. 14.00 på ettermiddagen til kl 07.00 dagen etter utgjør dette hele 17 timer. Da en time med fyring har et utslipp på 37 kg CO₂-ekvivalenter betyr det at en fyring av en vegg i 17 timer har et utslipp på 629 kg CO₂-ekvivalenter. Bare i fyring utgjør det 50 % av hele utslippet til veggen støpt i Lavkarbonbetong som har et utslipp på 1243 kg CO₂-ekvivalenter. I

forhold til disse tallene har CO₂-gevinsten blitt spist opp alle rede samme dagen som veggen støpes. Det kan også påpekes at det ikke har vært dager der det kun har vært nødt til å fyre på Lavkarbonbetongen og ikke referansebetongen.

5.2.2 FREMDRIFT OG PRAKSIS PÅ BYGGEPLASS

Det kan være et stort potensial for reduksjon av CO₂-ekvivalenter ved endring av utførelse av fyringstiltak på byggeplassen. Det er antydnet så vidt ovenfor at fyring på byggeplass kanskje bør få en annen praksis enn det den har i dag, og det er relativt tydelig hvor man kan spare inn på CO₂-utslippet. Norcem har tatt et steg for å gjøre noe med dette. Det er nå kanskje opp til brukeren å ta det neste steget?

En måte å endre denne fyringspraksisen på kan være bruk av mer isolerte forskalingslemmer. Forskalingslemmene står i utgangspunktet for det største CO₂-utslippet i byggeprosessen da stålet er svært energikrevende å fremstille. Stålkonstruksjonen i forskalingen har derimot en lengre levetid, noe som er fordelsaktig ved tanke på CO₂-utslippet. En ekstra isolering i forskalinglemmene vil ikke ha en like høy gjenbrukstid som stålkonstruksjonen men vil ha en hvis gjenbrukstid. En annen måte å endre fyringspraksisen på kan være å ha en mer effektiv utnyttelse av fyringen da det per i dag er vanlig å fyre under en "løs" presenning.

Bruk av Lavkarbonbetong har ikke under bygging av Åstadryggen leiligheter gått ut over fremdriften.

Opprettholdelse av fremdrift er en svært viktig økonomisk faktor på en byggeplass. Det er derfor også en selvfølge at det ikke blir tatt noen sjanser i forhold til dette. En plasstøpt vegg som fryser, hvor man må rive og bygge nytt, eller en plasstøpt vegg som trenger oppvarming i et døgn ekstra kan få store konsekvenser for fremdriften og dermed også for økonomien. Ved dette pilotprosjektet skulle Lavkarbonbetongen og referansebetongen behandles mest mulig likt og mest mulig reelt. Til tross for at hypotesen om at Lavkarbonbetongen vil kreve mer, skulle betongen så godt det lot seg gjøre ikke få noen ekstra behandling. Det ligger derimot i sakens natur at om man har en usikkerhetsfaktor prøver man å gjøre det man kan for at dette ikke skal slå ut. Dette gjelder uansett tilfelle og uansett hvilken betong man støper med. Jeg ligger derfor til grunn at en slik usikkerhetsfaktor har funnet sted og jeg velger derfor for videre diskusjon å sette grensen for bruk av lavkarbonbetong på -8 °C. Dette er basert på observasjoner og uttalelser fra en Formann med 30 års erfaring på byggeplass. Han uttrykker i sin observasjon av betongen at ved -8 °C og lavere oppfører betongen seg annerledes og den har en tregere temperaturutvikling.

5.2.3 VÆRFORHOLD

Vinteren i år (2011/2012) har vært forholdsvis mild sammenlignet med fjorårets vinter (2010/2011). Likevel ble ingen av støpene under bygging av Åstadryggen leiligheter vinteren 2010/2011 avlyst på grunn av værforhold.

Vi har fire- fem vintermåneder i året hvor støpingen kan være kritisk. Disse er november, desember, januar, februar og mars. (Dette er vel og merke basert på målinger fra Blinderen, Oslo som var den målestasjonen med historiske data som ligger nærmest området for utprøvingen av Lavkarbonbetongen). Det vil si at 5/12 av året er det også kritisk å bruke Lavkarbonbetongen. En annen ting er faktisk hvor mange dager i løpet av disse månedene temperaturer er lavere enn -8°C . Andre store norske byer, som for eksempel Bergen og Stavanger (vel og merke i kyststrøk), har en høyere gjennomsnittstemperatur enn hva målestasjonen for Oslo(Blinderen) viser. Her er det få dager i året der temperaturen når ned til -8°C . På andre siden igjen, for å betrakte andre deler av Norge som innlandet og Nord-Norge (Nesbyen, Dombås, Karasjok) har man derimot gjennomsnittstemperaturer som ligger under -8°C . Ut i fra dette kan det være en løsning å avgrense bruken av lavkarbonbetongen geografisk vinterstid.

Til tross for at det er færre "vintermåneder" enn "sommermåneder" kan det være verdt å nevne at ved samtaler med Formannen ved byggeprosjektet på Åstadryggen også ble uttrykt at det er påfallende mer støpearbeid utøver høsten og vinteren enn hva det er ellers i året. Om dette virkelig er tilfellet er dette kanskje noe som er vanskelig å gjøre noe med, og det er ikke sikkert at det blir en total CO_2 -gevinst om man betrakter bruk av Lavkarbonbetongen hele året.

5.3 STØTTE FOR METODE

Dataene er samlet så fullstendig som mulig. Østfoldforskning har samarbeidet med Østfoldforskning og har der fått opplæring i bruk av SimaPro.

Ved bruk av SimaPro er det blitt tatt beslutninger hvor det har blitt brukt tilnærmede databasetall når ikke eksakte verdier er funnet. Ved flere av avgjørelsene har disse blitt diskutert med Østfoldforskning avgjørelser som da også gir en hvis kvalitet til dataene som er brukt. Prosessdataene fra Norcem som er blitt bearbeidet i SimaPro har også blitt grunnlaget for oppdatering av nye EPD'er for Norcem Standard sement, Norcem Standard FA sement og Lavkarbonsement. EPD'ene er lagt til som vedlegg F.

5.4 BEKREFTELSE/AVKREFTELSE AV HYPOTESE

Som et svar på diskusjonen og som et siste moment diskusjonsavsnittet vil hypotesene som ble presentert i innledningen bli avkreftet eller bekreftet her.

Hypotese I: Da Lavkarbonbetongen er forventet å ha en tregere fasthetsutvikling under vinterstøp forventes det også at denne vil trenge mer oppvarming enn referansebetongen.

Hypotesen gjelder bare ved temperaturer under -8 °C.

Hypotese II: Det er forventet at fremdriften vil bli påvirket ved støping med Lavkarbonbetong vinterstid.

Fremdriften ble ikke påvirket av støp med Lavkarbonbetongen under dette prosjektet og Hypotesen kan avkreftes.

Hypotese III: Det er forventet at Lavkarbonbetongen ikke vil være mer miljøvennlig ved støping om vinteren.

Hypotesen gjelder kun ved temperaturer under -8° C og hvor fyringstimene har passert 5 timer.

Hypotese IV: Det er forventet at Lavkarbonbetongen vil være det mest miljøvennlige alternativet til byggematerialer til bruk i bygg på det norske markedet.

Denne oppgaven har ikke lagt noe grunnlag for å kunne avkrefte eller bekrefte denne påstanden, da det ikke har blitt gjort undersøkelser av andre byggematerialer. Dette må derimot også forskes mer på i forbindelse med økt utslipp ved støping i temperaturer under -8 °C.

Hypotese V: Veidekke vil ha et økt forbruk av energi/propan for å kunne opprettholde fremdriften.

Hypotesen bekreftes ved temperaturer under -8 °C.

6 KONKLUSJON

Resultatene fra utregningene i SimaPro viser at vi får en CO₂-gevinst ved produksjon av Lavkarbonsement i forhold til produksjon av Standard FA sement. I forhold til byggeprosessen vil denne CO₂-gevinsten bevares så lenge lavkarbonbetongen ikke trenger ekstra fyring utover det referansebetongen trenger. Ved utstøping av en 40 m² vegg på byggeplassen viste Lavkarbonbetongen seg i enkelte tilfeller å trenge ekstra fyring utover det referansebetongen trengte. Dette skjedde ved utetemperaturer fra -8/-10 °C og nedover. I disse tilfellene ble det benyttet ekstra fyring i en hel arbeidsdag, 7 timer. Det er derimot usikkert om det virkelig var nødvendig å fyre ekstra i 7 timer, så dette må det forskes videre på. Tiltross for at Lavkarbonbetongen ved enkelte tilfeller behøvde ekstra oppvarming ble ikke fremdriften ved bygging av Åstadryggen leiligheter påvirket av dette. Det er derimot grunn til å tro at det ved støping av et helt bygg om vinteren, hvor det kun blir benyttet lavkarbonbetong, vil fremdriften påvirkes, men dette må også forskes nærmere på. CO₂-gevinsten ved produksjon av lavkarbonbetong blir tapt allerede etter 5 timer med fyring på byggeplassen. Med dagens byggepraksis ved vinterstøp, og bruk av ekstratiltak som fyring, er det helt klart at CO₂-gevinsten tapes ved støp om vinteren.

Ut i fra gjennomsnittstemperaturer rundt om i landet kan Lavkarbonbetongen se ut til å være en ypperlig betong til bruk i kyststrøk om vinteren, da minimumstemperaturene i disse områdene sjelden kryper ned mot -8 °C. Betongen bør på bakgrunn av minimumstemperaturer bli testet ut i disse delene av landet. Sett i det store bilde vil vi få en CO₂-gevinst på årsbasis ved bruk av lavkarbonbetongen i kyst-Norge. Denne oppgaven danner ikke grunnlag for å bekrefte eller avkrefte om det er det mest miljøvennlige byggematerialet til bruk i bygg.

7 OPPSUMMERING OG PERSPEKTIVERING – RELEVANS I FAGET OG I VERDEN

Sement med høyt innhold av flygeaske er i dag vanlig å bruke utenfor Norges grenser. Da vårt klima både kan være kaldere og våtere enn andre steder i verden er det derfor svært viktig at denne betongen prøves ut og testes i vårt klima. Det er kanskje ikke nok at denne betongen blir prøvd ut kun Østlandsområdet, men bør testes ut i hele landet.

Resultatene fra SimaPro som omhandler lavkarbonsementen er nå bakgrunnsdata for EPD-er utført av Østfoldforskning og som er blitt godkjent av EPD-Norge. Oppgaven min kan være med å kaste lys på hvor kompleks en LCA-studie er og hvor mange faktorer som er inne i bildet. Denne oppgaven vil forhåpentligvis være et utgangspunkt for videre forskning og utprøving av Lavkarbonbetongen, både når det gjelder mer kontrollerte støp og utprøving i andre deler av landet.

Oppgaven vil kanskje også være et utgangspunkt for å endre resepten på selve betongen som for eksempel å tilsette akseleratorer for å gjøre lavkarbonbetongen mer herdedyktig og støpevennlig om vinteren.

Å utføre en slik delvis LCA-studie hvor utslippsberegninger er gjort for både Lavkarbonbetongen og byggeprosessen har vært med på å gjøre byggeprosessen mer tydelig. Resultatene fra oppgaven kan kanskje belyse hvilke endringer man kan utføre med tanke på vanlig byggepraksis og hvor potensialet for forbedringer ligger, for senere å kunne møte de kravene som etter hvert vil komme fra offentlige instanser med tanke på oppnåelse av CO₂-nøytralitet.

8 REFERANSER

- [1] Forskningsrådet, *Godkjenning – flerårig FoU prosjekt innen skatteFUNN*, prosjektnummer: 198688, 2009
- [2] Norcem, *Utvikling av lavkarbonsement for byggformål (skattefunn)*, Søknadsnummer: ES449951, prosjektnummer: 198688, 2009.
- [3] Bjerger, L.M.H., *Møte angående masteroppgave*, Lysaker høsten 2011
- [4] Heidelberg cement, *Betong lagrer CO₂*.
URL: http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/A4850D19-49CA-4572-844B-460C0051B067/0/Betong_lagrer_CO2.pdf
- [5] Bjerger L.M.H., *Lavkarbonsement, Cement nå 2-2009*, Norcem 2009
- [6] Standard, N., *NS-EN 197-1, Sement – Del 1: Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper*, Lysaker, 2000.
- [7] Standard, N., *NS-EN 1992-1, Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner – Del1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*, Lysaker, 1992.
- [8] Bjerger, L.M.H., *Møte hos Veidekke angående masteroppgave*, våren 2010.
- [9] CEN TC 350, EN 15804:2012/prA1, *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*, under drafting
- [10] Norcem, Heidelberg cement, *Energiforbruk og klimapåvirkning*
URL:
http://www.heidelbergcement.com/no/no/norcem/sustainability/energy_climate.htm
- [11] IPCC, *Fourth Assessment Report: Climate Change*, 2007 (AR4)
- [12] Statistisk sentralbyrå, *Utslipp til luft 1973-2003*, Oslo-kongsvinger november 2004
URL: http://www.ssb.no/nos_utslipp/nos_d312/nos_d312.pdf

- [13] European Commission, *international Reference LCD Handbook: General guide for life cycle assessment - Detailed guidance*, European Union 2010
- [14] Vold, M., *Møte med Østfoldforskning angående masteroppgave*, Fredrikstad Høsten 2010
- [15] International Organization for Standardization, ISO 14040, *Environmental management -- Life cycle assessment - Principles and framework*, 2006
- [16] International Organization for Standardization, ISO 14044, *Environmental management -- Life cycle assessment - Requirements and guidelines*, 2006
- [17] International Organization for Standardization, ISO 14025, *Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures*, 2006
- [18] Bathen, L., *Møte med Veidekke angående masteroppgave*, Ås, Våren 2011
- [19] Institutt, Met., *Været som var, værstatistikk for Oslo Blinderen*
URL:
- [20] Weerdt, K.D., *Blended cement with reduced CO2 emissions – utilizing the fly ashlimestone synergy*, Department of Structural Engineering, Trondheim: Norwegian University Science and Technology, 2011
- [21] Lauritsen, E., *Intervju, telefonsamtale og e-post*, Høsten 2010/Våren 2011
- [22] Larsen, E., *PERI NORGE AS, Telefonsamtaler og e-post*, Våren 2011
- [23] Vold, M., *Møte med Østfoldforskning ang jobbing med SimaPro*, Våren 2011
- [24] Byggenæringens forlag, *Betongkompetanse – Grunnleggende betongteknologi*, 2004

VEDLEGG

VEDLEGG A: GWP-BEREGNINGER FOR EN 40 M² VEGG STØPT I DE TRE BETONGENE

Vedlegg A.1: GWP for vegg støpt i Lavkarbonbetong

SimaPro 7.3 Project
 Impact assessment Norcem
 Date: 10.10.2011 Time: 12:29

Calculation: Analyze
 Results: Impact assessment
 Product: 40 m2 Vegg lavkarbonbetong (of project Norcem)
 Method: STØ Method LCA/EPD Norcem 2007 April V2.02 / Miljøkostnad Norge
 Indicator: Characterization
 Skip categories: Never
 Exclude infrastructure processes: Yes
 Exclude long-term emissions: No
 Sorted on item: Impact category
 Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total	Vegg Lavkarbonbetong	Lavkarbon- betong	Byggeprosess Lavkarbon	Transport til byggeplass Lavkarbonbetong
global warming (GWP100)	kg CO2 eq	1503,482063	0	1180,173757	317,8103541	5,497951919
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	7,17597E-05	0	7,80279E-06	6,39569E-05	0
photochemical oxidation	kg C2H2	0,342413487	0	0,173714557	0,161946315	0,006752614
acidification	kg SO2 eq	3,647594397	0	2,744481352	0,873044202	0,030068842
eutrophication	kg PO4--- eq	0,928169093	0	0,712384892	0,208627255	0,007156945
Ledig 1		0	0	0	0	0
Ledig 2		0	0	0	0	0
Energy coal (no feedstock)	MJ LHV	3327,187569	0	2850,638683	476,4344364	0,114449917
Energy oil (no feedstock)	MJ LHV	4717,57346	0	1040,963422	3605,49094	71,11909764
Energy fossile gas (no feedst)	MJ LHV	4326,514019	0	243,6138213	4082,421979	0,47821895
Energy peat (no feedstock)	MJ LHV	87,75603887	0	66,71176844	21,04427043	0
Energy sulfur (no feedstock)	MJ LHV	0,003304515	0	0,000398272	0,002906237	5,5049E-09
Energy nuclear (no	MJ LHV	1206,284193	0	760,612206	445,5219422	0,150044534

feedstock)							
Energy biomass (no feedstock)	MJ LHV	1733,450718	0	315,4372306	1418,005663	0,007824457	
Energy hydropower (pond)	MJ LHV	1039,240971	0	804,9600422	233,5180663	0,762862883	
Energy hp (river = tom)	MJ LHV	0	0	0	0	0	
Energy wind	MJ LHV	43,15772697	0	30,27471147	12,8830155	0	
Energy solar	MJ LHV	0,068202633	0	0,013685566	0,054517066	0	
Energy geothermal	MJ LHV	0,000155232	0	0	0,000155232	0	
Energy vawe (tom)	MJ LHV	0	0	0	0	0	
Energy tide (tom)	MJ LHV	0	0	0	0	0	
Ledig 3	MJ LHV	0	0	0	0	0	
Ledig 4	MJ LHV	0	0	0	0	0	
Energy waste/recovered (no fs)	MJ LHV	2702,339724	0	2703,787457	-1,447732493	0	
Energy undefined	MJ LHV	0,008540528	0	0,006251849	0,002288679	0	
Ledig 5	MJ LHV	0	0	0	0	0	
Ledig 6	MJ LHV	0	0	0	0	0	
Waste to material recycling	kg	0,738433556	0	0,733649	0,004784556	0	
Waste to energy recovery	kg	0	0	0	0	0	
Waste to incineration (no ER)	kg	0,475106513	0	0,474159	0,000947513	0	
Waste to landfill	kg	18,61291539	0	6,673264796	11,9396506	0	
Waste, electronics	kg	0	0	0	0	0	
Waste, hazardous	kg	0,028614794	0	0,014389336	0,013917487	0,000307971	
Waste, radioactive	kg	0,016168306	0	0,010194232	0,005972215	1,85913E-06	
Waste, slags/ashes	kg	0,094552599	0	0,008748787	0,085803812	0	
Waste, bulk	kg	0,823584845	0	0,723128631	0,060547184	0,03990903	
Waste, water	kg	0	0	0	0	0	
Ledig 8	kg	0	0	0	0	0	
Ledig 9	kg	0	0	0	0	0	
Ledig 10	kg	0	0	0	0	0	
CO2 emissions (fossile)	kg	1450,385707	0	1157,822832	287,12433	5,438544901	
Ledig 11	kg	0	0	0	0	0	
Ledig 12	kg	0	0	0	0	0	
Ledig 13	kg	0	0	0	0	0	
CH4 emissions	kg	2,106470909	0	0,888615119	1,217455562	0,000400228	
N2O emissions	kg	0,010055602	0	0,0050003	0,005007982	4,732E-05	
NOx emissions	kg	3,300862479	0	2,829136477	0,416696658	0,055029344	
SOx emissions	kg	1,598410239	0	1,054025975	0,542262315	0,00212195	
VOC emissions	kg	0,27737062	0	0,082788413	0,183903956	0,01067825	
CO emissions	kg	0,721520961	0	0,088174492	0,609690056	0,023656412	
Dioxin emissions to air	kg	1,40682E-08	0	1,39287E-08	1,39486E-10	0	
PAH emissions to air	kg	6,15567E-05	0	1,0653E-05	5,01078E-05	7,95894E-07	
Cr, Cd, Hg and Pb to air	kg	0,000352358	0	0,000117026	0,000235146	1,86175E-07	
Ledig 15	kg	0	0	0	0	0	
Ledig 16	kg	0	0	0	0	0	
Ledig 17	kg	0	0	0	0	0	
COD	kg	2,188309897	0	1,035403736	1,152889421	1,67406E-05	
N-tot	kg	0,000859522	0	0,000204158	0,000653478	1,88597E-06	
P-tot	kg	6,16316E-05	0	3,59372E-06	5,79538E-05	8,40562E-08	
Phosphate to water	kg	0,416633247	0	0,297686751	0,118946496	0	
Nitrate to water	kg	0,124269064	0	0,090401034	0,03386803	0	
Dioxin emissions to water	kg	2,43697E-17	0	0	2,43697E-17	0	

PAH emissions to water	kg	3,21823E-05	0	2,96193E-06	2,92203E-05	2,93843E-11
VOC emissions to water	kg	0,001859109	0	0,000121876	0,001737233	0
Cr, Cd, Hg and Pb to water	kg	0,004302541	0	0,001147531	0,003155008	1,53314E-09
Ledig 20		0	0	0	0	0
Ledig 21		0	0	0	0	0
Water res.: turbine water	kg	465615,556	0	186674,6368	278940,9192	0
Water res.: river flow (tom)	kg	0	0	0	0	0
Water res.: cooling water	kg	2601,491927	0	1064,822325	1536,669602	0
Water res.: process water	kg	0	0	0	0	0
Water res.: other types	kg	1488,980143	0	866,1880343	622,7921086	0
Water res.: unspcidfied	kg	551,0113218	0	33,40572425	517,6055976	0
Ledig 22		0	0	0	0	0
Ledig 23		0	0	0	0	0
Land use	m2	0	0	0	0	0
Ledig 24		0	0	0	0	0
Ledig 25		0	0	0	0	0
Ledig 26		0	0	0	0	0
All resources (-wa/air/energy)	kg	16705,77214	0	16350,34855	355,3909251	0,032663358
Ledig 27		0	0	0	0	0
Ledig 28		0	0	0	0	0
Ledig 29		0	0	0	0	0
Ledig 30		0	0	0	0	0
All res.: coal feedstock	kg	0,864128134	0	0,863314486	0,000813648	0
All res.: oil feedstock	kg	3,438435282	0	2,688675282	0,74976	0
All res: fossile gas feedstock	kg	3,718502813	0	3,141615293	0,57688752	0
All res.: peat feedstock (tom)	kg	0	0	0	0	0
All res.: sulfur feedstock	kg	0	0	0	0	0
All res.: uranium fstock (tom)	kg	0	0	0	0	0
All res.: biomass feedstock	kg	3,15671E-06	0	0	3,15671E-06	0
Ledig 31		0	0	0	0	0
Ledig 32		0	0	0	0	0
Ledig 33		0	0	0	0	0
All res.: recycled paper	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled other fiber	kg	0	0	0	0	0
Ledig 34		0	0	0	0	0
All res.: recycled steel-iron	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled aluminium	kg	1,765375343	0	1,765375343	0	0
All res.: recycled copper	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled zinc (tom)	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled other metal	kg	0	0	0	0	0
Ledig 35		0	0	0	0	0
All res.: recycled glass	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled plastics	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled others	kg	725,6188968	0	725,6188968	0	0

Ledig 37		0	0	0	0	0
All res.: chrom	kg	0,029504734	0	0,007749447	0,021755287	0
All res.: nickel	kg	0,198055346	0	0,019134471	0,178920875	0
All res.: iron	kg	26,87498731	0	11,39341004	15,47921182	0,00236544
All res.: aluminium	kg	0,03506701	0	0,009924642	0,025142368	0
All res.: copper	kg	0,028461409	0	0,001633026	0,026828383	0
All res.: zinc	kg	0,000413488	0	7,05892E-05	0,000342899	0
All res.: silicone	kg	0	0	0	0	0
All res.: manganese	kg	0,007200568	0	0,00113127	0,006069298	0
All res.: magnesium	kg	9,95208E-06	0	8,7278E-08	9,8648E-06	0
Ledig 43		0	0	0	0	0
Ledig 44		0	0	0	0	0
All res.:						
calcium/limestone	kg	2341,639447	0	2334,943546	6,688272202	0,007628828
All res.: minerals, sand, rock	kg	13104,15558	0	13061,81199	42,32421411	0,019380249
All res.: salt	kg	0,627670892	0	0,017331619	0,610338979	2,95179E-07
Ledig 45		0	0	0	0	0
ledig 46		0	0	0	0	0
Ledig 47		0	0	0	0	0
Miljøkostnader						
Norge_utenGWP	kr	1246,992409	0	734,3623158	507,2908782	5,339215405

Vedlegg E2: GWP-beregninger for simulert støp av vegg i Standard FA betong

SimaPro 7.3 Impact assessment Date: 10.10.2011 Time: 12:28
 Project Norcem

Calculation: Analyze
 Impact assessment
 Results: assessment
 Product: 40 m2 Vegg Standard FA (of project Norcem)
 Method: STØ Method LCA/EPD Norcem 2007 April V2.02 / Miljøkostnad Norge
 Indicator: Characterization
 Unit: %
 Skip categories: Never
 Exclude infrastructure processes: Yes
 Exclude long-term emissions: No
 Sorted on item: Impact category
 Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total	Vegg Standard FA	Standard FA betong	Byggeprosess Standard FA	Transport til byggeplass Standard FA
global warming (GWP100)	kg CO2 eq	1429,425	0	1355,193657	58,37194532	15,85947669
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1,18E-05	0	7,74829E-06	4,02051E-06	0
photochemical oxidation	kg C2H2	0,25463	0	0,188342257	0,04680878	0,019478695
acidification	kg SO2 eq	3,354961	0	3,041047283	0,227176835	0,086737044
eutrophication	kg PO4--- eq	0,929219	0	0,802549455	0,106024097	0,020645034
Ledig 1		0	0	0	0	0
Ledig 2		0	0	0	0	0
Energy coal (no feedstock)	MJ LHV	3642,613	0	3276,390384	365,8921037	0,330143991
Energy oil (no feedstock)	MJ LHV	1391,868	0	1017,314742	169,4024242	205,1512432
Energy fossile gas (no feedst)	MJ LHV	573,4005	0	256,7646318	315,2563909	1,379477739
Energy peat (no feedstock)	MJ LHV	89,9408	0	68,90664069	21,03415908	0
Energy sulfur (no feedstock)	MJ LHV	0,003169	0	0,000407043	0,002761849	1,58795E-08
Energy nuclear (no feedstock)	MJ LHV	1128,464	0	783,7672757	344,2641556	0,432820771
Energy biomass (no feedstock)	MJ LHV	1761,485	0	351,3392485	1410,122866	0,022570548
Energy hydropower (pond)	MJ LHV	1016,594	0	796,8003445	217,5931125	2,20056601
Energy hp (river = tom)	MJ LHV	0	0	0	0	0
Energy wind	MJ LHV	42,19584	0	31,17010643	11,02573266	0
Energy solar	MJ LHV	0,041274	0	0,013238858	0,028035002	0
Energy geothermal	MJ LHV	0,000155	0	0	0,000155232	0
Energy vawe (tom)	MJ LHV	0	0	0	0	0
Energy tide (tom)	MJ LHV	0	0	0	0	0
Ledig 3	MJ LHV	0	0	0	0	0
Ledig 4	MJ LHV	0	0	0	0	0
Energy waste/recovered (no fs)	MJ LHV	3138,879	0	3140,326978	-1,447732493	0
Energy undefined	MJ LHV	0,007396	0	0,005106992	0,002288679	0
Ledig 5	MJ LHV	0	0	0	0	0

Ledig 6	MJ LHV	0	0	0	0	0
Waste to material recycling	kg	0,679655	0	0,67487	0,004784556	0
Waste to energy recovery	kg	0	0	0	0	0
Waste to incineration (no ER)	kg	0,437118	0	0,43617	0,000947513	0
Waste to landfill	kg	16,40759	0	6,868668761	9,538919804	0
Waste, electronics	kg	0	0	0	0	0
Waste, hazardous	kg	0,023256	0	0,013885478	0,008481857	0,000888377
Waste, radioactive	kg	0,015047	0	0,010503303	0,004538064	5,36286E-06
Waste, slags/ashes	kg	0,090203	0	0,008979953	0,081223263	0
Waste, bulk	kg	0,893038	0	0,717368788	0,060547184	0,115122203
Waste, water	kg	0	0	0	0	0
Ledig 8	kg	0	0	0	0	0
Ledig 9	kg	0	0	0	0	0
Ledig 10	kg	0	0	0	0	0
CO2 emissions (fossile)	kg	1398,44	0	1330,012643	52,7389694	15,68811029
Ledig 11	kg	0	0	0	0	0
Ledig 12	kg	0	0	0	0	0
Ledig 13	kg	0	0	0	0	0
CH4 emissions	kg	1,186889	0	1,011137174	0,17459752	0,001154505
N2O emissions	kg	0,007519	0	0,005032388	0,002349694	0,0001365
NOx emissions	kg	3,514199	0	3,196428189	0,159032496	0,158738492
SOx emissions	kg	1,266373	0	1,147929983	0,1123219	0,006121008
VOC emissions	kg	0,153253	0	0,08096235	0,041488325	0,030802645
CO emissions	kg	0,652783	0	0,084345119	0,500198619	0,068239651
Dioxin emissions to air	kg	1,63E-08	0	1,61652E-08	1,25227E-10	0
PAH emissions to air	kg	2,73E-05	0	9,47409E-06	1,55235E-05	2,29585E-06
Cr, Cd, Hg and Pb to air	kg	0,000288	0	0,000127587	0,000160224	5,37043E-07
Ledig 15	kg	0	0	0	0	0
Ledig 16		0	0	0	0	0
Ledig 17		0	0	0	0	0
COD	kg	0,914405	0	0,821044244	0,093312875	4,82902E-05
N-tot	kg	0,000548	0	0,000205112	0,000337123	5,44029E-06
P-tot	kg	3,55E-05	0	3,40909E-06	3,18591E-05	2,4247E-07
Phosphate to water	kg	0,418888	0	0,343455769	0,0754327	0
Nitrate to water	kg	0,12545	0	0,104208384	0,021241961	0
Dioxin emissions to water	kg	2,44E-17	0	0	2,43697E-17	0
PAH emissions to water	kg	3,85E-06	0	2,77335E-06	1,07446E-06	8,47625E-11
VOC emissions to water	kg	0,000172	0	0,000111177	6,07526E-05	0
Cr, Cd, Hg and Pb to water	kg	0,003984	0	0,001292259	0,002691557	4,42251E-09
Ledig 20		0	0	0	0	0
Ledig 21		0	0	0	0	0
Water res.: turbine water	kg	365889,2	0	190629,2523	175259,9152	0
Water res.: river flow (tom)	kg	0	0	0	0	0
Water res.: cooling water	kg	1876,103	0	1091,154717	784,9478059	0
Water res.: process water	kg	0	0	0	0	0
Water res.: other types	kg	1263,569	0	916,0063154	347,5625338	0
Water res.: unspecified	kg	322,8021	0	32,08223331	290,7198336	0
Ledig 22		0	0	0	0	0
Ledig 23		0	0	0	0	0
Land use	m2	0	0	0	0	0
Ledig 24		0	0	0	0	0
Ledig 25		0	0	0	0	0
Ledig 26		0	0	0	0	0
All resources (-wa/air/energy)	kg	16410,32	0	16173,5005	236,7213523	0,094221225

Ledig 27		0	0	0	0	0
Ledig 28		0	0	0	0	0
Ledig 29		0	0	0	0	0
Ledig 30		0	0	0	0	0
All res.: coal feedstock	kg	0,862935	0	0,862121589	0,000813648	0
All res.: oil feedstock	kg	3,438312	0	2,688551628	0,74976	0
All res.: fossile gas feedstock	kg	3,7185	0	3,141612493	0,57688752	0
All res.: peat feedstock (tom)	kg	0	0	0	0	0
All res.: sulfur feedstock	kg	0	0	0	0	0
All res.: uranium fstock (tom)	kg	0	0	0	0	0
All res.: biomass feedstock	kg	3,16E-06	0	0	3,15671E-06	0
Ledig 31		0	0	0	0	0
Ledig 32		0	0	0	0	0
Ledig 33		0	0	0	0	0
All res.: recycled paper	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled other fiber	kg	0	0	0	0	0
Ledig 34		0	0	0	0	0
All res.: recycled steel-iron	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled aluminium	kg	2,058788	0	2,0587875	0	0
All res.: recycled copper	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled zinc (tom)	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled other metal	kg	0	0	0	0	0
Ledig 35		0	0	0	0	0
All res.: recycled glass	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled plastics	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled others	kg	442,6801	0	442,680052	0	0
Ledig 37		0	0	0	0	0
All res.: chrom	kg	0,020036	0	0,007962043	0,012073737	0
All res.: nickel	kg	0,165972	0	0,019318654	0,146653067	0
All res.: iron	kg	27,37939	0	13,20793791	14,1646247	0,006823385
All res.: aluminium	kg	0,02347	0	0,009666556	0,013803813	0
All res.: copper	kg	0,011634	0	0,001559143	0,010074619	0
All res.: zinc	kg	0,000387	0	4,45508E-05	0,000342899	0
All res.: silicone	kg	0	0	0	0	0
All res.: manganese	kg	0,003196	0	0,001154546	0,002041939	0
All res.: magnesium	kg	9,79E-06	0	8,88417E-08	9,69877E-06	0
Ledig 43		0	0	0	0	0
Ledig 44		0	0	0	0	0
All res.: calcium/limestone	kg	2545,094	0	2539,430329	5,641450946	0,022006235
All res.: minerals, sand, rock	kg	12989,18	0	12957,54624	31,57342822	0,055904564
All res.: salt	kg	0,079513	0	0,01723522	0,062277411	8,51479E-07
Ledig 45		0	0	0	0	0
ledig 46		0	0	0	0	0
Ledig 47		0	0	0	0	0
Miljøkostnader						
Norge_utenGWP	kr	1158,783	0	792,2946929	351,087054	15,4015829

Vedlegg E3: GWP-beregnings for vegg støpt i Aalborg Portland Betong

SimaPro 7.3 Project
 Impact assessment Norcem
 Date: 10.10.2011 Time: 12:30

Calculation: Analyze Impact assessment
 Results: assessment
 Product: 40 m2 Vegg Aalborg Unicon (of project Norcem)
 Method: STØ Method LCA/EPD Norcem 2007 April V2.02 / Miljøkostnad Norge
 Indicator: Characterization
 Skip categories: Never
 Exclude infrastructure processes: Yes
 Exclude long-term emissions: No
 Sorted on item: Impact category
 Sort order: Ascending

Impact category	Unit	Total	Vegg Aalborg Portland	Aalborg Portland	Byggeprosess Aalborg Portland	Transport til byggeplass Aalborg P.
global warming (GWP100)	kg CO2 eq	2278,468	0	2212,695231	58,37194532	7,40108912
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	5,92E-06	0	1,90401E-06	4,02051E-06	0
photochemical oxidation	kg C2H2	0,439298	0	0,383399063	0,04680878	0,00909006
acidification	kg SO2 eq	5,999737	0	5,73208277	0,227176835	0,04047729
eutrophication	kg PO4--- eq	0,88206	0	0,766401679	0,106024097	0,00963435
Ledig 1		0	0	0	0	0
Ledig 2		0	0	0	0	0
Energy coal (no feedstock)	MJ LHV	385,9909	0	19,94468446	365,8921037	0,1540672
Energy oil (no feedstock)	MJ LHV	5122,812	0	4857,671905	169,4024242	95,7372468
Energy fossile gas (no feedst)	MJ LHV	328,4235	0	12,52340024	315,2563909	0,64375628
Energy peat (no feedstock)	MJ LHV	21,03433	0	0,000174376	21,03415908	0
Energy sulfur (no feedstock)	MJ LHV	0,002762	0	8,96504E-08	0,002761849	7,4104E-09
Energy nuclear (no feedstock)	MJ LHV	346,1532	0	1,687024678	344,2641556	0,20198303
Energy biomass (no feedstock)	MJ LHV	2045,663	0	635,53003	1410,122866	0,01053292
Energy hydropower (pond)	MJ LHV	3320,321	0	3101,700888	217,5931125	1,0269308
Energy hp (river = tom)	MJ LHV	0	0	0	0	0
Energy wind	MJ LHV	11,16406	0	0,13832239	11,02573266	0

Energy solar	MJ LHV	0,028035	0	0	0,028035002	0
Energy geothermal	MJ LHV	0,000155	0	0	0,000155232	0
Energy vawe (tom)	MJ LHV	0	0	0	0	0
Energy tide (tom)	MJ LHV	0	0	0	0	0
Ledig 3	MJ LHV	0	0	0	0	0
Ledig 4	MJ LHV	0	0	0	0	0
Energy waste/recovered (no fs)	MJ LHV	390,2343	0	391,6820685	-1,447732493	0
Energy undefined	MJ LHV	0,008097	0	0,005808556	0,002288679	0
Ledig 5	MJ LHV	0	0	0	0	0
Ledig 6	MJ LHV	0	0	0	0	0
Waste to material recycling	kg	0,004785	0	0	0,004784556	0
Waste to energy recovery	kg	0	0	0	0	0
Waste to incineration (no ER)	kg	0,000948	0	0	0,000947513	0
Waste to landfill	kg	9,53892	0	0	9,538919804	0
Waste, electronics	kg	0	0	0	0	0
Waste, hazardous	kg	0,024333	0	0,015436077	0,008481857	0,00041458
Waste, radioactive	kg	0,004561	0	2,0133E-05	0,004538064	2,5027E-06
Waste, slags/ashes	kg	0,081236	0	1,27334E-05	0,081223263	0
Waste, bulk	kg	3,377792	0	3,263521215	0,060547184	0,05372369
Waste, water	kg	0	0	0	0	0
Ledig 8	kg	0	0	0	0	0
Ledig 9	kg	0	0	0	0	0
Ledig 10	kg	0	0	0	0	0
CO2 emissions (fossile)	kg	2232,368	0	2172,308412	52,7389694	7,32111814
Ledig 11	kg	0	0	0	0	0
Ledig 12	kg	0	0	0	0	0
Ledig 13	kg	0	0	0	0	0
CH4 emissions	kg	1,833004	0	1,6578682	0,17459752	0,00053877
N2O emissions	kg	0,005234	0	0,002820361	0,002349694	6,37E-05
NOx emissions	kg	5,846669	0	5,613558324	0,159032496	0,07407796
SOx emissions	kg	2,490189	0	2,375010735	0,1123219	0,00285647
VOC emissions	kg	0,238935	0	0,183072092	0,041488325	0,01437457
CO emissions	kg	1,459912	0	0,927868359	0,500198619	0,03184517
Dioxin emissions to air	kg	2,22E-10	0	9,632E-11	1,25227E-10	0
PAH emissions to air	kg	2,03E-05	0	3,69606E-06	1,55235E-05	1,0714E-06
Cr, Cd, Hg and Pb to air	kg	0,000252	0	9,17138E-05	0,000160224	2,5062E-07
Ledig 15	kg	0	0	0	0	0
Ledig 16	kg	0	0	0	0	0
Ledig 17	kg	0	0	0	0	0
COD	kg	0,993609	0	0,9002739	0,093312875	2,2535E-05
N-tot	kg	0,000404	0	6,3938E-05	0,000337123	2,5388E-06
P-tot	kg	3,29E-05	0	9,16141E-07	3,18591E-05	1,1315E-07
Phosphate to water	kg	0,075433	0	3,40939E-10	0,0754327	0
Nitrate to water	kg	0,021245	0	2,90074E-06	0,021241961	0
Dioxin emissions to water	kg	2,44E-17	0	0	2,43697E-17	0
PAH emissions to water	kg	2,58E-06	0	1,50471E-06	1,07446E-06	3,9556E-11
VOC emissions to water	kg	6,08E-05	0	0	6,07526E-05	0
Cr, Cd, Hg and Pb to water	kg	0,002692	0	3,8242E-08	0,002691557	2,0638E-09

Ledig 20		0	0	0	0	0
Ledig 21		0	0	0	0	0
Water res.: turbine water	kg	175259,9	0	0	175259,9152	0
Water res.: river flow (tom)	kg	0	0	0	0	0
Water res.: cooling water	kg	803,8659	0	18,91808877	784,9478059	0
Water res.: process water	kg	2690,943	0	2690,9428	0	0
Water res.: other types	kg	347,5625	0	0	347,5625338	0
Water res.: unspecified	kg	290,8105	0	0,09063266	290,7198336	0
Ledig 22		0	0	0	0	0
Ledig 23		0	0	0	0	0
Land use	m2	0	0	0	0	0
Ledig 24		0	0	0	0	0
Ledig 25		0	0	0	0	0
Ledig 26		0	0	0	0	0
All resources (-wa/air/energy)	kg	24232,95	0	23996,17977	236,7213523	0,0439699
Ledig 27		0	0	0	0	0
Ledig 28		0	0	0	0	0
Ledig 29		0	0	0	0	0
Ledig 30		0	0	0	0	0
All res.: coal feedstock	kg	4588,423	0	4588,422052	0,000813648	0
All res.: oil feedstock	kg	4,334387	0	3,584627386	0,74976	0
All res: fossile gas feedstock	kg	4,765702	0	4,188814208	0,57688752	0
All res.: peat feedstock (tom)	kg	0	0	0	0	0
All res.: sulfur feedstock	kg	0	0	0	0	0
All res.: uranium fstock (tom)	kg	0	0	0	0	0
All res.: biomass feedstock	kg	3,16E-06	0	0	3,15671E-06	0
Ledig 31		0	0	0	0	0
Ledig 32		0	0	0	0	0
Ledig 33		0	0	0	0	0
All res.: recycled paper	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled other fiber	kg	0	0	0	0	0
Ledig 34		0	0	0	0	0
All res.: recycled steel-iron	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled aluminium	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled copper	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled zinc (tom)	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled other metal	kg	0	0	0	0	0
Ledig 35		0	0	0	0	0
All res.: recycled glass	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled plastics	kg	0	0	0	0	0
All res.: recycled others	kg	5,89E-05	0	5,88669E-05	0	0

Ledig 37		0	0	0	0	0
All res.: chrom	kg	0,012097	0	2,30959E-05	0,012073737	0
All res.: nickel	kg	0,146663	0	9,9334E-06	0,146653067	0
All res.: iron	kg	14,20357	0	0,035757422	14,1646247	0,00318425
All res.: aluminium	kg	0,01715	0	0,003346306	0,013803813	0
All res.: copper	kg	0,010216	0	0,000141586	0,010074619	0
All res.: zinc	kg	0,000346	0	3,48317E-06	0,000342899	0
All res.: silicone	kg	0	0	0	0	0
All res.: manganese	kg	0,002045	0	3,25572E-06	0,002041939	0
All res.: magnesium	kg	9,7E-06	0	0	9,69877E-06	0
Ledig 43		0	0	0	0	0
Ledig 44		0	0	0	0	0
All res.:						
calcium/limestone	kg	3634,136	0	3628,484373	5,641450946	0,01026958
All res.: minerals, sand, rock	kg	13087,69	0	13056,09299	31,57342822	0,0260888
All res.: salt	kg	0,062285	0	6,73724E-06	0,062277411	3,9736E-07
Ledig 45		0	0	0	0	0
ledig 46		0	0	0	0	0
Ledig 47		0	0	0	0	0
Miljøkostnader						
Norge_utenGWP	kr	508,7219	0	150,4474202	351,087054	7,18740535

VEDLEGG B: BETONGRESEPTER FOR LAVKARBONBETONG OG AALBORG PORTLAND BETONG

Vedlegg B.1: Betongresept for Lavkarbonbetong

Unicon A/S

Betonblanket

v.1.13

Side 1 d. 02-03-2011 kl. 15:28:22



Recept.....: US52A-0000	Fabrikk: Sandvika-1	Version 0001
-------------------------	---------------------	--------------

Miljøklasse	M60
Bestandighetsklasse	B25
Kontrollklasse	
Største sten	25 mm
Tilstrøbt konsistens	200 mm
Forprøvning, attestnr.	

Sammensetning	Navn	Densitet kg/m ³	Mængde kg/m ³	Volumen l/m ³
Cement	Norcem lavcarb.sement	2.970	337,0	113
Plastificering	P	1.190	0,7	1
Superplast	Glenium SKY 552	1.040	1,7	2
Sand	0-8 Kilemoen II	2.630	503,8	192
Sand	0-8 Kilemoen Fin	2.630	503,8	192
Sten	11-16 mm Steinskogen	2.850	214,5	75
Sten	16-22 mm Steinskogen	2.840	641,2	226
Koldt vand	Kaldt vann	1.000	180,2	180
Tilstrøbt luftindhold i beton, volumen %				2,0
			2.383	1.000

Kontrollpunkt	Værdi	Beregning
Microsilica	0 %	100 * 0 / 337
Flyveaske	0 %	100 * 0 / 337
Ækv. Cementindhold	337 kg/m ³	337
Effektivt vandindhold	182 kg/m ³	0,40 + 1,39 + 180,21
Ækv. W/C-forhold	0,540	182 / 337
Fillerindhold i beton	337 kg/m ³	337 + 0 + 0 + 0,00 (<0.25 mm)
Martelindhold	733 l/m ³	1000 - 266,80 (>4mm)
Ækv. alkalindhold 50% mar.	3,64 kg/m ³	(4,450 * 1000 * 60 / 100) / 733
Alkalindhold	4,45 kg/m ³	
Max. chloridindhold	0,10 %	100 * 0,337 / (337 + 0 + 0)

Chlorid- og alkaliregnskab

Delmateriale	kg/m ³	%(Alkali)	kg/m ³ (Alkali)	%(Chlorid)	kg/m ³ (Chlorid)
Cement	337,04	1,30	4,38	0,07	0,236
Plastificering	0,67	5,00	0,03	0,10	0,001
Superplast	1,69	2,00	0,03	0,01	0,000
Sand	503,78	0,00	0,00	0,01	0,050
Sand	503,78	0,00	0,00	0,01	0,050
Sten	214,46	0,00	0,00	0,00	0,000
Sten	641,16	0,00	0,00	0,00	0,000
Koldt vand	180,21	0,00	0,00	0,00	0,000
Total	2.383,00		4,45		0,337

Kornkurve, gennemfald i %

Sigte, mm.	0.075	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128
Sammensat Vægt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U0-8 KILEMOEN II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U0-8 KILEMOEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U11-16 STEINSGOGEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U16-22 STEINSGOG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vedlegg B.2: Betongresept for Aalborg Portland betong

Unicon A/S

Betonblanket

v.1.13

Side 1 d. 02-03-2011 kl. 15:28:05



Recept.....: UN53A-B000	Fabrikk: Sandvika-1	Version 0006
-------------------------	---------------------	--------------

Miljøklasse	M60
Bestandighetsklasse	B30
Kontrollklasse	
Største sten	25 mm
Tilstrøbt konsistens	200 mm
Forprøving, atlestr.	

Sammensetning	Navn	Densitet kg/m³	Mengde kg/m³	Volumen l/m³
Cement	Aalborg Portland CEM I 52,5 N	3.160	306,8	97
Plastificering	P	1.190	0,9	1
Superplast	Glenlum 151	1.030	2,3	2
Sten	16-22 mm Steinskogen	2.840	487,3	172
Sand	0-8 Kilemoen Fin	2.630	496,5	189
Sand	0-8 Kilemoen II	2.630	586,7	223
Sten	11-16 mm Steinskogen	2.850	293,4	103
Koldt vann	Kaldt vann	1.000	178,5	178
Tilstrøbt luftinnhold i betong, volumens %				3,5
			2.352	1.000

Kontrollpunkt	Værdi	Beregning
Microsilica	0 %	$100 * 0 / 307$
Flyveaske	0 %	$100 * 0 / 307$
Ækv. Cementinnhold	307 kg/m³	307
Effektivt vandinnhold	181 kg/m³	$0,55 + 1,98 + 178,47$
Ækv. V/Cforhold	0,590	$181 / 307$
Fillerinnhold i betong	307 kg/m³	$307 + 0 + 0 + 0,00 (<0,25 \text{ mm})$
Martellinnhold	605 l/m³	$1000 - 394,69 (>4 \text{ mm})$
Ækv. alkalinnhold 60% mer.	1,92 kg/m³	$(1,934 * 1000 * 60 / 100) / 605$
Alkalinnhold	1,93 kg/m³	
Max. chloridinnhold	0,06 %	$100 * 0,171 / (307 + 0 + 0)$

Chlorid- og alkaliregnskab

Deimateriale	kg/m³	%(Alkali)	kg/m³(Alkali)	%(Chlorid)	kg/m³(Chlorid)
Cement	306,78	0,60	1,84	0,02	0,061
Plastificering	0,92	5,00	0,05	0,10	0,001
Superplast	2,33	2,00	0,05	0,01	0,000
Sten	487,34	0,00	0,00	0,00	0,000
Sand	496,47	0,00	0,00	0,01	0,050
Sand	586,73	0,00	0,00	0,01	0,059
Sten	293,44	0,00	0,00	0,00	0,000
Koldt vann	178,47	0,00	0,00	0,00	0,000
Total	2.352,00		1,93		0,171

Kornkurve, gjennomsnitt i %

Størte, mm.	0,075	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128
Sammensatt Vægt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U16-22 STEINSGOG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U0-8 KILEMOEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U0-8 KILEMOEN II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U11-16 STEINSGOGEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

VEDLEGG C: PROSESSKORT FOR PROSESSENE FOR LAVKARBONSEMENT

Vedlegg C.1: Prosesskort for uttak av kalksten

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date:	10.10.2011	Time:	12:24
Process					
Category type	material				
Process identifier	stoXXXX08480900128				
Type	System				
Process name	Limestone Extraction, Norcem Brevik 2006				
Status					
Time period	2005-2009				
Geography	Europe, Western				
Technology	Outdated technology				
Representativeness	Data from a specific process and company				
Multiple output allocation	Physical causality				
Substitution allocation	Unknown				
Cut off rules	Less than 1% (physical criteria)				
Capital goods	Second order (material/energy flows including operations)				
Boundary with nature	Not applicable				
Infrastructure	No				
Date	19.03.2007				
Record					
Generator					
Literature references					
Collection method	Site specific data for 2006, Norcem Brevik				
Data treatment					
Verification	Qualitative review, Mie Vold STØ				
Comment					
Allocation rules					
System description					
Products					
Limestone extraction and energy Norcem Brevik 2011	1 kg	100			Kalkstein og energiforbruk av uttak, må oppdateres med 2010 tall (tall fra 2006)
Avoided products					
Resources					
Limestone, in ground	1 kg				Antar at all kalksteinen kan brukes videre.
Materials/fuels					
Electricity/heat					
Electricity, medium voltage, production NORDEL 2008, at grid/NORDEL STOE model S	0,027516 MJ	Undefined			Energiforbruk forbundet med uttak av 1 kg kalkstien.

Vedlegg C.2: Råmaterialer til råmølle

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date:	10.10.2011	Time:	12:17
Process					
Category type	material				
Process identifier	stoXXXXX08480900131				
Type					
Process name					
Status					
Time period	Unspecified				
Geography	Unspecified				
Technology	Unspecified				
Representativeness	Unspecified				
Multiple output allocation	Unspecified				
Substitution allocation	Unspecified				
Cut off rules	Unspecified				
Capital goods	Unspecified				
Boundary with nature	Unspecified				
Infrastructure	No				
Date	26.04.2007				
Record					
Generator					
Literature references					
Collection method					
Data treatment					
Verification					
Comment	Råmølmix til bruk i StdFA og lavkarbonsementen, Revidert etter tilbakemeldinger fra Liven, april 2011, Mie				
Allocation rules					
System description					
Products					
Raw materials to Raw Meal Mill, Norcem 2011.	1 kg	100	Alle råvarer til råmølle. Inkl kalkstein.		
			Er for 1 kg ferdig råmølblanding		
Avoided products					
Resources					
Materials/fuels					
Limestone extraction and energy Norcem Brevik 2011	0.98 kg	Undefined	Inneholder også prosessen for å ta ut kalkstien.		
Bauxite, Norcem 2006	0 kg	Undefined			
Iron ore (Consentrate), Norcem 2011	1/100 kg	Undefined			
Quartzite, Norcem 2006	0.55/100 kg	Undefined	Er en erstatning for kisavbrand.		
Oxiton, Norcem 2006	0.25/100 kg	Undefined			

Vedlegg C.3: Transport av råmaterialer til råmøllsmøllen

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date:	10.10.2011	Time:	11:52
Process					
Category type	material				
Process identifier	stoXXXX08480900132				
Type					
Process name					
Status					
Time period					
Geography					
Technology					
Representativeness	Unspecified				
Multiple output allocation	Unspecified				
Substitution allocation	Unspecified				
Cut off rules	Unspecified				
Capital goods	Unspecified				
Boundary with nature	Unspecified				
Infrastructure	No				
Date	26.04.2007				
Record					
Generator					
Literature references					
Collection method					
Data treatment					
Verification					
Comment					
Allocation rules					
System description					
Products					
Trp materials to raw mill Norcem 2011		1 kg			100 not defined A- NORcem 2011
Avoided products					Alle råvarer til 1 kg råmel, med unntak av kalkstein. Transporter for råmateriale som inngår i råmøllsmølle. Med unntak av kalkstein som produseres på stedet.
Resources					
Materials/fuels					
Pukkblil	0.982*0	kgkm			Kalkstein produseres på fabrikk og det er derfor ikke lagt inn transportdistanse her.
Transport, transoceanic freight ship/OCE S, Norcem 2006	0.0000*4000	kgkm			Bauxitt. Er 0.0000 kg pr blanding. 4000 km i trp fra hellas med båt.
Transport, transoceanic freight ship/OCE S, Norcem 2006	0.0100*2500	kgkm			Kisavbrand. 0.0100 kg pr kg råmel. 2500 km med båt fra tyskland
Båt for tilslag, Norcem 2006	0.06325*60	kgkm			Kivarts 0.02889 kg pr kr råmel. 60 km med båt fra kragerø
Transport, transoceanic freight ship/OCE S, Norcem 2006	0.002875*2500	kgkm			Oxiton 0.002875 kg pr kg råmel. 2500 km med båt tyskland

Vedlegg C.4: Prosess råmelsmølle

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date: 10.10.2011	Time: 11:49
Process	material stoXXXX08480900133		
Category type	System		
Process identifier	Raw meal mill, Norcem Brevik 2007		
Type			
Process name			
Status			
Time period	2010 and after		
Geography	Europe, Western		
Technology	Modern technology		
Representativeness	Data from a specific process and company		
Multiple output allocation	Physical causality		
Substitution allocation	Unknown		
Cut off rules	Less than 1% (physical criteria)		
Capital goods	Second order (material/energy flows including operations)		
Boundary with nature	Not applicable		
Infrastructure	No		
Date	09.05.2011		
Record			
Generator			
Literature references			
Collection method	Site specific data, Norcem Brevik. Average 2010 production		
Data treatment	Measurement, based on 2010 total figures. NORcem, Liv Margrethe Hatlevik-Bjerge		
Verification	Qualitative review, STØ, Mie Vold		
Comment	Based on site specific data for raw meal mill at Norcem Brevik, total figures for 2010		
Allocation rules			
System description			
Products			
Process Raw meal mill, Norcem Brevik 2011.	1 kg	Malingen av råmelet (blandingen av kalkstein og andre mineraler) før klinker oven.	
Avoided products			
Resources			
Materials/fuels			
Diesel, at regional storage/RER S	0 kg	316 tonn/år prod.volum 1602526 tonn/år	
Electricity/heat			
Heat, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating/CH S	0,01 MJ	316 tonn/år prod.volum 1602526 tonn/år brennverdi 41,7 MJ/kg, ref Norcem Miljønytte	
Electricity, medium voltage, production NORDEL 2008, at grid/NORDEL STOE model S	0,1 MJ	40,0 kWh/tonn sement	

Vedlegg C.5: Prosess klinker

Simapro 7.3 Project	process Norcem	Date: 10.10.2011	Time: 11:51
Process	material stoXXXXX08480900134		
Category type	System		
Process identifier	Clinker production, Norcem Brevik 2006		
Type			
Process name			
Status			
Time period	2005-2009		
Geography	Europe, Western		
Technology	Modern technology		
Representativeness	Average from a specific process		
Multiple output allocation	Physical causality		
Substitution allocation	Unknown		
Cut off rules	Less than 1% (physical criteria)		
Capital goods	Second order (material/energy flows including operations)		
Boundary with nature	Unspecified		
Infrastructure	No		
Date	20.03.2007		
Record			
Generator			
Literature references			
Collection method	Site specific data		
Data treatment	Measurement, total year 2010		
Verification			
Comment	Based on total figures for 2010, Norcem Brevik, Source Liv Margrethe Hatlevik Bjerge, Norcem. Data implemented by Mie Vold, STØ, April 2010		
Allocation rules			
System description			
Products			
Process Clinker, Norcem Brevik 2011.	1 kg	100 not defined	Alle råvarer som skal innblandet inni råmelsblandingen som skal brennes. Denen prosessen inneholder bare energiforbruk og utslipp ved brenning. Mengde materialer inni ovnen som blir mengde ut må legges inn et annet sted. Tar ikke hensyn til glødetap her.
Avoided products			

Fortsettelse prosess klinker

Resources						Målte utslippstall. Energy er derfor lagt inn uten utslipp. - gjelder alle energibærere brukt i ovnene
energy from waste	in ground	0,06 MJ	Undefined	Undefined	Waste oil	
energy from waste	in ground	0,17 MJ	Undefined	Undefined	flytende avfall	
energy from waste	in ground	0,39 MJ	Undefined	Undefined	fast organisk avfall	
Energy, from biomass	in ground	0,14 MJ	Undefined	Undefined	Fils	
energy from waste	land	0,02 MJ	Undefined	Undefined	Plastavfall	
energy from waste	biotic	0,16 MJ	Undefined	Undefined	Dyremel	
energy from waste	biotic	0 MJ	Undefined	Undefined	CCA	
energy from waste	biotic	1,11 MJ	Undefined	Undefined	FAB	
Materials/fuels						
Hard coal mix, at regional storage/UCTE U	2,03760845kg	Undefined	Undefined	Undefined	Kull Brennverdi for kull antatt å være 29,2	
Residual oil refinery Europe S, Norcem 2006	0 kg	Undefined	Undefined	Undefined	Petcoke	
Diesel as fuel, Norcem 2006	0 MJ	Undefined	Undefined	Undefined	Diesel	
Charcoal as fuel, Norcem 2006	0 MJ	Undefined	Undefined	Undefined	Trekull	
Electricity/heat						
Electricity, medium voltage, production NORDt	0,15 MJ	Undefined	Undefined	Undefined		
Emissions to air						
Particulates		0 g	Undefined	Undefined		
Sulfur dioxide		0,54 g	Undefined	Undefined		
Nitrogen dioxide		1,75 g	Undefined	Undefined		
Hydrogen chloride		0,03 g	Undefined	Undefined		
Hydrogen fluoride		0 g	Undefined	Undefined		
Mercury		0 g	Undefined	Undefined		
Metals, unspecified		0 g	Undefined	Undefined		
Dioxin, 1,2,3,7,8,9-hexachlorodibenzo-		0 g	Undefined	Undefined		
Carbon dioxide		763,71 g	Undefined	Undefined		
Cadmium		6,34588E-6g	Undefined	Undefined		
Thallium		6,34588E-6g	Undefined	Undefined		
Emissions to water						
TOC, Total Organic Carbon		0,02 g	Undefined	Undefined		

Vedlegg C.6: Råmaterialer til sementmølle

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date: 10.10.2011	Time: 12.20
Process	material stoXXXXXX08480900138		
Category type	Unspecified		
Process identifier	Unspecified		
Type	Unspecified		
Process name	Unspecified		
Status	Unspecified		
Time period	Unspecified		
Geography	Unspecified		
Technology	Unspecified		
Representativeness	Unspecified		
Multiple output allocation	Unspecified		
Substitution allocation	Unspecified		
Cut off rules	Unspecified		
Capital goods	Unspecified		
Boundary with nature	Unspecified		
Infrastructure	No		
Date	26.04.2007		
Record			
Generator			
Literature references			
Collection method			
Data treatment			
Verification			
Comment			
Allocation rules			
System description			
Products	0,4 kg	100 not defined	Alle de som kommer etter ovnen. Cement mølle (etter klinkerproduksjon) alle råvater inn med unntak av klinker.
Raw materials to Cement mill, lavkarbonisement Norcem 2011			
Avoided products			
Resources			
iron sulphate (waste resource)	biotic	0 kg	Undefined
Materials/fuels			
Gypsum, mineral, at mine/CH S, Norcem 2006		0,05 kg	Undefined
Flyash		0,3 kg	Undefined
Limestone extraction and energy Norcem Brevik 2011		0,05 kg	Undefined

Vedlegg C.7: Transport av råmaterialer til sementmølle

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date:	10.10.2011	Time:	11:49
Process					
Category type	material				
Process identifier	stoXXXX08480900139				
Type					
Process name					
Status					
Time period	Unspecified				
Geography	Unspecified				
Technology	Unspecified				
Representativeness	Unspecified				
Multiple output allocation	Unspecified				
Substitution allocation	Unspecified				
Cut off rules	Unspecified				
Capital goods	Unspecified				
Boundary with nature	Unspecified				
Infrastructure	No				
Date	26.04.2007				
Record					
Generator					
Literature references					
Collection method					
Data treatment					
Verification					
Comment					
Allocation rules					
System description					
Products					
Cement mill, Trp of raw materials,lavkarbon	Norcem 2011.	1 kg	Transporter for materialer inn i cementmølle (unntak klinker).		
Avoided products					
Resources					
Materials/fuels					
Transport, transoceanic freight ship/OCE S,	Norcem 2006	0,047*3000	kgkm	Gypsum, Guarrucha-Brevik, 3000 km	
Båt for tilslag,	Norcem 2006	0,0046*160	kgkm	Jernsulfat, Sarpsborg-Brevik, 160 km	
Transport, transoceanic freight ship/OCE S,	Norcem 2006	0,3*1500	kgkm	Antar flyveaske fra Danmark	

Vedlegg C.8: Prosess sementmølle

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date: 10.10.2011	Time: 11:50
Process			
Category type	material		
Process identifier	stoXXXXX08480900136		
Type			
Process name			
Status			
Time period	Unspecified		
Geography	Unspecified		
Technology	Unspecified		
Representativeness	Unspecified		
Multiple output allocation	Unspecified		
Substitution allocation	Unspecified		
Cut off rules	Unspecified		
Capital goods	Unspecified		
Boundary with nature	Unspecified		
Infrastructure	No		
Date	09.05.2011		
Record			
Generator			
Literature references			
Collection method			
Data treatment			
Verification			
Comment			
Allocation rules			
System description			
Products			
Process Cement mill, Norcem Brevik 2011.	1 kg	Elektrisitetsforbruk ved selve sementmøllen (råvare er en annen prosess).	
Avoided products			
Resources			
Materials/fuels			
Electricity, medium voltage, production NORDEL 2008, at grid/NORDEL STOE m	0,21 MJ	58 kWh/tonn sement	
Electricity/heat			
Emissions to air			
Emissions to water			
Emissions to soil			
Final waste flows			
Hazardous waste, to recycling	0 kg	Undefined	
Waste to recycling	0 kg	Undefined	
Waste to incineration	0 kg	Undefined	

Vedlegg C.9: Prosess lagerhus

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date: 10.10.2011	Time: 11:51
Process			
Category type	material		
Process identifier	stoXXXXX08480900137		
Type			
Process name			
Status			
Time period	Unspecified		
Geography	Unspecified		
Technology	Unspecified		
Representativeness	Unspecified		
Multiple output allocation	Unspecified		
Substitution allocation	Unspecified		
Cut off rules	Unspecified		
Capital goods	Unspecified		
Boundary with nature	Unspecified		
Infrastructure	No		
Date	26.04.2007		
Record			
Generator			
Literature references			
Collection method			
Data treatment			
Verification			
Comment			
Allocation rules			
System description			
Products			
Process Warehouse +, Norcem 2011.	1 kg		100
Avoided products			
Resources			
Materials/fuels			
Electricity/heat			
Electricity, medium voltage, production NORDEL 2008, at grid/NORDEL STOE model S	0,02 MJ		Undefined

Vedlegg C.10: Lavkarbonsement

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date: 10.10.2011	Time: 11:31
Process			
Category type	material		
Process identifier	stoXXXXX08480900145		
Type			
Process name			
Status			
Time period	Unspecified		
Geography	Unspecified		
Technology	Unspecified		
Representativeness	Unspecified		
Multiple output allocation	Unspecified		
Substitution allocation	Unspecified		
Cut off rules	Unspecified		
Capital goods	Unspecified		
Boundary with nature	Unspecified		
Infrastructure	No		
Date	28.04.2011		
Record			
Generator			
Literature references			
Collection method			
Data treatment			
Verification			
Comment	Lavkarbonsement med høy andel flyveaske, Prøveprosjekt for Norcem, Data fra Norcem (2010), Mie August 2011		
Allocation rules			
System description			
Products			
Lavkarbonsement	1 kg	100 not defined A- NORcem Produsert hos Norcem	
Avoided products			
Resources			
Materials/fuels			
Raw materials to Raw Meal Mill, Norcem 2011.	0,91 kg	Undefined	
Process Raw meal mill, Norcem Brevik 2011.	0,91 kg	Undefined	
Trp materials to raw mill Norcem 2011	0,91 kg	Undefined	
Process Clinker, Norcem Brevik 2011.	0,6 kg	Undefined	
Raw materials to Cement mill, lavkarbonsement Norcem 2011	0,4 kg	Undefined	
Process Cement mill, Norcem Brevik 2011.	1 kg	Undefined	
Cement mill, Trp of raw materials,lavkarbon Norcem 2011.	0,4 kg	Undefined	
Process Warehouse +, Norcem 2011.	1 kg	Undefined	

Vedlegg C.11: Lavkarbonbetong

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date:	10.10.2011	Time:	11:31
Process					
Category type	material				
Process identifier	stoXXXX08480900147				
Type					
Process name					
Status					
Time period	Unspecified				
Geography	Unspecified				
Technology	Unspecified				
Representativeness	Unspecified				
Multiple output allocation	Unspecified				
Substitution allocation	Unspecified				
Cut off rules	Unspecified				
Capital goods	Unspecified				
Boundary with nature	Unspecified				
Infrastructure	No				
Date	28.04.2011				
Record					
Generator					
Literature references					
Collection method					
Data treatment					
Verification					
Comment					
Allocation rules					
System description					
Products					
Lavkarbonbetong		1 m3	100 not defined A- NORcemUnicon sin Aalborg rapidsement		
Avoided products					
Resources					
Materials/fuels					
Lavkarbonsement		337 kg	Undefined	Norcem lavkarbon sement	
Admixture, Concrete Dynamon SP-N (superplasticiser)		1,7 kg	Undefined		
Admixture, Concrete Dynamon SP-N (superplasticiser)		0,7 kg	Undefined	skulle vært p-stoff	
Aggregate, coarse		641,2 kg	Undefined	16-22 mm, stein	
Aggregate, coarse		214,4 kg	Undefined	11-16 mm, stein	
Aggregate, fine		503,8 kg	Undefined	0-8, fin	
Aggregate, fine		503,8 kg	Undefined	0-8, ll	
Båt for sement (Brevik-Sjursøya)	110*337	kgkm	Undefined	avstand brevik-sjursøya, antatt 500 km	
Pukkbil	63,2*(503,8*2)*0,02	kgkm	Undefined	Avstand Kilemoen-Sjursøya	
Pukkbil	63,2*(503,8*2)*0,98	kgkm	Undefined	Avstand kilemoen sandvika	
Pukkbil	19,6*(641,2+214,4)*0,02	kgkm	Undefined	Avstand Steinskogen-Sjursøya	
Pukkbil	19,6*(641,2+214,4)*0,98	kgkm	Undefined		
Heavy goods vehicle, 20 tonn, pr tkm	0,98*337*19,6	kgkm	Undefined	98 %, 19,6 km, 337 kg sement pr m3	

Vedlegg C.12: Transport til byggeplass

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date: 10.10.2011	Time: 11:34
Process			
Category type	material		
Process identifier	stoXXXXX08480900177		
Type			
Process name			
Status			
Time period	Unspecified		
Geography	Unspecified		
Technology	Unspecified		
Representativeness	Unspecified		
Multiple output allocation	Unspecified		
Substitution allocation	Unspecified		
Cut off rules	Unspecified		
Capital goods	Unspecified		
Boundary with nature	Unspecified		
Infrastructure	No		
Date	10.10.2011		
Record			
Generator			
Literature references			
Collection method			
Data treatment			
Verification			
Comment			
Allocation rules			
System description			
Products			
Transport til byggeplass Lavkarbonbetong	1 m3		100 not defined A- NOrcem 2011
Avoided products			
Resources			
Materials/fuels			
Transport til byggeplass fra Sjursøya	0,02 m3		Undefined
Transport til byggeplass fra Sandvika	0,98 m3		Undefined

Vedlegg C.13: Forskaling

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date:	10.10.2011	Time:	11:43
Process	material stoXXXX08480900162				
Category type	Unspecified				
Process identifier	Unspecified				
Type	Unspecified				
Process name	Unspecified				
Status	Unspecified				
Time period	Unspecified				
Geography	Unspecified				
Technology	Unspecified				
Representativeness	Unspecified				
Multiple output allocation	Unspecified				
Substitution allocation	Unspecified				
Cut off rules	Unspecified				
Capital goods	Unspecified				
Boundary with nature	Unspecified				
Infrastructure	No				
Date	31.05.2011				
Record					
Generator					
Literature references					
Collection method					
Data treatment					
Verification					
Comment					
Allocation rules					
System description					
Products					
Forskaling Norcem 2011	1 m2				100 not defined A- NOR E-lik for alle betongene. 55-60 kg/m2
Avoided products					
Resources					
Materials/fuels					
Reinforcing steel, at plant/RER, S	0.75*60/(30*7)	kg	Undefined		75% stål, 55-60 kg/m2 bruker 60 kg/m2, Antar 30 gangers bruk i 10 år
Plywood, indoor use, at plant/RER, S	0.25*0.05/30	m3	Undefined		25% fiber, plysood er bare i m3 i Ecolivent. Har derfor antatt at fiberplatene er 5 cm tykke, Antar 30 gangers bruk i 10 år
Heavy goods vehicle, 20 tonn, pr tkm	0.75*60/(30*7)*1340	kgkm	Undefined		Transport fra Weiserhorn, Tyskland 1340 km i flg Via Michelin
Heavy goods vehicle, 20 tonn, pr tkm	0.25*0.05/30*800	kgkm	Undefined		Transport fra Helsinki, Finland; 800 km i flg Via Michelin og antatt bil hele veien (sett bort i fra ferje av enkelthetsgrunner)

Vedlegg C.14: Presenning

SimaPro 7.3
Project process Date: 10.10.2011 Time: 11:43
Norcem

Process

Category type	material
Process identifier	stoXXXXX08480900164
Type	
Process name	
Status	
Time period	Unspecified
Geography	Unspecified
Technology	Unspecified
Representativeness	Unspecified
Multiple output allocation	Unspecified
Substitution allocation	Unspecified
Cut off rules	Unspecified
Capital goods	Unspecified
Boundary with nature	Unspecified
Infrastructure	No
Date	31.05.2011
Record	
Generator	
Literature references	
Collection method	
Data treatment	
Verification	
Comment	
Allocation rules	
System description	

Products

Presenning, Norcem 2011	1 m2	100 not defined A- NORcem 2011
-------------------------	------	--------------------------------

Avoided products

Resources

Materials/fuels			
LDPE STØ 2005 (incl feedstock-separasjon)	240 g	Undefined	240 g/m2

Vedlegg C.15: Vintermatte

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date: 10.10.2011	Time: 11:44
Process	material stoXXXX08480900165		
Category type	Unspecified		
Process identifier	Unspecified		
Type	Unspecified		
Process name	Unspecified		
Status	Unspecified		
Time period	Unspecified		
Geography	Unspecified		
Technology	Unspecified		
Representativeness	Unspecified		
Multiple output allocation	Unspecified		
Substitution allocation	Unspecified		
Cut off rules	Unspecified		
Capital goods	Unspecified		
Boundary with nature	Unspecified		
Infrastructure	No		
Date	21.06.2011		
Record			
Generator			
Literature references			
Collection method			
Data treatment			
Verification			
Comment			
Allocation rules			
System description			
Products			
Toppmatte Norcem 2011	1 m3	100 not defined A- NORcem 2011	
Avoided products			
Resources			
Materials/fuels			
Polyethylene, LDPE, granulate, at plant/RER U	25 kg	Undefined	25 kg/m3, Bruker LDPE siden ikke EcoInvent har Ethafoam/polyethylene foam.

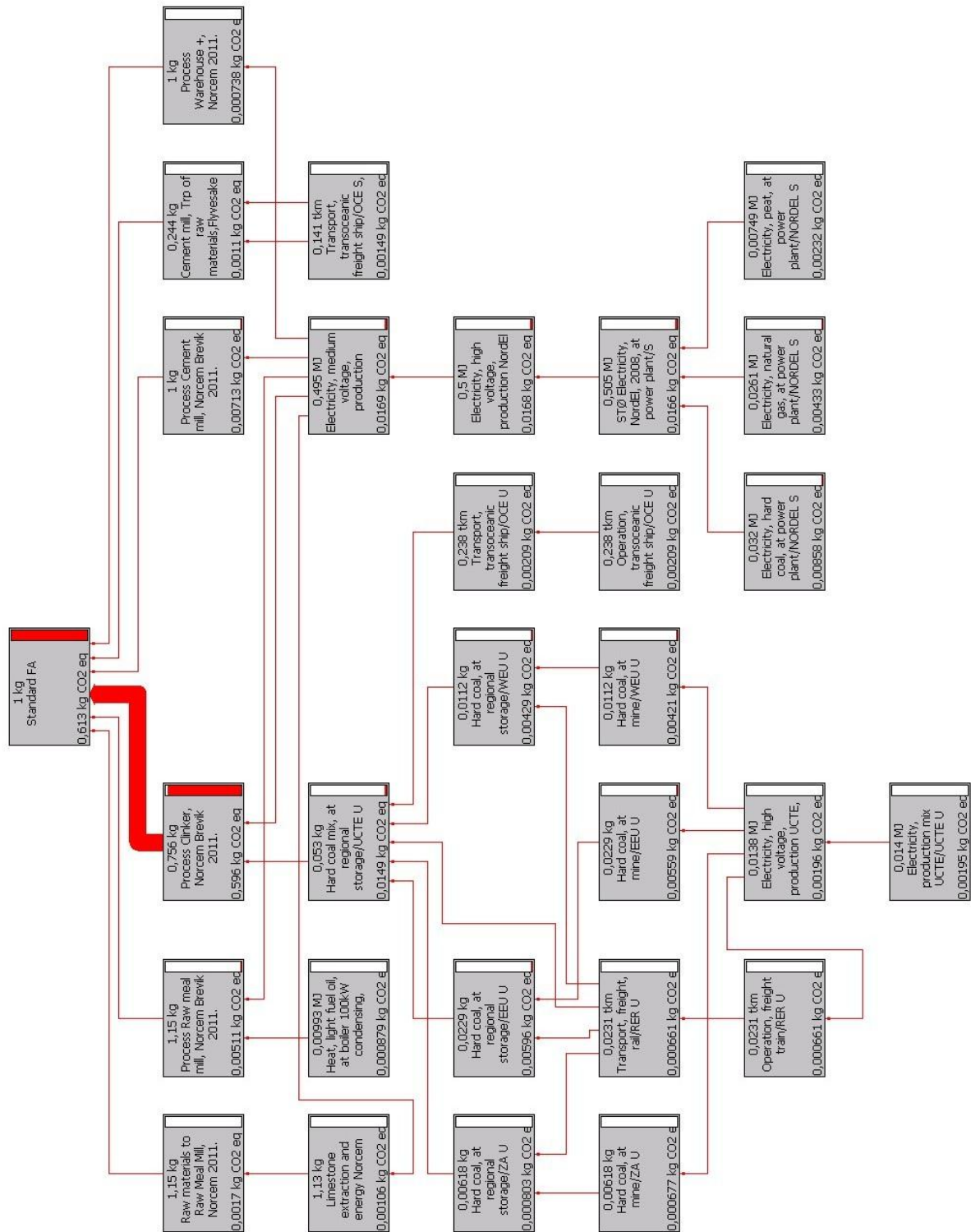
Vedlegg C.16: Byggeprosess lavkarbonbetong

SimaPro 7.3 Project	process Norcem	Date:	10.10.2011	Time:	11:32
Process	material stoXXXXX08480900140				
Category type	Unspecified				
Process identifier	Unspecified				
Type	Unspecified				
Process name	Unspecified				
Status	Unspecified				
Time period	Unspecified				
Geography	Unspecified				
Technology	Unspecified				
Representativeness	Unspecified				
Multiple output allocation	Unspecified				
Substitution allocation	Unspecified				
Cut off rules	Unspecified				
Capital goods	Unspecified				
Boundary with nature	Unspecified				
Infrastructure	No				
Date	28.04.2011				
Generator					
Literature references					
Collection method					
Data treatment					
Verification					
Comment					
Allocation rules					
System description					
Products					
Byggeprosess lavkarbon		7 m3			100 not defined A- NORcem i stik vegg på 7 m3
Avoided products					
Resources					
Materials/fuels					
Propane/ butane, at refinery/RER S	4,77*2	kg	Undefined		propan*antall timer*to omer. Tar 7 t å tørke/ herde
Natural gas, burned in boiler fan burner non-modulating <100kW/RER S	60*7*2	kWh	Undefined		propan*antall timer*to omer tar 7 t å tørke/ herde
Toppmatte Norcem 2011	0.10*0,2*15/10	m3	Undefined		10cm tykke. 0.2mtykk vegg, lengde 3m2, 10 gangers ombruk
Presemming, Norcem 2011	2.75*16/10	m2	Undefined		2.75m * 16m / 10 gangers ombruk
Forskaling Norcem 2011	2*40	m2	Undefined		2 stk hele vegggen - Transport til norge ligger inne i forskalingsprosessen
Forskaling Norcem 2011	2*2,7*0,2	m2	Undefined		2 stk endestykker -Transport til norge ligger inne i forskalingsprosessen
Electricity/heat					
Electricity, low voltage, production NORDEL 2008, at grid/NORDEL STOE model S	82+1,05	kWh	Undefined		Forbruk av andre maskiner (kran, vibrator osv). Kran 82 kWh, vibrator 1,05 kWh. Antar at det tar 1 time å støpe en vegg (7m3)

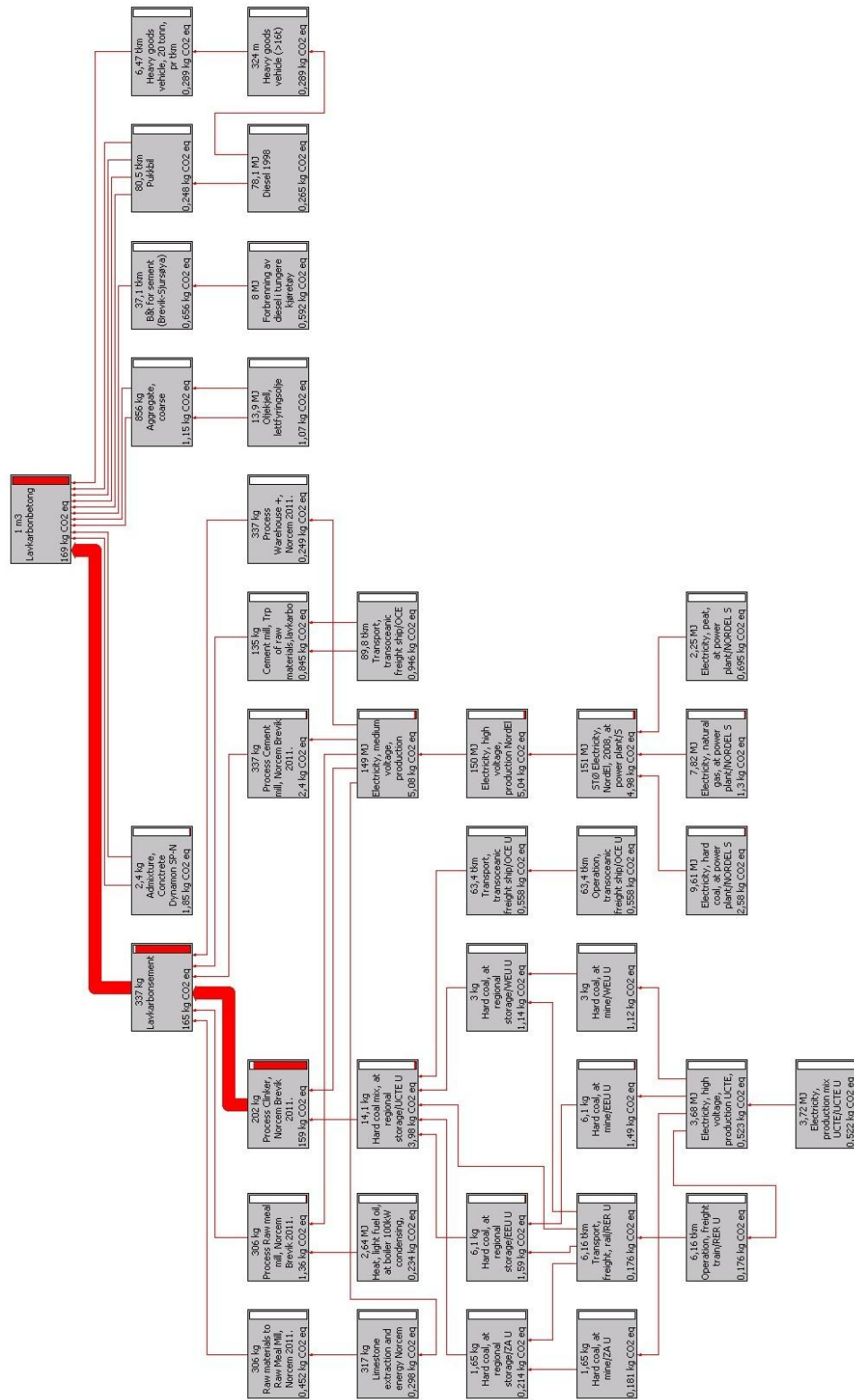
Vedlegg C.17: 40 m² vegg støpt i lavkarbonbetong

SimaPro 7.3	process	Date:	10.10.2011	Time:	11:36
Project	Norcem				
Process					
Category type	material				
Process identifier	stoXXXXX08480900148				
Type					
Process name					
Status					
Time period	Unspecified				
Geography	Unspecified				
Technology	Unspecified				
Representativeness	Unspecified				
Multiple output allocation	Unspecified				
Substitution allocation	Unspecified				
Cut off rules	Unspecified				
Capital goods	Unspecified				
Boundary with nature	Unspecified				
Infrastructure	No				
Date	28.04.2011				
Record					
Generator					
Literature references					
Collection method					
Data treatment					
Verification					
Comment					
Allocation rules					
System description					
Products					
Vegg lavkarbonbetong	40 m2				100 not defined A- NORcemVegg byggeplass, 40 m2 tilsvarer 7 m3
Avoided products					
Resources					
Materials/fuels					
Lavkarbonbetong	7 m3				Undefined
Byggeprosess lavkarbon	7 m3				Undefined
Transport til byggeplass Lavkarbonbetong	7 m3				Undefined

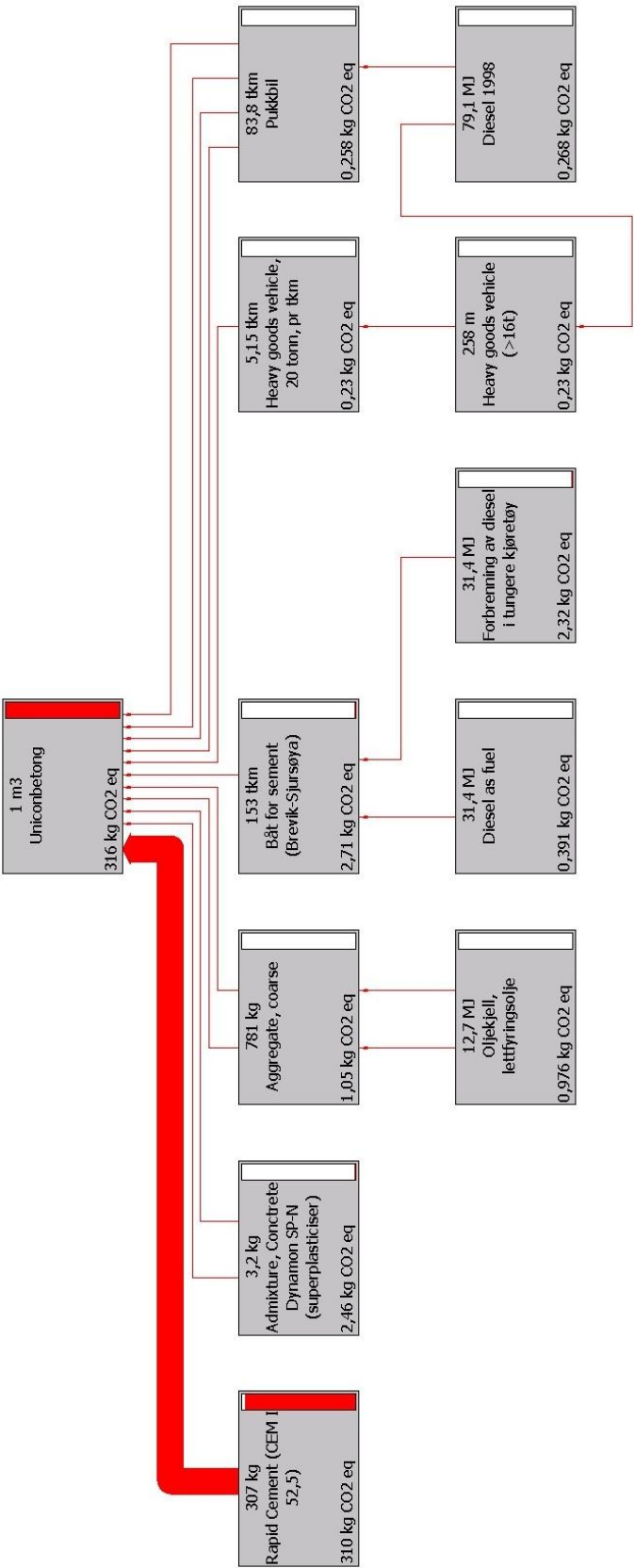
Vedlegg D.2: Prosesstre for Standard FA sement



Vedlegg D.3: Prosesstre for Lavkarbonbetong med 0,1 % cut-off



Vedlegg D.5: Prosesstre for Aalborg Portland betong med 0,1 % cut-off



VEDLEGG E: EPD'ER FOR LAVKARBONBETONG, STANDARD FA SEMENT OG STANDARD SEMENT

Vedlegg E.1: EPD for Lavkarbonbetong

Environmental Declaration ISO 14025/ISO 21930

Lavkarbonsement
NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group
Norcem A.S, Brevik

Figur 1

Miljøindikatorer	Deklarert enhet: Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)
Global oppvarming:	488 kg CO ₂ /DE
Energiforbruk:	3 242 MJ/DE
Andel fornybar energi:	11 %
Kjemikalier	Inneholder ikke stoffer fra OBS-listen

NEPD nr: 151N

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4 :31.10.2011

Gyldig til: 31.10.2016
Svein Fosstøl

Verifikasjon av data:
Uavhengig verifikasjon av data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning med ISO14025, §8.1.3.
Anne Rønning

Deklarasjonen er utarbeidet av:
Mie Vold, Østfoldforskning AS [2]

PCR:
PCR for cement, 2010:9

Om EPD:
EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:
Norcem AS
3950 Brevik, Norge
Org.nr.: No-934949145
ISO 14001-sertifisert (NO-0001003)

Informasjon om produktet: Lavkarbonsement (EN 197-1, CEM II/B-V)

Deklarert enhet: Produksjon av 1.000 kg Norcem Lavkarbonsement, fra råvareuttak til ferdig sement

Produktets levetid: Ikke relevant, vil avhenge av bruksområde

Analyseomfang: Denne miljødeklarasjonen omfatter uttak av råvarer, transport til Norcem og produksjonsprosesser fram til ferdig sement

Årstall for studien: 2011

Årstall for data: Produksjons- og utslippsdata for Norcem Brevik 2010

Antatt markedsområde: Norge

Kontaktperson: Liv-Margrethe H. Bjerge, Tlf: 47 22 87 84 38 (Oslo)/47 35 57 24 99 (Brevik), Mobil: 47 416 58 111, E-post: liv.bjerge@norcem.no

Produktspesifikasjon
Tabell 1

	Masse kg/DE	Andel %	Datakvalitet					Andel resirkulerte materialer	
			Produksjon av råvarer (A1)	Transport av råvarer (A2)	Produksjonsfase for produktet (A3)	Byggeplass	Bruk og vedlikehold		Avhending
<i>Ellerker</i>	599	59,9 %	Spesifikke data	Spesifikke data					0 %
<i>Etikmel</i>	50	5,0 %	Spesifikke databasedata	Spesifikke data					0 %
<i>Gips</i>	47	4,7 %	Spesifikke databasedata	Spesifikke data	Spesifikke data	ikke inkludert	ikke inkludert	ikke inkludert	0 %
<i>Jernsulfat</i>	4,3	0,4 %	Spesifikke databasedata	Ikke inkludert					100 %
<i>Flyveske</i>	300	30,0 %	Spesifikke databasedata	Spesifikke data					100 %
TOTALT									30 %

NEPD nr. 151N
1/4

Ressursforbruk

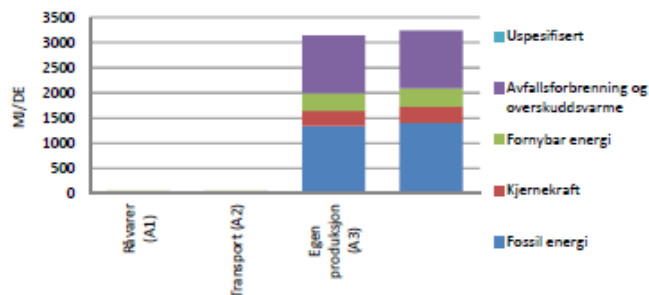
Materialressurser Tabell 2

Materialressurser	Enhet	Råvarer (A1)	Transport (A2)	Egen produksjon (A3)	Byggeplass	Bruk/vedlikehold	Avhending	Deklarert enhet (A1-A3)	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		-	-	-	Ikke inkludert	Ikke inkludert	Ikke inkludert	-	
Nye, fornybare ressurser		39	26	761				826	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser		303	-	-				303	
Nye, ikke fornybare ressurser	minerale	kg/DE	8	0,70				0,63	9
	Kalsium/kalkstein	kg/DE	990	0,09				0,09	990
	Jern	kg/DE	4,8	0,02				0,01230	5
Sum									

Land areal og vannressurser

Landareal er ikke kartlagt. Oversikt over vannforbruk finnes i Tabell 2.

Energiressurser



Figur 2. Totalt energiforbruk [MJ/DE] fordelt på faser

Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

Energiressurser	Enhet	Råvarer (A1)	Transport (A2)	Egen produksjon (A3)	Byggeplass	Bruk/vedlikehold	Avhending	Deklarert enhet (A1-A3)	Kommentarer
Fossil energi	Kull	MJ/DE	5	4	1 193	Ikke inkludert	Ikke inkludert	Ikke inkludert	1 202
	Olje	MJ/DE	8	35	58				102
	Fossilgass	MJ/DE	4	3	93				100
Kjernerkraft	MJ/DE	18	4	299	322				
Fornybar energi	Biomasse	MJ/DE	<0,5	<0,5	85				85
	Vannkraft	MJ/DE	16	1	255				272
	Vindkraft	MJ/DE	1	<0,5	12				13
Diverse	Avfallsforbrenning	MJ/DE	<0,5	<0,5	1 146	1 146			
Uspesifisert	MJ/DE	<0,5	<0,5	<0,5	-				
Totalt	MJ/DE	53	47	3142				3241	

Energi bruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra Nordisk Produksjonsmix, Medium voltage, 2008 for el (CO₂-faktor: 34,2 g/MJ eller 123 g/kWh) (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

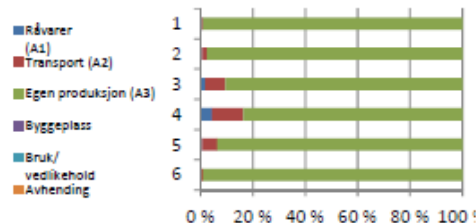
	Enhet	Deklarert enhet (A1-A3)	Funksjonell enhet
1 Avfall	kg avfall/DE	58,58	Ikke relevant - avhengig av bruk
2 Overgjødning	kg PO43--ekv/DE	0,28	
3 Fotokjemisk oksidasjon	kg CO2H2-ekv/DE	0,06	
4 Nedbryting av ozon	kg CFC-11-ekv/DE	2,70E-06	
5 Forsuring	kg SO2-ekv/DE	1,08	
6 Drivhuseffekt	kg CO2-ekv/DE	488,41	

Indikator for overgjødning og forsuring oppgis i hhv fosfat-ekv og svoveldioksid-ekv. avviker fra PCR.

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

Utslipp	Enhet	Råvarer (A1)	Transport (A2)	Egen produksjon (A3)	Byggeplass	Bruk/vedlikehold	Avhending	Deklarert enhet (A1-A3)	Kommentarer	
Utslipp til luft	CO2 (fossil)*	kg/DE	1,38	2,84	474,48	Ikke inkludert	Ikke inkludert	Ikke inkludert	478,70	Basert på beregninger av utslipp, rapportert til
	CH4	kg/DE	2,76E-03	1,99E-03	3,62E-01				3,66E-01	
	N2O	kg/DE	8,73E-05	7,88E-05	1,27E-03				1,44E-03	
	NOx	kg/DE	0,01	0,04	1,10				1,15	
	SOx	kg/DE	1,68E-03	0,04	0,38				0,42	
	VOC	kg/DE	1,22E-03	2,81E-03	0,01				0,01	
	CO	kg/DE	2,10E-03	0,01	0,01				0,02	
	Dioksin	kg/DE	6,83E-14	9,68E-13	5,87E-09				5,87E-09	
	PAH	kg/DE	1,91E-07	1,41E-06	2,21E-06				3,82E-06	
	Cr, Cd, Hg og Pb	kg/DE	1,16E-06	7,91E-07	4,55E-05				4,75E-05	
Utslipp til vann	KDF	kg/DE	6,28E-04	0,01	0,02	Ikke inkludert	Ikke inkludert	Ikke inkludert	0,03	
	Tot-N	kg/DE	3,79E-05	1,17E-05	8,68E-03				8,73E-03	
	Tot-P	kg/DE	1,45E-04	9,91E-06	4,10E-02				4,12E-02	
	PAH	kg/DE	1,22E-06	1,67E-05	3,38E-05				5,17E-05	
Avfall	VOC	kg/DE	5,96E-06	7,40E-06	4,73E-04	Ikke inkludert	Ikke inkludert	Ikke inkludert	4,86E-04	
	Avfall til materialgjenvinning	kg/DE			0,31				0,31	-
	Avfall til energigjenvinning	kg/DE			-				-	-
	Waste to Incineration (no ER)	kg/DE			0,20				0,20	-
	Avfall til deponi	kg/DE	3,93E-01	1,40E-01	57,49				58,02	0,00
	Farlig avfall	kg/DE	5,74E-05	2,75E-05	0,04				4,06E-02	0,00
Annet avfall	kg/DE	2,80E-03	5,79E-05	0,00	6,27E-03	0,00				

* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Norcem Brevik fabrikker er en råvareprodusent. Produktet Portlandsement inngår i andre produkter, vesentlig betong. Norcem er ikke pliktig til å deklare sluttbehandling i det dette i stor grad avhenger av bruken av produktet.

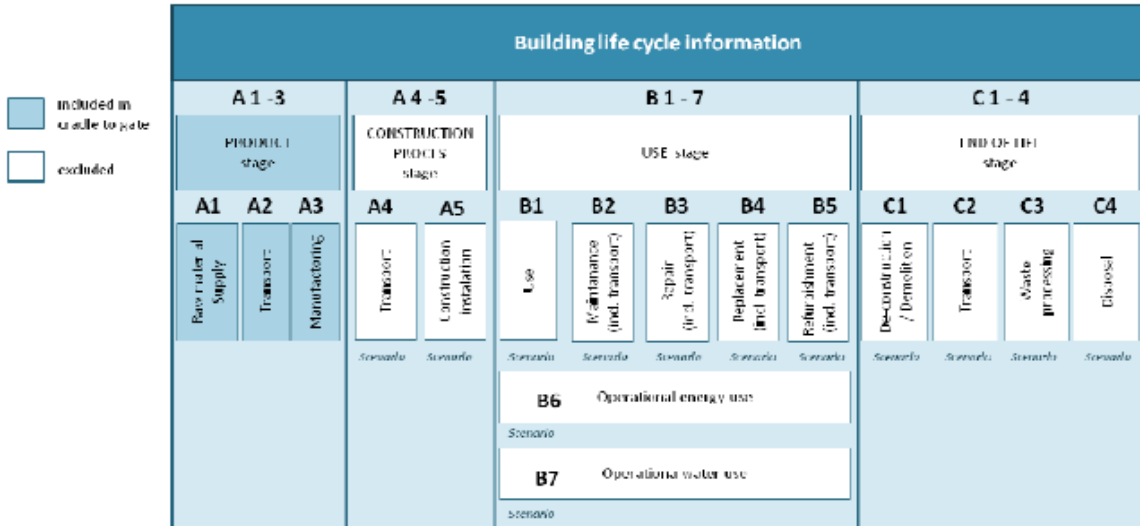
Følgende tips og anbefalinger er allikevel gitt:

- Det vises til produkt (kvalitets-) datablad og HMS-datablad i henhold til EU-forordning EEC 793/93.
- Stoffet er ikke spesialavfall verken i tørr form eller som mørtel/betong.

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figur x (ref TC 350), og gjennom korresponderende bokstav- og tallbetegnelse er i deklarasjonen



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjonen.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved

Referanser

ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

Vold M. (2011); Livsløpsdata for Norcem Breviks sementer, Bakgrunnsdata for miljødeklarasjon (EPD), Østfoldforskning AS, OR 22.11, Fredrikstad.

PCR for Cement: www.environdec.com (2010), PCR 2010;9, version 1.0, 2010-09-15

CEM II - Standard FA Sement og

Anleggssement FA

NORCEM

HEIDELBERGCEMENTGroup



Figur 1

NEPD nr: 024N

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4 : 31.10.2011

Gyldig til: 31.10.2016

Sunn Fosdøl

Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning med ISO14025. §8.1.3.

Anne Rønning

Deklarasjonen er utarbeidet av:

Mie Vold, Østfoldforskning AS [2]

Østfoldforskning

PCR:

PCR for cement, 2010:9

Om EPD:

EPD'er fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Norcem AS

3950 Brevik, Norge

Org.nr.: No-934949145

ISO 14001-sertifisert (NO-0001003)

Miljøindikatorer	Deklart enhet: Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)
Global oppvarming:	613 kg CO ₂ /DE
Energiforbruk:	3 954 MJ/DE
Andel fornybar energi:	11 %
Kjemikalier	Inneholder ikke stoffer fra OBS-listen

Informasjon om produktet:

Standard FA Sement (EN 197-1, CEM II/A-V 42,5R) og AnleggSement FA (EN 197-1, CEM II/A-V 42,5N)

Deklart enhet:

Produksjon av 1.000 kg Norcem Standardsement FA, fra råvareuttak til ferdig sement

Produktets levetid:

Ikke relevant, vil avhenge av bruksområde

Analyseomfang:

Denne miljødeklarasjonen omfatter uttak av råvarer, transport til Norcem og produksjonsprosesser fram til ferdig sement

Årstall for studien:

2011

Årstall for data:

Produksjons- og utslippsdata for Norcem Brevik 2010

Antatt markedsområde:

Norge

Kontaktperson:

Liv-Margrethe H. Bjerger, Tlf: +47 22 87 84 38 (Oslo)/+47 35 57 24 99 (Brevik), Mobil: +47 416 58 111, E-post: liv.bjerger@norcem.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	Masse kg/DE	Andel %	Datakvalitet						Andel resirkulerte materialer
			Produksjon av råvarer (A1)	Transport av råvarer (A2)	Produksjonsfase for produktet (A3)	Byggeplass (A1)	Bruk og vedlikehold	Avhending	
Åsinker	759	75,9 %	Spesifikke data	Spesifikke data	Spesifikke data	Ikke inkludert	Ikke inkludert	Ikke inkludert	0 %
Kalkmel	0	0,0 %	Spesifikke data basedata	Spesifikke data					0 %
Gips	47	4,7 %	Spesifikke data basedata	Spesifikke data					0 %
Jernsulfat	4,3	0,4 %	Spesifikke data basedata	Ikke inkludert					100 %
Flygeaske	190	19,0 %	Spesifikke data basedata	Spesifikke data					100 %
TOTALT									19 %

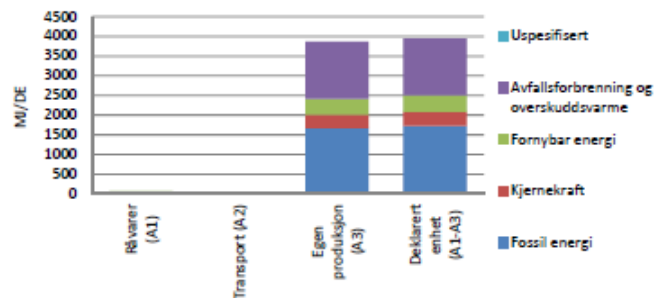
Ressursforbruk

Materialressurser Tabell 2

Materialressurser	Enhet	Råvarer (A1)	Transport (A2)	Egen produksjon (A3)	Byggeplass	Bruk/vedlikehold	Avhending	Deklarert enhet (A1-A3)	Kommentarer	
Resirkulerte, fornybare ressurser		-	-	-	ikke inkludert	ikke inkludert	ikke inkludert	-		
Nye, fornybare ressurser	Vann	kg/DE	46	14				873	933	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Flyveaske	kg/DE	-	-				-	-	
Nye, ikke fornybare ressurser	Sand, stein og andre mineraler	kg/DE	10	0,88				0,79	12	
	Kalsium/kalkstein	kg/DE	1 170	0,11				0,12	1 170	
	Jern	kg/DE	6,1	0,03	0,02	6				
Sum								2 121	Alle ressurser bortsett fra luft og turbinvann	

Landareal er ikke kartlagt. Oversikt over vannforbruk finnes i Tabell 2.

Energiressurser



Figur 2. Totalt energiforbruk [MJ/DE] fordelt på faser

Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

Energiressurser	Enhet	Råvarer (A1)	Transport (A2)	Egen produksjon (A3)	Byggeplass	Bruk/vedlikehold	Avhending	Deklarert enhet (A1-A3)	Kommentarer
Fossil energi	Kull	MJ/DE	6	2	1 495	ikke inkludert	ikke inkludert	ikke inkludert	1 503
	Olje	MJ/DE	10	20	72				102
	Fossilgass	MJ/DE	5	1	109				115
Kjernekraft	MJ/DE	22	2	336	360				
Fornybar energi	Biomasse	MJ/DE	<0,5	<0,5	108				108
	Vannkraft	MJ/DE	19	<0,5	286				305
	Vindkraft	MJ/DE	1	<0,5	13				14
Diverse	Avfallsforbrenning	MJ/DE	<0,5	<0,5	1 447	1 447			
Uspesifisert	MJ/DE	<0,5	<0,5	<0,5	-				
Totalt	MJ/DE	63	25	3866				3954	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra Nordisk Produksjonsmix, Medium voltage, 2008 for el (CO₂-faktor: 34,2 g/MJ eller 123 g/kWh) (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

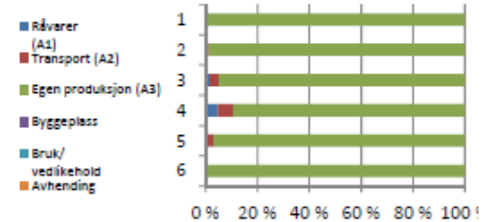
		Enhet	Deklarert enhet (A1-A3)	Funksjonell enhet
1	Avfall	kg avfall/DE	72,82	Ikke relevant - avhengig av bruk
2	Overgjødning	kg PO43--ekv/DE	0,35	
3	Fotokjemisk oksidasjon	kg C2H2-ekv/DE	0,074	
4	Nedbryting av ozon	kg CFC-11-ekv/DE	2,9E-06	
5	Forsuring	kg SO2-ekv/DE	1,31	
6	Drivhuseffekt	kg CO2-ekv/DE	613	

Indikator for overgjødning og forsuring oppgis i hhv fosfat-ekv og svoveldioksid-ekv. avviker fra PCR.

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

Utslipp	Enhet	Råvarer (A1)	Transport (A2)	Egen produksjon (A3)	Byggeplass	Bruk/vedlikehold	Avhending	Deklarert enhet (A1-A3)	Kommentarer	
Utslipp til luft	CO2 (fossil)*	kg/DE	1,66	1,57	597,31	Ikke inkludert	Ikke inkludert	Ikke inkludert	600,54	Basert på beregninger i hht rapportering til myndigheter
	CH4	kg/FE	3,28E-03	1,08E-03	4,50E-01				4,55E-01	
	N2O	kg/FE	9,98E-05	4,59E-05	1,45E-03				1,59E-03	
	NOx	kg/FE	7,09E-03	0,02	1,39				1,42	
	SOx	kg/FE	1,97E-03	0,02	0,48				0,50	
	VOC	kg/FE	1,38E-03	1,56E-03	0,01				0,01	
	CD	kg/FE	2,39E-03	3,67E-03	0,02				0,02	
	Diksin	kg/FE	7,46E-14	5,12E-13	7,41E-09				7,41E-09	
	PAH	kg/FE	2,00E-07	7,55E-07	2,66E-06				3,61E-06	
	Cr, Cd, Hg og Pb	kg/FE	1,37E-06	4,21E-07	5,50E-05				5,68E-05	
Utslipp til vann	KOF	kg/FE	6,18E-04	0,01	0,03	Ikke inkludert	Ikke inkludert	Ikke inkludert	0,03	
	Tot-N	kg/FE	4,49E-05	6,37E-06	1,09E-02				1,09E-02	
	Tot-P	kg/FE	1,73E-04	5,25E-06	5,15E-02				5,16E-02	
	PAH	kg/FE	1,26E-06	8,82E-06	4,11E-05				5,12E-05	
	VOC	kg/FE	6,99E-06	3,92E-06	5,85E-04				5,95E-04	
Avfall	Avfall til materialgjenvinning	kg/FE	-	-	0,31	Ikke inkludert	Ikke inkludert	Ikke inkludert	0,31	-
	Avfall til energigjenvinning	kg/FE	-	-	-				-	
	Waste to incineration (no)	kg/FE	-	-	0,20				0,20	
	Avfall til deponi	kg/FE	4,67E-01	0,07	71,71				72,26	
	Farlig avfall	kg/FE	6,95E-05	0,00	0,04				4,06E-02	1,0726E-05
Annnet avfall	kg/FE	3,52E-03	0,00	0,00	7,39E-03	2,26128E-05				

* Ikke-fossil (biologisk) CO₂ er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Norcem Brevik fabrikk er en råvareprodusent. Produktet Portlandsement inngår i andre produkter, vesentlig betong. Norcem er ikke pliktig til å deklare sluttbehandling i det dette i stor grad avhenger av bruken av produktet.

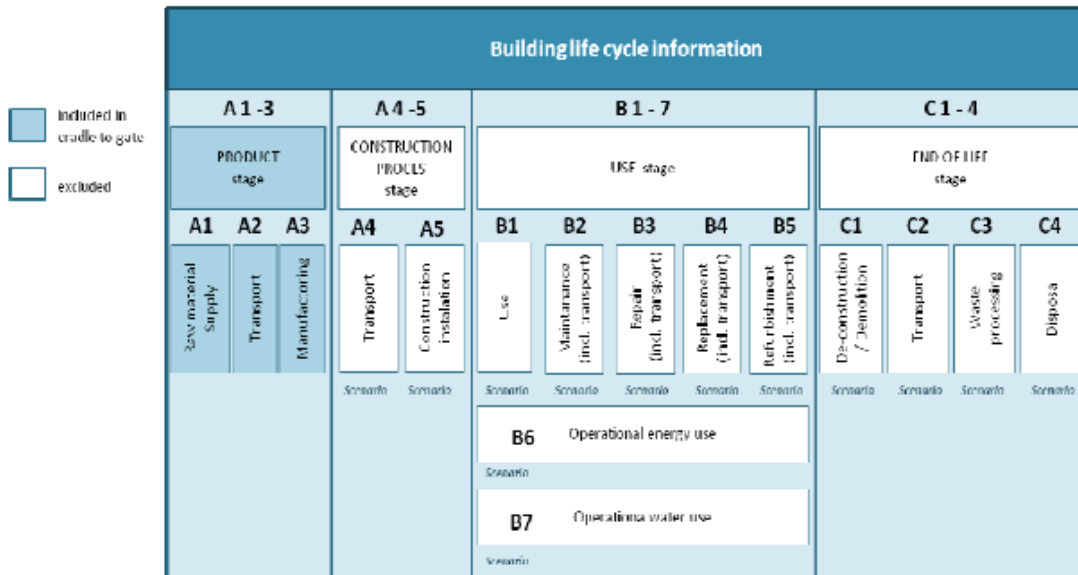
Følgende tips og anbefalinger er allikevel gitt:

- Det vises til produkt (kvalitets-) datablad og HMS-datablad i henhold til EU-forordning EEC 793/93.
- Stoffet er ikke spesialavfall verken i tørr form eller som mørtel/betong.

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figur x (ref TC 350), og gjennom korresponderende bokstav- og tallbetegnelse er i deklarasjonen



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjonen.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukt fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon

Referanser

ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

Vold M. (2011); Livsløpsdata for Norcem Breviks sementer, Bakgrunnsdata for miljødeklarasjon (EPD), Østfoldforskning AS, OR 22.11 Fredrikstad.

PCR for Cement: www.environdec.com (2010), PCR 2010;9, version 1.0, 2010-09-15

Environmental Declaration ISO 14025/ISO 21930



CEM I - Standard-, Industri- og Anleggssement

NORCEM

HEIDELBERGCEMENT Group



Figur 1

NEPD nr: 023N

Godkjent i tråd med ISO14025 [1], §8.1.4 : 31.10.2011

Gyldig til: 31.10.2016

Sven Fosdal

Verifikasjon av data:

Uavhengig verifikasjon av data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning med ISO14025. SR 1.3

Anne Rønning

Deklarasjonen er utarbeidet av:

Mie Vold, Østfoldforskning AS [2]

Østfoldforskning

PCR:

PCR for cement, 2010:9

Om EPD:

EPDer fra andre programoperatører enn Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner er nødvendigvis ikke sammenlignbare.

Informasjon om produsent:

Norcem AS

3950 Brevik, Norge

Org.nr.: No-934949145

ISO 14001-sertifisert (NO-0001003)

Miljøindikatorer	Deklarert enhet: Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)
Global oppvarming:	733 kg CO ₂ /DE
Energiforbruk:	4 651 MJ/DE
Andel fornybar energi:	10 %
Kjemikalier	Inneholder ikke stoffer fra OBS-listen

Informasjon om produktet:

Standard Sement (EN 197-1, CEM I 42,5R),
Anlegg Sement (EN 197-1, CEM I 42,5R og NS 3086, CEM I 52,5 N-LA) og
Industri Sement (EN 197-1, CEM I 42,5 R og NS 3086, CEM I 42,5 RR)
Produksjon av 1.000 kg Norcem Standardsement, fra råvareuttak til ferdig sement

Deklarert enhet:

Produktets levetid:

Analyseomfang:

Årstall for studien:

Årstall for data:

Antatt markedsområde:

Kontaktperson:

Ikke relevant, vil avhenge av bruksområde
Denne miljødeklarasjonen omfatter uttak av råvarer, transport til Norcem og produksjonsprosesser fram til ferdig sement
2011
Produksjons- og utslippsdata for Norcem Brevik 2010
Norge
Liv-Margrethe H. Bjerge, Tlf: +47 22 87 84 38 (Oslo)/+47 35 57 24 99 (Brevik),
Mobil: +47 416 58 111, E-post: liv.bjerge@norcem.no

Produktspesifikasjon

Tabell 1

	Masse kg/DE	Andel %	Datakvalitet						Andel resirkulerte materialer
			Produksjon av råvarer (A1)	Transport av råvarer (A2)	Produksjonsfase for produktet (A3)	Byggeplass	Bruk og vedlikehold	Avhending	
Ellerker	909	90,9 %	Spesifikke data	Spesifikke data	Spesifikke data	ikke inkludert	ikke inkludert	ikke inkludert	0 %
Zalkmel	36	3,6 %	Spesifikke databasedata	Spesifikke data					0 %
Gips	49	4,9 %	Spesifikke databasedata	Spesifikke data					0 %
Jernsulfat	6	0,6 %	Spesifikke databasedata	Ikke inkludert					100 %
Fluorokse	0	0,0 %	Spesifikke databasedata	Spesifikke data					100 %
TOTALT									1 %

Ressursforbruk

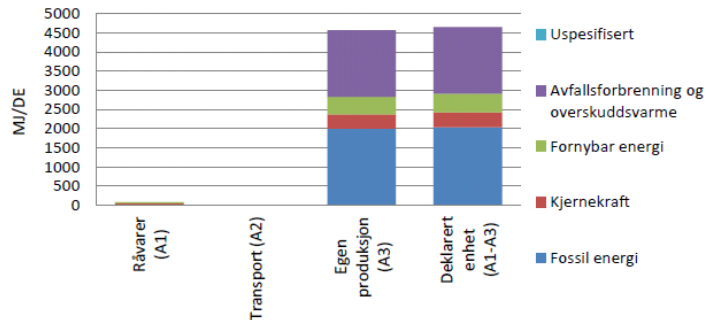
Materialressurser Tabell 2

Materialressurser	Enhet	Råvarer (A1)	Transport (A2)	Egen produksjon (A3)	Byggeplass	Bruk/vedlikehold	Avhending	Deklarert enhet (A1-A3)	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser		-	-	-	ikke inkludert	ikke inkludert	ikke inkludert	-	
Nye, fornybare ressurser	Vann	55	4	980				1 040	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Flyveaske	-	-	-				-	
Nye, ikke fornybare ressurser	mineraler	kg/DE	11	1,06	0,95	13			
	Kalsium/kalkstein	kg/DE	1 373	0,13	0,14	1 374			
	Jern	kg/DE	7,2	0,03	0,01868	7			
Sum								2 434	Alle ressurser bortsett fra luft og turbinvann

Land areal og vannressurser

Landareal er ikke kartlagt. Oversikt over vannforbruk finnes i Tabell 2.

Energiressurser



Figur 2. Totalt energiforbruk [MJ/DE] fordelt på faser

Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærer og livsløpsfaser.

Energiressurser	Enhet	Råvarer (A1)	Transport (A2)	Egen produksjon (A3)	Byggeplass	Bruk/vedlikehold	Avhending	Deklarert enhet (A1-A3)	Kommentarer
Fossil energi	Kull	MJ/DE	8	1	1 788	ikke inkludert	ikke inkludert	ikke inkludert	1 796
	Olje	MJ/DE	11	7	85				104
	Fossilgass	MJ/DE	6	<0,5	123				129
Kjernekraft	MJ/DE	26	1	372	399				
Fornybar energi	Biomasse	MJ/DE	<0,5	<0,5	130				130
	Vannkraft	MJ/DE	23	<0,5	315				338
	Vindkraft	MJ/DE	1	<0,5	15				16
Diverse	Avfallsforbrenning	MJ/DE	<0,5	<0,5	1 740	1 740			
Uspesifisert	MJ/DE	<0,5	<0,5	<0,5	-				
Totalt	MJ/DE	75	9	4567				4651	

Energibruket oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPDer i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra Nordisk Produksjonsmix, Medium voltage, 2008 for el (CO₂-faktor: 34,2 g/MJ eller 123 g/kWh) (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

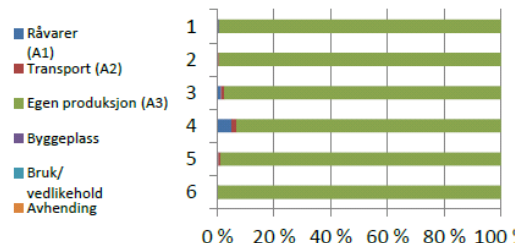
		Enhet	Deklarert enhet (A1-A3)	Funksjonell enhet
1	Avfall	kg avfall/DE	86,67	Ikke relevant - avhengig av bruk
2	Overgjødning	kg PO43--ekv/DE	0,42	
3	Fotokjemisk oksidasjon	kg C2H2--ekv/DE	0,09	
4	Nedbryting av ozon	kg CFC-11-ekv/DE	3,14E-06	
5	Forsuring	kg SO2-ekv/DE	1,54	
6	Drivhuseffekt	kg CO2-ekv/DE	733,48	

Indikator for overgjødning og forsuring oppgis i hhv fosfat-ekv og svoveldioksid-ekv. avviker fra PCR.

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Figur 3



Avfall og største utslipp på vektbasis

Tabell 5

Utslipp	Enhet	Råvarer (A1)	Transport (A2)	Egen produksjon (A3)	Byggeplass	Bruk/vedlikehold	Avhending	Deklarert enhet (A1-A3)	Kommentarer	
Utslipp til luft	CO2 (fossil)*	kg/DE	1,93	0,60	716,75	Ikke inkludert	Ikke inkludert	Ikke inkludert	719,27	Basert på beregninger i hht rapportering til myndigheter
	CH4	kg/DE	3,90E-03	3,78E-04	0,54				0,54	
	N2O	kg/DE	1,09E-04	2,07E-05	1,62E-03				1,75E-03	
	NOx	kg/DE	6,80E-03	7,73E-03	1,67				1,69	
	SOx	kg/DE	2,26E-03	6,10E-03	0,57				0,58	
	VOC	kg/DE	1,37E-03	5,96E-04	0,01				0,01	
	CO	kg/DE	2,39E-03	1,57E-03	0,02				0,02	
	Dioksin	kg/DE	7,40E-14	1,61E-13	8,91E-09				8,91E-09	
	PAH	kg/DE	1,71E-07	2,52E-07	3,08E-06				3,51E-06	
	Cr, Cd, Hg og Pb	kg/DE	1,59E-06	1,36E-07	6,42E-05				6,59E-05	
Utslipp til vann	KOF	kg/DE	4,48E-04	1,82E-03	0,03	0,03				
	Tot-N	kg/DE	5,30E-05	2,24E-06	0,01	0,01				
	Tot-P	kg/DE	2,08E-04	1,65E-06	0,06	0,06				
	PAH	kg/DE	1,09E-06	2,77E-06	4,82E-05	5,21E-05				
	VOC	kg/DE	8,08E-06	1,23E-06	6,93E-04	7,02E-04				
Avfall	Avfall til materialgjenvinning	kg/DE	-	-	0,31	0,31	-			
	Avfall til energigjenvinning	kg/DE	-	-	-	-	-			
	Waste to incineration (no)	kg/DE	-	-	0,20	0,20	-			
	Avfall til deponi	kg/DE	0,55	0,02	85,54	86,11	-			
	Farlig avfall	kg/DE	8,09E-05	4,58E-06	0,04	0,04	-			
	Annet avfall	kg/DE	4,20E-03	9,65E-06	4,24E-03	0,01	-			

* Ikke-fossil (biologisk) CO2 er ikke inkludert.

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

Norcem Brevik fabrikk er en råvareprodusent. Produktet Portlandsement inngår i andre produkter, vesentlig betong. Norcem er ikke pliktig til å deklare sluttbehandling da dette i stor grad avhenger av bruken av produktet.

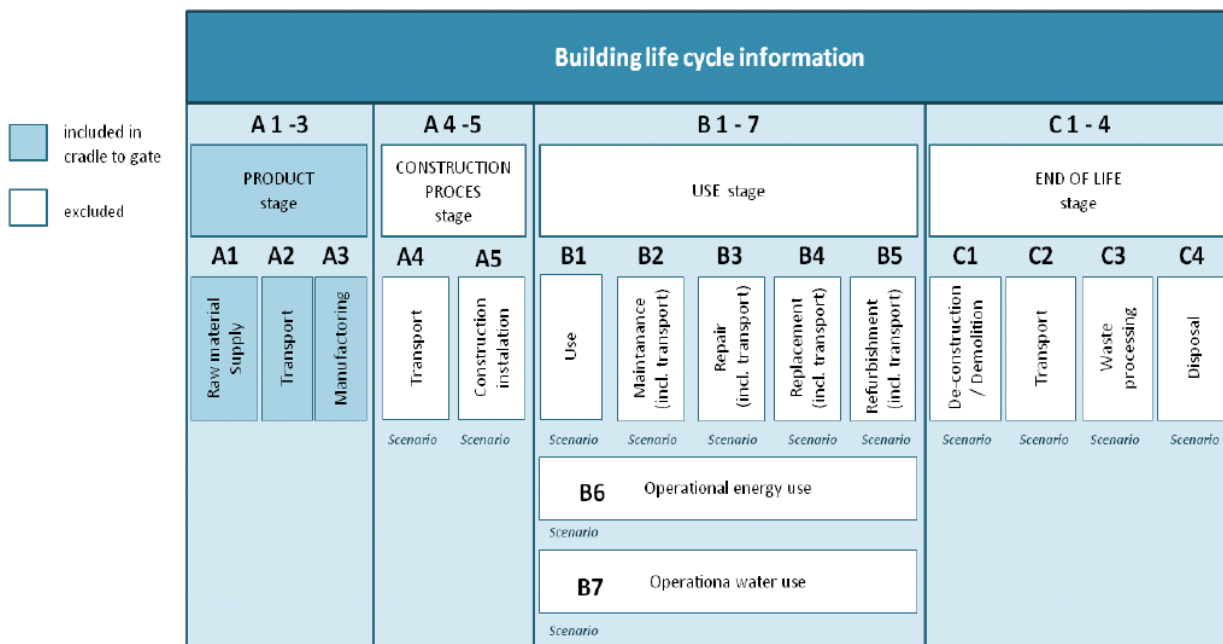
Følgende tips og anbefalinger er allikevel gitt:

- Det vises til produkt (kvalitets-) datablad og HMS-datablad i henhold til EU-forordning EEC 793/93.
- Stoffet er ikke spesialavfall verken i tørr form eller som mørtel/betong.

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figur 4 (ref TC 350), og gjennom korresponderende bokstav- og tallbetegnelse er i deklarasjonen.



Allokeringsregler:

- I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjonen.
- Alternativ energi anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien.
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon

Referanser

ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.

Vold M. (2011); Livsløpsdata for Norcem Breviks sementer, Bakgrunnsdata for miljødeklarasjon (EPD), Østfoldforskning AS, OR 22.11, Fredrikstad.

PCR for Cement: www.environdec.com (2010), PCR 2010;9, version 1.0, 2010-09-15