



LAVKARBONBETONG

Bidrag til klimagassregnskapet på Fornebu S
-prosjektet

Nina Plünneke Borvik

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Sverre Smeplass, KT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for konstruksjonsteknikk



MASTEROPPGAVE 2013

FAGOMRÅDE: Betongteknologi	DATO: 06062013	ANTALL SIDER: 124 + vedlegg
-------------------------------	----------------	--------------------------------

TITTEL:

**LAVKARBONBETONG –
Bidrag til klimagassregnskapet på Fornebu S-prosjektet**

Low Carbon Concrete –
Contribution to the greenhouse gas accounts at the Fornebu S-project

UTFØRT AV:

Nina Plünneke Borvik



SAMMENDRAG:

Bærekraftige betongkonstruksjoner kjennetegnes av miljøvennlige materialer, høy energieffektivitet, lavt forbruk av ressurser og god avfallshåndtering. Betong har et høyt karbonavtrykk som kan reduseres ved økt bruk av alternativt brensel ved produksjon og bruk av substitusjonsmaterialer for sement.

KLP Eiendom har som målsetning å bygge verdens mest miljøvennlige kjøpesenter, Fornebu Senter, med BREEAM-NOR sin beste klassifisering BREEAM Outstanding.

Bransjeverktøyet klimagassregnskap.no baserer seg på europeiske generiske utslippsfaktorer for betong, og disse er høye sammenlignet med norsk betongbransje. Det blir dermed mulig å oppnå høye reduksjoner av det totale klimagassutslippet kun ved å benytte vanlig norsk betong, og krav til reduksjon av klimagasser i BREEAM-NOR kan oppfylles.

Ved å benytte seg av lavkarbonbetong med 30% flygeaske i de plasstøpte betongkonstruksjonene har Fornebu S redusert det totale klimagassutslippet med 2,4% i forhold til norsk bransje. Med flygeaskeinnhold på inntil 40% ville denne reduksjonen økt til 4,2%. Dersom Fornebu S i tillegg hadde blitt bygget med lavkarbonhulldekker ville det totale klimagassregnskapet bli redusert med nesten 5% basert på utslipp fra betong med Industrisement og 16,5% flygeaske produsert i Contigas fabrikk i Moss.

Resultatene fra et modellstudium av bæresystemet indikerer at rektangulære hulldekkesystemer med optimalisert hulldekketykkelse gir det laveste totale utslippet av klimagasser per m². For Fornebu S ville dette ha redusert det totale klimagassutslippet med 5%. Denne typen system kan komme i konflikt med fleksibiliteten til bygget.

På Fornebu S har lavkarbonbetong i plasstøpte konstruksjoner hatt akseptable konsekvenser for produksjonen. Imidlertid er det vist at lavkarbonbetong kan få produksjonseffekter dersom utformingen fører til stort varmetap i kombinasjon med tynt tverrsnitt og/eller at lufttemperaturen er ned mot -10° til -15°. Høyt innhold av flygeaske i hulldekebetong vil føre til økt liggetid på spennbenken, og vil dermed gå utover produksjonseffektiviteten til hulldekefabrikkene. Likevel er det mulig å kunne produsere hulldekker med redusert karbonavtrykk, uten at det går utover produksjonseffektiviteten. Dette må tilpasses hver enkelt fabrikk.

FAGLÆRER: Sverre Smeplass

VEILEDER(E): Sverre Smeplass

UTFØRT VED: Institutt for konstruksjonsteknikk



INSTITUTT FOR KONSTRUKSJONSTEKNIKK
Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
NTNU – Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet

MASTEROPPGAVE 2013

for stud. techn.
Nina Borvik

LAVKARBONBETONG – Bidrag til klimagassregnskapet på Fornebu S - prosjektet

*Low Carbon Concrete –
Contribution to the greenhouse gas accounts at the Fornebu S - project*

Innledning

Karbonregnskap inngår som en viktig forutsetning for miljøsertifisering av byggeprosjekter. KLP Eiendom har ambisjoner om at prosjektet Fornebu S skal tilfredstille kravene til BREEAM Outstanding. Som et av mange bidrag til dette har entreprenøren Skanska i samarbeid med betongleverandøren NorBetong satt i gang tiltak for å redusere karbonbidraget fra betongkonstruksjonene. Tiltakene er rettet mot bruk av såkalt lavkarbonbetong, der bindemidlet er modifisert ved bruk av karbonnøytrale tilsetningsmaterialer.

Oppgave

Oppgaven går ut på å kartlegge hvilken effekt som er oppnådd ved å bruke lavkarbonbetong i den plasstøpte betongen på Fornebu S, og å vurdere hvilket potensiale som ligger i å optimalisere betongsammensetningen ytterligere. Til dette hører det også med å vurdere eventuelle produksjonstekniske ulemper ved å bruke lavkarbonbetong.

Videre skal det vurderes hvilket potensiale som ligger i å bruke lavkarbonbetong også i betongelementene, og se nærmere på de praktiske begrensningene for et slikt tiltak. Endelig skal det vurderes på generelt grunnlag om karbonregnskapet kunne vært ytterligere optimalisert ved å modifisere utformingen av betongkonstruksjonene med henblikk på redusert betongvolum.

Gjennomføring

Oppgaven utføres ved Institutt for konstruksjonsteknikk i samarbeid med Skanska Norge AS. Kontakt hos Skanska på Fornebu S – prosjektet er Heidi Lyngstad. Gjennomføringen av oppgaven skal tilpasses de ressursene som stilles til disposisjon.

Oppgaven er utlevert 14. januar 2013. Besvarelsen skal innleveres innen 10. juni 2013.

Trondheim 14. januar 2013.



Sverre Smeplass
Prof. II

Forord

Denne oppgaven er utarbeidet våren 2013 ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Institutt for konstruksjonsteknikk i samarbeid med Skanska Norge AS. Den er begrenset av tilgjengelige ressurser og utarbeidet som et selvstendig arbeid med faglig veiledning av Prof. II Sverre Smeplass ved Skanska Norge. Oppgaven er skrevet i forbindelse med byggingen av Fornebu Senter og miljømålsetningen knyttet til dette prosjektet.

Aller først vil jeg rette en stor takk til min veileder Sverre Smeplass for inspirerende og god veiledning. Spesielt vil jeg trekke frem at han har hjulpet meg med å komme i kontakt med personer jeg har hatt stor nytte av, at han alltid har tatt seg tid og at han har gitt meg gode innspill på innholdet i oppgaven.

Opgaven spenner over mange forskjellige fagfelt og det har derfor vært uunngåelig å ikke involvere flere aktører. Jeg har møtt mange forskjellige mennesker gjennom oppgaven og setter stor pris på den imøtekommenheten alle har vist. Spesielt alle i prosjektledelsen i Skanska på Fornebu S. Jeg har fått en veldig hyggelig og inkluderende mottakelse fra første dag, og trivdes godt med å jobbe sammen med dere på brakkeriggen. Heidi Lyngstad har vært en super kontaktperson på prosjektet og hjulpet meg med alle små og store spørsmål, og ikke minst gitt god veiledning innenfor klima og miljø. Jeg er takknemlig for all tid hun har lagt ned.

Til alle dere andre som har brukt tid og krefter på å hjelpe meg med oppgaven ønsker jeg å gi dere en stor takk. Oliver Berget Skjølvsvik i Skanska Teknikk for god veiledning og hjelp til måling og simulering av betongstøp. Britt Blom Marstrander, betongteknolog i NorBetong for hjelp til utvikling av betongresepter og EPD-er. Hele Skanska Anlegg, med spesiell takk til Morten Melby, Lars Ove Isaksætre og Paul M. Sjøholm, for god mottakelse blant betonggutta, hjelp ute på byggeplassen og åpenhet rundt erfaringer med lavkarbonbetong. Alle i Contiga, spesielt Jørn S. Injar, teknologisjef, og Rune Løken for omvisning på fabrikken i Moss og gode samtaler, og Tonje Bay-Eriksson, kvalitet- og HMS sjef, for utslippstall for hulldekker. Hans-Erik Andersen, kategorisjef innkjøp bæresystem i Skanska, og Svein Eriksson, markedssjef i Norcem, for at dere har tatt dere tid til samtaler og delt deres tanker og meninger. Tor Øistein Andresen i Rambøll, rådgivende ingeniør bygg på Fornebu S, for mengdeberegning og innspill. Alexander Lystad og Henning Fjeldheim i Skanska Teknikk for gode svar på spørsmål rundt klimagassregnskap. Eivind Selvig i Civitas for arbeid med klimagassregnskap.no. Sivilingeniør Morten Engen for gode diskusjoner og innspill til oppgaven. Og alle andre jeg har vært i kontakt med i forbindelse med oppgaven.

Til sist vil jeg takke Eva Hjelm Gareid, kontorleder på Fornebu S, for munter nynning og gledespreding på brakkeriggen.

Oslo, juni 2013

Nina P. Borvik

Sammendrag

Verden har økende fokus på hvordan vi skal imøtekomme den globale klimautfordringen. FNs Klimakonvensjon har som målsetning å forhindre farlig menneskeskapt påvirkning av jordens klima ved å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser på et lavt nivå. Den norske regjeringen har i tillegg som målsetning at Norge skal bli et lavutslippssamfunn innen 2050 og ønsker krav om passivhusnivå i 2015. Dette stiller store krav til den norske byggenæringen, som gjennom flere år har hatt fokus på energieffektivitet og utfasing av fossilt brensel. Det er et økende krav om helhetlig miljøvurderinger av bygg og materialer, samtidig som det oftere stilles krav til dokumenterte klimagassregnskap for bygg.

Byggenæringen er ansvarlig for en rekke negative miljøpåvirkninger, der betongkonstruksjoner utgjør en betydelig andel av dette. Det er flere viktige aspekter ved bærekraftige betongkonstruksjoner, blant annet miljøvennlige materialer, høy energieffektivitet og lavt forbruk av ressurser, samt god avfallshåndtering. Betong har et høyt karbonavtrykk som i all hovedsak kan føres tilbake til produksjonen, der sementen er ansvarlig for 85%. Omtrent 60% av utslipp fra sementen kommer fra kalsinering av kalkstein og de resterende 40% kommer fra produksjonsprosessen. Betongens karbonavtrykk kan derfor reduseres ved enten mer bruk av alternativt brensel og eller bruk av substitusjonsmaterialer for sement.

Norsk byggenæring har valgt å satse på BREEAM-NOR som felles klassifiseringssystem for helhetlig miljøvurdering av bygg. BREEAM-NOR ble lansert i Norge i 2011. KLP Eiendom har som målsetning å bygge verdens mest miljøvennlige kjøpesenter, Fornebu Senter, på Fornebulandet med BREEAM-NOR sin beste klassifisering *BREEAM Outstanding*. Fornebu Senter blir det første bygget i Norge med denne klassifiseringen, og har en rekke miljøtiltak som tilsammen gjør prosjektet til et viktig miljøforbilde.

Klimagassregnskap.no er et viktig verktøy for klimagassregnskap, og blir benyttet i BREEAM-NOR og i Framtidens Byer og FutureBuilt. Klimagassregnskap.no benytter generiske utslippsfaktorer fra Europa. For betong er disse utslippsfaktorene høye sammenlignet med norsk betongbransje. Dette gjør at referansebygget blir generert med veldig høyt totalt utslipp av klimagasser, og dermed er det mulig å oppnå høye reduksjoner av det totale klimagassutslippet kun ved å benytte seg av vanlig norsk betong. Dette gjør at det er mulig å oppfylle krav til redusert klimagassutslipp i BREEAM-NOR.

Fornebu S har benyttet seg av lavkarbonbetong med 30% flygeaske i de plasstøpte betongkonstruksjonene som et aktivt tiltak for å redusere klimagassutslippet. Ved å benytte seg av lavkarbonbetong har prosjektet redusert det totale klimagassutslippet til kjøpesenteret med 2,4% i forhold til norsk bransje. Det er også vurdert betong med flygeaskeinnhold på opptil 40%. Ved å benytte denne andelen flygeaske i betongen ville det totale klimagassregnskapet blitt redusert med 4,2%. Lavkarbonbetong har ikke oppnådd sitt fulle potensiale, da det er mulig å produsere betong med så høyt innhold av flygeaske.

Fornebu S ønsket å bli det første store prosjektet med lavkarbonhulldekker, men grunnet usikkerhet rundt produksjon av lavkarbonhulldekker i så store mengder ble dette dessverre ikke oppnådd. Dersom prosjektet hadde blitt bygget med lavkarbonhulldekker, i tillegg til lavkarbonbetong i de plasstøpte betongkonstruksjonene, ville det totale klimagassregnskapet bli redusert med nesten 5%, basert på utslipp fra lavkarbonhulldekker best egnet for masseproduksjon.

Det er vurdert andre metoder for hvordan utslipp av klimagasser kan reduseres, dette med hovedfokus på reduksjon av betongvolumet. Det er i denne sammenheng vurdert det totale utslippet av klimagasser for hullekkesystemer gjennom et modellstudium. Modellstudiet tar for seg tre forskjellige hullekkeketykkelser dimensjonert for samme lastsituasjon for forskjellige geometriske utforminger. I hullekkesystemet er det tatt med hullekker, betongbjelker og betongsøyler med både slakk- og spennarmering. Resultatene fra modellstudiet indikerer at rektangulære hullekkesystemer med optimalisert hullekkeketykkelse gir det laveste totale utslippet av klimagasser per m^2 . Illustrativt vil Fornebu S ha redusert sitt totale klimagassutslipp med 5% ved å velge et mer rektangulært system heller enn et kvadratisk. Dette resultatet kan stå i konflikt med fleksible hullekkesystemer som gjør at bygget blir mer tilpasningsdyktig. Et mer tilpasningsdyktig bygg vil bidra til mindre utslipp av klimagasser gjennom bygges levetid.

Substitusjonsmaterialer påvirker betongens egenskaper, og dette kan dermed gi negative konsekvenser for både betong støpt på byggeplass og fremstilt i industriprosesser. For at lavkarbonbetong skal være levedyktig i dagens samfunn må ikke bruken få for store konsekvenser for fremdrift, kvalitet og økonomi. Basert på erfaringer ved Fornebu S vil lavkarbonbetong i plasstøpte konstruksjoner ikke føre til forsinkelser i prosjektet. Det er imidlertid noen ekstra tiltak som bør gjennomføres og på denne måten vil trolig kostnadene bli noe høyere. Lavkarbonbetong gir redusert varmeutvikling, og dermed redusert tidlig fasthetsutvikling i betongen. Om dette er positivt, negativt eller uten betydning må ses i sammenheng med konstruksjonens utforming og værforhold. Ut fra erfaringene fra Fornebu S tyder det på at en betong med mye tilsatt flygeaske vil påvirke produksjonen dersom utformingen fører til stort varmetap i kombinasjon med tynt tverrsnitt og/eller at lufttemperaturen er ned mot -10° til -15° .

Det finnes lite erfaring med produksjon av lavkarbonhullekker og hvor godt egnet betong med redusert karbonavtrykk er for bruk i prefabrikkerte betongelementer. Høyt innhold av flygeaske i betong vil føre til økt liggetid på spennbenken og vil dermed gå utover produksjonseffektiviteten til fabrikkene. Likevel tyder det på at det er mulig å kunne produsere hullekker med redusert karbonavtrykk i dag, uten at det går utover produksjonseffektiviteten. For Contiga sin fabrikk i Moss er den mest aktuelle betongresepten for masseproduksjon basert på Industrisement med 16,5% flygeaske. Hvilken type betong og hvor stor reduksjon av karbonavtrykket det er mulig å oppnå er imidlertid sterkt avhengig av størrelse og produksjonslogistikk på fabrikkene. Det er viktig at lavkarbonhullekker kommer på markedet dersom betongbransjen skal klare å redusere sitt karbonavtrykk.

Abstract

United Nations Framework Convention on Climate Change intends to prevent dangerous human made interference with the Earth's climate by stabilising the concentration of greenhouse gases to an acceptable level. In conjunction with the UN goals, the Norwegian government is aiming to become a low carbon society by 2050 and achieve passive house level for all new buildings by 2015. This will affect the Norwegian construction industry.

For years the dominant focus has been on zero use of fossil fuels in buildings and high energy efficiency. Design and assessment methods for sustainable buildings and materials are new demands, in conjunction with an increased number of greenhouse gas calculations for buildings.

The Norwegian construction industry has chosen to adopt BREEAM-NOR as their assessment method and rating system for buildings. BREEAM-NOR was launched in Norway in 2011. KLP Eiendom AS intends to build the first shopping mall, named Fornebu Senter, with the highest classification in BREEAM-NOR, *BREEAM Outstanding*, which will also be the first building in Norway with this classification.

The construction industry is responsible for a great number of negative environmental impacts, especially from concrete structures. There are several important aspects of sustainable concrete structures. A sustainable concrete structure must include environmentally friendly materials, high-energy efficiency and low consumption of resources, as well as a good waste management system. Concrete has a high carbon footprint that can mainly be attributed to the production phase with cement being responsible for 85% of this. Approximately 60% of the emissions are due to calcination and 40% are due to the production process. The carbon footprint can be reduced by either decreasing the amount of cement or increasing the use of alternative fuels in the production process.

Klimagassregnskap.no is an important tool for greenhouse gas accounting and is used in BREEAM-NOR, Fremtidens byer, and FutureBuilt. The emission factors used by klimagassregnskap.no are based on European data. For concrete, these emission factors are high compared to the Norwegian concrete industry. The reference building is therefore generated with very high total emissions of greenhouse gases. Hence, it will be possible to achieve high reductions by the use of common Norwegian concrete and to achieve the demands for reduction of greenhouse gases in BREEAM-NOR.

To reduce the total emission of greenhouse gases, Fornebu S used low-carbon concrete with 30% fly ash for use in cast in situ concrete. By doing this they have reduced the total greenhouse gas emissions by 2.4% relative to the Norwegian concrete industry. Concrete with a higher amount of fly ash, up to 40%, will increase the reduction up to 4.2%. The low-carbon concrete has therefore not achieved its full potential.

Fornebu S was planned to be the first major project to use low carbon hollow core slabs, but due to the uncertainty in the mass production it was constructed using conventional concrete. Including the low carbon hollow core slabs the total carbon footprint would have been reduced by almost 5%, based on the emissions of the concrete best suited for mass production.

It is also possible to reduce the carbon footprint of a structure by reducing the amount of materials being used. Hollow core slab systems are considered for this reason, with

the intention of reducing the concrete volume. The analysis is based on a model study with hollow core slabs of three different thicknesses designed with the same load case for different combinations of slab and beam lengths. The hollow core slab system includes hollow core slabs, concrete beams and columns reinforced with ordinary and prestressed reinforcement. The results indicate that rectangular hollow core slab systems give the lowest total carbon footprint per m^2 . Reducing the hollow core slab thickness further reduce the carbon footprint. In case of Fornebu Senter a more rectangular system rather than a square one would have reduced the total greenhouse gas emissions by 5%. However, this would preclude the flexible system that allows the building to be more adaptable. A more adaptable building has the advantage of reducing greenhouse gas emissions during its service life.

Substitution of materials will have an impact on the concrete properties and will therefore affect both cast in situ and precast concrete. For low carbon concrete to be used commercially on today's market, it must not affect progress, quality and cost. Based on experience at Fornebu S, cast in situ low carbon concrete structures do not cause additional delays in the project. However, the cost could be higher due to additional measures that need to be implemented. Low carbon concrete leads to reduce thermal development, which in turn reduces the early strength development of the concrete. The positive or negative impact of this should be viewed in the context of the design of the structure and weather conditions during casting. Experience from Fornebu S indicates that concrete with high amounts of fly ash will be negatively affected during low temperatures or in slender sections which promote large heat loss.

There is little experience with the production of precast low-carbon concrete. High amounts of fly ash will lead to increased setting time which will affect the production efficiency. Nevertheless, it is possible to produce hollow core slabs with a reduced carbon footprint without compromising production efficiency. The most suitable concrete mix at Contigas factory in Moss contains *Norcem Industrisement* and 16.5% fly ash. The concrete mix will be unique for each factory, and will affect the maximum possible carbon footprint reduction. It is necessary to produce low carbon hollow core slabs to reduce the carbon footprint of the concrete industry.

Innhold

1	Bakgrunn og innledning	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Hensikt	1
1.3	Oppbygning og avgrensninger	2
2	Miljøpolitikk	3
2.1	Bærekraft og bærekraftig utvikling	3
2.2	Klimagasser og CO ₂ -ekvivalenter	3
2.3	Den globale klimautfordringen	5
2.3.1	FNs klimakonvensjon og Kyotoprotokollen	5
2.4	Norsk klimapolitikk	6
2.4.1	Klimameldingen	6
2.4.2	Klimaforliket	7
2.4.3	Meld. St. 28 Gode bygg for eit betre samfunn	8
2.5	Bærekraftige betongkonstruksjoner	9
2.6	Betong og klimagassutslipp	11
2.7	Trender	12
2.8	Sementproduksjon i Norge	13
2.9	Andre metoder for miljøvennlig betong	14
3	Miljøverktøy	17
3.1	LCA-verktøy	17
3.1.1	Konseptet LCA	17
3.1.2	Klimagassregnskap	18
3.2	Miljødeklarasjoner og sertifisering av produkter	19
3.2.1	Standard for miljødeklarasjoner og sertifisering	19
3.2.2	EPD	20
3.2.3	Svanemerket/EU-Blomsten	21
3.2.4	SINTEF Byggforsk Teknisk Godkjenning	22
3.2.5	ECOprodukt	22
3.3	Miljøsertifisering for virksomheter	23
3.3.1	Miljøfyrtårn	23
3.3.2	NS-EN ISO 14001	23
3.3.3	EMAS	23
3.4	Miljøklassifiseringer for bygg	24
3.4.1	BREEAM	24
3.4.2	BREEAM-NOR	26
3.4.3	Andre klassifiseringssystem	28
3.4.4	Energimerkeordningen	28
3.4.5	Lavenergi og passivhus	30
3.5	Initiativer	30
3.5.1	Norwegian Green Building Council	30
3.5.2	Grønn byggeallianse	31
3.5.3	Framtidens byer	31
3.5.4	ZEB	32

3.5.5	Næring for klima	33
3.5.6	Enova	33
3.5.7	Ecobox prosjektdatabase	33
3.5.8	Powerhouse-alliansen	34
4	Fornebu Senter	35
4.1	Fornebu Senter	35
4.2	BREEAM Outstanding	35
4.2.1	Materialkrav i BREEAM-NOR	38
4.3	Ansvarsfordeling	40
4.4	Miljøløsninger	41
4.5	Oppgavens relevans til Fornebu S	42
5	Materialer	43
5.1	Betongens delmaterialer	43
5.1.1	Sement	43
5.1.2	Tilslag	44
5.1.3	Tilsetningsstoffer	44
5.1.4	Tilsetningsmaterialer	45
5.1.5	Flygeaske	46
5.1.6	Effekt ved bruk av flygeaske	47
5.1.7	Silikastøv	48
5.1.8	Effekt ved bruk av silikastøv	48
5.1.9	Slagg	49
5.1.10	Effekt ved bruk av slagg	50
5.2	Betongtyper	50
5.2.1	Lavkarbonbetong	50
5.2.2	Selvkomprimerende betong	51
5.3	Bruksområder	52
5.3.1	Plasstøpt betong	52
5.3.2	Prefabrikkerte betongelementer	52
5.4	Stål	54
5.4.1	Slakkarmering	55
5.4.2	Spennarmering	55
5.4.3	Stålprofiler	56
6	Regler og standarder	57
6.1	Sammenligningsparametere for sement og betong	57
6.2	Eksponeringsklasser	57
6.3	Bestandighetsklasser	58
6.4	Bruk av tilsetningsmaterialer og k-verdimetoden	58
6.4.1	Flygeaske	58
6.4.2	Silikastøv	59
6.4.3	Slagg	59
6.4.4	Valg av eksponeringsklasse og k-verdi på Fornebu S	60
6.4.5	Nye regler for bruk av tilsetningsmaterialer	60
7	Klimagassregnskap	63

7.1	Verktøyet klimagassregnskap.no	63
7.1.1	Materialmodulen i klimagassregnskap.no	64
7.2	Referansebygg i versjon 3 vs. versjon 4	66
7.3	Valgt referansebygg	70
7.4	Plasstøpt betong levert av NorBetong	71
7.5	Prefabrikkert betong levert av Contiga	74
7.6	Effekt ved bruk av lavkarbonbetong	75
7.7	Oppdatert materialbruk <i>tidligfase</i>	77
8	Reduksjon av betongvolum	79
8.1	Bæresystemet ved Fornebu S	79
8.2	Optimalisering av bæresystemet	79
8.2.1	Beregningsgrunnlag for hulldekkesystemet	80
8.2.2	Beregnet materialforbruk og klimagassutslipp	81
8.3	Alternative materialer og utforminger	82
9	Produksjonseffekter for plasstøpt betong	87
9.1	Erfaring med plasstøpt lavkarbonbetong	87
9.2	Måling og simulering av plasstøpt lavkarbonbetong	90
9.2.1	Simulering av veggstøp	92
9.2.2	Simulering av lavkarbonbetong vs. standardbetong	95
9.3	Dekkestøp med lavkarbonbetong	96
10	Produksjon av lavkarbonhulldekker	99
10.1	Prefabrikkert lavkarbonbetong ved Contiga	99
10.2	Contigas fabrikk i Moss	99
10.3	Fornebu S og lavkarbonhulldekker	100
10.4	Nye muligheter for lavkarbonhulldekker	104
10.5	Situasjonen fremover	106
11	Diskusjon	109
12	Konklusjon	115
13	Videre arbeid	117
	Referanser	119
	Vedlegg A Referansebygg	125
	Vedlegg B Betongresepter	127
	Vedlegg C EPD fra NorBetong	131
	Vedlegg D EPD fra Contiga	169
	Vedlegg E Klimagassregnskap	183
	Vedlegg F Tabellkapasiteter fra Contiga	189

Vedlegg G	Dimensjonering av hulldekkesystemer	191
Vedlegg H	Utdrag fra støpedagboken til Skanska Anlegg	197
Vedlegg I	Simulering med CracktestCOIN	199
Vedlegg J	Fasthetsutvikling basert på fib-modell	209

Figurer

2.1	Norske indikatorer for bærekraftig utvikling. [Figur: Statistisk sentralbyrå]	4
2.2	Globalt utslipp av klimagasser fordelt på sektor i 2005. Totalt 43 173 millioner tonn CO ₂ -ekv. [Figur: Meld. St. 21]	6
2.3	Utslipp av klimagasser i 2010 fordelt på kilder fra Norge. Totalt 53,9 millioner tonn. [Figur: Meld. St. 21]	8
3.1	BREEAM-prosessen [model: NGBC]	25
3.2	Energimatrise i Energimerkeordningen [Model: energimerking.no]	29
4.1	Hovedinngangen ut mot Snarøyveien [Illustrasjon: Eveimagine/AMB Arkitekter]	36
4.2	Torget med inngang [Illustrasjon: Eveimagine/AMB Arkitekter]	36
4.3	Minimumspoeng som må oppnås for å klassifisere til Outstanding [Tabell: Teknisk manual BREEAM-NOR]	37
5.1	Fordeling av betong produsert i Norge i 2011 fordelt på fasthetsklasser	53
5.2	Fordeling av betong produsert i Norge i 2011 fordelt på bestandighetsklasser	53
7.1	Utviklingen av verktøyet klimagassregnskap.no [Illustrasjon: Eivind Selvig, Civitas]	64
7.2	Systemgrense for materialberegningene. [Illustrasjon: Eivind Selvig, Civitas]	66
7.3	Grafisk fremtilling av klimagassutslipp for tilpasset referansebygg	72
7.4	Grafisk fremtilling av utslippstall for betong levert av NorBetong	73
7.5	Andel av klimagassutslipp fordelt på bygningskomponenter for referansebygget i versjon 4	75
7.6	Andel av klimagassutslipp fordelt på bygningskomponenter for referansebygget med norske betongreferanser	76
8.1	Komponentenes volumbidrag til spennarmering	83
8.2	Komponentenes volumbidrag til betongmengde	83
8.3	Klimagassutslipp for dekkesystemer	84
8.4	Materialenes bidrag til klimagassutslippet	84
9.1	Plantegning for Fornebu S med markerte vegger	87
9.2	Målepunkter i veggen	90
9.3	Målepunkter i fundamentet	91
9.4	Temperaturutvikling for fundamentstøp *Luftmåleren lå under presenning	93
9.5	Temperaturutvikling for veggen	93
9.6	Måling og simulering av temperaturutvikling for veggstøp	94
9.7	Simulering av trykkfasthetsutviklingen for veggstøp	95
9.8	Simulering av temperaturutvikling med forskjellige betonger for veggstøp	96
9.9	Simulering av trykkfasthetsutviklingen med forskjellige betonger for veggstøp	97
9.10	Foto av plastiske svinnriss på Fornebu S [Kilde: Karen Hagby]	97
10.1	Oppspente spenntau	100
10.2	Hulldekkeproduksjon ved fabrikken i Moss	101
10.3	Illustrasjon av siloene på Contigas fabrikk på Moss	101

Tabeller

3.1	Poengsystem for BREEAM-NOR ver. 1.0	26
3.2	Kategorier og hovedområder i BREEAM-NOR med norsk vektning	27
3.3	Klassifiseringssystem for bygg og eiendom	28
4.1	Valgte emner under 'Materialer' for Fornebu S	38
5.1	Klinker i Portlandsement	43
5.2	Vanlige tilsetningsstoffer	45
5.3	NorBetongs lavkarbonklasser [CO ₂ -utslipp i kg/m ³ betong]	51
6.1	Eksponeringsklasser i Fornebu S	60
7.1	Relevante produktgrupper fordelt på bygningselementer for nybygg	67
7.2	Inndata i <i>tidligfase</i> for Fornebu S	68
7.3	Klimagassutslipp for referansebygget til Fornebu S i versjon 3	68
7.4	Utslippstall for gips [kg CO ₂ -ekv/kg mat.]	68
7.5	Utslippstall for betong [kg CO ₂ -ekv/m ³]	69
7.6	Klimagassutslipp for referansebygget til Fornebu S i versjon 4	69
7.7	Klimagassutslipp for tilpasset referansebygg [Tonn CO ₂ -ekv/livsløp]	71
7.8	Utslippstall for betong levert av NorBetong [kg CO ₂ -ekv/m ³]	72
7.9	Utslippstall for prefabrikkerte elementer levert av Contiga	74
7.10	Utslippstall for hulldekker med lavkarbonbetong fra Contiga	74
7.11	Reduksjonsmuligheter for plaststøpt betong	76
7.12	Reduksjonsmuligheter for hulldekker	77
7.13	Totalt utslipp av klimagasser ved bruk av lavkarbonbetong på Fornebu S	77
7.14	Klimagassutslipp for referansebygg med oppdatert <i>tidligfase</i>	78
8.1	Materialforbruk for ulike hulldekkesystemer	82
9.1	Resepter brukt i fundamentstøpet og veggstøpet [kg/m ³]	92
10.1	Teoretisk betongresept med 16,5% FA for produksjon av hulldekker ved Contiga i Moss	105
10.2	Teoretisk betongresept med 22% FA for produksjon av hulldekker ved Contiga i Moss	105

1 Bakgrunn og innledning

1.1 Bakgrunn

Verdens befolkningen har nådd 7 milliarder mennesker, og den fortsetter å vokse i rask tempo. Samtidig er det et krav og ønske om en høy og lukseriøs levestandard. Dette krever enorme mengder ressurser og energi, og generer enorme mengder avfall. Denne utviklingen har bidratt til at verden står ovenfor en global klimautfordring. Gjennomsnittstemperaturen på jorden har økt grunnet økende konsentrasjoner av klimagasser i atmosfæren. Byggenæringen, i likhet med alle andre næringer, må sette fokus på hvordan de kan redusere det totale klimagassutslippet. Tidligere har fokuset i byggenæringen vært på energieffektivisering av bygg, men nå stilles det mer og mer krav til klimagassutslipp og den helhetlige miljøpåvirkningen til et bygg. Miljøvennlige materialer står i fokus.

BREEAM-NOR ble lansert i Norge i 2011 og er et helhetlig miljøklassifiseringssystem for bygg med hovedmål å redusere byggets påvirkning på miljøet. Et viktig krav i BREEAM-NOR er redusert klimagassutslipp for bygget. Statsbygg, som en viktig statlig aktør i byggenæringen, har høye miljøambisjoner og startet tidlig med utviklingen av et verktøy for klimagassregnskap for bygg. Klimagassregnskap er nå påkrevd for alle nybyggprosjekter i Statsbygg. Dette gjelder også for statlige programmer som Framtidens byer og FutureBuilt, i tillegg til BREEAM-NOR.

Betong er alene ansvarlig for rundt 6% av det menneskeskapte utslippet av CO₂-ekvivalenter. Betong har et relativt høyt karbonavtrykk forbundet med produksjon og utgjør ofte rundt 50% av byggets klimagassutslipp. Derfor vil betong ha stor betydning for byggets samlede klimagassregnskap. Margrethe Ollendorff har gjennom et konseptstudie for Powerhouse One funnet ut at optimalisert betongvolum og betongtype kan redusere byggets karbonavtrykk med henholdsvis 20–30% og 15% (Ollendorff 2012).

Lavkarbonbetong er et begrep som har oppstått i byggenæringen med ønske om å gjøre betongen mer miljøvennlig. Lavkarbonbetong er betong med redusert karbonavtrykk, der bindemidlet inneholder karbonnøytrale tilsetningsmaterialer. Det har imidlertid vist seg at lavkarbonbetong har egenskaper som kan ha negativ påvirkning på produksjon av betongkonstruksjoner på byggeplassen og i fabrikker.

KLP Eiendom AS ønsker å bygge verdens mest miljøvennlige kjøpesenter, Fornebu Senter, på Fornebulandet og har derfor satt seg som mål å oppnå beste karakter i BREEAM-NOR-klassifiseringen, *BREEAM Outstanding*. I denne sammenheng stilles det blant annet høye krav til miljøvennlige materialer og et redusert klimagassutslipp for bygget. Et av miljøtiltakene er bruk av lavkarbonbetong. Denne masteroppgaven skal være med på å dokumentere miljøeffektene i forbindelse med bruk av lavkarbonbetong.

1.2 Hensikt

Hensikten med denne oppgaven er å se hvordan bruken av plasstøpt lavkarbonbetong på Fornebu S har hatt innvirkning på det totale klimagassregnskapet til prosjektet. Dette med tanke på hva de har oppnådd av karbonreduksjon, og hvordan de kunne ha oppnådd ytterligere reduksjon. Under dette ligger muligheten for bruk av lavkarbonbetong i

hulldekkene og en mer optimalisert betongsammensetning med tanke på karbonavtrykket.

I tillegg er hensikten å se på hvordan bruken av lavkarbonbetong har påvirket prosjektet med tanke på produksjon og fremdrift, og samtidig kartlegge eventuelle produksjonsutfordringer i forbindelse med lavkarbonbetong i hulldekkeproduksjon. Oppgaven skal også se på muligheten for reduksjon av betongvolumet ved å endre på betongkonstruksjonenes utforming. Denne masteroppgaven er ment som et dokument som sammenfatter alle Skanska sine erfaringer og utfordringer knyttet til bruk av lavkarbonbetong.

1.3 Oppbygning og avgrensninger

Oppgaven er tatt ut den 14. januar 2013 og er skrevet i løpet av 21 uker. Den er direkte knyttet til Fornebu S og det er brukt tilgjengelig prosjektinformasjon og sentrale aktører i prosjektet.

Oppgaven spenner over flere fagområder. Hvert kapittel har derfor en liten introduksjon med beskrivelse av omfang. Hovedtemaet i oppgaven er betong og utslipp av klimagasser, og som miljøindikator er det brukt CO₂-ekvivalenter. Utslipp av klimagasser er ofte sett i sammenheng med energi, og det er derfor antatt at karbonavtrykket til materialene og materialenes innebygde energi er tett knyttet sammen.

Oppgaven er satt i sammenheng med den globale klimautfordringen og den norske miljøpolitikken som berører byggenæringen, da disse legger føringer for hvordan bransjen utvikler seg. Det er presentert en overordnet beskrivelse av hvilke utfordringer som er knyttet til betongens karbonavtrykk. Videre er det beskrevet definisjoner av viktige miljøverktøy, aktører og initiativer byggenæringen har i dag.

Det er laget en kort beskrivelse av Fornebu S og prosjektets miljømålsetninger, og hva det innebærer å bli klassifisert som *BREEAM Outstanding*. En sentral del av dette er klimagassregnskapet for materialene benyttet på Fornebu S. Beregningsverktøyet klimagassregnskap.no blir beskrevet med tilhørende forutsetninger og begrensninger. Det er laget et klimagassregnskap med referanser fra klimagassregnskap.no og et med referanser fra norsk betongbransje. Det er også vurdert alternative metoder for reduksjon av karbonavtrykket til Fornebu S med fokus på reduksjon av betongvolumet. Videre er det beskrevet produksjonseffekter ved bruk av lavkarbonbetong både i plasstøpte betongkonstruksjoner og i hulldekkeproduksjon.

Etter dette følger en diskusjon med en etterfølgende konklusjon og forslag til videre arbeid.

Masteroppgaven er en videreføring av undertegnede prosjektoppgave: *Lavkarbonbetong*. Den er utarbeidet høsten 2012 ved Institutt for konstruksjonsteknikk ved NTNU i samarbeid med Skanska Norge AS. Den står også i sammenheng med masteroppgaven til Margrethe Ollendorff *Powerhouse - Innebygget energi og klimagassregnskap for bæresystemene*. Utover dette er oppgaven et selvstendig arbeid innenfor de rammer og begrensninger av ressurser og tid som er gitt av tidsrommet våren 2013.

2 Miljøpolitikk

Global oppvarming er en av de mest krevende utfordringene vi står ovenfor i dag. Felles retningslinjer og målsetninger er viktig for at vi skal kunne få utvikling i riktig retning. Internasjonale avtaler og norsk miljøpolitikk er presentert sett i lyset av denne utfordringen for byggenæringen. Bærekraftig design av konstruksjoner er en forutsetning for at vi skal kunne lykkes. Utfordringer og trender til miljøriktige betongkonstruksjoner blir belyst nedenfor.

2.1 Bærekraft og bærekraftig utvikling

Bærekraftig utvikling er definert av Verdenskommisjonen for miljø og utvikling 1987 (Brundtlandkommisjonen) som:

'En bærekraftig utvikling er en utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge muligheten for at kommende generasjoner skal få tilfredsstillende sine behov.'

I hovedsak er det tre grunnpilarer for bærekraftig utvikling; økonomisk utvikling, sosial utvikling og miljø (NOU 2009). Bærekraft må ha alle disse aspektene, men likefullt får miljø en særskilt rolle ettersom noen av de miljømessige aspektene kan være irreversible.

Slik bærekraft defineres av verdenskommisjonen, er begrepet overordnet og lite konkret. Dagens behov er vanskelig å definere, og kommende generasjoners behov er vanskelig å forutse.

Det norske Nasjonalbudsjettet fra 2008 sier at bærekraftig utvikling må bygge på velkjente prinsipper som en rettferdig fordeling, internasjonal solidaritet, føre-var-prinsippet, forurenseren betaler og prinsippet om felles innsats (MD 2011-2012).

I Nasjonalbudsjettet 2013 gjøres en vurdering av Norges 17 bærekraftindikatorer basert på en firepunkts skala; oppfylt, positiv endring i riktig retning, ingen vesentlig endring og langt unna målet. De 17 indikatorene er vist i figur 2.1 og dekker alle de tre pilarene i bærekraftbegrepet med konkrete målbare indikatorer (Brunvoll, Homstvedt & Kolshus 2012). På denne måten kan Norge lettere vise sin bærekraftige utvikling. Bærekraftindikator om norske utslipp av klimagasser er den nest sentrale indikatoren i denne oppgaven, og har status som moderat positiv endring i forhold til mål- og bærekraftsyn.

2.2 Klimagasser og CO₂-ekvivalenter

Klimagasser er en fellesbetegnelse på seks gasser som omfattes av Kyotoprotokollen (NOU 2009)

- Karbondioksid CO₂
- Metan CH₄
- Lystgass N₂O

Del av nasjonalformuen	Politikkområder i Norges strategi for bærekraftig utvikling	Indikatorer
Økonomisk kapital (se kapittel 3)		Netto nasjonalinntekt per innbygger fordelt på kilder
		Generasjonsregnskapet: innstrammingsbehov i offentlige finanser som andel av brutto nasjonalprodukt
Sosial- og humankapital (se kapittel 4)	Bærekraftig økonomisk og sosial utvikling	Forventet levealder ved fødselen
		Befolkningen fordelt etter høyeste utdanning
		Utvikling i inntektsfordeling
		Mottakere av uførepensjon og personer på arbeidsavklaringspenger
Ressurs- og miljøkapital (se kapittel 5)	Naturressurser	Samlet energibruk per enhet brutto nasjonalprodukt
		Gytebestandens størrelse i forhold til gytebestandens «føre var»-grenseverdi for nordøstarktisk torsk, norsk vårgytende sild, nordøstarktisk sei og nordsjøtorsk
	Klima, ozon og langtransporterte luftforurensninger	Irreversibel avgang av produktivt areal
		Norske klimagassutslipp relatert til Kyoto-målet
	Helse- og miljøfarlige stoffer	Utslipp av NO _x , NH ₃ , SO ₂ og NMVOC
		Utslipp av helse- og miljøfarlige stoffer
	Biologisk mangfold og kulturminner	Naturindeks. Delindekser for hav og kystvann
		Naturindeks. Delindekser for landøkosystemer og ferskvann
		Tilstandsutvikling for fredete bygg
Norges bidrag til global bærekraftig utvikling		
Internasjonalt - fordeling (se kapittel 6)	Internasjonalt samarbeid for en bærekraftig utvikling og bekjempelse av fattigdom	Offisiell norsk bistand, nivå og andel av bruttonasjonalinntekt
		Import fra MUL og andre utviklingsland som andel av samlet norsk import

Figur 2.1: Norske indikatorer for bærekraftig utvikling. [Figur: Statistisk sentralbyrå]

- Tre fluorholdige gasstyper
 - HFK-er
 - PFK-er
 - Svovelheksafluorid SF₆

Av disse seks gassene er karbondioksid den største bidragsyteren til oppvarming av atmosfæren og utgjør hele 82% av det samlede klimagassutslippet i Norge. Metan og lystgass står for tilsammen 16% og de tre fluoridholdige gassene for tilsammen i underkant av 3%. Landbruk er i hovedsak opphav til metan og lystgass, mens utslippene fra CO₂ kommer fra energiproduksjon, avskoging, transport og industri (NOU 2009).

Det totale klimagassutslippet måles i CO₂-ekvivalenter, forkortes CO₂-ekv. De frem andre gassene regnes om til CO₂-verdier basert på globalt oppvarmingspotensial (GWP). GWP baserer seg på oppvarmingseffekt på atmosfæren, over et gitt tidsrom, sammenlignet med CO₂. Grunnet at gassene har forskjellig levertid i atmosfæren, er det bestemt i Kyoto-avtalen at GWP skal benyttes over et tidsrom på 100 år. Som eksempel har karbondioksid har GWP-verdi på 1 og metan har GWP-verdi på 25 (Sakai 2013).

Konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren måles i ppm CO₂-ekv. ppm er en forkortelse for 'parts per million' og vil si antall CO₂-partikler per million partikler i luft. Dagens klimagasskonsentrasjon ligger i dag på 430 ppm, mens den før industrialiseringen lå på 280 ppm (NOU 2009).

2.3 Den globale klimautfordringen

Klimautfordringen er én av mange utfordringer verden står ovenfor i dag, og trolig en av de største sammen med sult og fattigdom (MD 2011-2012). Den er i utgangspunktet knyttet til global oppvarming, altså at gjennomsnittstemperaturen på verdensbasis har økt siden førindustriell tid grunnet økte konsentrasjoner av klimagasser i atmosfæren. Konsentrasjonen av CO₂ har hatt en økning på nesten 40% (MD 2011-2012). Dette er trolig forårsaket av økt menneskelig aktivitet, gjennom bruk av fossilt brensel, jord- og industriaktivitet, transport og arealendringer (NOU 2009).

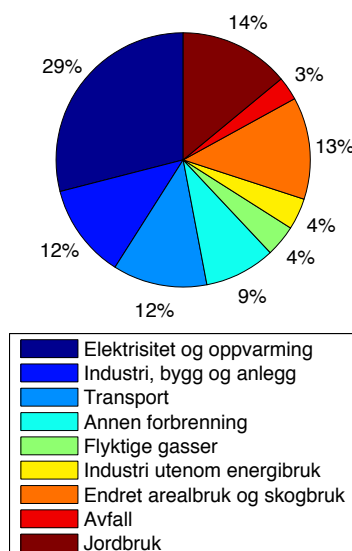
Klimautfordringene er en global utfordring. Dette, i tillegg til at klimagassutslippene er forårsaket av en rekke forskjellige faktorer og næringer, gjør at både land og næringer må samarbeide. Felles tiltak og retningslinjer må settes, men hvert enkelt land og næring må i tillegg iverksette egne tiltak. I dag står både USA og Kina for 20% av det globale klimagassutslippet, mens alle resterende land står for 5% eller mindre (NOU 2009). På bakgrunn av at konsekvensene av utslipp av klimagasser er de samme uavhengig av hvilket land som står for utslippene mener FNs Klimakonvensjon at kostnadseffektivitet skal tas med i betraktningen (NOU 2009). Med dette menes at utslippsreduksjonene bør finne sted der hvor de koster minst å gjennomføre. Utslipp av klimagasser og økonomisk aktivitet må ses i sammenheng, og potensialet for å begrense utslippene av klimagasser må derfor vurderes. Denne oppgaven går ikke videre inn på dette, men det er viktig å ha i bakhodet at økonomiske forhold og aktivitet spiller en viktig rolle i klimapolitikken, og tiltak som kvotehandel og miljøavgifter er vesentlige tiltak for å redusere klimagassutslippet. I klimameldingen, se avsnitt 3.4.1, fremkommer det at et av de viktigste virkemidlene er å prissette utslipp av klimagasser.

FNs Klimakonvensjon har satt seg et mål for den globale fellesinnsatsen om å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser på et nivå som er lavt nok til å hindre farlig menneskeskapt påvirkning av jordens klima (MD 2011-2012). For å kunne nå dette målet mener FNs klimapanel at det totale utslippet av klimagasser på verdensbasis må reduseres med 50-85% frem mot 2050 sammenlignet med nivået i 2000. Det er viktig å være klar over at klimagassene har lang levetid i atmosfæren, slik at virkningen av å iverksette tiltak ikke ses før om flere tiår. I figur 2.2 vises en oversikt over det globale utslippet av klimagasser i 2005. Byggebransjen som helhet bidrar med utslipp i alle de tre største sektorene.

2.3.1 FNs klimakonvensjon og Kyotoprotokollen

FNs klimakonvensjon er det sentrale rammeverket for det internasjonale klimasamarbeidet og ble vedtatt i 1992. Den er ratifisert av 195 parter og partene forplikter seg til å etablere nasjonale strategier for å redusere klimagassutslipp og iverksette tiltak (MD 2011-2012). Den inneholder også tallfestede utslippsforpliktelser. Det er i hovedsak industrilandene som skal vise vei gjennom nasjonale tiltak og utvikling av ny teknologi. De skal også finansiere utslippsreducerende tiltak i utviklingsland.

I 1988 nedsatte FN et klimapanel (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) for å følge utviklingen i klimaendringene. Klimapanelet består av forskere og eksperter fra hele verden, og deres rapporter om verdens tilstand er grunnlaget for den internasjonale



Figur 2.2: Globalt utslipp av klimagasser fordelt på sektor i 2005. Totalt 43 173 millioner tonn CO₂-ekv. [Figur: Meld. St. 21]

klimapolitikken.

Kyotoprotokollen av 1997 er underlagt klimakonvensjonen og er folkerettslig bindende. Alle industriland definert i Kyotoprotokollen forplikter seg til en tallfestet utslippsreduksjon (MD 2011-2012). Kyotoprotokollen inneholder tre fleksible mekanismer; Internasjonal kvotehandling, Felles gjennomføring (Joint Implementation – JI) og Den grønne utviklingsmekanismen (Clean Development Mechanism – CDM) (MD 2011-2012). Kyotoprotokollen inneholder også regler for hvordan landene skal beregne og rapportere utslippene. I første forpliktelsesperiode var målet å redusere det samlede klimagassutslippet med 5% i perioden 2009-2012 sammenlignet med 1990. Dette målet ble ikke nådd. Andre forpliktelsesperiode startet i 2013.

Siden 2007 har FN holdt klimakonferanser på Baki 2007, i København 2009, Cancun i 2010, i Durban 2011 og i Qatar 2012.

2.4 Norsk klimapolitikk

2.4.1 Klimameldingen

Meld. St. 21 2011-2012 Norsk klimapolitikk (Klimameldingen) omhandler Norges klimapolitikk og er en melding til Stortinget utarbeidet av Miljøverndepartementet 25. april 2012. Den ble godkjent samme dag. Her viser Norge en aktiv klimapolitikk og har høye ambisjoner for fremtiden. Norge har som mål å bli et lavutslippssamfunn innen 2050 (MD 2011-2012). For å nå dette målet ønsker Norge å satse på produksjon av mer for-

nybar energi og minimere fossil energibruk, samt mer effektiv bruk av energien. I tillegg ønsker de å satse på utvikling av klimavennlig teknologi i Norge og samtidig ta i bruk teknologien utviklet i andre land. Internasjonalt Energy Agency (IEA) har i samarbeid med Nordic Energy Research nylig presentert en rapport, *Nordic Energy Technology Perspectives*, om hva som kreves for å at Norden skal bli et lavutslippsamfunn innen 2050. De mener at det er mulig, men at det krever en teknologisk utvikling, mer energieffektivisering, ny infrastruktur og et tett samarbeid mellom de nordiske landene. Forankret i klimaforliket, se avsnitt 2.4.2, har Norge disse overordnede målene (MD 2011-2012):

- Innenfor Kyotoprotokollens første forpliktelsesperiode, vil Norge overoppfylle Kyotoforpliktelsen med 10 prosentpoeng.
- Norge skal fram til 2020 påta seg en forpliktelse om å kutte de globale utslippene av klimagasser tilsvarende 30 prosent av Norges utslipp i 1990.
- Norge skal være karbonnøytralt i 2050.
- Som en del av en global og ambisiøs klimaavtale der også andre industriland tar på seg store forpliktelser, skal Norge ha et forpliktende mål om karbonnøytralitet senest i 2030. Det innebærer at Norge skal sørge for utslippsreduksjoner tilsvarende norske utslipp i 2030.

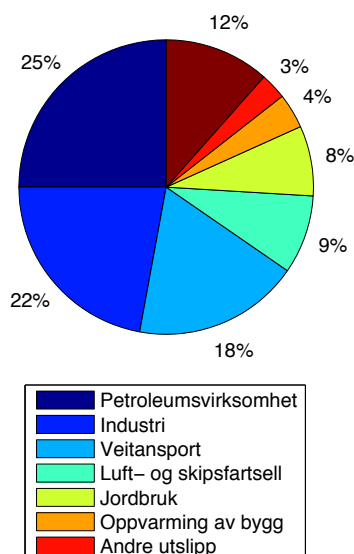
I 2010 var klimagassutslippet fra norsk territorium på 53,9 millioner tonn CO₂-ekv som utgjør 0,1% av verdens utslipp (MD 2011-2012). Dette er omtrent ti ganger så mye som i 1900. Etter oppstart av de offisielle norske utslippsregnskap i 1973 var utslippet på rundt 30 millioner tonn CO₂-ekv. Det har altså vært en betydelig økning av norske utslipp de siste 40 årene, som i hovedsak kan føres tilbake til petroleumssektoren. De siste årene har utslippstallene ligget relativt stabilt og dagens nivå sammenfaller med gjennomsnittet av de to foregående årene. Figur 2.3 viser utslipp fra norske kilder i 2010.

Det nevnes en rekke pågående tiltak og det er et ønske for fremtiden å redusere klimagassutslippene for hver av sektorene. Innen oppvarming av bygg er hovedfokuset økt energieffektivisering og redusert bruk av fossilt brensel. I tillegg nevnes bruk av riktige konstruksjonsmaterialer, som i klimameldingen er fordelt på sektorer som industri, oppvarming av bygg, transport osv. Det påpekes at det er hensiktsmessig å vurdere materialene i et livsløpsperspektiv og utvikle materialer med redusert miljøbelastningen gjennom livsløpet.

Innen industrien, som blant annet inkluderer prosessutslipp, nevnes tilgjengelige utslippsreducerende tiltak og teknologier som forventes innen 2030. Nåværende teknologier er blant annet mer effektive bruk av elektrisk utstyr, varmegjenvinning, resirkulering og substitusjon av materialer. Videre forventes det at teknologier innen CO₂-håndtering fra sementproduksjon og forbedret energieffektivitet utvikles og blir tatt i bruk.

2.4.2 Klimaforliket

I klimaforliket mellom regjeringspartiene og Høyre, Kristelig folkeparti og Venstre er mål og prinsipper i norsk klimapolitikk forankret (MD 2011-2012). Forliket ble vedtatt i juni



Figur 2.3: Utslipp av klimagasser i 2010 fordelt på kilder fra Norge. Totalt 53,9 millioner tonn. [Figur: Meld. St. 21]

2012 i Stortinget med noen enkelte tillegg til klimameldingen. Bård Vegar Solhjell, sittende miljøvernminister, kommenterte i denne forbindelse at 'Klimaforliket bidrar til ytterligere konkretisering av virkemidlene i klimameldingen og sikrer langsiktighet i klimapolitikken'.

De viktigste punktene fra klimaforliket er (Regjeringen.no 2012): raskere oppfylling av klima- og teknologifondet, mer penger til belønningsordningen for kollektivtransport, dagens avgiftsfordeler for nullutslippsbiler videreføres og forbud mot fyring med fossil fyringsolje i 2020.

2.4.3 Meld. St. 28 Gode bygg for eit betre samfunn

Meld. St. 28 2011-2012 Gode bygg for eit betre samfunn omhandler regjeringens bygningspolitikk og er en melding til Stortinget utarbeidet av Kommunal- og Regionaldepartementet. Den ble lagt frem 15. juni 2012 og kommunalkomiteen ga innstillingen 4. desember 2012. Dette er den første stortingsmeldingen om bygningspolitikk som er lagt frem for Stortinget. Denne meldingen, klimameldingen og boligmeldingen vil være regjeringens samlede miljøpolitikk for byggenæringen. Boligmeldingen er forventet lagt frem for Stortinget i løpet av 2013.

I Meld. St. 28 er det fire satsningsområder: regjeringen ønsker å bygge smartere og med bedre kvalitet, mer energieffektive bygg, en forenkling av regelverket og byggeprosessen og en mer kunnskapsrik byggesektor. Regjeringen ønsker å sette krav om passivhus i 2015 i byggeteknisk forskrift, og øke kravet til nesten nullenerginivå i 2020. Andre delmål innenfor bærekraft er listet nedenfor (KRD 2012);

- God arkitektur skal prege all bygging
- Bygg skal kunne imøtekomme klimaendringene
- Øke prosentandelen av tilgjengelige universelt utformede bygg innen 2025
- Byggematerialer som inneholder stoffer på prioritetslisten skal fases ut
- Unngå bruk av helse- og miljøfarlige stoffer i bygg innen 2020
- Bygg skal ha et tilfredsstillende inneklima
- Energibruk i bygg skal reduseres innen 2020
- Regelverket skal være med på å sikre at vi får bygg med lavt energibehov
- Søknadsordninger og informasjon skal være med på å gjøre bygg mer energieffektive

Ut fra de overnevnte satsningsområdene og delmålene under bærekraft har ikke regjeringen noen spesifikke målsetninger for klimagassutslipp eller materialvalg utover bruk av miljøfarlige stoffer. Likevel nevner regjeringen at de ønsker å redusere miljøpåvirkningen fra materialbruk i bygg ved å ta i bruk byggevarer og –metoder som reduserer ressursbruken, energibruken, avfallsmengden og bruk av miljøfarlige stoffer. Regjeringen ønsker også å satse på tre som bygningsmateriale. De ønsker økt bruk av tre, og spesielt i større bygninger og byer. Større bygningsprosjekter er igangsatt for å se på muligheter for bæresystemer av tre.

Videre nevner regjeringen at de ønsker å medvirke til å utvikle mer kunnskap om de samlede miljøbelastningene fra et bygg gjennom hele levetiden, og trekker frem verktøy som klimagassregnskap.no og BREEAM-NOR som sentrale. De ønsker også krav om miljødeklarasjoner for materialer og de skal fortsette med viktige forbilde- og pilotprosjekter for å teste ut nye byggekonsepter.

Bygg21

Regjeringen ønsker å invitere byggenæringen og andre viktige aktører til et samarbeidsprosjekt med navn Bygg21. Målet er å utvikle en kunnskapsbasert byggenæring. Med bakgrunn i bygningspolitikken skal Bygg21 i 2013 utarbeide strategier og tiltak for FoU og innovasjon, utdanning og kompetanseutvikling og formidling av kunnskap og erfaringer. Oppstart var i 2012 og videreføring av samarbeidet skal vurderes fortløpende i løpet av perioden 2014-2020. Direktoratet for byggekvalitet har ansvaret for den daglige ledelsen.

2.5 Bærekraftige betongkonstruksjoner

Bygninger og infrastruktur forbruker enorme mengder ressurser både til produksjon og forbruk, men de er også forbrukere av landarealer. Tilsammen båndlegger de store naturområder, både lokalt og regionalt. Samtidig produseres det store mengder avfall under produksjon, drift og på slutten av byggets levetid. En bærekraftig konstruksjon er bygget med miljøvennlige materialer, har høy energieffektivisering og lavt forbruk av ressurser og

en god avfallshåndtering av konstruksjon- og rivningsmaterialer (Sakai 2008). Ettersom bygninger og infrastruktur utgjør så store deler av et samfunn, er denne næringen en betydelig del av et bærekraftig samfunn.

Model Code 2010 definerer bærekraftige konstruksjoner på denne måten (Sakai 2013)

'Ability of a structure or structural element to contribute positively to the fulfillment of the present needs of humankind with respect to nature, society, economy, and well-being, without compromising the ability of future generations to meet their needs in a similar manner'

De tre bærebjelkene for bærekraftig utvikling er inkludert i definisjonen, og understreker at alle er viktige for å kunne oppnå en bærekraftig utvikling også innenfor konstruksjoner. Hvert enkelt byggeprosjekt er unikt og har forskjellige forutsetninger og muligheter. Dette gjør kan gjøre utfordringen med å få til en bærekraftig næring større enn for andre næringer.

Betongkonstruksjoner blir designet for å oppnå tilstrekkelig brukbarhet, sikkerhet og bestandighet, men må også bli designet for å redusere miljøpåvirkningene. Tilsammen utgjør dette et bærekraftig design av betongkonstruksjoner. Miljødesign handler om å minimere miljøpåvirkningene fra bygget over hele byggets levetid (Sakai 2008). fib (The International Federation for Structural Concrete) beskriver i bulletin 47 miljødesign av betongkonstruksjoner med generelle prinsipper. Der påpekes det at hele betongkonstruksjonens levetid har mange forskjellige påvirkningsfaktorer det er viktig å ta hensyn til. De største globale påvirkningene er utslipp av klimagasser, forbruk og energi i produksjon og gjennom levetiden til bygget. Dette gjelder spesielt utslipp av CO₂ fra produksjon, og NO_x og SO_x fra fossilt brensel. Mer regionalt vil betongkonstruksjoner forurense luft, vann og jord gjennom kjemiske substanser og avfall. Det oppstår støy og støv på arbeidsplassen som er ugunstig for naboer og arbeidere. Betongkonstruksjoner vil også påvirke miljøet lokalt i driftsfasen gjennom inne- og uteklima. Til sist genererer betongkonstruksjoner industrielt avfall som materialer og jordmasser. Alle disse faktorene må tas med i betraktningen for å skape bærekraftige konstruksjoner.

ISO holder på å utvikle en guide for hvordan vi skal ta hensyn til bærekraftig utvikling når nye standarder utformes (Sakai 2013). En objektiv vurdering av bærekraftige betongkonstruksjoner er ikke mulig å gjøre før det foreligget et felles regelverk med gjeldende retningslinjer. ISO har satt ned en teknisk komité som har utarbeidet en miljøstandard for betongkonstruksjoner; ISO 13315-1 *Environmental management for concrete and concrete structures - Part 1 General principles* (Sakai 2013). ISO 13315-2 er under utvikling og vil omhandle blant annet gjeldende systemgrenser. I mangel på et felles regelverk er Model Code 2010 per i dag det eneste grunnleggende rammeverket vi har for bærekraftige betongkonstruksjoner (Sakai 2013).

Miljøvurderinger krever verifikasjon gjennom LCA, se avsnitt 3.1.1, (Sakai 2013). Gjennom en LCA av flere valgte konsepter dannes grunnlaget for å velge det konseptet med lavest miljøpåvirkning. LCA er beskrevet i ISO 14040-14044, men er ikke tilpasset for betongkonstruksjoner. Den nye ISO 13315 er tilpasset betongkonstruksjoner og kan bidra til å øke kvaliteten på LCA.

Levetidsbetraktninger er et veldig viktig tema i betraktning av bærekraftige betong-

konstruksjoner. Forlenget levetid gir mindre forbruk av materialer og ressurser. Dette krever god kunnskap om dimensjonerende levetid og betongens nedbrytningsmekanismer. Økt behov for vedlikehold og reparasjoner gir økte miljøpåkjenninger i løpet av betongkonstruksjonens levetid. Steinar Helland i Skanska mener det er behov for en transparent metodikk ved beregning av dimensjonerende levetid, altså en klar definisjon av grensetilstanden som markerer endt levetid for en betongkonstruksjon, og ønsker internasjonal enighet i ISO (Helland 2013). Levetiden til betongkonstruksjoner må ses i sammenheng med hvor og hvordan den blir benyttet.

2.6 Betong og klimagassutslipp

For 100 år siden lå senteret for produksjon og utvikling av betong i Europa og USA, men i dag ligger det i Asia. Kina alene forbruker mer en halvparten av all sement som produseres (Jahren 2011). Dette skyldes industrialisering av den tredje verden som fører med seg ny infrastruktur og industri. Den gjennomgående trenden er at sementproduksjonen er økende på verdensbasis, samtidig som verden har økt fokus på miljø og bærekraft. Årlig produseres rundt 25 millioner tonn betong på verdensbasis (Sakai 2008). Dette gjør betong til den mest brukte ressursen etter vann. Denne produksjonen er alene ansvarlig for 6-7% av det menneskeskapte CO₂-utslippet (Jahren 2011). På verdensbasis utgjør dette rundt 0,85 tonn CO₂/tonn sement. I følge Jahren er sementen alene ansvarlig for 85% av utslippene av CO₂ ved produksjon av betong. Utslippet fra den samlede sementproduksjonen på verdensbasis kommer fra tre hovedkilder (Jahren, Kjellsen, Jacobsen, Magerøy, Petkovic, Myren & Reiersen 2009):

- 50% fra kalsinering av kalkstein
- 40% fra termisk energi
- 10% fra mekanisk energi

Disse faktorene vil variere for den enkelte produksjonsprosessen av sement og vil være avhengig av klinkerandelen, bruk av alternative energiformer og effektiviteten til produksjonssystemet. Hver hovedkilde må reduseres for at det totale utslippet av CO₂ skal minske. En av de største sementprodusentene, HeidelbergCement, viste til at 60% av CO₂-utslippet fra deres sementproduksjon kommer fra kalsineringprosessen (HeidelbergCement 2012). Kalsineringsprosessen er når kalsiumkarbonat CaCO₃ omdannes til kalsiumoksid CaO og karbondioksid CO₂. Kalsiumoksid er hovedbestanddelen i klinker som er råmaterialet til sement. Denne kjemiske prosessen er naturlig og nødvendig for utvikling av sement og kan ikke reduseres direkte. Kalsinering av kalkstein er imidlertid den største bidragsyteren til CO₂-utslippet. CO₂-utslippet vil derfor kunne reduseres inndirekte ved bruk av substitusjonsmaterialer som erstatning for deler av sementmengden. Substitusjonsmaterialer, som flygeaske og slagg, er biprodukter fra annen industri og regnes som karbon- og energinøytrale materialer. Tilsetning kan gjøres direkte ved produksjon av sement eller som tilsetningsmateriale under betongproduksjonen.

Samfunnets fokus på CO₂ og de politiske målsetningene er med på å legge retningslinjer for verdens produksjon av sement. Bruk av substituasjonsmaterialer alene er ikke nok til å redusere CO₂-utslippet til ønsket nivå. Det må derfor også settes fokus på de to andre hovedkildene for CO₂-utslipp: termisk og mekanisk energi. Det er en svært energikrevende prosess å produsere sement. Klimagassutslippet kan derfor reduseres ved økt bruk av fornybart brensel. Energi fra fossilt brensel har høyt CO₂-utslipp sammenlignet med fornybart brensel. Sementproduksjon med fossilt brensel er fremdels vanlig, men Norcem har vært tidlig ute på dette området og kunne i 2007 vise til at 50% av energien benyttet ved produksjon kom fra alternativt brensel. Det blir blant annet benyttet brensel som papir, tekstiler, plast, beinmel, brukte bildekk og farlig avfall (HeidelbergCement 2012).

Det er imidlertid viktig å være klar over at betong absorberer CO₂ gjennom karbonatisering under sin levetid, den motsatte prosessen av kalsinering av kalkstein (Jahren et al. 2009). Dette har betydning for det totale klimagassregnskapet. Per i dag er dette ikke inkludert i en EPD, se avsnitt 3.2.2, for betongreseptene (Aarstad 2012). Dette er fordi en EPD inkluderer utslippsfaktorene 'fra vugge til port'. Mellom 2004 og 2006 ble det gjennomført et Nordisk prosjekt for å kartlegge hvor stor andel av CO₂-utslippet som blir absorbert (Jahren et al. 2009). Resultatet viste at i løpet av et 100-årsperspektiv vil 23% av CO₂-utslippet fra produksjon av betong bli tatt opp igjen gjennom karbonatisering. Dette tallet inkluderer også produksjon av sement og gjelder for Norge. Dersom betongen rives og deponeres vil en større overflate kunne karbonatiseres. Dermed blir mer CO₂ tatt opp. Norsk Betongforening jobber med hvordan karbonatisering kan inkluderes i det totale klimagassregnskapet. Hvordan dette skal gjøres er ennå uklart, ettersom konstruksjonens utforming, levetid og deponeringsmåte er svært avhengig av hvor mye CO₂ betongen klarer å ta opp.

2.7 Trender

I Europa har det de siste årene vært stort fokus på bruken av substituasjonsmaterialer for å redusere CO₂-utslippet. Dette har resultert i at andelen blandingssement har økt betraktelig de siste årene. Samtidig er det en økning i prosentandelen av substituasjonsmaterialer i sementen (Jahren et al. 2009). Det ble i 2003 gjennomført en undersøkelse av potensialet for reduksjon i CO₂-utslippet til ulike substituasjonsmaterialer og det ble gjort en oppdatering i 2009. Der fremkom det at flygeaske har det aller største potensialet for reduksjon av CO₂, etterfulgt av slagg og silikastøv.

I Norge er flygeaske, som er et biprodukt av kullkraftverk, det mest brukte substituasjonsmaterialet. Det er stort sett lett tilgjengelig i god kvalitet, men må importeres fra andre land. På verdensbasis startes det opp ett nytt kullkraftverk hver uke, og de største kullprodusentene er også de landene med størst vekst i sementproduksjonen. På denne måten har flygeaske et godt potensial for å være en viktig bidragsyter til reduksjon av CO₂. Slagg er mye brukt i blant annet Nederland og Tyskland, og har vist gode bestandighetsegenskaper. Hvilket substituasjonsmateriale som vil prege verdens betongproduksjon vil i all hovedsak være avhengig av tilgjengelighet, kvalitet og pris, men det er også viktig å se dette i sammenheng med den enkeltes tradisjoner og industristruktur (Jahren et al. 2009).

2.8 Sementproduksjon i Norge

Norcem er den eneste produsenten av sement i Norge og har to fabrikker, en i Brevik og en i Kjøpsvik. I tillegg til Norge leverer de sement til USA og resten av Skandinavia. Som tidligere nevnt har Norcem vært tidlig ute med å fornye produksjonsprosessen. Målet er minst mulig bruk av råstoffer og energi pr. produserte enhet (Norcem 2012). Fokuset ligger på økt bruk av alternative brennstoffer og råmaterialer, og på denne måten redusere CO₂-utslippet og energiforbruket. Norcem har sitt store satsningsområde på flygeaskesement. Norcem Standardsement FA med 20% flygeaske er den mest brukte sementen i Norge i dag. Norcem har egne målsetninger for 2014 (Norcem 2012):

- Redusere CO₂-utslipp
- Redusere de spesifikke netto CO₂-utslipp/tonn klinker med 15% innen 2014, sammenlignet med 1990
- Redusere andelen klinker i sement til mindre enn 80%
- Redusere utslipp av CO₂/tonn sement med 23% innen 2014, sammenlignet med 1990

Dette er målsetninger som gir Norcem en mer energieffektiv og miljøvennlig profil. Norcem er i ferd med å lansere en ny type sement med innhold av flygeaske på 30% og 5% kalkmel, kalt Lavkarbonsement. EPD for sementen er allerede utviklet, og den viser tydelig en klar nedgang i CO₂-utslipp og energimengde. Lavkarbonsementen har blitt brukt i en rekke prøveprosjekter, men er fremdeles ikke godkjent på markedet. I følge Svein Eriksson, markedssjef i Norcem, vil dette trolig komme i orden i løpet av våren 2013 (Eriksson 2013). Uansett ønsker Norcem å produsere opp et parti lavkarbonsement i løpet av de neste månedene. Sementen vil bli lagt på silo på Norcem sitt anlegg på Slemmestad. I følge Eriksson kan lavkarbonsementen transporteres langt uten at miljøeffekten blir borte.

Norcem er også i gang med å se på muligheter for CO₂-fangst ved sine sementfabrikker. Prosessen med å få til et testanlegg for CO₂-fangst i Brevik er under utredning. Norcem samarbeider med HeidelbergCement, ECRA (European Cement Research Academy) og Tel-Tek (CCS-forskningsinstitutt) om prosjektet for CO₂-fangst i Norge (Rønning, Lyng & Vold 2011). Sammen skal de utrede muligheten for et fangstanlegg i småskala basert på ulike fangstteknologier. Målet er å finne den mest optimale teknologien for sementindustrien. Planen er oppstart i 2013. Dersom prosjektet lykkes vil dette bidra til kraftig reduksjon av CO₂-utslippet. Fabrikken i Brevik får også levert alternativt brensel fra et forbrenningsanlegg for farlig avfall drevet av Norcem sitt datterselskap Renor. De får altså levert flytende eller fast brennstoff til produksjon av sement. Dette er stadig under utvikling og ønsket er at fabrikken i Brevik skal drives kun av alternativt brensel.

Cemex er Norge og Nordens største importør av sement (Cemex 2012). Sement leveres til fire terminaler i Norge. Disse er plassert i Oslo, Stavanger, Etne og Bergen, men fabrikkene ligger i Tyskland. Cemex har sitt satsningsområde på slagg og har utviklet en slaggsement med 34% slagg, kalt Cemex Miljøsement. På samme måte som Norcem har Cemex en miljøpolitikk som fremmer kontinuerlig søking etter redusert miljøbelastning. De har som mål å drive sin virksomhet i tråd med de retningslinjer som EU fastsetter,

hvilket betyr størst fokus på utslipp av miljøgasser og energiforbruk (Cemex 2012). For å få til dette settes det krav til utvikling av fabrikkene og prosessene for å redusere det totale utslippet ved produksjon av sement. Om Cemex klarer å holde tritt med Norcem med tanke på å benytte seg av alternativt brensel er uvisst. Cemex holder på å utvikle en slaggsement med 49% slagg som ennå ikke er kommet på markedet eller er godkjent etter den Norske Standarden. Det er heller ikke utviklet en EPD for denne sementen, men dette blir trolig gjort i løpet av 2013.

Cemex har antydnet at ansvaret for å utvikle miljøvennlige betong ligger hos sementleverandørene (Jahren 2012). Dette er fordi betongblandeverk ikke nødvendigvis har verken plass eller ser det som kostnadseffektivt å ha en ekstra silo med substitusjonsmaterialer som tilsettes betongen ved blanding. Bransjen har derimot behov for ferdigblandede sementer som inneholder en prosentandel substitusjonsmaterialer, slik at de kun kan forholde seg til dette ene produktet.

2.9 Andre metoder for miljøvennlig betong

Som det fremgår av dette kapittelet er det flere aspekter ved betong som påvirker miljøet. Foruten reduksjon av sement og effektivisering av sementproduksjon med tanke på økt bruk av fornybar energi finnes det andre enkle grep som kan bidra til en mer miljøvennlig betong.

Transport av råvarer og materialer kan utgjøre mye av det totale utslippet, spesielt dersom materialene må fraktes fra Europa eller andre steder i verden. Det er derfor en miljøgevinst i seg selv å velge kortreiste materialer.

Avfallshåndtering av betong er også et viktig tema i et miljøperspektiv. Normalt kan betong gjenbrukes dersom den ikke er forurenset. Betong kan være forurenset av blant annet olje eller PCB-holdig maling, fugemasser eller murpuss. Dersom dette er tilfelle må betongen behandles som farlig avfall og kan ikke gjenbrukes. Den mest vanlige formen for gjenbruk av betong er som resirkulert tilslag. Resirkulert tilslag er tilslag fra bearbeiding, nedknusing og sikting av uorganiske materialer som betong- og teglavfall (Byggforsk 2003). Bruk av resirkulert tilslag er vanligvis gjennom ubunden form, dvs. i fyllmasser i grøfter eller ved veiproduksjon. Det er også gjort undersøkelser om betong kan gjenbrukes som tilslag i ny betong. Resirkulert tilslag er et uhomogent materiale og er avhengig av den enkelte betongkvaliteten og rivingsprosjektet. Det er flere gunstige miljøeffekter ved bruk av resirkulert tilslag. CO₂-opptaket øker gjennom knusing, og mindre produksjon- og transportutslipp og mindre mengder nye materialer er blant de største positive miljøeffektene (Byggforsk 2003). Anbefalt bruk av resirkulert tilslag i betong er begrenset og det er omtrent 40% av det grove tilslaget som blir anbefalt erstattet (Byggforsk 2003). Det har imidlertid vist seg at betong med resirkulert tilslag ikke har tilstrekkelig bestandighet og styrke, er derfor ikke anbefalt (Teknologiavdelingen 2002-2005).

Gjennom studier og samtaler med Japanske kollegaer har Per Jahren studert muligheten for NO_x-reducerende betong (Jahren, Jacobsen, Kjellsen, Løbakk, Magerøy, Myren, Brå & Bjerke 2010). NO_x-gassene fører til sur nedbør og er samtidig en av drivhusgassene. Gassen er helseskadelig for mennesker, dyr og vegetasjon. NO_x-gassene kommer fra forbrenning av olje, gass eller biomasse. Et finkornet pulver (TiO₂) tilsettes betongens over-

flatesjikt og det dannes en hinne med aktivt oksygen. Gjennom en fotokatalytisk reaksjon blir NO_x tatt opp av betongen og skilles ut som veldig fortynnet salpetersyre som er miljømessig uskadelig. Norcem tilbyr i dag et pigment, $\text{T}_1\text{O}_{\text{mix}}$, som bryter ned NO_x -gassene og organisk materiale. Produktet er utviklet i samarbeid med Cementsa/HeidelbergCement. Teknikken er nyttig i områder med mye trafikk og mange mennesker.

Hvordan avfallshåndtering og transport påvirker det totale klimagassutslippet er ikke videre diskutert i denne oppgaven.

3 Miljøverktøy

I byggenæringen i dag finnes det mange ulike miljøverktøy til hjelp for å vurdere produkter og bygg i et miljøperspektiv. Disse hjelpemidlene er viktige for å kunne redusere klimagassutslippet, unngå farlige stoffer, ta gunstige beslutninger og vurdere og sammenligne produkter. I dette kapitlet er de mest sentrale miljøverktøyene i forbindelse med BREEAM-NOR definert og forklart. Disse begrepene er viktige innenfor miljø, og understreker hvor og hvor stort fokuset i byggenæringen er i dag. Det er også presentert andre aktuelle klassifiseringssystemer. Samtidig er flere initiativer som jobber for en mer miljøvennlig byggenæring presentert. Disse er gode forbildeprosjekter, og jobber som oftest på tvers av hele byggenæringen med representanter fra flere forskjellige aktører.

3.1 LCA-verktøy

3.1.1 Konseptet LCA

Life Cycle Assessment (LCA) er en helhetlig analyse av et produkt eller en tjeneste, på norsk kalt livsløpsvurdering. Det er utarbeidet en rekke internasjonale standarder som omhandler livsløpsvurderinger, og i Norge har vi to stykker som gir retningslinjer for hvordan miljøpåvirkningene skal evalueres.

- NS-EN ISO 14040, 2006: *Livsløpsvurderinger - Prinsipper og rammeverk*
- NS-EN ISO 14044, 2006 *Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer*

LCA er definert som en systematisk kartlegging og vurdering av miljø- og ressurspåvirkninger gjennom et produkt eller en tjenestes hele livsløp (Vold 2012). Et helt livsløp betegnes ofte som 'fra vugge til grav'. En livsløpsvurdering kan også omhandle deler av et livsløp dersom det er hensiktsmessig. Dette gjelder spesielt materialer som ikke har bestemt bruksområde, men kan inngå i flere komponenter. Da benyttes ofte betegnelsen fra 'vugge til port'.

I følge Vold er det tre sentrale poeng i en livsløpsvurdering

- Fokus på å se på hele det tekniske systemet som skal til for å frembringe, bruke og avhende produktet (systemanalyse) og ikke bare produktet som sådan.
- Fokus på å se på hele materialsyklusen langs produktets verdikjede og ikke bare på en enkel operasjon eller bearbeidingsprosess for et produkt.
- Fokus på alle relevante miljø- og helsepåvirkninger for hele systemet og ikke bare på en enkelt miljøfaktor.

Totalvurderingen av påvirkningene fra et produktsystem til omgivelsene er basert på anerkjente faktorer for omregning fra kartlagte utslipp til miljøpåvirkninger. En LCA er et verktøy som kan gi svar på sentrale miljøspørsmål sett i et livsløpsperspektiv. Den belyser de viktigste miljøproblemene og hvor i livsløpet de oppstår, samt gir klarhet i hva

det største potensialet for produktforbedring av et system er sett fra et miljøperspektiv. Samtidig er en LCA en troverdig dokumentasjon på produktets totale miljøbelastning. Det er imidlertid viktig å være klar over at en LCA er en teoretisk tilnærming til den totale miljøpåvirkningen, og er derfor ikke nødvendigvis i samsvar med de faktiske miljøpåvirkningene.

Etter NS-EN ISO 14040 tar en LCA for seg hele livsløpet for et produkt, fra utvinning og anskaffelse av råmaterialer, gjennom produksjon og fremstilling av energi og materialer, til bruk og sluttbehandling og endelig avhending. Videre påpekes det at en LCA tar for seg miljøaspektene, og ikke de økonomiske og sosiale aspektene. En LCA omfatter fire faser:

- Fastsettelse av hensikt og omfang
- Livsløpsregnskap (LCI)
- Livsløpseffektvurderinger (LCIA)
- Livsløpstolkning

LCI omfatter i følge standarden innsamling av data og prosedyrer for beregning som kvantifiserer relevante inngang- og utgangsfaktorer til eller fra et produktsystem. Eksempler på slike faktorer er energi og råvarer. Under LCIA blir resultatene fra LCI vurdert for å finne mulige miljøpåvirkninger. Til sist settes LCI og LCIA i sammenheng og resultatet legges frem med tilhørende konklusjoner og videre anbefalinger.

3.1.2 Klimagassregnskap

Klimagassregnskap.no er et web-basert verkøy for beregning av klimagassutslipp for bygg. Statsbygg er eier og finansierer utvikling av metode og modell (Selvig 2012). Utviklingen av klimagassutslipp.no startet i 2006/2007 og har frem til i dag kommet med fire versjoner; versjon 1 (2007), versjon 2 (2009), versjon 3 (2011) og versjon 4 (2012). I dag krever *Framtidens byer* og *FutureBuilt* klimagassregnskap for sine prosjekter. I tillegg er klimagassregnskap.no eneste godkjente verktøy for klimagassberegninger i BREEAM-NOR. Klimagassregnskap.no beregner alle klimagassutslipp fra alle aktiviteter og innsatsfaktorer som er med under bygging, drift og vedlikehold (Selvig 2012). Klimagassutslippet blir analysert som funksjonell enhet, slik at bygget selv og bygget i bruk er i fokus. Det totale klimagassregnskapet for bygget hentes ut i form av CO₂-ekv etter FNs prinsipper og alle klimagassene er inkludert.

Bygget blir vurdert for hele levetiden, som er basert på 60 år, og betegnes ofte som karbonavtrykket til bygget. Beregningen inkluderer direkte og indirekte utslipp, og beregnes i tre nivåer i et livsløpsperspektiv (Selvig 2012).

- Direkte utslipp per år der bygget rent fysisk er lokalisert.
- Indirekte utslipp som følge av kjøpt energi nødvendig for å drive bygget med der utslippet geografisk skjer et annet sted.

- Indirekte utslipp som følge av aktiviteter, produkter, tjenester som kan knyttes til selve byggets konstruksjon og byggets drift.

Klimagassregnskap.no kan benyttes både som et planleggingsverktøy og som dokumentasjon for klimagassutslipp på bygget bygg. Klimagassregnskap.no baserer seg på flere moduler. Disse er **transport, stasjonær energi, materialer, byggefasen, uteområder og tomtevalg**. De to sistnevnte er nye i versjon 4. I tillegg har versjon 4 oppdatert materialdatabasen. Det finnes syv forskjellige byggekategorier, som for eksempel boligbygg, med tilsammen 23 varianter etter byggets funksjon.

I materialmodulen er det mulig å lage et referansebygg. Dette referansebygget er det som blir brukt i BREEAM-NOR. Materialmengdene for referansebygget er beregnet ut fra angitte verdier for størrelsen av bygget; oppvarmet bruksareal (BRA), brutto areal (BTA), bebygd areal (BYA) og brutto areal kjeller (BTK). Ut fra disse underlagsdataene lages et 'bokseaktig' referansebygg basert på erfaringstall fra i underkant av 100 prosjekter fra Bygganalyses kostnadskalkyler for gjennomførte byggeprosjekter (Selvig 2012). Ut fra disse størrelsene bestemmes andel innervegger, yttervegger, vinduer osv. Disse er igjen satt sammen av de mest brukte materialene. På denne måte beregnes mengder materialer og deretter referansebyggets klimagassutslipp.

For å beregne det totale karbonavtrykket til et bygg kreves det en rekke opplysninger innenfor alle modulene. Jo mer nøyaktige disse er jo bedre og mer realistisk blir karbonavtrykket. Det er imidlertid viktig å understreke at dette er et tall som ikke kan ses på som faktisk. Klimagassregnskap.no er først og fremst et verktøy som indikerer hvordan forskjellige valg påvirker klimagassutslippet, slik at det lettere kan tas miljøvennlige valg.

Klimagassutslipp.no oppdateres stadig og det er i fremtiden ønske om at verktøyet skal bli bedre enn det er i dag. Flere moduler er under utvikling og skal inkluderes. Dette er for eksempel tekniske fag og byggeavfall. Det er også ønske om et større materialutvalg, egen implementering av EPD og materialmengder direkte fra BIM/IFC - modeller.

3.2 Miljødeklarasjoner og sertifisering av produkter

3.2.1 Standard for miljødeklarasjoner og sertifisering

International Organisation for Standardisation (ISO) har utviklet retningslinjer for standardisering som utgjør grunnlaget for deklarasjoner og miljømerker. Disse er basert på en rekke ISO-standarder, i tillegg til NS-EN-ISO 14040-14044 (EPD-Norge 2009):

- NS-EN-ISO 1402, 2002: *Miljømerker og deklarasjoner - Generelle prinsipper*
- NS-EN-ISO 14024, 2001: *Miljømerker og deklarasjoner - Miljømerking type I - Prinsipper og prosedyrer*
- NS-EN-ISO 14025, 2006: *Miljødeklarasjoner type III*
- NS-EN 15804, 2012: *Bærekraftige byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer*

- ISO 21930:2007 *Sustainability in building construction Environmental declaration of building products*

3.2.2 EPD

Environmental Product Declaration (EPD) er en miljødeklarasjon som gir en helhetlig vurdering av produktets miljøprofil. Beskrivelsen bygger på livsløpsanalyser og er en kartlegging av alle miljøaspekter, og gir en klassifisering og karakterisering av forskjellige typer miljøpåvirkninger. I forbindelse med produksjon av produktet skal den belyse alle aspekter, fra råvare til sluttprodukt, og vise hvor de viktigste miljøpåvirkningene opptrer.

Den viktigste egenskapen til en EPD er at den gjør produkter sammenliknbare innen en og samme produktgruppe (EPD-Norge 2009). Produktkategoriregler (PCR) sikrer samme retningslinjer for like produkter i hver enkelt produktgruppe. PCR utarbeides spesifikt for hvert enkelt produktområde, og skal samtidig kunne sammenlignes med beslektede produkter. En EPD er en objektiv fremstilling av produktene som er basert på internasjonalt godkjente retningslinjer forankret i vitenskapelige metoder (EPD-Norge 2009). Det foreligger også retningslinjer for endringer av en EPD, som gjør at miljøegenskapene til et produkt til en hver tid kan holdes oppdatert.

De norske retningslinjene for EPD er basert på NS-EN-ISO 14025 og ISO 21930, der sistnevnte er en utdypning av NS-EN-ISO 14025 men spesielt utarbeidet for bygningsmaterialer (EPD-Norge 2009). NS-EN 15804 beskriver de grunnleggende krav for PCR-er som skal gjelde produkter til bygninger. Hver enkelt EPD må godkjennes av Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner. Stiftelsen ble etablert i samarbeid med Næringslivets Hovedorganisasjon (NHO) og Byggenæringens Landsforening (BNL) i 2002. En produsent eller leverandør som ønsker å utarbeide en EPD må tilfredsstillende krav og retningslinjer som ligger til grunn for det aktuelle produktet, gjennom en intern prosjektrapport. Verifikatoren, en intern eller ekstern person godkjent av Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner, utarbeider deretter en uavhengig kontroll og leverer en rapport til Verifikasjonskomiteen for endelig godkjenning. Den endelige godkjenningen gjøres med bakgrunn i ISO-standardene, PCR-dokumentet og verifiseringsrapporten (EPD-Norge 2009).

Østfoldforskning har utviklet en EPD-kalkulator som er tilgjengelig for alle medlemmer av Norsk fabrikkbetongforeningen FABEKO og Betongelementforeningen. I EPD-kalkulator for betong inngår spesifikke data for de viktigste råvarene. Målsetningen er at alle de viktigste råvarene skal registreres med verifisert EPD-informasjon. Er ikke verifisert informasjon tilgjengelig for sementen benyttes egendeklarert data fra produsentene (Vold 2012). Brukeren legger inn betongsammensetningen, transportdata for råvarer, eventuelt transport til byggeplassen og data for betongproduksjonen (Vold 2012). Sammen med disse faktorene og forhåndsregistrert informasjon beregnes ferdige deklarasjoner for den ønskede betongen.

Ettersom det opparbeides større kunnskap om produkter og prosesser vil det oppstå endringer i datasettene som gir grunnlag for en EPD. Dette medfører at en EPD er ferskvare og dermed kun gyldig i fem år. Dette er med forbehold om at det ikke skjer viktige endringer i prosessene eller råvaresammensetningene. På denne måten må en EPD for en betong eller sement ses i lyset av den aktuelle tidsperioden den er utviklet i. Østfoldforsk-

ning jobber stadig med å oppdatere inndata i sin EPD-kalkulator. Det er derfor viktig å merke seg at EPD-er som er utviklet med forskjellige versjoner ikke er direkte sammenlignbare. Samtidig er det også viktig å være klar over at EPD-er kan ha forskjellige systemgrenser, dvs. forskjellig avgrensinger av livsløpet. For råvarer, innsatsvarer og komponenter anbefales 'vugge til port' og for sluttprodukter anbefales 'vugge til grav'. Disse er ikke direkte sammenlignbare (EPD-Norge 2013).

Etter de felles internasjonale retningslinjene for PCR for byggevarer som foreligger i NS-EN 15804 skal det bli lettere å sammenligne EPD-er på tvers av landegrensene. Det ble i 2011 startet opp et europeisk samarbeidsprosjekt hvor flere europeiske land har gått sammen for å samle alle og utvikle eksisterende EPD-er. Samlestedet har fått betegnelsen ECO Platform (EPD-Norge 2013).

3.2.3 Svanemerket/EU-Blomsten

Etter Brundtlandkommisjonen i 1988 ble Svanemerket etablert i 1989 for å gjøre enkle miljøtiltak allment. Svanemerket er en ikke-kommersiell merkeordning, opprettet av Nordisk Ministerråd og administreres i Norge av Stiftelsen Miljømerking (Miljømerking 2012). Svanemerket har som mål å gjøre det enkelt for forbrukeren å velge miljøvennlige produkter og samtidig redusere miljøskader. Det er også et ønske at Svanemerket skal stimulere til grønn innovasjon og vekst i næringslivet. Svanemerket er en type miljømerkeordning som bygger på ISO 14024.

Svanemerket er en produktsertifisering som stiller krav til et miljøvennlig livsløp for produktet. Det stilles store krav til dokumentasjon for at gjeldende krav er tilfredsstillende, og dette er produsentens ansvar. All dokumentasjon må vurderes av en tredjepart før sertifisering (Magnus 2013). Svanemerket stiller krav til råvarer, produksjon, bruk og avfallshåndtering. De miljøkravene som stilles er utarbeidet av nordiske fagekspertene og er blitt vedtatt av en uavhengig nemnd oppnevnt av regjeringen i alle de nordiske landene (Miljømerking 2012). I tillegg utarbeides det egne kriteriesett for de ulike produktgruppene som kan Svanemerkes. Svanemerket må ses i forhold til de spesifikke produktgruppene med tilhørende krav. Målsetningen er at de mest miljøriktige produktene i hver produktgruppe skal være merket med Svanemerket. Etter hvert som flere produkter innenfor en produktgruppe blir Svanemerket strammes kravene inn og det må søkes på nytt. Dette skjer omtrent hvert 5 år og er en kontinuerlig prosess for å sikre miljøriktig utvikling innenfor en produktgruppe.

Svanemerket omfatter et stort utvalg av forskjellige produktgrupper som spenner fra vask og rengjøring til hotell og restauranter. Svanemerket er i utgangspunktet ment som et hjelpemiddel til den vanlige forbruker, og er ikke i utgangspunktet ment for byggebransjen. Etersom byggebransjen utgjør en betydelig del av miljøbelastningen i samfunnet finnes det likevel egne produktgrupper som omfatter byggevarer og hus.

EU-blomsten er en tilsvarende miljømerking som Svanemerket, men er opprettet av EU-kommisjonen og benyttes i EU og EØS-området. I Norge administreres blomsten av *Stiftelsen Miljømerking*. Kravene og konseptet for EU-blomsten er lignende Svanemerket, men Svanemerket er strengere på noen områder. EU-blomsten finnes på en rekke produkter i Norge.

3.2.4 SINTEF Byggforsk Teknisk Godkjenning

SINTEF Byggforsk Teknisk Godkjenning er en type sertifisering som dokumenterer at et byggeprodukt er funnet egnet for bruk, forutsatt at det anvendes etter det som er gitt i godkjenningen (SINTEF 2007). Godkjenningen utstedes av SINTEF Byggforsk som er utpekt av Statens bygningstekniske etat til å være et nøytralt kontrollorgan. Teknisk Godkjenning omfatter byggevarer, komponenter og konstruksjonssystemer generelt.

Kravene til SINTEF Byggforsk Teknisk Godkjenning tilfredsstiller kravene i Plan- og bygningslovens teknisk forskrift (TEK), og merkingen tilfredsstiller dokumentasjonskravet til egnethet (SINTEF 2007). Dersom produkter er CE-merket, vil en Teknisk Godkjenning gjelde som et nasjonalt tilleggsdokument som viser tilfredsstillelse av norske krav til produkttegenskaper og egnethet i bruk.

Dokumentasjonen sammenfattes i et godkjenningsdokument med produktbeskrivelse, bruksområder, produkttegenskaper, betingelser for bruk, kontroller og grunnlag for godkjenningen (SINTEF 2007). Godkjenningen omfatter en vurdering av påvirkning på innemiljø, samt kartlegging av helse- og miljøfarlige stoffer. Et produkt som innehar en Teknisk Godkjenning oppfyller alltid minimumskrav til materialer i BREEAM-NOR. Teknisk Godkjenning kan om ønskelig inneholde en miljødeklarasjon, da etter NS-EN-ISO 14025. Selve miljødeklarasjonen utarbeides i et dokument, men Teknisk Godkjenning vil vise et utdrag med relevant informasjon som utslipp knyttet til global oppvarming og energi (SINTEF 2007).

3.2.5 ECOprodukt

ECOprodukt er en miljøvurderingsmetode og en database for produkter basert på et karaktersystem (KLIF 2013b). Karakterskalaen er delt inn i tre kategorier; rødt (dårlig/uakseptabelt), hvitt (gjennomsnittlig) og grønt (god) (NGBC 2012). Det gis karakter for hvert av hovedområdene klimagassutslipp, inneklima, innhold av helse- og miljøfarlige stoffer og ressursbruk. Vurdering av produktene er basert på informasjon hentet fra gjeldene EPD for produktet. ECOprodukt er derfor en metode og verktøy for å velge de mest miljøriktige produktene.

SINTEF Byggforsk, Norsk Byggetjeneste og NAL-Ecobox har sammen utviklet ECOprodukt og første versjon ble lansert i mars 2006 (SINTEF 2010). Etter dette har det kommet flere oppdateringer. ECO-produkt databasen drives i dag av Norsk byggetjeneste ODA og er i dag et abonnementsprodukt som kan bestilles.

I tillegg finnes det andre databaser for produkter og kjemikalier. ChemXchange er et elektronisk verktøy som samler Sikkerhetsdatablader og andre tekniske dokumenter. BASTA og Byggvarubedømmingen er begge svenske produkt database for både godkjente kjemikalier og ikke-kjemiske produkter som er relevant for bruk i Norge.

3.3 Miljøsertifisering for virksomheter

3.3.1 Miljøfyrtårn

Miljøfyrtårn er den mest brukte sertifisering for mindre virksomheter i Norge. Sertifiseringen er tilpasset kommuner, men både private og offentlige virksomheter kan sertifisere seg. Sertifiseringsordningen driftes av Stiftelsen Miljøfyrtårn og har eksistert som merkeordning siden 1. januar 2003 (Stiftelsen Miljøfyrtårn 2013). Miljøfyrtårn er et lavterskeltilbud med relativt enkle krav. I tillegg til krav som alle bransjer må tilfredsstillere har ordningen bransjespesifikke tilleggskrav. For å kunne bli Miljøfyrtårn må virksomheten oppfylle de miljøkrav som stilles og ha en miljøvennlig drift og godt arbeidsmiljø. Vurderingen og godkjenningen gjøres av en uavhengig tredjepart og virksomheten må re-sertifiseres hvert tredje år (Stiftelsen Miljøfyrtårn 2013). Som Miljøfyrtårn må også virksomheten levere en årlig miljørapport. Sertifikatet er anerkjent av myndighetene ved offentlig innkjøp (Stiftelsen Miljøfyrtårn 2013).

3.3.2 NS-EN ISO 14001

NS-EN ISO 14001:2004 *Miljøstyringssystemer Spesifikasjon med veileder* er en internasjonal standard som spesifiserer krav til miljøstyringssystem. Virksomheter kan sertifiseres etter ISO 14001. For å kunne bli sertifisert må et miljøstyringssystem i virksomheten etableres og dokumenteres. Det må settes konkrete miljømålsetninger og miljøstyringssystemet må følges opp. Det stilles ingen spesifikke eller konkrete krav til miljøtiltak, men til kontinuerlig forbedring av virksomheten. På denne måten kan virksomheter synliggjøre deres miljøpolitikk blant andre virksomheter, også innad i virksomheten. Det er en rekke organisasjoner som kan gjennomføre selve sertifiseringen, men organisasjonen må være godkjent av Norsk Akkreditering. De to største sertifiseringsorganisasjonene for ISO 14001 er Nemko AS og Det Norske Veritas Certification AS.

3.3.3 EMAS

Eco Management and Audit Scheme (EMAS) er en sertifisering av virksomheter for EU/EØS-området (Norsk Akkreditering 2013). EMAS er ikke så vanlig i Norge, men mange store internasjonale virksomheter er sertifisert. EMAS tar utgangspunkt i ISO 14001, men har noen momenter som går utenfor de krav standarden setter og er mer krevende og omfattende (KLIF 2013a):

- En offentlig miljøredegjørelse, hovedrapport hvert tredje år med årlig oppdatering av data
- En fremvisning av årlige, målbare miljømessige forbedringer
- En vurdering av miljøprestasjonen både ved intern revisjon og ledelsens gjennomgang
- At leverandører og kontraktører overholder oppdragsgivers miljøpolitikk i den grad dette er mulig

3.4 Miljøklassifiseringer for bygg

3.4.1 BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) er et klassifiseringssystem for bygg og eiendom. BREEAM ble lansert i 1990 av Building Research Establishment (BRE) i Storbritannia og er i dag et av verdens største og ledende miljøklassifiseringssystemer for bygg med, over 115 000 sertifiserte bygg og 700 000 registrerte bygg (NGBC 2012). Det er BRE Global som er ansvarlig for hele BREEAM-familien, og autoriserer Nasjonale Green Building Council som ansvarsorganisasjoner på nasjonalt nivå gjennom ordningen National Scheme Operator. Det jobbes kontinuerlig med å oppdatere systemet, og siden oppstarten har BREEAM vært igjennom mange versjoner. Det kan i dag brukes på nesten alle typer bygg og over hele verden. BREEAM bruker objektive kriterier for å gjenkjenne god miljøytelse (NGBC 2012):

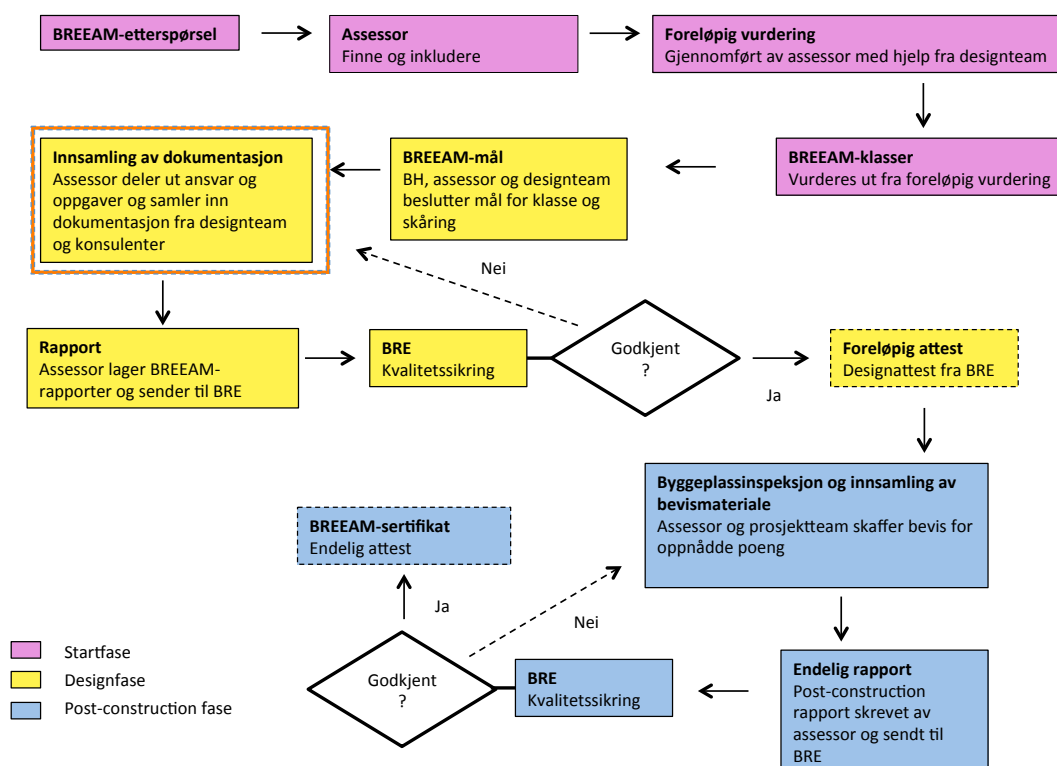
- Forhold som vurderes skal være ansett som betydelige, og gi verdifulle reduksjoner i miljøpåvirkning
- De enkelte vurderingene må gjøres på det relevante stadiet i byggets liv
- Ytelsesnivåene er om mulig basert på vitenskapelig bevis
- Ytelsesnivåene må overstige krav nedfelt i lov eller forskrift, og oppmuntre til innovasjon
- Forbedringer som BREEAM oppmuntrer til, skal være oppnåelige og kostnadseffektive

Gjennom dokumenterte miljø- og helsebelastninger er det mulig å gjøre riktige miljøvalg og samtidig sette valgene ut i praksis. BREEAM har følgende målsetninger og formål (NGBC 2012);

- **Målsetninger**
 - Å redusere byggets påvirkning på miljøet
 - Å gjøre det mulig å gjenkjenne bygg ut ifra dets miljøstandard
 - Å tilby troverdig miljøklassifisering og -sertifisering for bygg
 - Å stimulere etterspørselen etter bærekraftige bygg
- **Formål**
 - Gi anerkjennelse i markedet til bygg med lav belastning på helse og miljø
 - Sikre at beste miljøpraksis blir innarbeidet i bygg
 - Fastsette kriterier og standarder som overgår de som kreves ved forskrift, og utfordre markedet til å utvikle innovative løsninger som minimerer byggs miljøpåvirkning

- Bevisstgjøre eiere, brukere, designere og de som drifter byggene på fordelene ved bygg med høy miljøstandard
- Støtte virksomhetenes prioritering av samfunnsansvar og dokumentere framgang med tanke på miljø

Av punktene over er det tydelig at BREEAM har høye målsetninger for klassifiseringssystemet og formål som strekker seg over hele byggeprosessen og involverer alle aktører. For å nå målsetningen vurderer BREEAM byggets bærekraft gjennom ni + ett område som samlet gir bygget en totalvurdering av dets innvirkning på miljøet. Selve klassifiseringen er bygget på et poengsystem med en poengskår innenfor hvert av de aktuelle områdene. Poengene deles ut etter oppnåelse av de aktuelle kriteriene. Hver poengsum innenfor hvert området vektet etter gjeldene retningslinjer og bygget oppnår en totalsum som plasserer bygget innenfor karakterene; Pass, Good, Very Good, Excellent og Outstanding. Selve BREEAM-prosessen er vist i figur 3.1, og viser ulike faser og involverte i prosjektet.



Figur 3.1: BREEAM-prosessen [model: NGBC]

3.4.2 BREEAM-NOR

BREEAM-NOR er utviklet av Norwegian Green Building Council (NGBC) med tillatelse og på lisensvilkår fra BRE Global Ltd., som har autorisert NGBC som National Scheme Operator. NGBC har altså rettighetene til BREEAM i Norge, men er underlagt BRE Global Ltd.. BREEAM-NOR er basert på BREEAM Europe Commercial 2009 og BREEAM Education 2008, og tilpasset norske forhold med tilknytning til standarder og regler innenfor energi og miljøområder (NGBC 2012). Utviklingen av BREEAM-NOR versjon 1.0 er gjort gjennom et bransjesamarbeid og det har vært mer enn 100 frivillige medarbeidere fra medlemsbedrifter i NGBC involvert i prosjektet. Disse har vært organisert i fem arbeidsgrupper sammen med myndigheter og forskning, og fått veiledning og råd fra NGBC sin Strategiske Rådgivningsgruppe (SRG) (NGBC 2012). BREEAM-NOR ble endelig vedtatt 14. mars 2012, etter lanseringen i oktober året før. I BREEAM-NOR gjelder følgende poengsystem for klassifisering og sertifisering, vist i tabell 3.1 (NGBC 2012):

Tabell 3.1: Poengsystem for BREEAM-NOR ver. 1.0

BREEAM-NOR-klassifisering	Oppnådde poeng
Pass	$\geq 30\%$
Good	$\geq 45\%$
Very Good	$\geq 55\%$
Excellent	$\geq 70\%$
Outstanding	$\geq 85\%$

BREEAM-NOR har samme inndeling som den originale BREEAM med ni kategorier + innovasjon. Ettersom BREEAM-NOR er tilpasset norske forhold er noen av kravene i noen av kategoriene forskjellige. Dette gjelder for eksempel kategorien materialer, som er tilpasset norske materialer og tilgjengelighet i Norge. Vektingen mellom hver kategori er også noe forskjellig fra den opprinnelige BREEAM. Et eksempel på det er at vannkategorien er vektet mindre i Norge, da vann generelt er mer tilgjengelig i Norge enn andre steder. Vektingen for innovasjon er frittstående fra de andre, og her er et poeng lik et prosentpoeng. I tabell 3.2 vises en oversikt over kategoriene og hovedområdene i BREEAM-NOR, sammen med vektingen (NGBC 2012).

Endelig sertifisering gjøres av en autorisert revisor (assessor) som en tredjepartsgodkjenning. Revisoren må være godkjent og lisensiert etter gitte retningslinjer, og kan ikke være ansatt hos byggets eier. Akkreditert Profesjonell (AP) er en kvalifisert rådgiver innen BREEAM-NOR med erfaring fra, og forståelse for, samspill mellom ulike aktører. I motsetning til en revisor, bistår en AP prosjektet med å tilfredsstille de ønskede BREEAM-kravene. Det er ikke pålagt å benytte seg av en AP, men bruk av AP kan i seg selv gi inntil 3 BREEAM-poeng.

Hver kategori er delt opp i forskjellige emner som har spesifiserte formål og krav knyttet til seg. Kriteriene spesifiserer den eller de ytelsene, relevant for formålet, som løsningene skal innfri (NGBC 2012). Hensikten med alle emnene er å redusere miljøpåvirkningene fra et nybygg eller et rehabilitert bygg. I tillegg til formål og kriterier oppgis informasjon om

Tabell 3.2: Kategorier og hovedområder i BREEAM-NOR med norsk vekting

Kategori	Hovedområder	Vekting [%]
Ledelse	Idriftssettelse og LCC Påvirkning på byggeplass Brukerveiledning for bygg	12
Helse og innemiljø	Dagslys, belysning og akustikk Luft- og vannkvalitet Termisk komfort for bruker	15
Energi	Behov for energi Energieffektivitet Lav- eller nullkarbonløsninger	19
Transport	Nærhet til kollektivtransport og fasiliteter Tilrettelegging for gående og syklist Reiseplaner og informasjon	10
Vann	Vannforbruk Lekkasjedeteksjon Gjenbruk og resirkulering av vann	4,5
Avfall	Byggeavfall Resirkulert tilslag Gjenvinningsanlegg	7,5
Forurensning	Bruk og utslipp av kjølevæske Flomrisiko NO _x -utslipp Forurensning av vassdrag Ekstern lys- og støyforurensning	8
Arealbruk og økologi	Tomtevalg Beskyttelse av økologiske funksjoner Demping/forsterkning av økologisk verdi	10
Materialer	Livsløpsvurdering av materialer Ansvarlig innkjøp Robusthet Gjenbruk av eksisterende konstruksjoner	14
Innovasjon	Mønstergyldige ytelsesnivåer	10

minstekrav og antall poeng som er tilgjengelig, samt en beskrivelse av hvordan kravene skal dokumenteres. I dag kan BREEAM-NOR benyttes for bygningstyper som kontorer, industri, varehandel og utdanning.

3.4.3 Andre klassifiseringssystem

I tabell 3.3 er andre aktuelle klassifiseringssystem i verden kort beskrevet.

Tabell 3.3: Klassifiseringssystem for bygg og eiendom

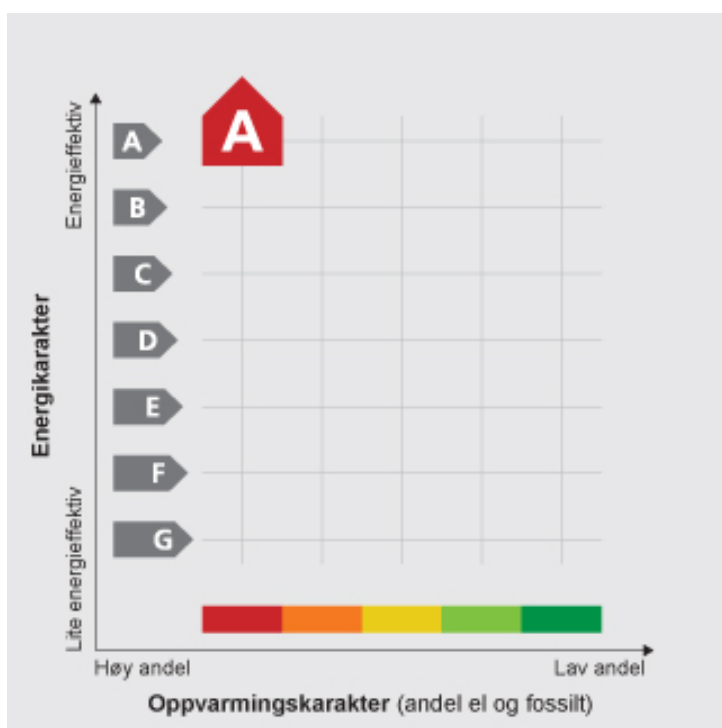
Navn	Fult navn	Land	År	Beskrivelse
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design	USA	1998	4 nivåer etter oppnådd potensial. 5 kategorier hvorav energi og klima er vektet tungt. Detaljert.
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method	Storbritannia	1990	5 karakterer etter oppnådd potensial med vektning. 9 (+1) kategorier hvorav energi er vektet tungt. Detaljert.
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency	Japan	2001	4 versjoner. Poeng etter miljøkvalitet mot miljøbelastning. Veldig detaljert. Internasjonalt
HK-BEAM	Hong Kong – Building Environmental Assessment Method	Hong Kong	1996	4 karakterer. 6 kategorier. Fokus på byggets livssyklus. Benyttes mye i sør-Asia. Detaljert.
	Green Star	Australia	2002	3 karakterer etter antall poeng. 9 kategorier. Enkelt system.
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	Tyskland	2009	3 karakterer etter potensial. 5 kategorier fordelt på hele livsløpet. Benyttes mest i Tyskland.
HQE	Haute Qualite Environnementale	Frankrike	1996	5 karakterer etter antall oppnådde stjerner. 4 kategorier. Enkelt. Benyttes mest i Frankrike.
	Living Building Challenge	USA	2006	7 kategorier. Fokus på faktiske ytelse, vurdering er 12 måneder etter ferdigstillelse. Veldig detaljert og strenge krav.
	EU Green Building	EU	2004	Fokus på energieffektive bygg. Gratis sertifisering. Krav om redusert energiforbruk.
	Miljöbyggnad	Sverige	2005	3 karakterer. 3 kategorier. Tilrettelagt for Sverige. Enkelt.
	Passivhaus	Tyskland	1990	Krav om lavt energibehov og høy energi effektivisering.

3.4.4 Energimerkeordningen

Energimerkeordningen ble innført 1. juli 2010 og er hjemlet i energiloven. *Forskrift om energimerking av bygninger og energivurderinger av tekniske anlegg* regulerer energimerke-

ordningen (NVE 2013). Energimerkeordningen har som formål å øke bevisstheten rundt energibruk i bygninger og fremme løsninger som gjør bygninger mer energieffektive.

Energimerking er obligatorisk for alle boliger og yrkesbygg for leie eller salg, og yrkesbygg skal ha gyldig energiattest. Merkingen er nettbasert og kan gjøres på forskjellige detaljnivå. For yrkesbygg må dette gjøres på et tilstrekkelig detaljert nivå av en ekspert med relevant kompetanse som er spesifisert i energimerkeforskriften. Det er ingen godkjenningsordning for å bevise riktig kompetanse, men eksperten må selv kunne fremlegge bevis dersom Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), eieren eller kjøperen etter spør dette. Det er eieren av bygget som har ansvar for at energimerkingen gjennomføres (NVE 2013).



Figur 3.2: Energimatrise i Energimerkeordningen [Model: energimerking.no]

Energimerkesystemet består av en beregningskjerne, pre-prosessor og en attestgenerator (NVE 2013). Beregningskjernen beregner bygningens energiytelse etter NS 3031. Attestgeneratoren produserer energiattesten etter innlagt beregningsgrunnlag og utførte beregninger. Energiattesten består av et energimerke som viser bygningens energistandard. Selve energimerket består av en energikarakter og en oppvarmingskarakter som er uavhengige av hverandre. Energikarakteren viser levert energi til bygningen ved normal bruk og er basert på beregnet energiytelse. Skalaen er en bokstavs-kala fra A til G, der A er best og G er dårligst. Karakteren C gjenspeiler minstekrav i TEK 10. Det kreves derfor spesielle tiltak for å oppnå karakterene A og B og de fleste eldre bygninger vil ligge i nedre del av skalaen. Oppvarmingskarakteren er basert på de oppvarmings-systemene som er installert i bygningen og er en fargeskala, der rødt er dårligst og grønt er best. Rødkarakter fås ved direkte bruk av elektrisitet eller kun fossilt brennstoff, mens grønnkarakter

gjenspeiler en høy andel andre energikilder enn elektrisitet, olje og gass. En illustrasjon for energimerkingen er vist i figur 3.2 og viser energimatrisen. Der fremkommer det at det ikke er noen sammenheng mellom de to karakterene.

3.4.5 Lavenergi og passivhus

Passivhus har lavere energibehov enn vanlige hus og bygninger, og er ofte karakterisert som miljøvennlige bygninger med godt inneklima og veldig lavt energibehov (Standard Norge 2013). De kjennetegnes ofte med ekstra isolasjon og tetthet, samt bruk av balansert ventilasjon og varmegjenvinning. Begrepet passivhus ble lansert av Passivhusinstituttet i Tyskland og har i dag spredd seg til store deler av Europa. I dag foreligger det to norske standarder som definerer og beskriver kravene til passivhus og lavenergibygninger.

- NS 3701:2012 *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygg*
- NS 3700:2010 *Kriterier for passivhus og lavenergihus - Boligbygninger*

NS 3701 ble fastsatt i september 2012 og er utarbeidet av en samlet byggenæring med representanter fra hele næringen. Den gjelder for både nybygg og oppgradering av eksisterende bygninger. NS 3701 inneholder norsk definisjon av passivhus og lavenergibygninger med krav til:

- Energibehov
 - Varmetap
 - Oppvarmings- og kjølebehov
 - Energibehov til belysning
 - Energiforsyning
 - Minstekrav til enkelte bygningskomponenter
- Beregningskriterier
- Kriterier som kan brukes for sertifisering
- Dokumentasjon

De ulike kravene er spesifisert i standardene med grenseverdier for passivhus og for lavenergibygninger.

3.5 Initiativer

3.5.1 Norwegian Green Building Council

Norwegian Green Building Council (NGBC) er en uavhengig forening i byggebransjen som ble etablert i september 2011. NGBC skal virke som en motivator og pådriver for

positive bransjeendringer innen miljø og helse (NGBC 2012). NGBC skal gjennom formidling av kunnskap og verktøy bistå bransjen med å imøtekomme kommende miljøkrav. Målsetningen og formålet kan oppsummeres punktvis.

NGBC skal (NGBC 2013) :

- Øke bærekraften i norske bygg
- Utløse frivillige bidrag og markedsorienterte endringer
- Være landets ledende leverandør av anerkjente klassifiserings- og sertifiseringssystemer
- Tilby beste kunnskap om bærekraft i norsk bygg og eiendom
- Eie BREEAM-NOR
- Være en forening, eid av medlemmene
- Være ikke-kommersiell

NGBC har ledet utviklingen av BREEAM-NOR, og har som målsetning å kunne tilby norske versjoner av BREEAM for alle typer bygg. Foreningen driver i tillegg til sertifisering og veiledning av BREEAM-NOR også utdanningskurs for BREEAM-revisorer og Akkreditert Profesjonell (AP). I tillegg til utdanning, godkjenner og lisensierer NGBC revisorer og AP-er.

3.5.2 Grønn byggeallianse

Grønn Byggeallianse (GBA) er eiendomsbransjens nettverk for miljøkunnskap og handling (Grønn Byggeallianse 2013). Hensikten med nettverket er at utbyggere med interesse for å utvikle sitt miljøområde skal ha en arena for å møtes. I starten av 2013 var det registrert 46 medlemmer, og tilsammen representerer disse over 25 prosent av all nærings-eiendom i Norge. Medlemmene representerer statlige, kommunale og private utbyggere. Grønn Byggeallianse har vært med på å tilrettelegge for norsk tilpasning av både LEED og BREEAM, og var med på dannelsen av NGBC da BREEAM viste seg å bli det norske satsningsområdet av de to aktuelle klassifiseringssystemene. Målsetningene er at medlemmer i Grønn byggeallianse skal ligge i front av miljø-satsning i byggebransjen i Norge.

3.5.3 Framtidens byer

Framtidens byer er et initiativ som har som hovedformål å redusere klimagassutslippene slik at byene kan bli bedre steder å bo. Det er et samarbeid mellom staten og de 13 største byene i Norge; Oslo, Bærum, Drammen, Sarpsborg, Fredrikstad, Porsgrunn, Skien, Kristiansand, Sandnes, Stavanger, Bergen, Trondheim og Tromsø (Miljødepartementet 2013). Næringslivet ble med som partner i 2009, og en rekke departementer representerer staten. Miljødepartementet fungerer som sekretariat og jobber med avfall og klimatilpasninger.

Samferdselsdepartementet har hovedansvar for forbedring av transport og kollektivtransport som er en viktig del av satsningsområdene til Framtidens Byer. Til slutt er det Olje- og energidepartementet og Kommunal- og regionaldepartementet som leder henholdsvis energibruk i Norge og bolig- og bygningspolitikken.

Det gjeldene programmet strekker seg tilbake til 2008 og er gyldig frem til 2014. Samarbeidsområdene i Framtidens byer er delt inn i fire hovedkategorier og er utarbeidet på bakgrunn av byenes handlingsprogram. Felles for hovedkategoriene er at alle involverte parter er enige om tiltak som skal gjennomføres. De fire kategoriene er; areal og transport, energibruk i bygg, forbruk og avfall og klimatilpasninger.

Future Built og Framtidens bygg

Future Built og *Framtidens bygg* er underlagt Framtidens byer. Future Built utvikler for-bildeprosjekter i Oslo, Bærum, Asker og Drammen, og Framtidens bygg har ansvar for de resterende byene som er med i Framtidens byer (Future Built 2013). Future Built (tidligere By- og boligutstilling Oslo - Drammen) ble opprettet i 2009 etter et vellykket forprosjekt i 2007-2008 etter initiativ fra Norske arkitekters landsforbund (NAL) og Husbanken (Future Built 2013). Future Built skal fremme klimavennlig arkitektur og byutvikling. Målsetningen er å redusere minst 50% av klimagassutslippet fra transport, energibruk og materialbruk for 50 forbildeprosjekter. Framtidens bygg jobber tilsvarende med pilotprosjekter, og satser på både nybygg og rehabilitering. Begge underprosjektene inkluderer både private, statlige og kommunale aktører.

3.5.4 ZEB

The Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB) er et av flere forskningsprogrammer ved Forskningscenteret for miljøvennlig energi (FME). Det ble opprettet etter initiativ fra Forskningsrådet i 2009, og har varighet på inntil 8 år. Visjonen til ZEB er å eliminere utslipp av klimagasser forårsaket av bygninger, altså å få nullutslippshus ut på markedet (ZEB 2013).

Forskningsprogrammet har 22 partnere representert av ledende bedrifter og myndigheter innen byggebransjen, og et utvalg av private og statlig bedrifter. ZEB er delt inn i fem arbeidspakker (ZEB 2013):

- WP-1: Advanced materials technologies
- WP-2: Climate-adapted low-energy envelope technologies
- WP-3: Energy supply systems and services
- WP-4: Energy efficient use and operation
- WP-5: Concepts and strategies for zero emission buildings

3.5.5 Næring for klima

Næring for klima er et samarbeid mellom Oslo kommune og virksomheter i Osloregionen. Oslo har som målsetning å halvere klimagassutslippet innen 2030, samt å bli en av verdens mest miljøvennlige hovedsteder (Oslo Kommune 2011). Næring for klima ble lansert i november 2010 etter inspirasjon fra Stockholm. Oslo kommune er avhengig av den norske næringen for å nå sitt mål om å redusere klimagassutslippet. Hele 20 virksomheter med tilknytning til Oslo er blitt med i Næring for klima, der de forplikter seg til å hjelpe Oslo kommune mot sitt klimamål, gjennomføre miljøtiltak innad i bedriften med tilhørende dokumentasjon, samt aktiv deltakelse i nettverket. Næring for klima skal være en arena for utveksling av erfaring og informasjonsspredning innen miljøsektoren mellom Oslo kommune og næringen (Oslo Kommune 2011).

3.5.6 Enova

Enova SF ble etablert av Stortinget i 2001 og forvalter midlene i Energifondet (Enova 2013). Energifondet er et statlig fond som skal sikre finansiering av satsingen på energieffektivisering og fornybar energi (Østensen 2012). Enovas forvaltning er styrt av en fireårig avtale mellom Olje- og energidepartementet og Enova. Avtalen definerer virksomhetens mål og oppgaver, samt krav og retningslinjer. I dag er avtalen gjeldende fra 1. januar 2012 til 31. desember 2013. Gjennom økonomisk støtte og rådgivning skal Enova bidra til (Østensen 2012):

- Utvikling og introduksjon av nye energi- og klimateknologier i markedet
- Mer effektiv og fleksibel bruk av energi
- Økt bruk av andre energibærere enn elektrisitet, naturgass og olje til varme
- Økt bruk av nye energiresurser, herunder gjennom energigjenvinning og bioenergi
- Mer velfungerende markeder for effektive energi-, miljø- og klimavennlige løsninger
- Økt kunnskap i samfunnet om mulighetene for å ta i bruk effektive energi-, miljø- og klimavennlige løsninger

3.5.7 Ecobox prosjektdatabase

Ecobox prosjektdatabase er en nettbasert plattform for forbilde- og pilotprosjekter innen arkitektur, bygg og miljø (Anda 2013). Ecobox ble opprettet i 2003 og styres av Norske arkitekters landsforbund. Databasen skal være nøytral og til bruk for alle, men i hovedsak rettet mot arkitekter, rådgivere, entreprenører, kommuner og myndigheter, samt media. Hensikten er at plattformen skal virke som inspirasjon og en kunnskapsformidler for miljøvennlig arkitektur og utvikling. I dag inneholder den over 200 prosjekter og oppdateres kontinuerlig (Anda 2013).

3.5.8 Powerhouse-alliansen

Powerhouse er et samarbeid grunnlagt av Entra Eiendom, Skanska, Snøhetta, ZERO og Hydro (Powerhouse 2013). Sammen ser de på muligheten for plusshus og har to prosjekter, et rehabiliteringsprosjekt på Kjørbo i Oslo og et nybygg på Brattørkaia i Trondheim. Et plusshus skal kunne produsere mer energi enn det forbruker i løpet av sin levetid. For å kunne oppnå dette kreves det riktige materialvalg, byggtekniske løsninger, ny teknologi og et godt samarbeid mellom ulike aktører (Powerhouse 2013). Powerhouse-alliansen mener dette er fremtidens bygg, da det er særdeles energieffektivt og samtidig genererer energi.

4 Fornebu Senter

Utbyggingen av Fornebu Senter er en viktig del av en positiv bransjeutvikling. Det er det første prosjektet i Norge med klassifiseringen *BREEAM Outstanding*, og vil dermed bli et forbildeprosjekt med forhåpentlig mange etterfølgere.

4.1 Fornebu Senter

Utbyggingen av Fornebu Senter har fått prosjektnavnet Fornebu S. Helt siden 2006 har aktører jobbet med Fornebu S prosjektet. Prosjektet har som målsetning å bli verdens første kjøpesenter som sertifiseres med *BREEAM Outstanding*. Prosjekteier og byggherre KLP Eiendom AS har en klar visjon for prosjektet, det skal bli verdens mest miljøvennlige kjøpesenter, og inspirere besøkende til miljøriktig adferd. Byggestart var i september 2012 og kjøpesenteret skal etter planen ferdigstilles to år senere, i september 2014. Kjøpesenteret er plassert i sentrum av Fornebulandet og det er ventet at det blir et viktig knutepunkt for nærmere 35 000 mennesker som vil jobbe og bo på Fornebu innen 2020. Prosjektet inkluderer i tillegg til selve kjøpesenteret leiligheter, garasjekjeller og kontorer.

Byggherre KLP Eiendom AS

Totalentreprenør Skanska Norge AS

Arkitekt AMB Arkitekter

Kjøpesenter 24 500 m²

Garasjekjeller 36 000 m²

Kontorer 2 500 m²

Fire boligblokker med 81 leiligheter, 10 000 m²

Kontraksverdi 920 MNOK

4.2 BREEAM Outstanding

Miljømålsetningen til prosjektet er høy og strekker seg så langt som toppkarakter hos flere av klassifiseringssystemene som foreligger per dags dato. Kjøpesenteret skal etter ferdigstillelse oppnå beste karakter i sertifiseringssystemet BREEAM-NOR med karakter *BREEAM Outstanding*. Det er per i dag kun elleve andre bygg i verden som har oppnådd denne karakteren, hvorav ingen kjøpesenter (Aamodt 2012). I tillegg skal kjøpesenteret oppnå energiklasse A etter energimerkeordningen og passivhusstandarden, samt oppfylle kravene til Skanskas eget konsept 'Grønn arbeidsplass'. For å kunne oppnå høyst karakter i BREEAM-NOR kreves det omfattende miljøtiltak i alle prosjektets faser, både i ide-, prosjekterings- og byggefaser. En forutsetning er at miljøfokus er førende for både prosjekteier, de prosjekterende og entreprenørene.



Figur 4.1: Hovedinngangen ut mot Snarøyveien [Illustrasjon: Eveimagine/AMB Arkitekter]



Figur 4.2: Torget med inngang [Illustrasjon: Eveimagine/AMB Arkitekter]

Boligene på toppen av kjøpesenteret har ikke like høye miljøkrav. De skal tilfredsstille TEK 10 og med energiklasse C. Det samme gjelder for kontordelen, men de skal ha energiklasse A.

For å oppnå karakteren BREEAM Outstanding kreves det at følgende betingelser er oppfylt (NGBC 2012):

1. Bygget må ha mer enn 85% av totalt oppnåelige poeng.
2. Minstestandardene for ytelse i henhold til BREEAM-NOR-manualen må være innfridd, se figur 4.3.
3. Fremskaffelse av materiale for produksjon og publisering av en prosjektpresentasjon i henhold til NGBCs mal for prosjektpresentasjon.

BREEAM-NOR		Pass	Good	Very Good	Excellent	Outstanding
Minste antall poeng						
Man 1	Teknisk driftsstart	1	1	1	1	2
Mat 1	Materialspesifikasjon (Vurderingskriterie 5 - unngå miljøgifter)	√	√	√	√	√
Hea 4	Høyfrekvent lys	1	1	1	1	1
Man 4	Brukerveileder		1	1	1	1
Hea 9	Forurensning i innemiljø			1	2	2
Hea 8	Ventilasjonsløsning for å sikre innendørs luftkvalitet			1	1	2
Hea 20	Fuktsikring			1	1	1
Ene 2	Delmåling av betydelig energibruk			1	1	1
Ene 1	Energieffektivisering				7	9
Ene 23	Bygningskonstruksjonens energiytelse				1	2
Ene 5	Energiforsyning med lavt klimagassutslipp				1	1
Wst 3	Lagring av gjenvinnbart avfall				1	1
Man 3	Påvirkninger fra byggeplass				1	1

Figur 4.3: Minimumspoeng som må oppnås for å klassifisere til Outstanding [Tabell: Teknisk manual BREEAM-NOR]

I kategorien Mat 1 er det et spesielt krav om at de mest helse-og miljøfarlige stoffene¹ skal unngås i byggematerialene. Dette er et absolutt krav dersom bygget i det hele tatt skal kunne få en klasse og sertifisering. De aktuelle stoffene og produktkategoriene er listet i en sjekklister A20 bak i den tekniske manualen til BREEAM-NOR med en tilhørende veiledning (NGBC 2012).

Som en del av karakteren BREEAM Outstanding stilles det som nevnt krav til at prosjektet presenteres. Dette er i hovedsak fordi bygget vil stå som et forbilde for hele bygge- og eiendomssektoren (NGBC 2012). Prosjektpresentasjon skal leveres sammen med endelig revisorrapport for 'as built'. Dersom dette ikke gjøres vil bygget bli klassifisert som Excellent, altså nedgradert et nivå.

4.2.1 Materialkrav i BREEAM-NOR

Én av totalt ti kategorier i BREEAM-NOR omhandler materialer direkte. Hovedkategorien er betegnet 'Materialer' og omhandler blant annet produktvurderinger, gjenbruk av eksisterende konstruksjoner, ansvarlig innkjøp (sourcing) og robusthet (NGBC 2012). Materialkategorien er delt inn i flere emner. Hvilke emner som er aktuelle avhenger av prosjekttype og ambisjonsnivå. De emnene som er valgt for Fornebu S er vist i tabell 4.1 med tilhørende poeng som prosjektet ønsker å oppnå.

Tabell 4.1: Valgte emner under 'Materialer' for Fornebu S

Emner	Mulige poeng	Målsetning
Mat 1	1. Klimagassberegninger	Ett til tre poeng
	2. LCA	Ett poeng
	3. EPD - Miljødeklarasjoner	Ett poeng
	4. Ytelseskrav til bygningsprodukter	Ett til to poeng
	5. Miljøgifter	<i>Minimumskrav</i>
Mat 5	Ansvarlig innkjøp av materialer	To poeng
Mat 7	Robust konstruksjon	Ett poeng

Alle kravene står beskrevet i den tekniske manualen til BREEAM-NOR. Målsetning, vurderingskriterier, samsvarsnotater og definisjoner er angitt for hvert emne. Nedenfor forklares kriteriene kortfattet og det henvises til den tekniske manualen for mer utfyllende beskrivelser.

Klimagassberegninger

For å oppnå poeng under klimagassberegninger må det gjennomføres en klimagassberegning for materialene i bygget gjennom hele livsløpet til bygget. Det eneste beregningsverktøyet som er godkjent per i dag er Statsbyggs verktøy klimagassregnskap.no, se avsnitt 3.2.1. Referansebygget som danner grunnlaget for redusjon benytter gjennomsnittlig

¹ihht Klifs Prioriteringsliste

europaisk generisk utslippsverdier. I regnskapet for det prosjekterte bygget er det lov å bytte ut de generiske verdiene i klimagassregnskap.no dersom det foreligger dokumenterte produktspesifikke utslipp for de enkelte produktene som brukes i prosjektet. Denne dokumentasjonen må være iht. ISO 14025/EN-NS 15804, og er typisk en EPD. Poengene fordeles etter hvor stor reduksjon som er oppnådd, og er listet på følgende måte:

- **Ett poeng** Klimagassutslippet fra nye materialer i bygget er redusert til 80% i forhold til et referansebygg.
- **To poeng** Klimagassutslippet fra nye materialer i bygget er redusert til 60% i forhold til et referansebygg.
- **Tre poeng** Klimagassutslippet fra nye materialer i bygget er redusert til 50% i forhold til et referansebygg.

LCA

Det oppnås ett poeng dersom det er brukt et *anerkjent* LCA-verktøy for å evaluere minst to bygningselementer i prosjektet. Videre kreves det at resultatet fra LCA-analysen benyttes som beslutningsgrunnlag ved valg av materiale. I den tekniske manualen er det listet tre krav til det *anerkjente* LCA-verktøy som skal benyttes. Verktøyet må ha forankring i utvalgte internasjonale standarder som er basert på LCA-prinsipper, ha minst tre forskjellige miljøindikatorer, deriblant klimagassutslipp, og hele livsløpet skal vurderes, altså fra 'vugge til grav'.

EPD - Miljødeklarasjoner

For å oppnå ett poeng her skal det være innhentet EPD ihht. ISO 14025/EN-NS 15804 for minst ti bygningsprodukter som er benyttet i minst 25% av produktgruppens areal, volum eller vekt. Relevante produkter og produktgrupper er listet i den tekniske manualen. Som et eksempel beskriver manualen at dokumentert gulvbelegg skal utgjøre minst 25% av det totale gulvbelegget i bygget. Det stilles ikke krav til hvor miljøriktige produktene er, bare at miljøpåvirkningene til produktet er dokumentert gjennom de retningslinjene som foreligger. I tillegg til å være ihht. ISO 14025, må EPD-en være sertifisert med signatur fra tredjepart.

Ytelseskrav til bygningsprodukter

Her stilles krav til ytelse for de benyttede bygningsproduktene. For å kunne oppnå poeng i dette emnet må produktene få karakter 1-6 (grønt eller hvitt) for alle miljøområdene i databasen ECOproduct eller være merket med EU-blomst/Svanemerket. Det er mulig å oppnå ett eller to poeng i denne kategorien avhengig av hvor mange produkter som tilfredstiller de gitte kriteriene. Ti produkter gir ett poeng og 15 produkter gir to poeng. Slik som i kravet for fremlegging av EPD, kreves det at de godkjente produktene utgjør minst 25% av produktgruppens totale areal eller vekt.

Miljøgifter

Kravet om nulltoleranse for materialer eller produkter med miljøgifter i bygget er et minimumskrav som må tilfredsstilles for å kunne oppnå en BREEAM-NOR-klassifisering. Kravet er også forankret i det norske lovverket gjennom Produktkontrollloven §3a og TEK10. Listen over aktuelle miljøgifter som har fått tilnavnet *Sjekkliste A20* er basert på prioritetslisten til Klima- og forurensningsdirektoratets (Klif). Disse stoffene er prioritert og målsetningen er å fase ut disse stoffene. Sjekkliste A20 inneholder utvalgte stoffer som er relevante for byggebransjen og er kategorisert etter hvor stoffet finnes i forskjellige materialer og produkter. Det er beskrevet hvilke type dokumentasjon som er godkjent for å sikre at miljøgiften ikke finnes i bygget. I utgangpunktet skal nødvendig informasjon finnes fra produktets sikkerhetsdatablad. For faste byggeprodukter uten sikkerhetsdatablad kan det bli benyttet EPD med angivelse av stoffinnhold, merking av SINTEF Teknisk godkjenning eller Svanen/EU-blomst (Bramslev 2013).

Ansvarlig innkjøp av materialer

For å kunne oppnå to poeng i dette emne er det krav om at 80% av de viktigste bygningsdelene er innkjøpt på en ansvarlig måte. Det er spesifisert hvilke bygningsdeler dette gjelder og tilhørende relevante materialer. *Ansvarlig innkjøp* vil i denne sammenheng si at produktet kommer fra en sertifisert leverandørkjede. Sertifiseringssystemene som blir kreditert er ulike miljøledelsessystemer som EMAS, ISO 14001 og Miljøfyrtårn og etablerte sertifiseringsordninger som PEFC og FSC. Dette gjelder altså miljøsertifisering av leverandør og/eller produsenten, ikke selve produktet.

Robust konstruksjon

Kravet har som målsetning at utsatte deler av bygningen gjennom en robust konstruksjon vil få forlenget levetid og dermed redusere utskiftning av materialer til et minimum. Tre hovedområder er definert som utsatte deler. Disse er deler av bygningen utsatt for fukt-skader, samt ute- eller inneområder med trafikkbelastning. For å oppnå ett poeng i denne kategorien er det krav om dokumentasjon av de holdbarhets- og beskyttelsestiltakene som er iverksatt.

4.3 Ansvarsfordeling

For å kunne oppnå en så ambisiøs målsetning som BREEAM Outstanding mener miljørådgiver Kjersti Folvik hos Multiconsult at en av de viktigste og første forutsetningene for å lykkes er et klart og tydelig krav fra byggherren (Folvik 2012). Allerede tidlig i prosjektet ble det også klart at et viktig suksesskriterium var at alle i prosjekteringsteamet hadde nødvendige kunnskaper, samt at en BREEAM-vurdering måtte foretas i tidligfase. KLP har tatt konsekvensene av dette ved at det helt fra start er involvert miljørådgivere med BREEAM-kompetanse (Lyngstad 2012a).

I avtaledokumentet for totalentreprisen står Skanska ansvarlig for sertifiseringsprosessen, samt for å videreføre, videreutvikle og dokumentere alle miljøkrav i henhold BREEAM-NOR, utenom det som spesifikt er underlagt byggherren. Skanska står videre ansvarlig for at kjøpesenteret oppnår ønsket klassifisering BREEAM-NOR Outstanding,

både ved designfaserapport og 'as built'. Likefullt er det stort fokus på at et tett samarbeid og riktig ansvarsfordeling mellom de to aktørene er viktige forutsetninger for prosjektet. All BREEAM-dokumentasjon for prosjektet skal leveres av revisor innen fire uker etter overlevering.

Skanska har valgt å organisere prosjektet på en slik måte at det er enklere å følge opp prosjektets miljøkrav. Det er tatt inn spesialkompetanse i prosjektteamet gjennom to ressurspersoner som jobber fulltid med BREEAM. Heidi Lyngstad er klima- og miljørådgiver og leid inn fra Skanska Teknikk som BREEAM-AP og rådgivende ingeniør miljø. Hun har bred erfaring innen miljøfaget, særlig innen materialvalg og fuktsikkerhet. BREEAM-AP/RIM vil ha hovedansvaret for miljøoppfølgingen på prosjektet, inkludert oppfølging av BREEAM-krav og -dokumentasjon, og vil samtidig virke som internrådgiver i prosjektet innen fagområder som materialvalg, avfall o.a. (Lyngstad 2012a). Sammen med projektingeniør Unni Husby Nerdal har hun ansvaret for BREEAM-arbeidet i både prosjekteringsfasen og ute på byggeplassen.

KLP som byggherre har en egen miljøansvarlig og Skanska krever at det oppnevnes en miljøansvarlig hos alle andre relevante aktører (Lyngstad 2012a). For å lykkes kreves det et tett samarbeid mellom KLPs miljøansvarlig og Skanskas miljørådgivere og de øvrige miljøansvarlige for å sikre fokus på prosjektets miljømålsetninger gjennom hele prosjekteringen og byggeprosessen.

4.4 Miljøløsninger

For å tilfredsstille kravene til BREEAM Outstanding har prosjektet gjennomført en rekke tiltak innenfor de gjeldene kategoriene i BREEAM. Utover materialkravene og de minstekravene nevnt ovenfor har Fornebu S blant annet strenge krav til energieffektivitet, inneklima, avfallshåndtering, vann, transport og arealbruk. Det er i hovedsak summen av mange tiltak som gjør prosjektet til et miljøprosjekt. Nedenfor er det listet opp noen eksemppler på synlige miljøtiltak i det ferdige bygget (Lyngstad 2012a).

- Bruk av materialer med svært lave emisjoner
- Materialvalg med fokus på naturlige materialer som tre og stein
- Fuktsikkerhetstiltak tilsvarende teltbasert tildekking
- Solcelleanlegg på 2000 m²
- Løsninger som minimerer vannforbruket i bygget, samt oppdager en eventuel lekkarsje tidlig
- 95% avfallssorteringsgrad
- Informasjons- og læringsstasjoner i det ferdige bygget inkludert synlige energimålere

4.5 Oppgavens relevans til Fornebu S

En del av kravet for å oppnå BREEAM Outstanding er at prosjektet skal levere en prosjektrapport og fungere som referansebygg for senere prosjekter. Ettersom tidligere erfaringer med denne typen miljøprosjekter er svært lite utbredt, både i bransjen og i Skanska, var det et ønske om å kunne dokumentere noen av de relevante erfaringene prosjektet opparbeider seg. Undertegnede ble derfor involvert i prosjektet i starten av januar 2013 for å kartlegge bruken av lavkarbonbetong i prosjektet. Bruken av lavkarbonbetong inngår direkte i anskaffelse av BREEAM-NOR poeng, og har sitt største bidrag under materialkriteriene som stilles. Dette gjelder spesielt reduksjon av klimagassutslippet. Fra tidligere erfaringer med bruk av lavkarbonbetong er det erfart at denne typen betong har gunstig innvirkning på miljøet og gir andre utfordringer i produksjon. Det var derfor ønskelig å kartlegge og beskrive dette nøyere. Oppgaven skal se på prosjektets klimaeffekt ved bruk av lavkarbonbetong, samt hvilke utfordringer det gir for prosjektet totalt sett med tanke på produksjon og fremdrift.

5 Materialer

Ressursbruk og materialer til produksjon av betong utgjør en vesentlig del av betongens karbonavtrykk. Betong kan produseres i store mengder fordi det består av materialer som er lett tilgjengelig i nesten hele verden. Samtidig kan betong benyttes på forskjellige måter, og egenskapene kan tilpasses etter ulike behov. Dette gjør betong allsidig. Betongens delmaterialer og bruksområder er presentert med fokus på miljø.

5.1 Betongens delmaterialer

5.1.1 Sement

Kalkstein er det viktigste råmaterialet i produksjon av sement (HeidelbergCement 2012). Kalkstein utvinnes i gruver, transporteres til sementfabrikken og knuses til fint pulver og tilsettes jern, silika og aluminium. Dette pulveret kalles råmel. Råmelet brennes i roterovn og omdannes til klinker gjennom en kjemisk prosess. Denne prosessen kalles ofte kalsinering av kalkstein og er den prosessen som bidrar mest til sementens CO₂-utslipp. Klinkeren males og tilsettes gips og eventuelt andre tilsetningsmaterialer som kalk, slagg og flygeaske. Sementen er nå klar til bruk og lagres på siloer eller transporteres til kunder.

Sement består i hovedsak av fire klinkermineraler. Disse klinkermineralene gir ulike bidrag til sementpastaens varmeutvikling, struktur og styrkeutvikling. De fire klinkermineralene er vist i tabell 5.1, og påvirker hydratiseringen på forskjellig måte. Reaksjonen for alite er vist i (5.1) og viser hovedprinsippet til hydratiseringen. Sement og vann danner altså to produkter, C-S-H-gel og kalsiumhydroksid (CH).

Tabell 5.1: Klinker i Portlandsement

Navn	Kjemisk formel	Symbol	Grunnstoff
Alite	3 CaO * SiO ₂	C ₃ S	Kalsium, silisium og oksygen
Belite	2 CaO * SiO ₂	C ₂ S	Kalsium, silisium og oksygen
Aluminate	3 CaO * Al ₂ O ₃	C ₃ A	Kalsium, aluminium og oksygen
Ferrite	4 CaO * Al ₂ O ₃ * Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	Kalsium, aluminium, jern og oksygen



C-S-H-gel utgjør rundt 70 vekt-% av fullt hydratisert sementpasta (Jacobsen, Mork, Bjøntegaard, Smeplass & Maage 2009). Det er i hovedsak denne gelen som bestemmer egenskapene til bindemiddelet og er med på å gi betongen styrke. CH utgjør rundt 20 vekt-% og gjør betongen basisk. I tillegg består den hervede sementpastaen av porer i forskjellige størrelser og uhydratisert sement. Mikrostrukturen i betongen bestemmer i hovedsak betongens bestandighet og fasthet. Den blir påvirket av mange forhold, og bestemmes blant annet av bindemiddelsammensetningen, herdeforhold og forholdet mellom vann, sement og tilsetningsmaterialer.

Hydratiseringen utvikler varme og gjør at betongen går fra bløt, fersk tilstand til avbinding og herding. Betongen har først en avbindingsperiode der den går fra plastisk til hard tilstand. Etter dette starter betongen å utvikle mekaniske egenskaper som fasthet og bestandighet. I denne perioden er varmeutviklingen høy og hydratiseringen skjer raskt. Senere avtar reaksjonshastigheten, og egenskapsutviklingen blir mer langsom. Varmeutviklingen vil også avta og betongen vil avgi varme til den har lik temperatur som omgivelsene.

5.1.2 Tilslag

Tilslag er etter NS-EN 206 *Betong - Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar* definert som kornet, mineralsk materiale som er egnet til bruk i betong. Tilslag kan være naturlig, kunstig eller av resirkulert byggemateriale. Tilslag defineres innenfor tre kategorier; normalt tilslag, lett tilslag og tungt tilslag etter ovntørr densitet bestemt i henhold til NS-EN 1097 *Prøvmåter for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag Del 6: Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon*.

Tilslag er fellesbetegnelsen på flere steinmaterialer med ulik størrelse og gradering. De mest vanlige betegnelse i Norge er sand, grus, stein og pukk. De mindre komponentene som sand og grus kommer fra naturlige forekomster av løsmasser. De større komponentene, som pukk, er vanligvis knust fjell, men kan også forekomme i naturlig i form av singel. Tilslag lages derfor av ikke-fornybare ressurser og utvinning av tilslag gir store inngrep i naturen. Forekomsten varierer etter geologi og geografi. Norge har for eksempel mye stein, men mindre av sandforekomster (HeidelbergCement 2012). Fra uttakene blir råvarene transportert til et produksjonsanlegg og der blir komponentene siktet og knust ned til ønskelige størrelser og fraksjoner. Tilslaget består vanligvis av 65-75% av betongens volum (Byggforsk 2012).

HeidelbergCement er den største produsenten av tilslag i både Norden og i resten verden (HeidelbergCement 2012). De mener at fremover vil hovedfokuset være på knuste produkter. Knuste produkter vil måtte erstatte naturlige forekomster av sand og grus. Sand og grus er allerede mangelvare i dag. Den største utfordringen med bruk ved av knuste produkter fremfor naturlige er at knuste produkter krever mer sement og at støpeligheheten blir noe redusert (HeidelbergCement 2012). En av fordelene med knust tilslag er at det er mulig å velge den best egnede bergarten (Byggforsk 2012).

Fra HeidelbergCement sine produksjonsstall for tilslag vises det at største miljøpåvirkningen ved produksjon av tilslag kommer fra energiforbruket fra drivstoff og elektrisk strøm i produksjon og transport (HeidelbergCement 2012). Tilsammen utgjør både indirekte- og direkte utslipp 0,062 kg CO₂/tonn produkt i 2011. Dette er lite sammenlignet med sement som har utslippstall på 867 kg CO₂/tonn klinker samme år.

5.1.3 Tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoff er etter NS-EN 206 *Betong - Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar* definert som materiale som tilsettes under blanding i små mengder i forhold til sementmengden for å endre egenskapene til fersk eller herdet betong. Tilsetningsstoffene

består av vannløselige organiske og uorganiske salter og forbindelser i fast eller flytende form (Byggforsk 2010). Stoffene virker inn på egenskapene til sementpastaen enten kjemisk eller fysisk. Hovedmengden av tilsetningsstoff, rundt 90%, er plastiserende eller superplastiserende tilsetningsstoffer og brukes for å forbedre støpeligheten til fersk betong uten å endre egenskapene i herdet tilstand (Byggforsk 2010). Etter NS-EN 932-1 *Tilsetningsstoffer for betong, mørtel og injiseringsmasse* er det definert elleve typer tilsetningsstoffer. I tabell 5.2 er det kun spesifisert de mest vanlige tilsetningsstoffene (Byggforsk 2010). Tilsetningsstoffer blir tilsatt i veldig små mengder i forhold til resten av bestanddelene i betongen. Dette gjør at de har mindre innvirkning på klimagassutslippet.

Tabell 5.2: Vanlige tilsetningsstoffer

Klasse	Material beskrivelse	Hovedvirkning	Andre virkninger	Bruk
Plastiserende (super-) (SP/P-stoff)	Organisk langkjededede polymerer	Øker el. beholder støpeligheten uten øke el. redusere vanninnholdet	Retarderende effekt og øker faren for separasjon ved overdosering.	Forbedret endring støpelighet uten i fasthet.
Luftinnførende (L-stoffer)	Syntetiske tensider eller treharpikser løst i vann	Tilfører mange små jevnt fordelte luftbobler i herdet betongen	Redusert fasthet. Forbedrer støpelighet.	Frostbestandig betong. Forbedret støpelighet.
Størkningsakselerator	Kalsium-nitrat	Forkorter størkningstiden. Virker mens betongen er plastisk.	Reduserer langtidsfastheten ved store mengder alkalier.	Redusert formtrykk Nødvendig tidlig overflatebehandling.
Herdningsakselerator	Natrium-thiocyanat	Raskere fasthetsutvikling. Virker etter at betongen har størknet.	Reduserer langtidsfastheten ved store mengder alkalier	Tidligere riving av forskallingen. Kompensere for lav temperatur eller store mengder tilsetningsstoff.

5.1.4 Tilsetningsmaterialer

I oppgaven er substitusjonsmaterialer og tilsetningsmaterialer definert som det samme, og prosentmengden substitusjonsmaterialer er masseprosent av total bindemiddelmengde.

I NS-EN 206 *Betong - Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar* defineres et tilsetningsmateriale som et finfordelt materiale som brukes i betong for å forbedre visse egenskaper eller for å oppnå spesielle egenskaper. Videre deles tilsetningsmaterialer inn i to hovedgrupper av uorganiske tilsetningsmaterialer.

- Type 1: tilnærmet innerte tilsetningsmaterialer
- Type 2: pozzolaner eller latent hydrauliske tilsetningsmaterialer

Mineralsk filler og pigmenter er eksempler på innerte tilsetningsmaterialer og inngår ikke i den kjemiske reaksjonen som skjer under hydratiseringen. De mest vanlige pozzolanene er flygeaske og silikastøv. Slagg er et eksempel på et latent hydraulisk materiale. Disse tilsetningsmaterialene kan tilsettes sementen ved produksjon eller direkte i betongblandingen.

Pozzolaner kan deles inn i naturlige og kunstige pozzolaner, der vulkansk aske og flygeaske er henholdsvis et naturlig og kunstig pozzolan. Vulkansk aske er kjent som det originale pozzolanet, men grunnet et veldig høyt vannbehov er det ikke så mye brukt i dag. Et pozzolan defineres som et materiale som i seg selv ikke har noen sementlignende egenskaper, men vil ved en viss finkornethet og ved tilstedeværelse av fukt, reagere kjemisk med kalsiumhydroksid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ved normale temperaturer og forme komponenter ved sementlignende egenskaper (Neville 1995). Pozzolaner er ikke hydrauliske materialer og vil derfor ikke reagere med vann i seg selv, men med $\text{Ca}(\text{OH})_2$ som er et av reaksjonsproduktene fra sementhydratiseringen. Prinsippet for pozzolanreaksjonen er vist i (5.2).



Det er altså silika i pozzolanen som reagerer med kalsiumhydroksid og danner C-S-H-gel.

Flygeaske og silikastøv er begge pozzolaner og vil derfor i prinsippet virke på betong på lik måte, men det er imidlertid to viktig hovedforskjeller: partikkelstørrelse og renhet. Silikastøvpartiklene er mye mindre enn flygeaske og inneholder mer SiO_2 . Reaksjonshastigheten og graden av påvirkning vil derfor variere ved bruk av silikastøv og flygeaske.

5.1.5 Flygeaske

Flygeaske er et restprodukt fra produksjon av elektrisitet ved kullkraftverk. Flygeaskepartiklene er kuleformede, glassaktige partikler med størrelsesorden mellom $1 \mu\text{m}$ og $100 \mu\text{m}$. Noen av partiklene er hule og inneholder ofte et reir av mindre partikler (Jacobsen et al. 2009). Beskrivelsen av flygeaske er bestemt av NS-EN 450-1 *Flygeaske for betong - Del 1: Definisjon, spesifikasjoner og samsvarskriterier*. De største produsentene av flygeaske er Kina, India, USA, Russland, Tyskland, Sør-Amerika og Storbritannia. Det produseres rundt 500 millioner tonn flygeaske per år på verdensbasis (Mehta & Monteiro 2006). I Norge finnes flygeaske iblandet sementen eller som ren flygeaske tilgjengelig på silo i Brevik. Norcem er leverandør av både flygeaskesementer og ren flygeaske.

Flygeaske inneholder rundt 50% silisiumdioksid SiO_2 , rundt 30% aluminat Al_2O_3 , samt noe kalsiumoksid CaO . Den mineralske sammensetningen og egenskapene til flygeaske er bestemt av kullets forbrenningsgrad, og flygeaske kan derfor deles inn i to hovedgrupper etter innhold av kalsium (Caldarone 2009). Flygeaske med innhold av kalsiumoksid mindre enn 8-10% blir betegnet som lavkalsium-flygeaske og kommer fra kull sammensetning av bituminous kull. Høykalsium-flygeaske inneholder over 20% kalsiumoksid og er fra sub-bituminous kull (Caldarone 2009). Kvaliteten og egenskapene til flygeaske varierer derfor med kull sammensetningen og produksjonsprosessen. Den mest brukte er lavkalsium-flygeaske. Etter NS-EN 450-1 skal flygeaske inneholde mindre enn 10% reaktivt kalsiumoksid og derfor blir lavkalsium-flygeaske kun diskutert videre. Norcem leverer flygeaske med reaktivt kalsiumoksidinnhold på 4-6%. Grunnet det lave innholdet av kalsiumoksid

har flygeaske derfor ingen hydrauliske egenskaper, men går under kategorien pozzolan. Flygeaske inneholder noe karbon, som lager en mørkere farge enn ved bruk av ren sement. Vanlig erstatningsmengde for sement er 20-35% (Jacobsen et al. 2009).

5.1.6 Effekt ved bruk av flygeaske

Effekt ved bruk av flygeaske må ses i sammenheng med hvordan flygeaske blir benyttet i betongen. Når flygeaske blandes direkte i betongen benyttes en k -verdi for flygeaske som regulerer innregningen av flygeaske i masseforholdet, se avsnitt 6.3 og 6.4.1 for videre forklaring av k -verdi for flygeaske. Betonger med flygeaske får forskjellige egenskaper avhengig av om den blir tilsatt eller erstatter sementmengden, fordi dette gir forskjellige effektive masseforhold. Med tanke på lavkarbonbetong er det ønskelig å erstatte sementen med flygeaske for å redusere karbonavtrykket, og effekten ved bruk av flygeaske er beskrevet nedenfor med tanke på erstatning. Flygeaske kan også erstatte klinker i produksjon av sement, og produktene blir malt sammen til en blandingssement. Norcem Standardsement FA med 20% flygeaske er tilpasset for å ligne på Norcem Standardsement. Sementen er finmalt for å kompensere for den lave reaksjonshastigheten til flygeaske i tidlig fase. Dette gjør at disse to sementene er like med tanke på støpelighet og tidlig fasthetsutvikling ved normale temperaturer (Jacobsen et al. 2009). Betonger med denne typen blandingssement gir bedre stabilitet, grunnet økt finstoffmengde.

Støpeligheten vil bli påvirket av variere bindemiddelmengden, som er avhengig av valgt k -verdi. Flygeaske har massetetthet på rundt 2200 kg/m^3 , og sement på rundt 3150 kg/m^3 . Ved erstatning av sement med flygeaske i prosent av massen vil derfor finstoffvolumet øke. Normalt vil en betong med flygeaske ha de samme støplighetsegenskapene som betong uten flygeaske. Den største forskjellen er at betonger med flygeaske blir mer stabile, grunnet høy finstoffmengde, men det er liten forskjell i synk. Bedre stabilitet fører til mindre tendenser til bleeding og gjør betongen gunstig for pumping. Redusert bleeding fører til økt fare for plastisk svinn (Bamforth 2004). Flygeaske forsinker avbindingstidspunktet og kan føre til økt formtrykk (Bamforth 2004).

Flygeaske reagerer med hydratiseringsproduktet, kalsiumhydroksid, samtidig som flygeaske har en lavere reaksjonshastighet. Derfor må en betong med flygeaske som erstatning for sementen ha et lavere masseforhold for å oppnå samme 28-døgnsfasthet (Bamforth 2004). Flygeaske gir en lavere tidligfasthetsutvikling, men vil gi en høyere langtidsfasthet. Grunnet den langsomme reaksjonshastigheten vil betong med flygeaske ha lavere varmeutvikling (Bamforth 2004, Neville 1995). Den totale varmeutviklingen i betongen vil også reduseres. På denne måten reduseres temperaturdifferansen over betongtverrsnittet. Flygeaske kan derfor redusere faren for riss ved herding.

Flygeaske vil i hovedsak påvirke betongen gjennom pozzolanreaksjonen. Den vil altså reagere med hydratiseringsproduktet kalsiumhydroksid og danne C-S-H-gel. Flygeaske vil derfor påvirke betongens porestruktur. Effekten vil være tydelig først etter lengre tid, da gjerne et par måneder.

Betonger med flygeaskesementer har vist dårligere bestandighet mot karbonatisering, spesielt ved innhold av flygeakse over 20% (von Greve-Dierfeld 2013). Betonger med flygeaske har vist god bestandighet mot sulfatangrep (Bamforth 2004, Neville 1995). Flygeaske

inneholder en del alkalier, men øker likevel ikke faren for alkalie-silika-reaksjonen. Dette er fordi pozzolanreaksjonen binder alkalier. Det vil altså være en netto reduksjon av frie alkalier i betongen. Den økte bruken av flygeaske i Norge har derfor bidratt til å redusere problemer med alkalie-silika-reaksjonen. Betonger med flygeaske har også vist god motstand mot kloridinntrengning (Bamforth 2004).

5.1.7 Silikastøv

Silikastøv er et meget finkornet mineral bestående av glassaktige, kuleformede partikler av silisiumdioksid SiO_2 på rundt 90% (Jacobsen et al. 2009). Det er et restprodukt fra fremstilling av silisium og ferrosilisium (Caldarone 2009). Finheten gjør silikastøv veldig reaktivt og øker samtidig reaksjonshastigheten med kalsiumhydroksid. Silikastøv har en høy markedsverdi grunnet erkjennelse av stor positiv innvirkning på styrken og bestandigheten. Prismessig er silikastøv litt dyrere enn sement. Beskrivelsen av silikastøv er gitt av NS-EN 13263-1 *Silikastøv for betong - Del 1: Definisjoner, krav og samsvarskriterier*. Silikastøv har også varierende fysiske egenskaper og kjemisk sammensetning avhengig av råmaterialet og prosessen som blir brukt. Partiklene har en diameter på $0,1 \mu\text{m}$, i størrelsesorden 1/100 av sementpartiklene. Fargen på silikastøv avhenger av produksjonsprosessen. Ovner med effektiv varmegjenvinning gjør at silikastøv får mindre innhold av karbon, og dermed blir fargen lysere enn for et høyere innhold av karbon. Dette påvirker fargen til betongen, da det er vanlig at betong med silikastøv har en noe mørkere farge enn for vanlig sement i tidlig alder. Av ukjente årsaker vil imidlertid fargen bli noe lysere etter noen uker (Neville 1995).

I Norge har silikastøv tidligere blitt rutinemessig brukt, men i dag er silikastøv nesten bare brukt i betong som er eksponert for klorider. Statens Vegvesen krever silikastøv i alle sine betonger for å beskytte mot inntrengning av vegsalt. Vanlig erstatningsmengde for sement er opptil 10% (Jacobsen et al. 2009). Grunnet den lave erstatningsmengden har silikastøv begrenset potensiale med tanke på betongens karbonreduksjon. Det er ikke vanlig å ha silikastøv iblandet sementen i Norge, og blir derfor direkte tilsatt i betongblandingen.

5.1.8 Effekt ved bruk av silikastøv

Silikastøv finnes som rent tilsetningsmateriale i Norge og kan enten erstatte sementen eller bare tilsettes betongen.

I tillegg til å være et pozzolan, påvirker silikastøv betong i fersk og herdet tilstand med sin høye finhet. I hovedsak fører silikastøv til en høyere tidligfasthet og en lavere permeabilitet enn for betong med kun sement (Neville 1995). Grunnet den høye finheten har silikastøv et høyere vannbehov enn sement og blir derfor alltid benyttet sammen med superplastiserende tilsetningsstoffer for å opprettholde samme støpelighet (Bamforth 2004). Denne tendesen er størst ved tilsetning. For 1:1 erstatning av sement vil silikastøv bidra til å redusere støpeligheten i mindre grad. Dette gjelder spesielt for lave betongkvaliteter. Silikastøv og co-polymerbaserte tilsetningsstoffer gir betongen god stabilitet. Dette fører også til redusert bleeding og betongen vil ha bedre motstand mot separasjon, samtidig øker pumpbarheten. Dette er en god kombinasjon for å få en SKB, se avsnitt 5.2.2,

tilstrekkelig stabil.

De små partiklene vil legge seg mellom sementpartiklene og i overgangen mellom sementpastaen og tilslaget. Denne overgangen kalles ITZ-sonen og er betongens svake punkt. Silikastøv vil redusere porøsiteten i overgangssonen. Det vil samtidig foregå en pozzolanreaksjon som gjør overgangen tettere og sterkere. Dette fører til at overgangssonen ikke lenger er et like svakt punkt i betongen med tanke på styrke og permeabilitet. Den høye finheten vil også føre til økende hydratiseringshastighet i tidlig alder og vil dermed øke tidligfastheten. Silikastøv har også en fillereffekt, fordi den ved 1:1 erstatning av sement binder to ganger så mye vann. Økningen i tidligfastheten, grunnet bedre pakning og effekten av høy finhet, kan vare opptil en uke, men vil med tiden stoppe opp. Pozzolaneffekten vil imidlertid kunne foregå kontinuerlig over en lengre periode. Selv om silikastøv vil redusere permeabiliteten, grunnet en finere kapillærporestruktur, vil det totale porevolumet øke litt ved erstatning 1:1. Den fine kapillærporestrukturen vil også øke selvuttørkingen.

Silikastøv reduserer også alkalieinnholdet i porevannet ved å binde opp alkalier gjennom pozzolanreaksjonen. På denne måten forbedrer silikastøv betongens bestandighet mot alkalie-silika-reaksjonen (Bamforth 2004). Silikastøv har også vist god bestandighet mot sulfat-angrep. Silikastøv gir god bestandighet mot kloridinntrengning, spesielt ved lave masseforhold. For samme 28-døgnsfasthet vil betong med silikastøv ha samme motstand mot karbonatisering som betong uten silikastøv, men for samme masseforhold er det vist økt karbonatisering (Bamforth 2004).

5.1.9 Slagg

Slagg er et restprodukt fra stålindustrien, der 300 kg slagg produseres for hvert tonn stål (Neville 1995). Slagg inneholder rundt 35-40% CaO og 33-43% SiO₂ (Jacobsen et al. 2009). Slagg blir bråkjølt fra høy til lav temperatur ved hjelp av vann eller med en kombinasjon med luft (Mehta & Monteiro 2006). Slagg som blir avkjølt med vann har partikkelstørrelse tilnærmet sandpartikler, mens ved nedkjøling i kombinasjon med luft, blir partikkelstørrelsen noe mindre. Den mest vanlige metoden er med vann. For å unngå krystallisering av ikke-reaktive komponenter må slagg bråkjøles på denne måten. Kvaliteten på slagg vil derfor variere med produksjonsprosessen og råmaterialet som blir brukt. Slagg males ned til et pulver med størrelsesorden noe mindre enn sement, og dette gir slagg en kantet form (Caldarone 2009). Beskrivelsen av slagg er bestemt av NS-EN 15167-1 *Slagg for betong, mørtel og injiseringsmasse*.

Slagg er et latent hydraulisk materiale som vil si at slagg ikke kan reagere med vann alene uten at prosessen aktiveres. Dette gjøres normalt ved hjelp av kalsiumhydroksid, som frigis under sementhydratiseringen, eller tilsatt kalsiumsulfat (Jacobsen et al. 2009). For sement med iblandet slagg vil sementen reagere først, og slagget reagere senere med kalsiumhydroksid og danne C-S-H-gel (Neville 1995). Slagg har en noe lysere farge enn sement, og vil derfor endre noe på fargen til betongen. Den vil bli noe lysere og mer gulaktig. Vanlig erstatningsmengde for sement er 30-65% (Jacobsen et al. 2009). I Norge er det ikke vanlig med rent slagg, og finnes bare iblandet i sementen, altså som slaggsementer.

5.1.10 Effekt ved bruk av slagg

Slaggsementene er finmalte og i fersk tilstand vil slaggsementer gi økt viskositet. Dette kan føre til krav om økt synk for å opprettholde samme støpelighet. Slaggsementer øker også stabiliteten, og gir dermed redusert bleeding og separasjon. Pumpbarheten til betong med slagg er derfor god. Den ferske betongen vil også bli mer sensitiv for variasjoner i vannmengden ved bruk av slaggsementer enn for ren sement (Neville 1995).

Slaggsementene er relativt finmalte for å gi tilstrekkelig reaksjonshastighet. Egenskapene til slaggsementer avhenger sterkt av finheten og mengden alkalier i sementen. Økt mengde av løselige alkalier og økt finhet av sementen vil øke fasthetsutviklingen, den blir altså mer rapid. Den gradvise utfellingen av alkalier kombinert med kalsiumhydroksid fra hydratiseringen av sement, vil føre til at slagg reagerer kontinuerlig over en lang periode. Dette fører til høye langtidsfastheter (Neville 1995).

Sement med høyt innhold av slagg kan redusere tidligfasthetsutviklingen (Bamforth 2004). Det kan bli kritisk ved lave støpetemperaturer. Under 10° er styrkeutviklingen spesielt lav, og bruk av slagg vil derfor være kritisk (Neville 1995). Betonger som inneholder slagg vil også være mindre ømfintlige for herding ved høye temperaturer.

Slaggsementer vil totalt sett inneholde mer silika enn ren sement, og det vil føre til at det produseres mer C-S-H-gel. Dette gjør at porestrukturen blir tettere (Neville 1995). Det er vist at betonger som inneholder slagg har god motstand mot kloridinntrengning, grunnet effekten av at flere porer blir fylt med C-S-H-gel. Denne forbedringen i porestrukturen, og det lave innholdet av kalsiumhydroksid, bidrar også til bedre motstand mot sulfatangrep, samt en bedre motstand mot alkalie-silika-reaksjonen (Bamforth 2004). Betonger med slaggsementer har vist dårligere bestandighet mot karbonatisering, spesielt ved innhold av flygeakse over 20% (von Greve-Dierfeld 2013, Bamforth 2004).

Slagg har vist dårlig motstand mot fryse-tine-sykluser (Jacobsen et al. 2009). Den dårlige frostmotstanden er grunnet et litt grovere luftporesystem. Slaggbetonger er derfor mer utsatte for avskalling (Bamforth 2004).

5.2 Betongtyper

5.2.1 Lavkarbonbetong

Med økende krav til energi- og karbonregnskap fra byggherren for byggeprosjekter er det oppstått et nytt begrep som omtaler betonger med redusert miljøpåvirkning: lavkarbonbetong. Dette begrepet er ikke entydig definert og skaper forvirring i bransjen. Norcem var tidlig ute med lansering av en lavkarbonsement, men har ingen videre definisjon av lavkarbon, unntatt at den bør tilfredsstillende de to mest benyttede definisjonene i bransjen. Disse er direkte knyttet til utslipp av klimagasser eller substitueringsgrad av sement (Ollendorff 2012):

- Utslipp av klimagasser mindre eller lik 500 kg CO₂ per tonn sement
- Substituering av flygeaske mer enn 30% av sementmengden

NorBetong er en av Norges største ferdigbetongprodusenter og er, som Norcem, et datterselskap av HeidelbergCement. NorBetong er også en av få betongprodusenter som er miljøsertifisert i ISO 14001 (NorBetong 2012). I samarbeid med Norcem har NorBetong utviklet to lavkarbonklasser med grenseverdier for utslipp av klimagasser for ulike bestandighetsklasser (NorBetong 2012). Klassene er vist i tabell 5.3. Grenseverdiene er basert på FABEKOs EPD-modell og omfatter alt fra råvarer, transport og produksjon (Ollendorff 2012).

Tabell 5.3: NorBetongs lavkarbonklasser [CO₂-utslipp i kg/m³ betong]

Lavkarbonklasser	B25 M60	B35 M(F)45	B45 M(F)40
LavKarbon A	200	210	230
LavKarbon B	220	250	270
Referanse	336	391	415

Lavkarbonbetong i klasse A er til prosjektlevering og er basert på Norcem Lavkarbonsement eller flygeaskesement med ekstra flygeaske. De er henholdsvis egnet for bestandighetsklasse M60 og M(F)45 eller M(F)40. Disse verdiene er satt etter hva som er mulig å oppnå i dag, men det forutsetter et avvik fra standarden, se avsnitt 6.4.4. Det er materialstandard NS-EN 206-1 som gir regler for slik erstatning. Lavkarbonbetong i klasse B er nesten lik NorBetong sine standardresepter basert på standard flygeaskesement. Lavkarbonbetong i klasse B kan per i dag leveres fra alle betongfabrikker som benytter seg av sement fra Norcem Brevik. Referanseverdiene kommer fra klimagassregnskap.no, se avsnitt 3.1.2 og 7.1, og er basert på europeiske utslippstall.

Norsk Betongforening har nedsatt en komité som jobber med en felles bransjedefinisjon av lavkarbonbetong. Komiteen består av representanter fra entreprenører, rådgivere, interesseorganisasjoner og sement- og betongleverandører. Publikasjonen 37 om lavkarbonbetong kommer ut i løpet av 2013, og er en overordnet definisjon av lavkarbonbetong. Definisjonskravet er bestemt ut fra karbonavtrykket til betongen. Publikasjonen blir delt i to deler, del A Spesifikasjoner og del B Veiledning. Del A tar for seg de nye lavkarbonklassene og gjeldende forutsetninger. Del B tar for seg gjeldende regler og standarder, FABEKOs EPD-kalkulator, klimagassregnskap.no, proporsjonering, produkter, regionale forskjeller og tekniske egenskaper.

5.2.2 Selvkomprimerende betong

Selvkomprimerende betong (SKB) kjennetegnes ved at den kan flyte ut i formen og rundt armering under sin egen vekt og uten at det oppstår separasjon (Geiker 2008). SKB trenger derfor ikke komprimeres med vibrering og må ha gode flyteegenskaper som gjør dette mulig. For å oppnå en betong med selvkomprimerende effekt må det være et større matriksvolum enn for vanlig betong. Matriksen må være stabil og ha god flyteevne. Dette oppnås ved lav flytemotstand og høy viskositet. For å oppnå denne konsistensen har SKB høyt finstoffinnhold, som enten er sand, sement eller tilsetningsmaterialer, i kombinasjon med plastiserende tilsetningsstoffer. Høyt finstoffinnhold kommer fra enten tilsetning av

ekstra finstoff eller som erstatning av større tilslagskomponenter. SKB har også normalt redusert steinstørrelse (Jacobsen et al. 2009). Finstoff har forskjellige egenskaper og er avhengig av type finstoff, partikkelstørrelsesfordeling, partikkelform og mineralogi. Sement har vist gode filleregenskaper, men dersom sement blir brukt som finstoff øker også karbonavtrykket til betongen. Dette er ikke gunstig i et miljøperspektiv. Lavkarbonbetong får økt finstoffmengde grunnet flygeaskeinnholdet og dette vil bidra til økt stabilitet. Lavkarbonbetong og SKB er derfor en gunstig kombinasjon.

Med sin selvkomprimerende effekt bidrar SKB til økt produktivitet og bedre arbeidsforhold på byggeplassen, da komprimeringsarbeidet ikke lenger er nødvendig.

5.3 Bruksområder

5.3.1 Plasstøpt betong

Ferdigbetong eller plasstøpt betong som blir levert brukes i fersk tilstand på byggeplassen. Tidligere var det mer vanlig å blande betongen selv på plassen, men på starten av 1900-tallet ble det første blandeverket etablert i Tyskland (Jahren 2011). I 2009 ble det trolig produsert over 8 milliarder m³ ferdigbetong årlig på verdensbasis (Jahren 2011). Sammenlignet med Norge ble det i 2011 produsert rundt 3,5 millioner m³ ferdigbetong (Magerøy 2011). I figur 5.1 og 5.2 vises omtrentlig fordelingen av den norskproduserte betongen i 2011 fordelt på fasthetsklasser og bestandighetsklasser. Plasstøpt betong kan brukes overalt; i offshorekonstruksjoner, bærende konstruksjoner på land, til vei og infrastruktur eller mindre fundamentering og støttemurer.

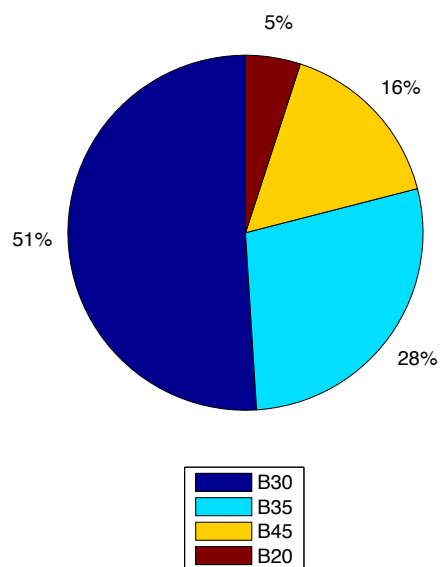
Ferdigbetong har den fordel at utformingen på konstruksjonen er nesten uten begrensning. Samtidig finnes mange forskjellige typer betong som har forskjellige egenskaper etter ønsket bruksmåte. Betong kan tilpasses etter hva som gir gunstigst støpelighet eller fasthet. Samtidig kan betong få tilstrekkelig bestandighet etter hvilke miljøpåkjenninger betongen er utsatt for. Ferdigbetong finnes også med farger og kan brukes til å skape mange forskjellige betongoverflater.

I Norge er det to store leverandører av ferdigbetong; NorBetong og Unicon. Ellers finnes det flere mindre lokale leverandører.

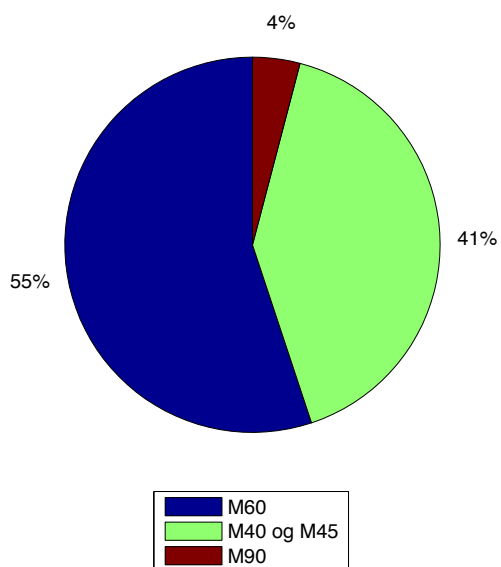
5.3.2 Prefabrikkerte betongelementer

Prefabrikkerte betongelementer er elementer som er produsert i fabrikk og deretter fraktet til byggeplassen. Betongelementproduksjon ble vanlig i Norge i midten av 1950-årene, selv om resten av verden var tidligere ute. I hovedsak var dette betongbjelker som kunne erstatte stålbjelkene som tidligere var brukt. I perioden 1953-59 ble de første betongelementbygningene i Norge bygget. Dette var boligkomplekser. Det tok ikke lang tid før betongelementindustrien ble en viktig norsk industri og allerede i 1972 hadde Norge 35 betongelementfabrikker, hvorav 15 produserte forspent betong (Jahren 2011).

I dag finnes det mange forskjellige typer betongelementer, men de mest vanlige er bjelker, søyler, gulv-, fasade- og takelementer. Selve produksjonen er forskjellig etter hva som skal produseres. Betongen som blir bruk i betongelementproduksjon må derfor ha



Figur 5.1: Fordeling av betong produsert i Norge i 2011 fordelt på fasthetsklasser



Figur 5.2: Fordeling av betong produsert i Norge i 2011 fordelt på bestandinghetsklasser

forskjellige egenskaper etter hvordan støpeteknikken er. Produksjon av hulldekker krever for eksempel en jordfuktig betong med lavt synkmål, for at betongen skal holde seg på plass under støpet. Det er vanlig å bruke betong med høyfasthetsklasser og sementer som gir tidlig fasthetsutvikling. Dette er for å opprettholde produksjonseffektiviteten til fabrikkene. Prefabrikkerte betongelementer har derfor et relativt høyt karbonavtrykk. Kravet til høy fasthet gjelder spesielt for spennarmerte konstruksjoner, der betongen må ha en tilstrekkelig tidligfasthet når spennarmeringen kappes.

Prefabrikkerte betongelementer er mye bruk som reisverk. Dette er i hovedsak fordi bygging med betongelementer er tidsbesparende og enkelt. I dag er det to store landsdekkende leverandører av prefabrikkerte betongelementer i Norge; Spenncon og Contiga. De leverer betongdekker, der i blant hulldekker, betongsøyler og betongbjelker. I tillegg har det kommet en mindre leverandør av en type dekkeløsning kalt BubbleDeck. BubbleDeck er et prefabrikkerte flatdekke med innebygde plastkuler som erstatter noe av betongvolumet.

5.4 Stål

Stål er et av de mest brukte byggematerialene, og brukes i dag i alt fra biler og bygningsmaterialer, til mindre komponenter. Det finnes i mange varianter og det finnes over 3 500 forskjellige grader av stål med forskjellige fysiske og kjemiske egenskaper (Woldsteel Association 2013). Stål er fremstilt av stålskrap, jernmalm og koks (Norsk Stålforbund 1995). Det finnes to forskjellige metoder for å fremstille jern:

1. Elektrisk bueovn med skrap som basismateriale
2. Basisk surstoffovn (BOF) med flytende malmbasert råjern som basismateriale

Stål er et materiale som er multiresirkulertbart, det vil si at det kan resirkuleres mange ganger uten å miste egenskaper. Omtrent 35% av verdens stålproduksjon er basert på resirkulert skrap (Woldsteel Association 2013). Stålskrap smeltes om i store ovner med mindre tilsetninger for å få riktig sluttprodukt. Stål er en legering av jern med varierende karboninnhold opptil 2% og 1% mangan, samt små mengder silisium, fosfor, svovel og oksygen (Woldsteel Association 2013). Jernmalm brukes til fremstilling av jern. I følge Norsk Stålforbund er jernmalm den fjerde største av jordens grunnstoff-forekomster. Ettersom stål er multiresirkulertbart er det et bærekraftig materiale. Fremstillingen av stål fra resirkulert skrap forbruker bare 35 til 40% av energien sammenlignet med til energien ved fremstillingen av stål fra jernmalm. Det er økende behov for stål i forskjellige varianter og dette dekkes delvis av resirkulering og delvis av ny fremstilling. Verdens stålproduksjon nådde 1,4 millioner tonn i 2010. I et miljøperspektiv er det derfor stor forskjell på om stålet kommer direkte fra jernmalm eller om det er resirkulert fra stålskrap. I dag er det et marked for innsamling og resirkulering av stålskrap, og det er blitt en egen industri.

De vanligste ståltypene for bygninger er konstruksjonsstål eller rustfritt stål. Stål blir også bruk som armering i betongkonstruksjoner for å kompensere for betongens lave strekkstyrke. Armeringen gir konstruksjonen en duktil oppførsel og begrenser rissviddene (Sørensen 2010). Armeringsstål har som regel større fasthet enn vanlig konstruksjonsstål

(Byggforsk 2002). I følge World Steel Association har stålindustrien de siste tiårene hatt stort fokus på miljø og har gjennom tiltak redusert miljøpåkjenningsene fra stålindustrien. Økt energieffektivitet har resultert i 20-25 % mindre gjennomsnittlig energiforbruk. I tillegg har stålindustrien gjennom teknologi klart å redusere råmateriale for utvinning av 100 kg stål med 21%. De har også startet et prosjekt med hovedmål å samle en database og utvikle et felles internasjonalt system for å kunne dokumentere alle miljøpåvirkninger fra 'vugge til port'. Dette skal så senere virke som grunnlag for en full analyse av stålprodukters miljøpåvirkning fra 'vugge til grav'.

5.4.1 Slakkarmering

Slakkarmert betong er det som omtales som vanlig armert betong. Armeringen kalles slakkarmering fordi den verken er forspent eller etterspent. De mest vanlige formene for slakkarmering er kamstenger og sveiset armeringsnett. Kamstenger ble første gang introdusert i 1953 og etter det har kvaliteten på stålet økt (Juliebø 1997). I dag benyttes det nesten bare B500NC, der 500 angir karakteristisk flytegrense i MPa, NC angir den norske duktilitetsklassen og B betegner at stangen har kammer, dvs. er kamstål. Kamstål har tverr- og langsgående kammer som gir gode heft mellom betongen og stålet (Juliebø 1997). Armeringsnett er nett av armering som ligger i et rutenett. Disse nettene blir i hovedsak bruk i dekketopp og er svært enkle å legge.

Celsa Armeringsstål er et stålverk i Mo i Rana, Norge (Celsa Group 2013). Det er Nordens eneste produsent av armeringsstål og tilhører spanske Celsa Group. De produserer kamstål laget av smeltet skrap, de baserer seg altså på kun gjenvinnbart stål. I tillegg er de det første stålverket med miljøsertifisering ISO 14001.

5.4.2 Spennarmering

Spennstål eller spennarmering er armeringen som blir påført strekkspenninger før de oppnår heft med betongen. Armeringen påfører betongen trykkspenninger som til en viss grad motvirker de ytre lastenes innvirkning (Sørensen 2010). Spennarmering har mye høyere fasthet enn vanlig slakkarmering. Betongkonstruksjonen kan enten være forspent eller etterspent. De vanligste spennarmeringene er spenntråd, spenntau og spennstenger (Juliebø 1997). Spenntau har sirkulært tverrsnitt med diameter mindre eller lik 8 mm og brukes hovedsakelig til å lage spenntau. Spenntau består altså av flere spenntråder som er buntet sammen. Disse brukes så til forspente eller etterspente konstruksjoner. Spennstenger er utformet som spenntau men har større tverrsnitt enn 8 mm. De har også lavere fasthet enn tau og tråder, og benyttes i hovedsak til etterspente konstruksjoner.

I Norge blir det ikke produsert spennarmering, og all spennarmering er importert fra Europa og Kina. Spennarmering er av veldig høy kvalitet og kan i dag ikke produseres av resirkulert stål.

5.4.3 Stålprofiler

Stålprofiler finnes i mange forskjellige varianter, men er som regel utført i konstruksjonsstål. Vanlig konstruksjonsstål er som oftest ulegerte med lavt karboninnhold, under 0,25% (Byggforsk 2002). Stålprofiler finnes som enten varmvalsede eller kaldvalsede med eller uten sveis. Varmvalsede er lette å forme, men bruker i tillegg mer energi under forming enn kaldformede profiler. Stålprofiler blir produsert med forskjellig stålkvaliteter. H- og I-profiler er vanligvis produsert med laveste stålqualität på S235 og for rektangulære hulprofiler er den laveste stålqualiteten høyere og ligger på rundt S275 (Byggforsk 2002).

I dag finnes det flere EPD-er for stålprofiler. Contiga har fire stykker tilgjengelige på EPD-Norge.no. I tillegg er det utviklet EPD fra Norsk Stålforbund som ble ferdigstilt i 2007. Disse er utarbeidet med bakgrunn i generisk data for europeiske stålverk og benytter seg av 'vugge til port'. Det er også tatt utgangspunkt i en gjenvinningsgrad på 96%. Alle EPD-ene er tilgjengelig på Norsk Stålforbund sine hjemmesider.

6 Regler og standarder

En rekke standarder sammenfatter gjeldende lovverk for bruk av betong og betongkonstruksjoner, samt klassifisering og definisjoner av de ulike materialene. I dag er det ikke mulig å redusere karbonavtrykket til betongen med bruk av flygeaske uten å avvike fra regler for tilsetning av flygeaske i betongen. Det krevers derfor kompetanse i bransjen for benytte seg av lavkarbonbetong. Det er beskrevet kort hvilke regler som er gjeldende i denne sammenheng og hvordan dette er håndtert på Fornebu S.

6.1 Sammenligningsparametere for sement og betong

Som godkjenningskrav for betong benyttes trykkfasthet etter 28 døgn. Trykkfastheten etter 1, 2, 3 og 7 døgn måles som regel for å få tidlig varsel om eventuelle avvik. Med økt fokus på miljøvennlig betong og med tanke på betongens kritiske punkter under utstøpning og belastning, vil disse kravtidspunktene ikke sammenfalle med betongens egenskaper (Jahren et al. 2009). For prefabrikkerte elementer vil avforming skje etter 15 til 18 timer, der kravet til fasthet varierer mellom 15 og 20% av karakteristiske trykkfasthet. Avforming vil skje noe senere ved plasstøpt betong. Andre kritiske belastningstidspunkter er når elementene monteres i byggverket og blir belastet med egenlasten til konstruksjonen eller noe over 50% av kritisk belastning. Dette skjer rundt en uke etter utstøpning. Siste kritiske belastningstidspunkt er etter 3-6 måneder når konstruksjonen blir påkjent av maksimal nyttelast. For å få en mer gunstig tilpasning til virkeligheten burde trykkfastheten bli målt ved de kritiske belastningstidspunktene. Derfor burde trykkfastheten måles etter 18 timer og 7 og 90 døgn (Jahren et al. 2009). Det er en kjent effekt ved bruk av substitusjonsmaterialer som flygeaske, at slutfastheten er høyere etter 90 døgn. Dette kan variere etter blant annet sementtype, flygeaske og betongkvalitet, og effekten kan ikke generaliseres. Denne styrkeøkningen er en slags sikkerhetsbuffer. Det er likevel mulig å utnytte noe av bufferen i enkelte prosjekter. Dersom prosjektet kan påvise en prosentvis økning av slutfastheten etter 90 døgn, kan prosjektet redusere kravet til 28-døgnfastheten. Dette er imidlertid et avvik fra standarden og må godkjennes av byggherren. Effekten ved bruk av substitusjonsmaterialer kan utnyttes på denne måten, men er ikke nødvendig i vanlige byggeprosjekter.

6.2 Eksponeringsklasser

Eksponeringsklasser er bestemt av betongens ytre miljøpåvirkning i bruksfasen. NS-EN 206-1 *Betong - Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar* beskriver eksponeringsklassene og i nasjonalt tillegg tabell NA.1 er det angitt ekstra eksponeringsklasser for norske forhold. Dersom betongen er utsatt for flere miljøpåvirkninger skal disse uttrykkes som en kombinasjon av de aktuelle eksponeringsklassene, og det skal tas hensyn til forskjellige eksponeringsklasser på ulike sider i konstruksjonen. For norske forhold er eksponeringsklassene delt inn i åtte forskjellige kategorier med totalt 20 forskjellige eksponeringsklasser basert på ulike nedbrytingsmekanismer. Eksponeringsklassene bestemmer

betongens nødvendige bestandighetsklasse, slik at betongen ikke blir utsatt for nedbrytning i det aktuelle miljøet.

6.3 Bestandighetsklasser

Bestandighetsklasser bestemmes etter NS-EN-206-1 Nasjonalt tillegg tabell NA.11, og er et særnorsk system gjeldende bare i Norge. Bestandighetsklassene bestemmer tillatt maksimalt masseforhold mellom effektivt vanninnhold og bindemiddelmengde for å oppnå riktig bestandighet i forhold til kravet i den bestemte eksponeringsklassen. Masseforholdet har direkte innvirkning på porestrukturen til betongen, og bestemmer på den måten betongens evnet til å motstå inntrengning av aggressive stoffer. Masseforholdet er vist i (6.1)

$$\text{masseforhold} = \frac{Vann}{(sement + \sum k * \text{tilsetningsmateriale})} \quad (6.1)$$

I (6.1) er summen av sement og tilsetningsmaterialer betegnet som effektiv bindemiddelmengde. Det fremkommer at effektiv bindemiddelmengde er bestemt av mengden sement sammen med mengden tilsetningsstoffer korrigert med en k-verdi. Denne k-verdien gir en indikasjon på tilsetningsmaterialets potensial som erstatning for sement i forbindelse med en spesifikk egenskap hos betongen. En k-verdi over 1 tilsier at tilsetningsmaterialet er mer gunstig enn sement, under 1 at tilsetningsmaterialet er mindre gunstig og lik 1 at de har sammenfallende egenskaper. I tillegg stilles det krav til minste effektive bindemiddelmengde ut fra valgt bestandighetsklasse gitt i tabell NA.9.a.

6.4 Bruk av tilsetningsmaterialer og k-verdimetoden

I NS-EN 206-1 står det beskrevet regler for bruk av tilsetningsmaterialer og hvordan disse blir tatt hensyn til ved innblanding i betong. Ved store mengder av tilsetningsmaterialer av type I og type II bør det tas hensyn til andre virkninger enn fasthet. K-verdi beskriver egenskapen til et tilsetningsmateriale relativt til sementen for en bestemt egenskap. Vanligvis er dette egenskaper bestemt med bestandighet, da kravet om styrke bestemmes av egne fasthetskrav.

NS-EN 206-1 gir videre regler om at tilsetningsmaterialer av type II kan tas med i beregningen av betongsammensetning med hensyn til sementinnhold og vann/sementforhold hvis det er påviste egnethet. K-verdimetoden er for flygeaske, silikastøv og slagg hentet fra NA.5.2.5.2.2, NA.5.2.5.2.3 og NA.5.2.5.2.4.

6.4.1 Flygeaske

k-verdimetoden for innblanding av flygeaske kan ifølge tabell NA.6 i nasjonalt tillegg benyttes avhengig av sementtype og bestandighetsklasse, og for bestemte fasthetsklasser for sementen benyttes følgende k-verdi:

- Fasthetsklasse 32,5 settes $k = 0,2$
- Fasthetsklasse 42,5 og høyere settes $k = 0,4$

Det stillers også krav til maksimal mengde tilsatt flygeaske som kan tas hensyn til ved beregning av masseforholdet og minste effektive bindemiddelmengde. Denne mengden er gitt av kravet

$$\frac{\text{tilsatt flygeaske} + \text{flygeaske i sementen}}{\text{sement}} = 0,33 \text{ regnet ut fra masse} \quad (6.2)$$

Som vist i (6.2) kan det ikke tilsettes mer enn 33 % flygeaske som erstatning for sementen. Det er mulig å tilsette mer flygeaske, men dette tas ikke med i masseforholdet eller effektiv bindemiddelmengde. For andel over 33 % settes k-verdien lik 0, og betraktes kun som et tilsatt materiale.

6.4.2 Silikastøv

k-verdimetoden for innblanding av silikastøv kan i følge tabell NA.7 benyttes avhengig av sementtype og bestandighetsklasse, og for bestemte spesifikke masseforhold kan følgende k-verdi benyttes:

- spesifisert masseforhold $< 0,45$ settes $k = 2,0$
- spesifisert masseforhold $> 0,45$ settes $k = 1,0$

Den største substitueringsgraden for silikastøv som kan benyttes ved beregning av masseforhold og minste effektive bindemiddelmengde er gitt av kravet

$$\frac{\text{tilsatt silikastov} + \text{silikastov i sementen}}{\text{sement}} = 0,11 \text{ regnet ut fra masse} \quad (6.3)$$

6.4.3 Slagg

k-verdimetoden for innblanding av slagg kan i følge tabell NA.8 benyttes avhengig av sementtype og bestandighetsklasse, og følgende k-verdi benyttes

- $k = 0,6$

Høyeste substitueringsgrad for slagg som kan benyttes ved beregning av masseforhold og minste effektive bindemiddelmengde er gitt av kravet

$$\frac{\text{tilsatt slagg} + \text{slag i sementen}}{\text{sement}} = 0,8 \text{ regnet ut fra masse} \quad (6.4)$$

6.4.4 Valg av eksponeringsklasse og k-verdi på Fornebu S

I 'Kontrakten - totalentreprise mellom Fornebu Senter AS og Skanska Norge AS for bygging av kjøpesenter og bolig Fornebu S' står det i addendum nr. 02 beskrivelse av generelle krav for betongkonstruksjonene (KLP Eiendom AS 2012). Der er eksponeringsklassene listet og det er valgt følgende eksponeringsklasse i hht. NS-EN 1992-1-1 og vist i tabell 6.1.

Tabell 6.1: Eksponeringsklasser i Fornebu S

Betegnelse	Miljøet	Konstruksjonsdeler
XD3	Vekselvis vått og tørt.	Alle kjørearealer, parkeringsarealer etc.
XF1 el. XF3	Moderat el. høy vannmetning, uten avisingsmidler	Alle utendørsarealer

Etter anbefaling fra Skanska Teknikk ved Sverre Smeplass, samt henvisninger til Senketunnelen i Bjørvika, er det besluttet et ønske om å fravike fra NS-EN 206-1, pkt. 5.2.5.2.2 ved bruk av flygeaske. Dette er for å kunne oppnå tilstrekkelig karbonreduksjon som ikke er mulig uten å fravike fra reglene for k-verdi. Som nevnt bestemmes en virkningsfaktor k lik 0,2 eller 0,4 for flygeakse ved beregning av masseforholdet der flygeaske blandes inn i betongen. Ønsket om fravik går ut på å benytte en k-verdi lik 0,7. Begrunnelsen er at reglene i den norske standarden er meget konservative, spesielt for betong som er eksponert for kloridholdige miljøer (Smeplass 2012). Statens Vegvesen har tillatt fravik tidligere i en rekke prosjekter, ref. Senketunnelen i Bjørvika, der flygeaske ble brukt som erstatningsmateriale for sementen. For å kunne benytte en virkningsfaktor lik 0,7 må dette godkjennes av byggherren og rådgivende ingeniør. Fraviket ble godkjent av Multiconsult ved Svein Barstad 13. desember 2012 (Lyngstad 2012d).

6.4.5 Nye regler for bruk av tilsetningsmaterialer

For å oppnå redusert karbonavtrykk til betongen må normalt sementmengde reduseres ved å erstatte den med tilsetningsmaterialer. I 2014 kommer det en ny utgave av NS-EN 206-1 med innskjerpede regler for bruk tilsetningsmaterialer. Krav til k-verdi og masseforhold vil bli spesifisert for forskjellige eksponeringsklasser og type bindemiddelsammensetning. K-verdi for flygeaske er i dag bestemt av bestandighet mot karbonatisering. Dette er fordi betonger med flygeaske har vist dårligere motstand mot karbonatisering, enn for betonger med sement. NS-EN 206-1 er konservativ og setter regler for verste tilfellet.

Betongens bestandighet ivaretas med et krav til overdekning og et krav til bestandighetsklasse for gjeldende eksponeringsklasse. Bestandighetsklassen for betong utsatt for karbonatisering og klorider er henholdsvis M60 og M40/MF40. I ny utgave av NS-EN 206-1 vil kravet til betongsammensetningen, altså bestandighetsklassene, også være spesifisert for ulike type sementer. Som et eksempel vil betong utsatt for karbonatisering måtte ha et lavere masseforhold ved bruk av blandingssementer med flygeaske enn ved bruk av

ren klinkersement. Dette er for å kompensere for flygeaske sin innvirkning på karbonatisering. Etersom betong med flygeaskesementer har vist tilstrekkelig bestandighet for kloridinntrenging, vil kravet om masseforhold være det samme som for ren klinkersement. For flygeaske tilsatt direkte i betongblandingen vil regler for innregning av flygeaske i masseforholdet fortsatt bli regulert av regler for k-verdi.

Doktorgradsstipendiat Stefanie von Greve-Dierfeld disputerer ved Technical University of Munich til høsten, og har arbeidet med blant annet karbonatisering av betonger med tilsetningsstoffer. Arbeidet viser at redusert klinkerinnehold i betongen gir høyere karbonatiseringsdybde, og at dette er tydelig med klinkerinnehold på under 80% (von Greve-Dierfeld 2013). Et av resultatene er forslag til masseforhold ved kombinasjoner av mengde og type tilsetningsstoff i sementen og ønskelig karbonatiseringsmotstand.

Flygeaskesementer er tilpasset for å ha samme egenskaper som de tilhørende rene sementene. På denne måten vil k-verdi for flygeaske være 1 ved tilsetning i sementproduksjonen. Norcem maler sin Standardsement FA finere for å kompensere for egenskapene til flygeaske. Finkornheten gir en tettere porestruktur, og dermed økt bestandighet.

7 Klimagassregnskap

For å oppnå *BREEAM Outstanding* er et av kriteriene til Fornebu S å redusere klimagassutslippet fra materialer i bygget i forhold til et referansebygg. Det er bare kjøpesenteret som skal oppnå denne klassifiseringen. Ettersom prosjektet også består av boligblokker og kontorarealer tas kun materialer som kan tilskrives kjøpesenteret med i beregningene. Dette gjør at klimagassberegningene er mer krevende fordi materialmengdene for kjøpesenteret må sorteres ut.

Det er i tillegg viktig å få med seg at kravet til redusert klimagassutslipp kun gjelder materialene fra 'vugge til port', slik at regnskapet derfor ikke vil være et helhetlig klimagassregnskap for bygget. Klimagassregnskapet er begrenset av tilgjengelige materialer i gjeldende tidsrom og er ikke et endelig klimagassregnskap for prosjektet. Beregningene er utført i verktøyet klimagassregnskap.no som er gjeldende krav i BREEAM-NOR.

I dette kapittelet vurderes effekten av lavkarbonbetong på klimagassregnskapet. Denne miljøeffekten kommer tydelig frem i et klimagassregnskap som kun omfatter materialene fra 'vugge til port'. Utslipp fra byggeplassen og i levetiden vil være omtrent de samme uavhengig av om det blir brukt lavkarbonbetong eller vanlig betong. Ettersom klimagassregnskap.no er basert på europeiske utslippstall er det også gjort en vurdering av effekten ved bruk av lavkarbonbetong basert på referanser fra norsk betongbransje.

7.1 Verktøyet klimagassregnskap.no

Klimagassregnskap.no er det eneste verktøyet til beregning av klimagassutslippet som er godkjent av BREEAM-NOR. Slik kravet i BREEAM-NOR er formulert er det kun klimagassutslippet for materialene som er vurdert. Det er derfor kun materialmodulen i klimagassregnskap.no som er aktuell for dette kriteriet. Denne modulen er delt i *tidligfase* og *prosjektert bygg*. I *tidligfase* kan referansebygget defineres, og i *prosjektert bygg* legges prosjektets materialer og mengder inn. Mengdene kan være prosjekterte eller 'as built', alt ettersom hvor langt prosjektet har kommet. Disse skal sammenlignes med hverandre. Temaene i de andre modulene i klimagassregnskap.no som tomtevalg, energibruk på byggeplassen, energibruk i driftsfasen osv. ivaretas gjennom andre BREEAM-krav.

Klimagassregnskap.no gir totalt utslipp av klimagasser i tonn gjennom livsløpet, altså karbonavtrykket til bygget i løpet av 60 års levetid. Dette er ikke et resultat som er entydig, og det foreligger mange usikkerhetsfaktorer knyttet til resultatet. Usikkerhetene kan i hovedsak deles inn i to kategorier. Første kategori er usikkerhet som er innbakt i underliggende data som er tilgjengelig. Andre kategori er usikkerheten knyttet til mangel av produkt- og livsløpskjeder (Selvig 2012). Det er derfor viktig å understreke at resultatet kun **indikerer** prosjektets karbonavtrykk og at resultatet tjener som diskusjonsgrunnlag for riktige miljøvalg. Effekten av forskjellige materialvalg kommer imidlertid godt frem og kan dermed benyttes som en del av beslutningsgrunnlaget.

Fornebu S ble BREEAM-NOR-registret før siste versjon av klimagassregnskap.no kom ut i 2012. På dette tidspunktet var versjon 3 av klimagassregnskap.no gjeldende. Ettersom BREEAM-NOR ikke opererer med tilbakevirkende kraft må Fornebu S forholde seg til de retningslinjer som gjelder i tidsrommet de ble BREEAM-NOR-registret. Fornebu S

bruker og forholder seg derfor til versjon 3.

Klimagassregnskap.no, også den nyeste versjonen, er et verktøy som per i dag ikke er fullstendig i forhold til det som er ønskelig. I utgangspunktet var ikke verktøyet ment som et allment verktøy for byggebransjen, men som et internt hjelpemiddel i Statsbygg. Bransjen har imidlertid hatt et behov for et slik miljøverktøy, og det ble tatt i bruk av andre aktører enn Statsbygg også. Klimagassregnskap.no har hele tiden, og er fortsatt under utvikling. Mye har skjedd siden første versjon i 2007. Det har kommet til flere og flere valgbare moduler som gir en mer helhetlig vurdering av byggets totale klimagassutslipp. Figur 7.1 illustrerer utviklingen og hvor det er ønskelig at klimagassutslipp.no skal være i fremtiden. Som figuren viser er det etter hvert ønske om at klimagassutslipp.no skal bli et verktøy som kan kobles sammen med eller implementeres i eksisterende programmer og miljødeklarasjoner.



Figur 7.1: Utviklingen av verktøyet klimagassregnskap.no [Illustrasjon: Eivind Selvig, Civitas]

7.1.1 Materialmodulen i klimagassregnskap.no

Grunnprinsippet for materialmodulen har vært det samme siden første versjon av klimagassregnskap.no. I formel (7.1) vises grunnprinsippet for beregningene i materialmodulen (Selvig 2012):

$$E_{IM} = \sum_I \left(\sum_i (v_i \times m_i \times e_i \times t_i) \dots + \dots \sum_n (v_n \times m_n \times e_n \times t_n) \right) \quad (7.1)$$

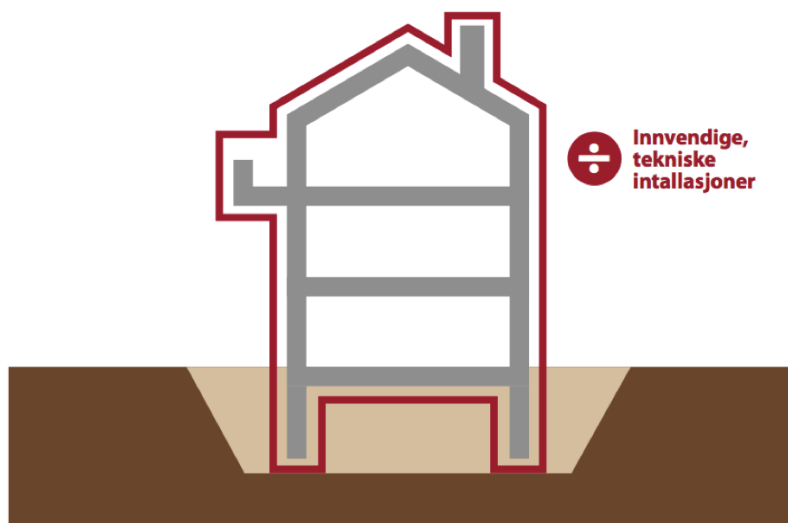
- E_{IM} = Klimagassutslipp som CO_2 -ekv fra alle materialer i M i alle bygningsdeler I
 I = bygningsdel I-N, med levetid T
 i = sjikt i-n i bygningsdel I-N
 v_{i-n} = volum av sjikt i-n
 m_{i-n} = materialet i sjikt i-n
 e_{i-n} = utslippsfaktor for material m
 t_{i-n} = utskiftingstakten til sjikt i-n, $(1+60/t)$ der t = levetid, sjikt

Prinsippet går ut på at alle mengdene av de ulike materialene med tilhørende utslippsfaktorer summeres opp til et samlet utslipp for en bygningsdel. Utslippene fra alle bygningsdelene summeres deretter sammen til et totalt klimagassutslipp for byggets materialbruk. For betong og stål brukt i grunn, fundamenter, yttervegg, innervegg og hulldekker er levetiden 60 år i klimagassregnskap.no, men for betong og stål brukt i påstøp på dekkene er levetiden 25 år. Levetiden varierer altså med sjiktet. Klimagassregnskap.no er i ferd med å oppdatere utregningen av utskiftingstakten slik at den rundes ned til 'hele utskiftninger' (Selvig 2013a). I dag benyttes ikke denne avrundingen, men det regnes for eksempel med 3,4 ganger utskifting for 25 år i stedet for tre hele utskiftninger.

Metodikken bak materialmodulen er basert på LCA og skal tilfredsstillere relevante krav i ISO 14040-14044 (Selvig 2012). Modulen benytter generisk data fra gratis tilgjengelige kilder. I dag hentes utslippsdata fra en europeisk database. Etersom klimagassregnskap.no består av flere moduler er materialmodulen begrenset til å omfatte 'vugge til port'. Innenfor dette er alle miljøpåvirkninger tatt med helt fra råvareutvinning til fabrikkport. For hvert materiale skal utslippsdata angis som antall kg CO_2 -ekvivalenter per kg materiale (Selvig 2012).

Materialvalgene i referansebygget er basert på standard basismaterialer. Det anvendes svært lite ferdige bygningsdeler. I figur 7.2 vises omfanget av hvilke materialer som er med i mengdeberegningene i et referansebygg. Rød strek viser grensen for hva som inngår i mengderegnskapet i referansebyggene. Det er hovedkomponentene av bygget som inngår, og mindre komponenter tilhørende tekniske fag er utelatt. Dette er fordi det er hovedkomponentene som gir størst bidrag til klimagassregnskapet. Tekniske installasjoner bidrar lite til den totale materialmengden og dermed til klimagassutslippene, trolig mindre enn 1-2% (Selvig 2012). Sammenligningsgrunnlaget mellom referansebygget og prosjektert bygg eller 'as built' er derfor kun for basismaterialene og de største bygningskomponentene. De bygningskomponentene som skal inngå i sammenligningen i BREEAM-NOR er listet i tabell 7.1 (NGBC 2012). Det er ikke fullstendig samsvar mellom klimagassregnskap.no og påkrevde bygningskomponenter i BREEAM-NOR, da utvendige harde dekker ikke er med i systemgrensen for klimagassregnskap.no. I versjon 4 av klimagassregnskap.no er det imidlertid en generell kategori med navn *Basismaterialer*, og der er det muligheter for å legge inn generelle materialer. Utvendig dekke kan inkluderes der.

I dag er brukergrensesnittet i *prosjektert bygg* mindre tilfredsstillende og valgmulighetene for å redusere klimagassutslippene noe begrenset. Det er hovedfokus på å kunne erstatte materialtyper med mer miljøvennlige materialtyper eller redusere mengden av ma-



Figur 7.2: Systemgrense for materialberegningene. [Illustrasjon: Eivind Selvig, Civitas]

terialet. Slik bransjen utvikler seg nå er det flere og flere aktører som kan fremvise EPD for sine produkter. Dette åpner for et nytt behov i klimagassregnskapet. Det er behov for å kunne velge det mest miljøvennlige materialet innenfor samme materialtype/kategori, og dermed kunne legge inn EPD for det valgte materialet. Et eksempel vil være valg mellom vanlig betong og lavkarbonbetong. Hadde klimagassregnskap.no gitt mulighet til legge inn de faktiske utslippstallene til det valgte produktet ville det blitt et mer nøyaktig klimagassutslipp for det faktiske bygget. Per i dag er dette ikke mulig, og må derfor gjøres manuelt utenfor programmet. Dette krever at brukeren vet hvilke forutsetninger som ligger til grunn, så ikke sammenligningen blir feil. Det jobbes imidlertid med dette og vil trolig komme i en av de senere versjonene.

7.2 Referansebygg i versjon 3 vs. versjon 4

Som nevnt over må Fornebu S forholde seg til versjon 3. Referansebygget genereres ut fra valgt byggkategori og spesifikke arealdata, se avsnitt 3.2.1. Dats for Fornebu S er vist i figur 7.2. På grunnlag av dette skaleres referansebygget opp eller ned i forhold til de aktuelle modellbyggene og materialmengdene beregnes ut fra dette. Etter at bransjen tok i bruk klimagassregnskap.no versjon 3 ble det gitt tilbakemeldinger om for høye utslippsreferanser for forskjellige materialer. Resultatet er at referansebygget blir generert med alt for høyt klimagassutslipp. Som en konsekvens vil det være veldig enkelt å redusere klimagassutslippet for et bygg, uten å ta spesielle miljøhensyn, bare ved å bruke faktiske utslippstall. Poengene for reduksjon av klimagassregnskapet i BREEAM-NOR er derfor enkle å oppnå. Prosjektet slipper å måtte velge miljøvennlige materialer og veie dette opp mot kostnad og evt. fremdrift. Ettersom referansebygget gir så høye utslippsverdier vil argumentet for å velge miljøvennlige materialer falle bort når tilstrekkelig reduksjon allerede er oppnådd. Dette er tilfellet for Fornebu S. Likevel har prosjektet valgt å satse

Tabell 7.1: Relevante produktgrupper fordelt på bygningselementer for nybygg

Bygningselementer	Produktgrupper
Yttervegg	Bærende vegger Utvendig kledning og overflatebehandling Vindsperre, isolasjon og dampspærre Innvendig kledning og overflatebehandling Dører og vinduer
Yttertak	Bærekonstruksjon Taktekking og glass Vindsperre, fuktsperre og isolasjon
Etasjeskille	Dekker Gulvbelegg Lydisolasjon Himling Overflatebehandling
Innervegg	Bærekonstruksjon Isolasjon Innvendig kledning og overflatebehandling Dører og glass
Gulv på grunn	Dekker Isolasjon Gulvbelegg
Bærekonstruksjon	Søyler Bjelker
Trapper og balkonger	Trapper Balkonger
Utvendig harde dekker	Utendørs harde overflater

på lavkarbonbetong som et aktivt tiltak for å redusere byggets klimagassutslipp. Ytterligere aktive valg av miljøvennlige materialer for å oppnå BREEAM-NOR-poeng knyttet til klimagassreduksjoner har vist seg å ikke være nødvendig.

Tabell 7.3 viser en oversikt over det genererte referansebygget for Fornebu S fra versjon 3. Dette er det gjeldende referansebygget som prosjektet skal måle seg opp mot for å redusere klimagassutslippene nok til å oppnå poeng i BREEAM-NOR. Det er flere materialer som ligger inne med for høye utslippstall, dette gjelder spesielt gips og betong. Som illustrasjon utgjør gipsen 34% av det totale klimagassregnskapet for referansebygget i versjon 3. Dette er trolig lite realistisk. I tabell 7.4 vises utslippstallene for gips i versjon 3 og versjon 4.

Det er imidlertid forventet at betong skal utgjøre en stor del av det totale klimagassregnskapet fordi betongen har et betydelig karbonavtrykk og finnes i store mengder. Tabell 7.5 viser en sammenligning av utslippstall for betong. Den norske betongen er hentet fra tilgjengelig EPD hos EPD-Norge. Betongen er en standard B30 M60 fra Unicon med Standardsement FA. Utslippstallene er hentet fra versjon 3 og versjon 4 og regnet om fra per kg materiale til m^3 med massetetthet $2\,400\text{ kg}/m^3$ (Selvig 2012). Her vises det tydelig at

Tabell 7.2: Inndata i *tidligfase* for Fornebu S

Kategori	Inndata
Byggkategori	Kontorbygg m/kjeller
Arealdata	
BYA	17 177 m ²
BTA	60 243 m ²
BTK	35 800 m ²

Tabell 7.3: Klimagassutslipp for referansebygget til Fornebu S i versjon 3

Kategori	Tonn CO ₂ -ekv/livsløp	Kg CO ₂ -ekv/m ² /år
Grunn og fundamenter	3 040	2,1
Bæresystemer	5 594	3,9
Yttervegg	3 164	2,2
Innervegg	13 539	9,4
Dekker	13 434	9,3
Yttertak	3 635	2,5
Trapper og balkonger	10	0,0
Malerarbeid	314	0,2
Totalt	42 730	29,7

norsk betong ligger under de verdiene som er i klimagassregnskap.no. Ved modellering av referansebygget i *tidligfase* er det den generelle betongen som blir benyttet. Utslippstallet for den generelle betongen er hentet fra 'Inventory of Carbon & Energy (ICE)' og skal være basert på gjennomsnittsdata benyttet innen konstruksjon og representere Europeisk teknologi for produksjon (Selvig 2012).

NTNU har på oppdrag fra Statsbygg bistått i oppdatering av utslippstallene for de ulike materialene (Selvig 2012). Det er derfor i versjon 4 en rimelig god overensstemmelse med utslippstallene for de fleste materialene. Utslippstallene for betong er imidlertid ikke videre forandret. Under et BREEAM-NOR-seminar om 'Materialkrav i BREEAM-NOR' avholdt av Byggevarerindustrien den 27. februar 2013 forklarte en representant fra Statsbygg at det er viktig å være klar over at det ikke finnes noen tilstrekkelig god materialdatabase for norske materialer, og at noen av de nye referanseverdiene i versjon 4 derfor er hentet fra Europa. De utslippstallene som er gjeldende er derfor 'de mest nøyaktige' som er

Tabell 7.4: Utslippstall for gips [kg CO₂-ekv/kg mat.]

Materiale	Versjon 3	Versjon 4
Gipsplater	1,641	0,214

Tabell 7.5: Utslippstall for betong [kg CO₂-ekv/m³]

Materiale	Versjon 3	Versjon 4	Standard
Betong, generell	451	452	Europeisk
Betong (25/30 MPa) 0% FA	-	336	Britisk
Betong (25/30 MPa) 15% FA	-	312	Britisk
Betong (25/30 MPa) 13% FA	-	276	Britisk
Betong B30 M60	-	216*	Norsk (Unicon)

* Kun illustrasjon

tilgjengelig i dag. Norge har et større miljøfokus enn gjennomsnittet i Europa og derfor har en vanlig norsk betong generelt et lavere karbonavtrykk. Det er sementmengden som er den største bidragsyteren til klimagassutslippet og ettersom mengde sement er bestemt av betongkvaliteten vil den ikke variere så mye fra land til land. Norge har imidlertid standardsementer med iblandet flygeaske og en mer miljøvennlig produksjon av sement enn resten av Europa. Det blir brukt mer fornybar energi i Norge enn resten av Europa, og Norcem er den sementleverandøren som ligger lengst fremme på dette området.

Tabell 7.6: Klimagassutslipp for referansebygget til Fornebu S i versjon 4

Kategori	Tonn CO ₂ -ekv/livsløp	Kg CO ₂ -ekv/m ² /år
Grunn og fundamenter	5 091	1,4
Bæresystemer	772	0,2
Yttervegg	433	0,1
Innervegg	3 572	1,0
Dekker	2 775	0,8
Yttertak	1 676	0,5
Trapper og balkonger	41	0,0
Totalt	14 360	4,0

Tabell 7.6 viser klimagassutslippet for referansebygget i versjon 4. Betongen utgjør over 40% av det totale klimagassutslippet og gipsen i underkant av 3%. Referansebygget i versjon 4 har et vesentlig lavere klimagassutslipp enn i versjon 3. I et notat fra klimagassregnskap.no datert 1. mars 2013 (Selvig 2013b) beskrives det at denne reduksjonen skyldes en feil i utregningen av referansebygget. Før versjon 4 ble lansert ble det tatt stikkprøver. De viste en reduksjon på 15-20% i utslippresultatet fra versjon 3. Dette ble antatt riktig, grunnet oppdateringene i materialdatabasen. Det viste seg imidlertid at det lå inne en større beregningsfeil for modulen som regner ut referansebygget. Problemet er i hovedsak at referansebygget ikke blir skalert riktig og kommer ut med for liten materialmengde. Som eksempel har Fornebu S et referansebygg i versjon 3 med materialmengde på over 70 000 tonn sammenlignet med i overkant av 40 000 tonn materialer i versjon 4. Dette gjør at referansebygget i versjon 4 har et veldig lite klimagassutslipp. Det vil derfor være

nesten umulig for et bygg å kunne oppnå poeng i BREEAM-NOR dersom de benytter seg av versjon 4.

Av de overnevnte grunnene er det ingen av referansebyggene som kan gi et tilstrekkelig bilde av et referansebygg for Fornebu S.

7.3 Valgt referansebygg

For å kunne si noe om hvordan bruken av lavkarbonbetong har hatt effekt på klimagassutslippet til Fornebu S må det etableres et mer realistisk referansebygg. Det er viktig å huske på at endelig resultat ikke er entydig, men kun gir en indikasjon. I et notat fra klimagassregnskap.no foreslår de følgende midlertidige løsning, så lenge skaleringen i versjon 4 er feil (Selvig 2013b):

Referansebygget beregnes i prosjektert modul på grunnlag av materialmengder fra prosjektering og de 'typiske' materialvalgene som er beskrevet i modellbyggene i klimagassregnskap.no. Mengdene av ulike bygningsdeler hentes ut fra beskrivelsene for prosjektering og fordeles på konstruksjonstyper.

Modellbyggene er beskrevet i dokumentasjonsrapporten for versjon 4 som er tilgjengelig på klimagassregnskap.no. Ved å etablere referansebygget på denne måten vil det være vanskelig å kunne redusere klimagassutslippet ved å redusere materialmengden fordi det er de faktiske mengdene som danner grunnlaget for referansebygget. Reduserte materialvolum har ofte et stort potensiale for redusert klimagassutslipp, spesielt gjelder dette for betong (Ollendorff 2012). På denne måten vil reduksjonen i forhold til et referansebygg kun gjenspeile materialvalgene. I det tilfellet er det to muligheter; erstatte et materiale med et mer miljøvennlig i samme kategori eller med et annen type materiale.

For å se tendensene i effekten ved bruk av lavkarbonbetong for Fornebu S er det derfor laget et referansebygg basert på tilgjengelig informasjon om mengder i det gjeldende tidsrommet. Siste materialoppdatering er gjort 11. april 2013 og omfatter basismaterialene for alle hovedkomponentene til bygget. Mengdene er fremdeles kun estimer og ikke endelige. Mengdene for den plasstøpte betongen er hentet fra BIM-modellen til Rambøll ved Tor Øistein Andresen og mengde for den prefabrikkerte betongen er hentet fra Contiga ved Thomas R. Andersen. De øvrige mengdene er hentet fra prosjektets kalkyle, arkitektens BIM-modell eller fra leverandørene direkte. Det vil komme endringer i materialmengdene. Grunnet oppgavens begrensning er det derfor valgt å forholde seg til de materialmengdene som var tilgjengelige 11. april 2013. Dette har imidlertid liten betydning for oppgavens hensikt. Effekten og tendensen ved bruk av lavkarbonbetong kommer likevel tydelig frem, da det er tilstrekkelig nøyaktige mengder og andel komponenter.

De aktuelle mengdene for Fornebu S er lagt inn i versjon 4 i *prosjektert bygg*. Tabell 7.7 viser referansebygget for Fornebu S basert på materialdatabasen til klimagassregnskap.no. I figur 7.3 er det vist en grafisk fremstilling av resultatet. Denne materialdatabasen er basert på europeisk standard og vil derfor ikke gi et klart nok bilde på norsk bransje. Etersom oppgavens hovedfokus er på betong og det er her det er størst forskjell i utslippstallene er det hensiktsmessig å legge inn norske utslippstall på betongkomponentene. Dette er gjort for plasstøpt betong, hulldekker, prefabrikkerte betongsøyler og

betongbjelker samt veggelementer av betong. Referansene er basert på EPD-er fra EPD-Norge eller spesifikke EPD-er for Fornebu S. Referansebyggene i sin helhet med tilhørende materialmengder og utslipp finnes i vedlegg A.

Gjennom arbeidet med modulen *prosjektert bygg* er det oppdaget feil og mangler. Klimagassregnskap.no er et verktøy som brukes av veldig mange aktører og det benyttes i mange forskjellige prosjekter med konkrete krav til klimagassregnskapet. Det er derfor viktig at brukeren er bevisste, og gir muligheten til å gi de ansvarlige for klimagassregnskap.no konstruktive tilbakemeldinger. Undertegnedes erfaring er at når feil og mangler først er oppdaget og informert om tar det ikke lang tid før de er rettet opp. På denne måten er klimagassregnskap.no et verktøy som fortløpende blir oppdatert, og brukeren må bevisst følge med på oppdateringene.

Tabell 7.7: Klimagassutslipp for tilpasset referansebygg [Tonn CO₂-ekv/livsløp]

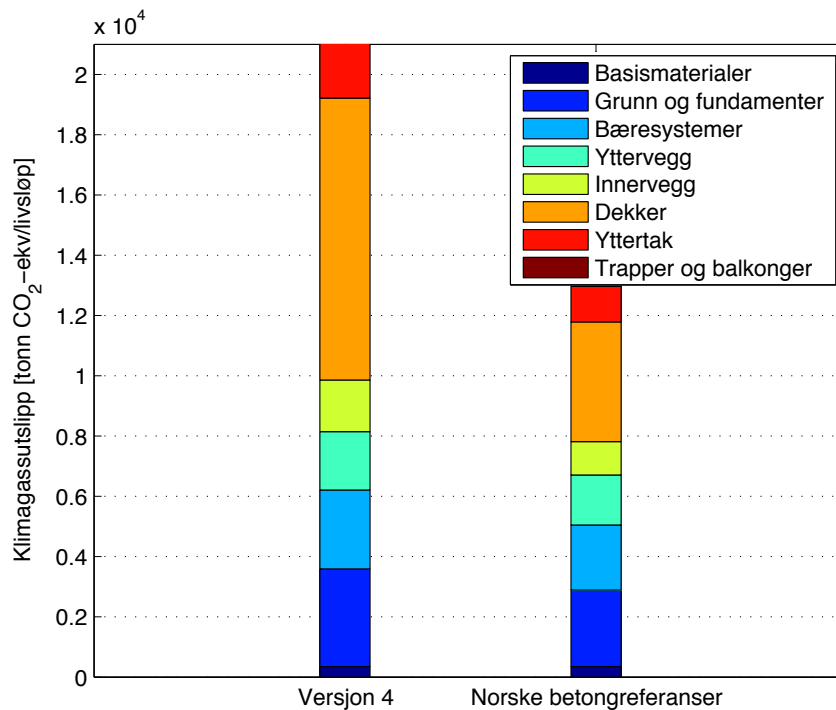
Kategori	Prosjekterte mengder i versjon 4	Prosjekterte mengder med norske betongreferanser
Basismaterialer	352	352
Grunn og fundamenter	3 240	2 538
Bæresystemer	2 618	2 158
Yttervegg	1 938	1 660
Innervegg	1 714	1 109
Dekker	9 352	3 970
Yttertak	2 303	1 179
Trapper og balkonger	0,5	0,5
Totalt	21 517	12 967

Av tabell 7.7 er det en tydelig forskjell på referansebygget med samme mengder basert på europeisk standard og den norske bransjen. Allerede nå er det tydelig å se at ved å velge standard plasstøpt betong eller standard betongelementer fra den norske bransjen vil klimagassutslippet reduseres kraftig uten at det er gjennomført noen spesielle tiltak.

7.4 Plasstøpt betong levert av NorBetong

Med bakgrunn i prosjektets miljømålsetning ønsket Skanska at all plasstøpt betong fra NorBetong skulle tilfredsstillende lavkarbonklasse A (jmf. NorBetong). For å tilfredsstillende dette kravet må det tilsettes ekstra flygeaske utover det som inngår i sementen. Norcem leverer blant annet Standardsement FA og Anleggsement FA med 20% flygeaske innblandet. Resultatet ble derfor resepter med enten Standardsement FA eller Anleggsement FA og ekstra tilsatt flygeaske som erstatning for noe av sementen. Dette resulterte i at de fleste av betongreseptene som blir brukt på Fornebu S inneholder 30% flygeaske totalt. Det ble utarbeidet en egen reseptliste for de aktuelle betongkvalitetene og en EPD for hver kvalitet. Reseptene finnes i vedlegg B. EPD for betongkvalitetene brukt ved Fornebu S er gitt i vedlegg C.

For å kartlegge effekten av bruk av plasstøpt betong i lavkarbonklasse A er det valgt å lage noen alternative betongresepter for sammenligning. Med veiledning og hjelp fra



Figur 7.3: Grafisk fremtilling av klimagassutslipp for tilpasset referansebygg

Britt Blom Marstrander i NorBetong er klimagassutslipp for forskjellige betongresepter utarbeidet. Utslippstallene er basert på NorBetong sin EPD-kalkulator og hentet ut fra hver enkelt EPD. Utslippstallene er ikke kommersielt tilgjengelig, men kun laget spesielt for denne oppgaven. Utslippstallene er vist i tabell 7.8 og grafisk fremtislst i figur 7.4 og referansene er beskrevet under.

Tabell 7.8: Utslippstall for betong levert av NorBetong [kg CO₂-ekv/m³]

Betongkvalitet	Sementtype	Standard	Optimalisert	Fornebu S	Teoretisk
B25 M90**	Std. FA	186	186	186	166*
B35 M60	Std. FA	246*	237*	204	195*
B35 MF40	Anl. FA	287	254*	223	196*
B45 MF40	Anl. FA	279	246*	216	190*
B35 M40	Anl. FA	279	258*	228	199*

* Ikke utprøvd

** Lav referanse

Standard

Standard er standard betong levert av NorBetong innenfor den gjeldende kvaliteten. Det er disse betongene prosjektet ville fått utlevert dersom det ikke var gitt noen spesielle

spesifikasjoner. Alle reseptene er med Standardsement FA og hentet fra NorBetong sine reseptdatabaser ved blandeverket i Bærum.

Optimalisert

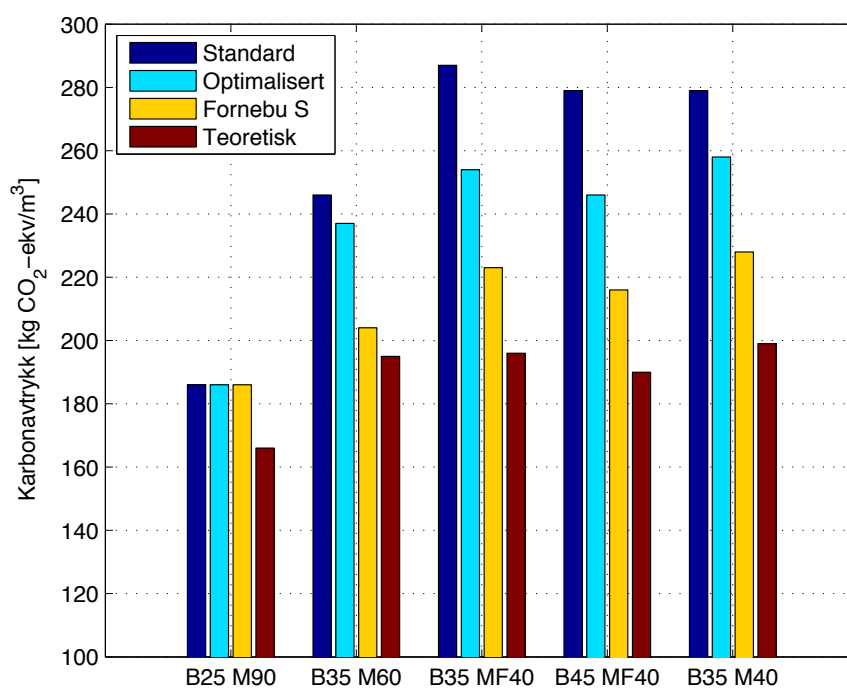
Optimalisert er betongresepter som er optimalisert med tanke på tilslagssammensetning og sementmengde og -type. Det er benyttet Anleggsement FA for kvalitet M(F)40. Dette er fordi Anleggsement FA er mindre vannkrevende og kan tilsettes i mindre mengder enn Standardsement FA for samme kvalitet.

Fornebu S

Fornebu S er lavkarbonbetongen som blir benyttet på Fornebu S. Alle reseptene inneholder 30% flygeaske og faller innen for lavkarbonklasse A (jmf. NorBetong). Kvalitet B25 M90 er ikke utviklet for prosjektet enda, så denne er basert på estimer fra NorBetong.

Teoretisk

Teoretisk er betong der det er tatt utgangspunkt i reseptene for lavkarbonbetongen til Fornebu S, og tilsatt mer flygeaske. Det er tilsatt ekstra flygeaske for kvalitetene M90, M60 og M(F)40 på henholdsvis 30%, 35% og 40%. Disse betongene er ikke utprøvd og er kun teoretiske. NorBetong påpeker at disse reseptene må prøves, men at det er mulig å tilsette flygeaske i så store mengder.



Figur 7.4: Grafisk fremtilling av utslippstall for betong levert av NorBetong

7.5 Prefabrikkert betong levert av Contiga

Bæresystemet til Fornebu S består av hulldekker opplagt på betongbjelker og betongsøyler levert av Contiga. Elementene blir levert fra fabrikken i Moss. Contiga har EPD-er som er basert på gjennomsnittet av produkter innenfor en produktgruppe (Bay-Eriksson 2013). En produktgruppe er for eksempel hulldekker, betongsøyler eller betongbjelker. Disse produktene er svært spesifikke for en situasjon, og varierer mye i lengde, tverrsnittstørrelse og armeringsmengde. I følge Bay-Eriksson er det veldig dyrt og samtidig tidkrevende med en offisiell EPD per produkt. Derfor er det økonomiske og tidsmessige argumenter for lage en EPD for hver produktgruppe. Det er imidlertid et godt nok estimat på klimagassutslipp for et bygg, da et bygg består av mange forskjellige hulldekker, bjelker og søyler, og et gjennomsnitt kan derfor være representativt. Utslippstall tilhørende betongprodukter for Fornebu S er gitt i tabell 7.9 og EPD-ene finnes i vedlegg D.

Tabell 7.9: Utslippstall for prefabrikkerte elementer levert av Contiga

Produktgruppe	[kg CO ₂ -ekv/m ²]	[kg CO ₂ -ekv/tonn]
Hulldekker	56	149
Betongsøyle	-	196
Betongbjelke	-	188

For å kunne sammenligne effekten ved bruk av lavkarbonbetong i hulldekker er det laget alternative betongresepter med tilsatt flygeaske til hulldekkeproduksjon (Injar 2013). Utslippstallene er videre utarbeidet av Tonje Bay-Eriksson i Contiga. Utslippstallene er ikke kommersielt tilgjengelig, men kun laget spesielt for denne oppgaven. Det er laget to forskjellige betongresepter, se avsnitt 10.4, med 16,5% flygeaske og 22% flygeaske. I tillegg er det tatt utgangspunkt i betongresepten for lavkarbonbetongen med 33% flygeaske brukt ved Telemark Krisesenter, se avsnitt 10.1. Utslippstallene er vist i tabell 7.10.

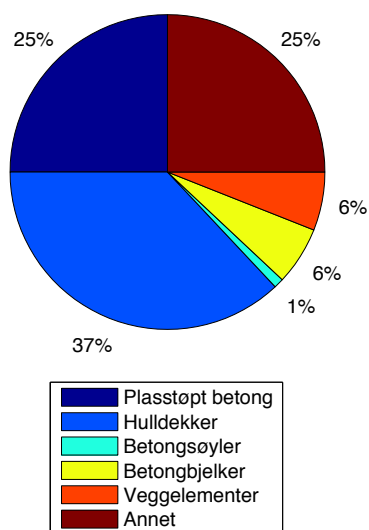
Tabell 7.10: Utslippstall for hulldekker med lavkarbonbetong fra Contiga

Produktgruppe	Utslipp [kg CO ₂ -ekv/m ²]	Utslipp [kg CO ₂ -ekv/tonn]	Reduksjon fra 0% FA
Hulldekker 0% FA	56	149	-
Hulldekker 16,5% FA	50	134	11%
Hulldekker 22% FA	49	131	13%
Hulldekker 33% FA	45*	-	20%

*Basert på estimat

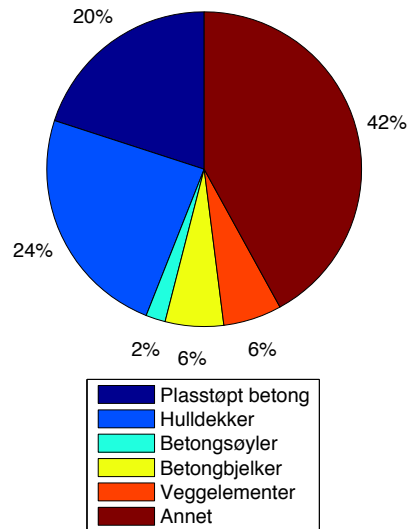
7.6 Effekt ved bruk av lavkarbonbetong

Hensikten med å bruke lavkarbonbetong på Fornebu S er først og fremst å redusere klimagassutslippet nok til å oppnå poeng i BREEAM-NOR. Fornebu S kommer til å klare maksimum antall poeng (3 poeng) ved å benytte referansebygget i versjon 3. De ligger an til å ha en reduksjon på 70% slik mengdene foreligger i april 2013. Innvirkningen på klimagassregnskapet ved bruk av lavkarbonbetong kommer dårlig frem når referansebygget har så høye utslippstall som i dette tilfellet. Effekten ved bruk av lavkarbonbetong vil derfor bare bli diskutert for referansebyggene med prosjekterte mengder og tilhørende utslippstall fra versjon 4 og norsk bransje. Figur 7.5 og 7.6 illustrerer hvor stor andel av klimagassene som kan føres tilbake til de ulike betongkomponentene og andre bygningskomponenter for henholdsvis versjon 4 og norsk bransje. Selv med referanser for utslippstallene fra norsk bransje utgjør betongen over 50% av klimagassutslippene. I begge tilfellene er det den plasstøpte betongen og hulldekkene som er de største bidragsyterne til klimagassutslippene. Det blir derfor diskutert to reduksjonsmuligheter; lavkarbonbetong i den plasstøpte betongen og i hulldekkene. Det er bare brukt lavkarbonbetong i den plasstøpte betongen på Fornebu S. Reduksjonsmulighetene for henholdsvis plasstøpt betong og hulldekker er vist i tabell 7.11 og 7.12.



Figur 7.5: Andel av klimagassutslipp fordelt på bygningskomponenter for referansebygget i versjon 4

Ved bruk av lavkarbonbetong (ref. *Forenbu S*) kan utslippet fra plasstøpt betong reduseres med 12% i forhold til norsk bransje. Dette utgjør rundt 312 tonn CO₂-ekv for Fornebu S. Hulldekkene som er den største bidragsyteren til klimagassutslippet kan ikke inneholde like stor andel flygeaske som plasstøpt betong. Den mest realistiske lavkarbon-



Figur 7.6: Andel av klimagassutslipp fordelt på bygningskomponenter for referansebygget med norske betongreferanser

Tabell 7.11: Reduksjonsmuligheter for plasstøpt betong

Betongtype	Utslipp [tonn CO ₂ -ekv]	Reduksjon versjon 4	Reduksjon norsk bransje
Versjon 4	5 303	-	-
Norsk bransje, <i>Standard</i>	2 605	51%	-
Optimalisert, <i>Optimalisert</i>	2 466	53%	5%
Lavkarbonbetong, <i>Fornebu S</i>	2 293	57%	12%
Lavkarbonbetong, <i>Teoretisk</i>	2 055	61%	21%

betongen med 16,5% flygeaske har et reduksjonspotensiale på 10% i forhold til norsk bransje. Dette utgjør rundt 310 tonn CO₂-ekv for Fornebu S.

I tabell 7.13 er det totale klimagassutslippet for materialer brukt på Fornebu S listet opp med forskjellige tiltak. Klimagassregnskapet finnes i vedlegg E. Bruk av lavkarbonbetong i de plasstøpte betongkonstruksjonene er det mest aktive tiltaket Fornebu S har gjort for å redusere klimagassutslippet. Dette utgjør en reduksjon på 41% eller 2,4% for henholdsvis versjon 4 og norsk bransje. Oppsummert har prosjektet skånet miljøet reelt for 312 tonn CO₂-ekv. Det er fremdeles ikke oversikt over fullstendige materialmengder i prosjektet. Dette er derfor ikke endelige tall. Trolig vil flere mengder bli lagt til etterhvert som prosjekteringen går fremover. Resultatet kan imidlertid tolkes dithen at med et mer realistisk referansebygg måtte Fornebu S ta mer hensyn til valg av materialer for å nå opprinnelig målsetningen om to BREEAM-NOR-poeng for klimagassutslippet.

Tabell 7.12: Reduksjonsmuligheter for hulldekker

Betongtype	Utslipp [tonn CO ₂ -ekv]	Reduksjon versjon 4	Reduksjon norsk bransje
Versjon 4	7 906	-	-
Norsk bransje	3 119	61%	-
Hulldekker med 16,5 % FA	2 809	64%	10%
Hulldekker med 22 % FA	2 710	66%	13%
Hulldekker med 33 % FA	2 506	68%	20%

Tabell 7.13: Totalt utslipp av klimagasser ved bruk av lavkarbonbetong på Fornebu S

Referansebygg	Utslipp [tonn CO ₂ -ekv]	Reduksjon versjon 4	Redusksjon norsk bransje
Versjon 4	21 517	-	-
Norsk bransje	12 967	40%	-
Tiltak			
Plasstøpt, <i>Opimalisert</i>	12 829	40%	1,1%
Plasstøpt, <i>Fornebu S</i>	12 656	41%	2,4%
Plasstøpt, <i>Teoretiske</i>	12 417	42 %	4,2 %
Plasstøpt, <i>Fornebu S</i> + HD 16,5 %	12 346	43%	4,8%
Plasstøpt, <i>Teoretiske</i> + HD 22 %	12 009	44%	7,4%
Plasstøpt, <i>Teoretiske</i> + HD 33 %	11 805	45%	9,0%

Tabell 7.13 viser også hvor stor forskjell det er på klimagassregnskap.no sine utslippsreferanser og faktiske utslipp fra norsk betongbransje. Uten tiltak kan klimagassregnskapet for materialer reduseres med 40% i forhold til referansebygget. Det er altså mulig å vise til høye reduksjonstall uten at prosjektet har valgt miljøvennlige byggematerialer. Med tanke på betong er lavkarbonbetong det beste miljøtiltaket vi har. Det bør derfor være fokus på valg av det mest miljøvennlige materiale, heller enn hvor stor reduksjon av klimagassutslippet som er blitt oppnådd. Samme tiltak gir enten 41% reduksjon eller 2,4% reduksjon alt ettersom hva referansen er. I begge tilfeller er miljøet skånet med samme antall tonn CO₂-ekv, så sant ikke betongen er produsert og hentet fra Europa.

7.7 Oppdatert materialbruk *tidligfase*

Klimagassregnskap.no melder i slutten av mai 2013 at tidligere problemer med beregning og skalering av referansebygget i *tidligfase* er fikset. Det er kommet en ny versjon av materialbruk *tidligfase* som er revidert med hensyn på både mengdeberegninger og standard materialtyper. Referansebygget som Fornebu S hadde måttet forholde seg til i denne versjonen er vist i tabell 7.14. Med mengder per april 2013 ville Fornebu S ha redusert det totale klimagassutslippet med 23%, og med 21% uten bruk av lavkarbonbetong i de

plastøppte betongkonstruksjonen. Dette ville gitt ett BREEAM-NOR-poeng. Det er ikke gått videre med dette referansebygget i oppgaven, grunnet oppgavens tidsbegrensning, men vi ser riktignok de samme tendensene; bruk av standard norsk betong gir en stor reduksjon, og bruk av lavkarbonbetong øker denne reduksjonen med et par prosent.

Tabell 7.14: Klimagassutslipp for referansebygg med oppdatert *tidligfase*

Kategori	Tonn CO ₂ -ekv/livsløp	Kg CO ₂ -ekv/m ² /år
Grunn og fundamenter	5 706	1,6
Bæresystemer	1 688	0,3
Yttervegg	689	0,3
Innervegg	3 662	1,0
Dekker	3 149	0,9
Yttertak	1 896	0,5
Trapper og balkonger	242	0,1
Totalt	16 412	4,6

8 Reduksjon av betongvolum

Utslipp av klimagasser er en direkte konsekvens av at materialer produseres og benyttes. Dermed vil reduserte materialmengder redusere klimagassutslippet. Det kan derfor være hensiktsmessig å benytte seg av minst mulig materialer. Materialer koster penger og det vil derfor alltid være en streben etter å bruke minst mulig materialer. Likefullt kan mengden materialer reduseres ytterligere dersom redusert materialvolum er et spesifikt krav fra starten. Nedenfor er det sett på forskjellige måter å redusere betongvolumet på dersom det ikke var lagt noen retningslinjer fra prosjektet sin side. Det er gjennomført et modellstudie av bæresystemet og andre mindre tiltak for å redusere betongvolumet. Reduksjonsmulighetene er gjort med bakgrunn i utformingen av Fornebu S.

8.1 Bæresystemet ved Fornebu S

Kjøpesenteret har totalt fire etasjer, to er parkeringskjellere og to er butikkareal. Gulv på grunn, fundamenter og doble bærende vegger i underetasjen består av plaststøpt betong, mens selve bæresystemet er av prefabrikkerte hulldekker, bjelker og søyler. Søylen og bjelkene er av betong, med noen unntak av stålbjelker for å sikre riktig takhøyde. I hovedsak er søylene firkantede og gjennomgående for to plan, men det er runde søyler i fellesarealene i kjøpesenteret. Avstivningssystemet består av sjakter av prefabrikkerte veggelementer. Hele bygget har et gjennomgående bæresystem på 8,25 m x 8 m mellom søylene. Dette ble bestemt i forprosjektet etter ønske fra KLP grunnet tidligere erfaringer med kjøpesentere. 8,25 m x 8 m har vist seg gunstig for kjøpesentere, og er en fleksibel løsning. Hulldekkene er i hovedsak HD 320 og HD 220 med unntak av noen spesielle områder som krever høyere dimensjoner som HD 400 og HD 500.

Rambøll AS er ansvarlig for prosjektering av alle bærende betongkonstruksjoner som skal utføres i plaststøpt betong. Contiga har ansvaret for de prefabrikkerte elementene. Både Rambøll og Contiga påpeker at de tar hensyn til materialmengdene grunnet ønske om reduserte kostnader. De optimaliserer derfor materialmengden innenfor de rammene som foreligger.

8.2 Optimalisering av bæresystemet

I dag er det fire dimensjoneringskrav for bæresystemer; krav til bæreevne, bestandighet, brann og lyd. Med tanke på betongkonstruksjoner har de tre sistnevnte minstekrav knyttet til blant annet tykkelse. Dette gjør at det ofte er svært vanskelig å kunne modifisere utformingen av konstruksjonen for å redusere betongvolumet. Konstruksjonens utforming påvirker belastningen av de ulike konstruksjonselementene, og dermed kravet til bæreevne. Ved å modifisere utformingen, kan dermed kravet til bæreevne reduseres, noe som kan føre til reduksjon av volum.

Denne optimaliseringen av bæresystemet er en overordnet undersøkelse av det aktuelle bæresystemets utforming med hensyn på bæreevnen. Hensikten er å finne et sammenligningsgrunnlag som kan gi indikasjon på materialforbruket, og det er derfor ikke utført noen detaljert dimensjonering. For å kunne sammenligne forskjellige bæresystemer med

tanke på volumer må kapasiteten være den samme. Ettersom det er benyttet tabellkapasiteter for hulldekkene og bjelkene er det ikke mulig å tilpasse kapasiteten. Det er derfor tilstrebet så lik kapasitet om mulig for de tilgjengelige komponentene. Avvikene i utnyttelsesgrad er innenfor 15-20% for hulldekkene og noe mindre for bjelkene. Resultatet kan derfor ikke brukes til direkte sammenligning, men til å indikere tendenser til besparende tiltak for dekkesystemer.

De aktuelle parameterne for justeringer av bæresystemet er tverrsnittstykkelsen hulldekkene og lengden av hulldekkespennet og bjelkespennet. Hulldekker er et enveissystem og er gunstig for store spenn i én retning. For å utnytte bæresystemet er det derfor sett på mer rektangulære system med et lengre hulldekkespenn og kortere bjelkespenn. Dette er gjort for tre forskjellige hulldekketykkelser.

8.2.1 Beregningsgrunnlag for hulldekkesystemet

Formålet er å kunne sammenligne klimagassutslippet for de ulike dekkesystemene. Derfor er det ønskelig å redusere den mengden materialer som har stor betydning på klimagassregnskapet. Med i beregningene av materialforbruket i hulldekkesystemet er selve hulldekket, betongbjelkene og betongsøylene. I disse komponentene er det tatt hensyn til betong, spennarmering, lengdearmering og skjærarmering. Hovedfokuset ligger på redusert betongvolum, men for å få et realistisk sammenligningsgrunnlag må armeringsmengdene inkluderes. Slakkarmering blir produsert av gjennvinnbart stål, altså skrap, og spennarmering blir produsert direkte fra jernmalm. I et miljøperspektiv vil derfor spennarmering ha det største karbonavtrykket og dermed ha størst påvirkning på det totale klimagassregnskapet. Annen type armering som fugearmering og mindre armeringskomponenter er ikke tatt med.

Det er tatt utgangspunkt i hulldekkespenn på 8,25 m og bjelkespenn på 8 m som foreligger for Fornebu S og en aktuell lastsituasjon for nivå 2 (Rambøll Norge AS 2012). Egenlastene til dekkene er inkludert, men egenlasten til bjelkene utgjør såpass lite at de er neglisjert. De aktuelle lastene er kombinert med lastkombinasjonsfaktorer fra EC0. Det er benyttet betongkvalitet B45, spennarmering med 0,1% strekkgrænse på 1700 MPa og vanlig slakkarmering B500NC.

Som dimensjoneringsgrunnlag er det brukt oppgitte tabellkapasiteter for hulldekker fra Contiga, vist i vedlegg F, og for bjelker fra *Betongelementboken Bind A 'Hjelpemidler til overslagsdimensjonering'* (Alexander & Vinje 2012) etter anbefaling av Geir Udahl, konstruksjonssjef i Contiga (Udahl 2013). Det er også benyttet bjelkekapasiteter fra spesifikke bjelker som benyttes for Fornebu S. Utover dette er det benyttet vanlig statikk. Kapasitetene er tilpasset så langt dette lar seg gjøre, men er begrenset grunnet tabellkapasiteter. Det er også prøvd å tilpasse bjelkene til hulldekketykkelsen så godt det lar seg gjøre. Tverrsnittet til søylene er deretter bestemt ut fra bredden i overkant på bjelkene. Hulldekkene er sjekket for skjærkrefter og momenter og bjelkene er sjekket for momenter. Søylene er kun sjekket med tanke på trykkapasiteten og andreordens effekter er ikke inkludert. Det er tilstrebet høyest mulig utnyttelsesgrad for alle komponentene. I noen få av tilfellene er momentkapasiteten for bjelkene overskredet, dette vil imidlertid kunne løses med mer spennarmering og/eller slakkarmering eller ved å forandre tverrsnittet. Selv

om bjelkene kun er sjekket for moment, vil trolig skjærkapasiteten være god nok for de lengre bjelkespennene. De kortere bjelkespennene er mer utsatt for skjærkrefter og skjærkapasiteten kan derfor være for lav. Dette kan imidlertid løses med mindre justeringer og spiller en mindre rolle for materialforbruket i dette tilfellet.

Ettersom det er brukt tabellkapasiteter for bjelkene fra Betongelementboken Bind A er ikke armeringsmengden kjent. Det er derfor regnet ut spennarmeringsmengde etter metode fra Contiga (Udahl 2013). Metoden er brukt på alle bjelkene for å gi best grunnlag for sammenligning. For å finne skjærarmeringsmengden er det antatt minimumsarmering i henhold til EC2 og lengdearmeringsmengdene er basert på gjennomsnittet av de bjelkene og søylene som er gjort tilgjengelige for Fornebu S.

Det påpekes at dette er en overslagsdimensjonering med tabellkapasiteter. Resultatene må derfor ses i sammenheng med dette og kan kun indikere tendenser i volumreduksjon av hulldekkssystemer. Det er imidlertid en nøyaktig nok dimensjonering for å se tendensen til materialforbruket basert på forskjellige dekketykkelser og spennvidder. Den helhetlige dimensjoneringen, beregnede materialmengder og tilhørende klimagassregnskap finnes i vedlegg G.

8.2.2 Beregnet materialforbruk og klimagassutslipp

Materialforbruket for de ulike kombinasjonene av hulldekketykkelse, hulldekkespenn og bjelkespenn er vist i tabell 8.1. Det er vurdert fem forskjellige kombinasjoner for tre ulike hulldekketykkelser. I figur 8.1 og 8.2 er mengdene fordelt på de ulike komponentene for henholdsvis spennarmering og betong, og viser gjennomsnittet for HD 320. Hulldekkene har det største bidraget til materialmengdene både for spennarmeringen og betongvolumet. Det er ut fra mengdene regnet ut tilhørende klimagassutslipp for de forskjellige dekkesystemene. Utslippstall for betongen er estimert fra betongresepten for normal hulldekkeproduksjon hos Contiga med tanke på sementinnhold, og utslippstall for stål er hentet fra klimagassregnskap.no. Utslippstallene for stålet er hentet fra gjennomsnittlig produksjon i Europa og er realistiske nok i denne forbindelse fordi Norge for det meste importerer stål fra Europa. Det er benyttet utslippsfaktorer for stål fra malm og fra skrap på 2,89 kg CO₂/kg mat og 0,47 kg CO₂/kg mat for henholdsvis spennarmering og slakkarmering. For betongen er det benyttet utslippstall på 259 kg CO₂/m³. Utslippstallet er realt høyt og dette er fordi Contiga benytter seg av en hulldekkebetong med høyt innhold av Industrisement som har et høyt karbonavtrykk.

Figur 8.3 viser klimagassutslippet for de forskjellige dekkesystemene. Utslippet er plottet mot forholdet mellom hulldekkespenn og bjelkespenn. Ut fra figur 8.3 vises det en tendens til at redusert hulldekketykkelse og høyt HD-spenn/bjelkespenn-forhold gir redusert karbonavtrykk. I figur 8.4 vises materialenes bidrag til klimagassutslippet.

Ut fra denne overordnede dimensjoneringen og klimagassvurderingene er det mulig å se følgende tendenser: mer rektangulære dekkesystemer og redusert hulldekketykkelse gir redusert klimagassutslipp. Hulldekkene er et enveisbæresystem og blir best utnyttet ved optimaliserte hulldekkespenn, på denne måten reduseres også betongvolumet grunnet redusert behov for bjelker. Den horisontale delen har størst bidrag til volumet og har dermed stort potensiale for reduksjon. Søylene utgjør lite av det totale volumet og

er ikke utført med spennarmering, dette gir lite bidrag til det totale klimagassutslippet. Optimalisert bruk av spennarmering har også potensiale til redusert karbonavtrykk etter som spennarmeringen har en høy utslippsfaktor og utgjør 26% av materialenes bidrag til klimagassutslippet, se figur 8.4.

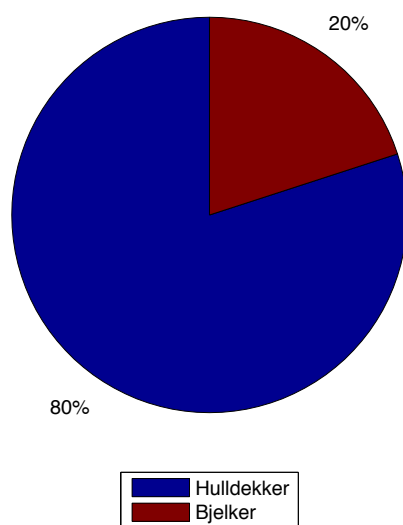
Tabell 8.1: Materialforbruk for ulike hulldekkesystemer

Type	HD-spenn [m]	Unyttelse M_{Ed}/M_{Rd}	Bjelkespenn [m]	Unyttelse M_{Ed}/M_{Rd}	Betong [kg/m ²]	Spenn [kg/m ²]	Slakk [kg/m ²]
HD 265	8,25	0,81	8	1,05	450	5,9	2,9
	10	0,91	8	0,97	455	6,9	2,4
	10	0,91	6	1,06	449	6,6	2,7
	12	1,06	6	0,89	421	7,9	2,2
	12	1,06	4	0,91	377	7,1	1,8
HD 320	8,25	0,60	8	0,93	523	6,4	2,6
	10	0,88	8	1,13	503	6,1	2,1
	10	0,88	6	1,09	485	5,5	1,6
	12	1,00	6	1,06	491	7,1	1,9
	12	1,00	4	0,97	447	6,4	1,8
HD 400	8,25	0,49	8	0,99	620	6,1	2,6
	10	0,72	8	-	-	-	-
	10	0,72	6	0,93	584	5,7	2,3
	12	0,91	6	1,00	563	6,1	1,7
	12	0,91	4	0,73	536	5,9	1,8

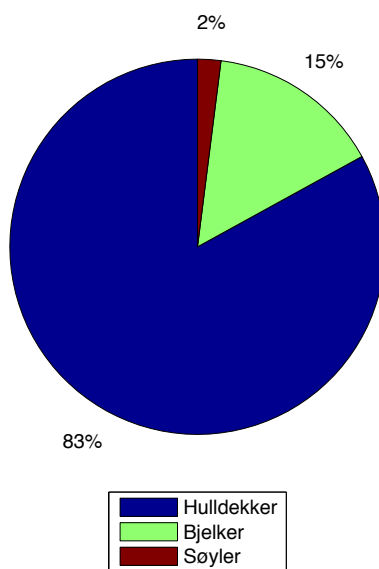
Klimagassutslippet til dekkesystemet på Fornebu S er på 4 270 tonn CO₂. Dette er medregnet hulldekkene, betongsøylene og betongbjelkene, og er basert på mengder og EPD-er fra Contiga. EPD-ene er, som tidligere nevnt, basert på et gjennomsnitt av produktene, se avsnitt 7.5. Ut fra dimensjoneringen og materialberegningene med utgangspunkt i HD 320, og gjeldende bæresystem for Fornebu S er det totale klimagassutslippet beregnet til 4 116 tonn CO₂. De to utslippene avviker med ca. 4% fra hverandre. Dette kan indikere at dimensjoneringen og materialberegningene er pålitelige nok til å kunne trekke ut tendenser til tiltak for redusert karbonavtrykk. For å illustrere potensialet til rektangulære hulldekkesystemer vil det for Fornebu S utgjøre 609 tonn CO₂ dersom prosjektet hadde valgt et rektangulært system på 12 x 4 m i stedet for 8,25 x 8 m. I forhold til det totale klimagassregnskapet med norske betongreferanser utgjør dette 5% reduksjon. Det rektangulære systemet er imidlertid mindre fleksibelt og utgjør en dårligere løsning for eksempel for en parkeringskjeller.

8.3 Alternative materialer og utforminger

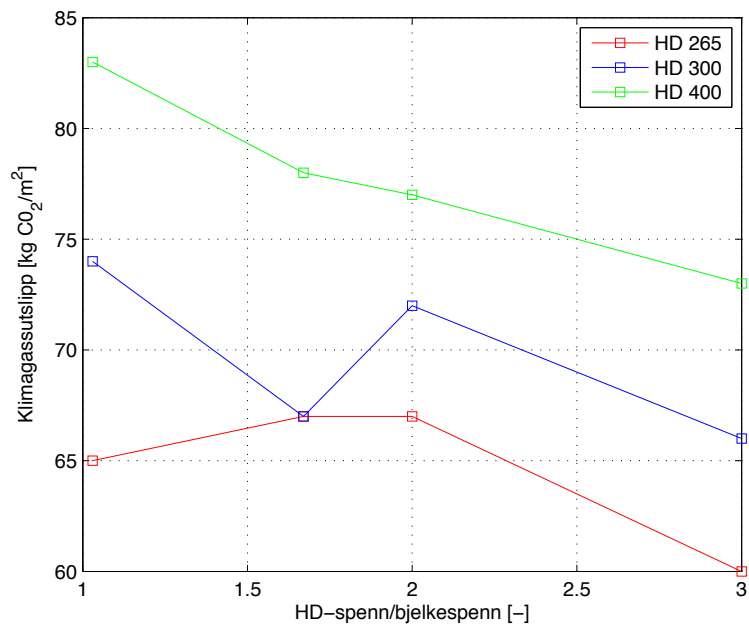
Dette avsnittet er ment for å illustrere at det er mulig å redusere klimagassutslippet ytterligere ved enten å velge andre materialer eller endre på utformingen. Hvorfor de aktuelle løsningene og materialene er valgt på Fornebu S har nok sin naturlige forklaring, men det er nok ikke sikkert disse beslutningene er tatt med hensyn til miljøet. Det er derfor viktig og helt nødvendig at miljø kommer inn som et eget prosjekteringskriterium på lik linje med andre. Det hele blir en mer krevende beslutningsprosess når pris, kvalitet og miljø kan dra i tre forskjellige retninger.



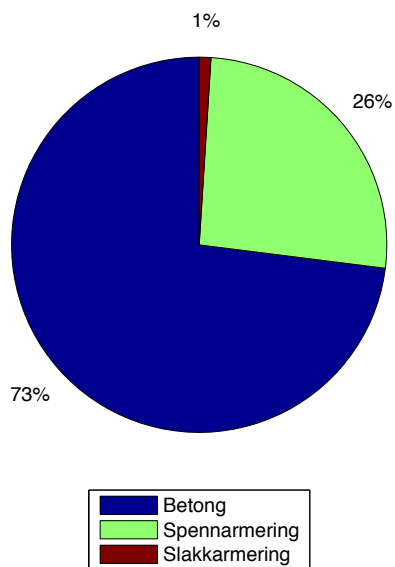
Figur 8.1: Komponentenes volumbidrag til spennarmering



Figur 8.2: Komponentenes volumbidrag til betongmengde



Figur 8.3: Klimagassutslipp for dekkesystemer



Figur 8.4: Materialenes bidrag til klimagassutslippet

Rambøll har valgt at de plasstøpte veggene i parkeringskjelleren skal være parallelle bærevegger. I følge Andresen i Rambøll kunne utformingen vært annerledes. Veggene mot parkeringskjelleren kunne vært utført som lettvegger med søyler i aksene for å ivareta bæreevnen. Tilsammen er dette omtrent 500 m^3 betong som ville bli erstattet av rundt 25 betongsøyler. Totalt søylevolum blir 35 m^3 . Webers leckablokkvegg på 15 cm har utslipp på 37 kg CO_2 -ekv for 1 m^2 i sin offisielle EPD hentet fra EPD-norge.no. Slik veggen mot parkeringskjelleren er utformet i dag har den et samlet utslipp av klimagasser på 114 tonn CO_2 -ekv. Med lettvegger av pussete lecablokker og bærende betongsøyler ville utslippet av klimagasser vært redusert til 70 tonn CO_2 -ekv.

Videre forteller Andresen at det kunne vært mulig å finne andre måter å redusere betongvolumet på i de plasstøpte konstruksjonene, men at dette krever veldig nøyaktig regning. I tillegg til å påpeke at dette er tidkrevende mener han at det heller ikke er rasjonelt i praksis, da det blir flere ulike løsninger fremfor flere like løsninger som er enklere å produsere.

Fornebu S har over 5315 m^2 prefabrikkerte vegger som i hovedsak er heissjakter og virker som avstivning. Disse kunne vært utformet i lavkarbonbetong, og dette hadde utgjort en forskjell på 411 tonn CO_2 -ekv. Dette utgjør en betydelig del av det totale klimagassutslippet for bygget. Det er imidlertid noen ulemper ved denne løsningen. Rent praktisk er løsningen gjennomførbar, men produksjonen hadde tatt lengre tid og dermed blitt mer kostbar. Det er planlagt at bæresystemet til solcellepanelstaket skal utføres som prefabrikkerte betongsøyler eller stålsøyler. Det er mulig å ha bærende konstruksjoner som limtrebjelker, og dette kunne vært et aktivt tiltak for et mer klimavennlig bygg.

Økt levetid er også et eksempel på andre metoder det er mulig å redusere miljøpåkjenningene. I klimagassregnskap.no er levetidsbetraktninger tatt med i utregningen gjennom en multiplikasjonsfaktor avhengig av antall utskiftninger (Selvig 2013a), se avsnitt 7.1.1. Levetiden for bygget er 60 år. For betong i påstøp på gulv er utskiftningstakten 3 (ref. etter oppdatering) fordi det er regnet med en levetid for gulvet på 25 år. I *prosjektert bygg* er det mulig å legge inn egne levetider for benyttede materialer. Dersom det er brukt et produkt med økt levetid enn det som er beregnet, kan dette legges inn og på denne måten redusere klimagassutslippet. Det er imidlertid slik at levetiden til materialet blir satt i sammenheng med sjiktet og byggets funksjon og levetid.

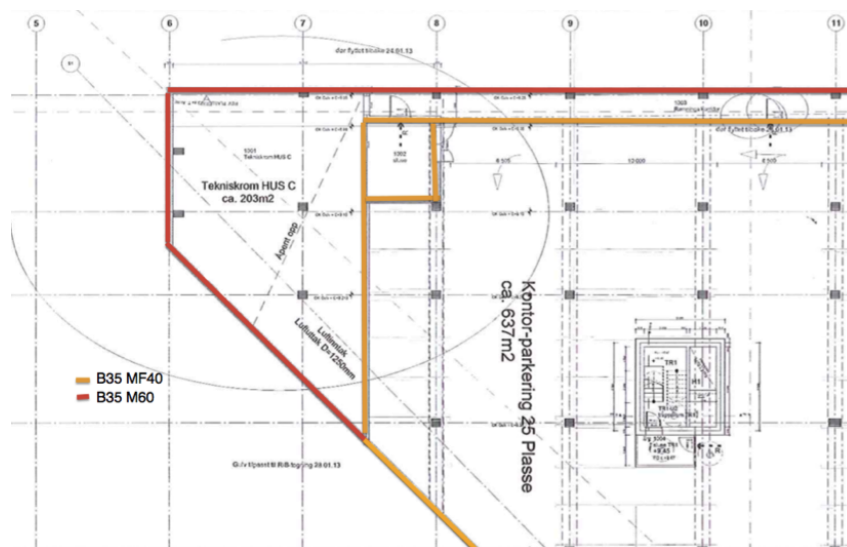
9 Produksjonseffekter for plasstøpt betong

Ved å bruke flygeaske som substitusjonsmateriale for sement forandres betongens egenskaper. Dette påvirker betongens støpelighet, samt varme- og fasthetsutvikling, som igjen påvirker hvordan betongen må håndteres på byggeplass. Gjennom prosjektets egne praktiske erfaringer og ved hjelp av måling og simulering av temperaturutviklingen i betongen er effekten ved bruk av flygeaske presentert. Disse må også derfor ses i sammenheng med prosjektet. Erfaringer fra Fornebu S kan belyse noen av utfordringene et prosjekt står ovenfor ved bruk av plasstøpt lavkarbonbetong.

9.1 Erfaring med plasstøpt lavkarbonbetong

Skanska Anlegg er ansvarlig for utførelsen av det plasstøpte betongarbeidet på Fornebu S. De hadde oppstart i november 2012 og skal etter planen være representert på byggeplassen frem til høsten 2013. Grunnet denne oppgavens tidsbegrensning er det gjort en oppsummering av erfaringene med bruk av lavkarbonbetong i perioden desember 2012 og frem til slutten av mars 2013. Bruk av lavkarbonbetong har i et helhetlig perspektiv ikke gått utover fremdriften til Skanska Anlegg eller prosjektet som helhet. Imidlertid har det vært enkelte utfordringer knyttet til bruken av lavkarbonbetong, spesielt med veggene i parkeringskjelleren. Fundamenter, dekker og andre deler av den plasstøpte betongen har ikke hatt de samme utfordringene. Det vil derfor kun videre bli fokusert på erfaringene gjort rundt veggstøpene som er gjennomført i det aktuelle tidsrommet.

De aktuelle veggene er mellom 7 og 9 m høye og har en tykkelse på 30 cm. Et utsnitt av en plantegning med markerte vegger er vist i figur 9.1. Store deler av veggutformingen består av to parallelle vegger, der ytterveggen mot parkeringskjelleren er av betongkvalitet B35 MF40 og ytterveggen ut mot grunn er av kvalitet B35 M60.



Figur 9.1: Plantegning for Fornebu S med markerte vegger

Første veggstøp ble utført i starten av desember 2012 med kvalitet B35 M60. I løpet

av desember ble det registrert lave temperaturer rundt -10° og -15° . Erfaringene fra denne perioden var at det oppstod problemer med avbindingstiden til lavkarbonbetongen. Det ble observert at selv rundt ti timer etter støp var betongen fremdeles bløt og kun viste antydning til avbinding i de nederste delene av veggene, selv med standard vintertiltak som fyring og tildekning. Betongen var så bløt dagen etter at det ble problemer med å ta ut stagen. Selv med økt temperatur på den leverte betongen viste den tegn til sen avbinding. Dette førte til at de ikke kunne ta av forskallingen til planlaget tid. De samme tendensene fortsatte i starten av januar. For å kunne opprettholde fremdriften og kvaliteten på det plaststøpte betongarbeidet ble det innkalt til et tiltaksmøte 16. januar 2013 med Sverre Smeplass fra Skanska Teknikk.

Under møtet ble det avklart at den store andelen flygeaske i lavkarbonbetongen er hovedårsaken til forsinket avbindingstidspunkt. Imidlertid ble det også rettet mistanke om for mye tilsetningsstoff, som bidrar til en retarderende effekt. Disse to i kombinasjon med lave temperaturer gir utslag i sen avbinding. Det ble også oppklart at kvalitet B35 MF40 viste de samme tendensene, men i mindre grad. Det ble utformet tiltak som i første omgang ikke skulle gå ut over reseptene som sådan, slik at kravet til lavkarbonbetong fremdeles var tilfredsstillende, se punkt en under. Dersom dette viste seg å ikke gi vesentlige forbedringer måtte det gjøres endringer i sementinnholdet, se punkt to under.

1. Stramme opp reseptene, unngå unødvendig bruk av tilsetningsstoffer. Samtidig benytte seg av størkningsakselerator og/eller herdingsakselerator.
2. Erstatte noe av sementen med industrisement.

Prosjektet hadde i denne perioden kommet til støping av veggene som står parallelt med hverandre. Se figur 9.1 fra akse 8 og utover. Utformingen med parallelle vegger gjelder over store deler av ytterveggene. Planleggingen var satt opp på en slik måte at en støpeetappe av hver vegg skulle foregå samtidig. Grunnet logistikk på byggeplassen og bedre erfaringer med kvalitet B35 MF40 besluttet Skanska Anlegg å kun benytte seg av denne kvaliteten i begge veggene i de parallelle områdene, selv om den bedre kvaliteten var dyrere. Da kunne samme pumpe benyttes og større leveranser av betong bestilles til byggeplassen, som igjen kunne bidra til at betongen ble levert med tilstrekkelig høy temperatur.

Tiltaket ble besluttet i samarbeid med betongleverandøren NorBetong. Det ble avtalt reduksjon og bytte av tilsetningsstoff, samt tilsetning av størkningsakselerator direkte i betongbilen på byggeplassen. Etter at det første tiltaket var gjennomført ble det holdt et oppsummeringsmøte med Skanska Anlegg og NorBetong 5. februar 2013. Der ble det oppsummert at betongen fremdeles var noe bløt selv om kvalitet B35 MF40 kun var benyttet, spesielt ved et støp hvor temperaturen var ned mot -15° . Det ble imidlertid også fortalt at betongen var tilstrekkelig hard ved høyere temperaturer opp mot 0° . Ytterligere tiltak ble imidlertid ikke iverksatt og videre støp etter dette har vist gode resultater.

For dokumentasjon har Skanska Anlegg benyttet seg av en støpedagbok, der blant annet lufttemperaturene er registrert ved støp på byggeplassen. Gjennomsnittstemperaturen ut fra denne dokumentasjonen viser -6° i desember og -3° fra jul til påske, med tilfeller av noen dager med temperaturer ned mot -15° i begge periodene. Det er på de kaldeste dagene det er observert spesielle problemer med sen avbinding. Som en konsekvens av

konstruksjonens utforming med parallelle vegger ble støpeplanen lagt opp med hovedsak støp på fredager med uttak av stag på lørdag og riving av forskalling på mandagen etter. På denne måten ble det en inneklemt søndag uten produksjon på byggeplassen. Skanska Anlegg påpeker at de ikke kunne vært mer effektive med tanke på støp av de parallelle veggene og at støpeplanen er lagt opp uten spesielle hensyn til bruk av lavkarbonbetong. Den inneklemt søndagen var kun planlagt med hensyn på logistikk.

Hvorvidt planleggingen av støpeetappene, med en innlagt fridag og relativt høy gjennomsnittstemperatur, har påvirket bruken av lavkarbonbetong på Fornebu S kan ikke videre diskuteres. Videre er det heller ikke vurdert videre bruk av kvalitet B35 M60. Det kan derfor ikke sies noe om hvordan denne betongkvaliteten ville fungert, selv med de iverksatte tiltakene. Konsekvensene av å kun benytte seg av den dyreste betongen opp mot eventuelle forsinkelser ved bruk av B35 M60 er ikke tatt med i betraktningen, men det er nærliggende å tro at forsinkelser i prosjektet helhetlig fører til større kostnader totalt sett. Selv om Skanska Anlegg var noe forsinket fra de første støpeetappene med lavkarbonbetongen, ble forsinkelsen tatt igjen. Erfaringen med lavkarbonbetong etter utførte tiltak med tanke på avbinding og fremdrift er derfor god. Bruk av lavkarbonbetongen har ikke ført til forsinkelser i prosjektet.

Det er ikke bare sen avbinding som har vist seg å være forskjellig sammenlignet med vanlig betong. Skanska Anlegg forteller at bruk av lavkarbonbetong krever mer oppfølging på byggeplassen og større kontroll av betongkvaliteten. Dette spesielt med tanke på at de måtte tilsette akselerator på byggeplassen. I tillegg kreves det ekstra vedlikehold av pumpen. Betongen setter seg fort fast og pumpen må vaskes nøye for å unngå pigging. Samtidig er deres erfaring med selve gjennomføringen at støpet er mer tidkrevende enn ved bruk av en referansebetong. Ut fra støpedagboken er det flere støp som har varighet i rundt ti timer og noen tilfeller opp mot tolv timer. En treg betong vil gi økt formtrykk. Som en konsekvens av dette må støpet skje med lav støpehastighet. Totalt sett blir derfor støp med lavkarbonbetong mer krevende og har dermed også noen ekstra kostnader knyttet til seg. Skanska Anlegg har imidlertid ikke økt bemanning i forhold til det de ville ha hatt med en referansebetong eller gjort andre spesielle tiltak i organiseringen. Varigheten på støpene gikk også ned etter at det ble tilsatt størkningsakselerator. Størkningsakseleratoren reduserer tiden før avbinding og på den måten reduseres formtrykket. Betongen har vist tilstrekkelig 28-døgnsfasthet for de prøvene som er gjort i laboratoriet på plassen. Selve resultatet av veggene er svært tilfredsstillende og betongen har en fin overflate uten tegn til riss.

Normale vintertiltak som har blitt utført på plassen er:

- Tildekking med vintermatter
- Oppvarming av forskalingsformen
- Fyring under og etter støp

Utdrag fra Skanska Anlegg sin støpedagbok er gitt i vedlegg H.

9.2 Måling og simulering av plasstøpt lavkarbonbetong

Ved å måle betongens faktiske temperaturutvikling er det mulig å si noe om trykkfasthetsutviklingen. Det vil kun bli fokusert på tidligfasthetsutvikling fordi det er denne som kan være kritisk ved bruk av lavkarbonbetong. For å undersøke temperatur- og fasthetsutviklingen til lavkarbonbetongen på Fornebu S er det tatt to temperaturmålinger; et veggstøp og et fundamentstøp. Det aktuelle veggstøpet er de parallelle veggene i parkeringskjelleren, som er diskutert over. Temperaturen er loggført hvert 15. minutt og målepunktene for veggen og fundamentet er vist i henholdsvis figur 9.2 og 9.3. Veggen har to forskallingsflater eksponert for luft- og vindforhold. Fundamentet har kun en slik flate. Varmetapet til veggen vil derfor være større, og skje fra to sider, selv om både veggen og fundamentet har tykkelse på 300 mm. Det blir ikke benyttet samme betong i veggen og i fundamentet. Reseptene for de aktuelle betongene er vist i tabell 9.1.



Figur 9.2: Målepunkter i veggen

Figur 9.4 viser temperaturutviklingen til fundamentstøpet. Luftmåleren ble liggende under presenningen etter gjennomført støp. Dette kan ha påvirket målingen av lufttemperaturen og gitt noe høye verdier, grunnet isolerende effekt. Den dagen var temperaturen



Figur 9.3: Målepunkter i fundamentet

omtrent -3° om morgenen. Trolig vil temperaturen stige noe utover dagen. Det er derfor nærliggende å tro at temperaturen varierte mellom 0° og 5° den dagen. Figur 9.5 viser temperaturutviklingen til veggstøpet. Etersom lufttemperaturen begge dagene er omtrent den samme er det mulig å sammenligne temperaturutviklingen. Av reseptene er det betongen brukt i veggstøpet som inneholder mest sement, selv om de har samme masseforhold. Dette er fordi veggen blir støpt med SKB og derfor har større matriksvolum. Det er forventet at økt sementmengde gir raskere temperaturstigning og høyere temperaturer, fordi hydratisering utvikler varme og reaksjonen skjer fortere ved høye temperaturer. Betongens starttemperatur vil også påvirke temperaturutviklingen, der en høy betongtemperatur gir økt temperaturutvikling. Begge disse faktorene vil tale for størst temperaturutvikling i veggen. Målingene viser imidlertid motsatte tendenser. Fundamentet har en raskere og større temperaturutvikling enn veggen. Grunnen til dette er utformingene til de to konstruksjonsdelene. Veggen er mer utsatt for varmetap gjennom et større overflateareal og dermed klarer ikke konstruksjonen å holde på varmen. Fundamentet har et mindre varmetap og klarer dermed å holde bedre på egenvarmen. Dette gjør at temperaturen stiger og hydratiseringen skjer raskere, og dermed også en raskere fasthetsutvikling. Temperaturforløpet til veggen er i tillegg under 20° kun etter få timer. Betongen blir derfor mer temperaturfølsom, som igjen fører til tregere hydratisering. Veggen vil altså både utvikle varme saktere og holde dårligere på varmen. Dette vil føre til en tregere fasthetsutvikling.

Dette er et tydelig eksempel på hvordan konstruksjonens utforming har mye å si på hvordan betongen holder på varmen. Fundamentets utforming gjør at konstruksjonen utvikler nok egenvarme til at den er mindre sårbar mot kaldt vær sammenlignet med veggstøpet, selv om de har samme tykkelse. Samme tendenser ville blitt observert i betonggulvet på grunn. Dekket har samme tykkelse og i tillegg er det støpt på 10 cm isolasjon.

Tabell 9.1: Resepter brukt i fundamentstøpet og veggstøpet [kg/m³]

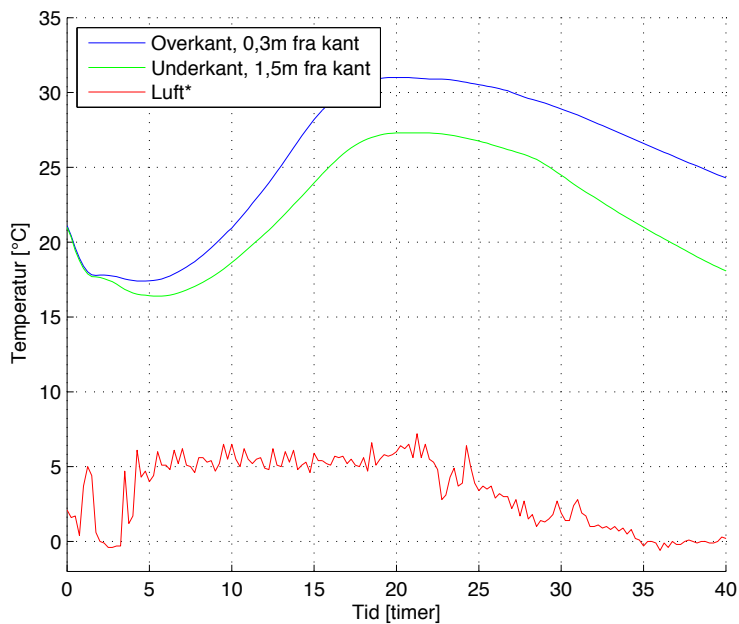
	Fundament	Vegg
Kvalitet	B45 M40	B35 MF40
Masseforhold	0,39	0,39
SKB	Nei	Ja
Totalt FA-innhold	30 %	30 %
Norcem Anleggsement FA	323	341
Flygeaske	52	55
Silika	12	13
Lyngås 0/8	938	916
Steinskogen 11/16	367	358
Steinskogen 16/22	558	545
Vann	145	151
Dynamon SR-N	4	6
Mapeair 25	2	3
Totalt	2401	2388

Isolasjonen vil bidra til enda bedre isoleringsmuligheter og dermed trolig en høyere og raskere temperaturutvikling for samme værforhold. Dette underbygger også de erfaringene Skanska Anlegg har gjort seg. Det er bare veggene som har gitt problemer i form av sen avbinding.

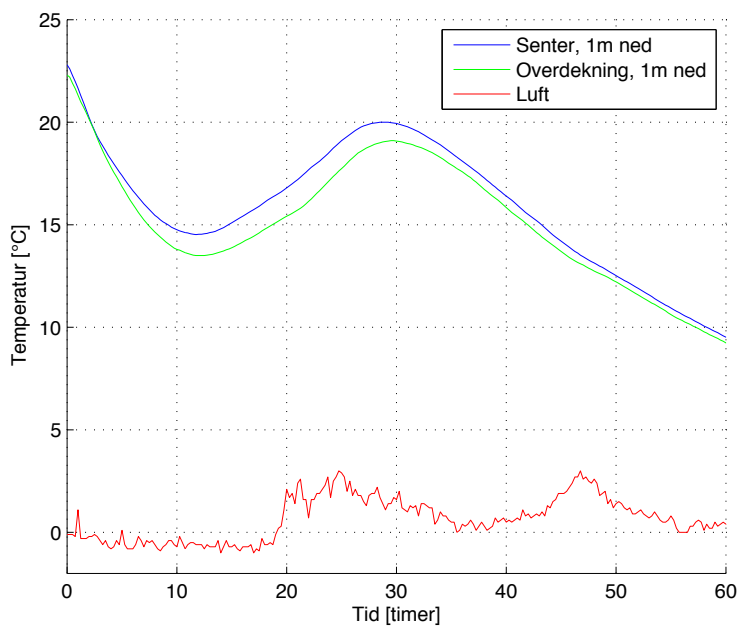
Lavkarbonbetong har mindre sementmengde enn vanlig betong og dermed reduseres den totale varmeutviklingen. I tillegg vil den også gi redusert reaktivitet. Dette fører til lavere temperaturer i betongen. Er konstruksjonen utformet med store frie overlater eksponert for lave lufttemperaturer vil derfor konstruksjonen ha problemer med å holde på varmen. Hydratiseringen er temperaturfølsom og dermed påvirkes fasthetsutviklingen. Ettersom utformingen av veggen er mest kritisk, vil den trolig ha lavest tidligfasthetsutvikling. Det er derfor videre fokusert på veggstøpet for å få et inntrykk av hvordan økt flygeaskeinnhold påvirker tidligfasthetsutviklingen.

9.2.1 Simulering av veggstøp

Simuleringer av temperaturutviklingen og fasthetsutviklingen for veggstøpet er gjort i programmet CracktestCOIN med hjelp fra Oliver Berget Skjølvik fra betongteknologiavdelingen i Skanska Teknikk. Ut fra temperaturmålingene er det også simulert konstruksjonens fasthetsutvikling gjennom interne regneark utviklet av Skanska. Trykkfastheten er beregnet ut fra modenhetsprinsippet. Alle forutsetningene for simuleringene er gitt i vedlegg I. Temperaturutviklingen for veggstøpet er vist i figur 9.6. For å kunne gjøre simuleringene i CracktestCOIN må betongens egenskaper ved 20° være kjent. Det er gjennomført et herdekasseforsøk og tatt terningsfasthetsprøver av betongen i laboratoriet hos NorBetong. Disse testene er gjennomført av studenter ved Høyskolen i Oslo og Akershus

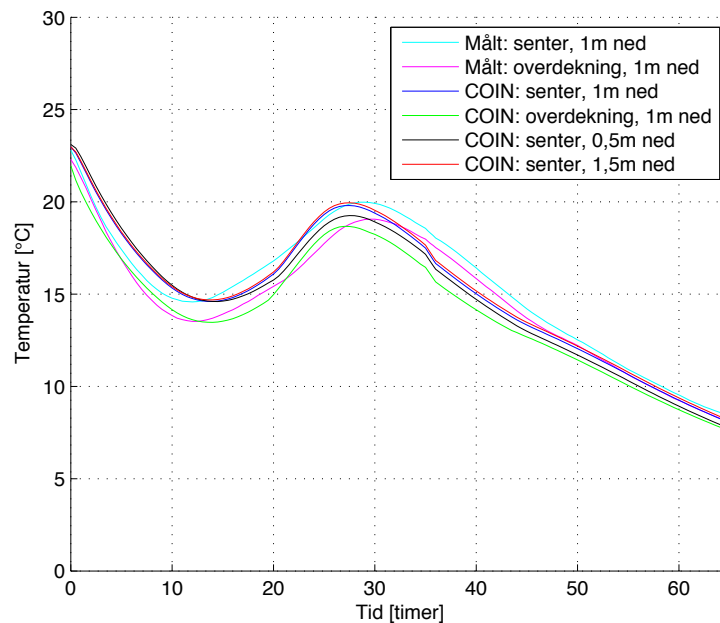


Figur 9.4: Temperaturutvikling for fundamentstøp
*Luftmåleren lå under presenning



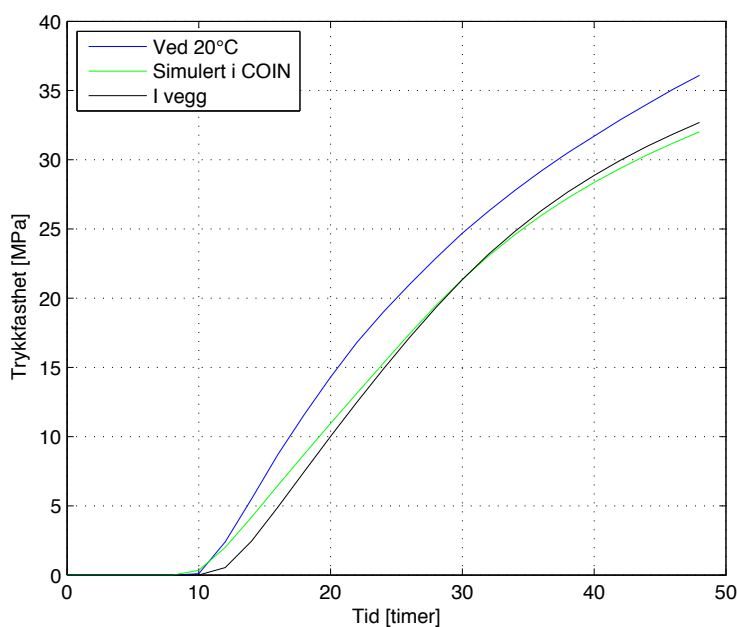
Figur 9.5: Temperaturutvikling for veggen

ved Inge Haugland Gjermundrød og Kjetil Eppeland i samarbeid NorBetongs eget laboratoriepersonell. NorBetong hadde i det tidsrommet noen problemer med loggføringen av temperaturen til herdekasseforsøket. Noe av dataen kan derfor ha gått tapt. Herdekasseforsøket for denne betongen skal imidlertid være godt nok for sitt formål. I tillegg til aktuelle betongegenskaper som varme- og fasthetsutvikling er værforhold, som vind og temperatur og forskallingsegenskaper lagt inn i programmet. De sistnevnte er tilpasset for at simuleringene blir så realistisk som mulig. Fra figur 9.6 ses en god sammenheng mellom simulert temperatur og målt temperatur. Både simulert og målt temperatur viser lavere temperaturutvikling i overdekningen enn i sentrum. Dette er som forventet ettersom betongen holder best på varmen i midten av konstruksjonen.



Figur 9.6: Måling og simulering av temperaturutvikling for veggstøp

Simuleringen av fasthetsutviklingen er vist i figur 9.7. En av målingene er simulert med CracktestCOIN og resten viser fasthetsutviklingen basert på temperaturmålingen i vegg. Sistnevnte er vist i vedlegg J. Ut fra en formfunksjon basert på betongens fasthetsutvikling ved 20° er konstruksjonens fasthetsutvikling regnet ut fra en fib-modell basert på modenhetsprinsippet. Fib-modellen er også grunnlaget for simuleringene i CracktestCOIN. Figuren viser at det er mulig å tilpasse simuleringene med tanke på omgivelsene basert på måldata fra selve konstruksjonen. Det må imidlertid flere målinger til for at egenskapene til omgivelsene skal bli helt riktig. Dette er en iterasjonsprosess som må gjøres i flere omganger. Det som kommer tydelig frem er at så lenge det er kontroll på temperaturutviklingen, altså at den er mest mulig sammenfallende, er det god nok antagelse for fasthetsutviklingen. Kurvene for fasthetsutviklingen er nokså sammenfallende. Det viktigste med grafen er at vi ser tydelig at fasthetsutviklingen er senere og lavere enn ved 20°. På denne måten ses tydelig innvirkningen av lav lufttemperatur. Det er altså



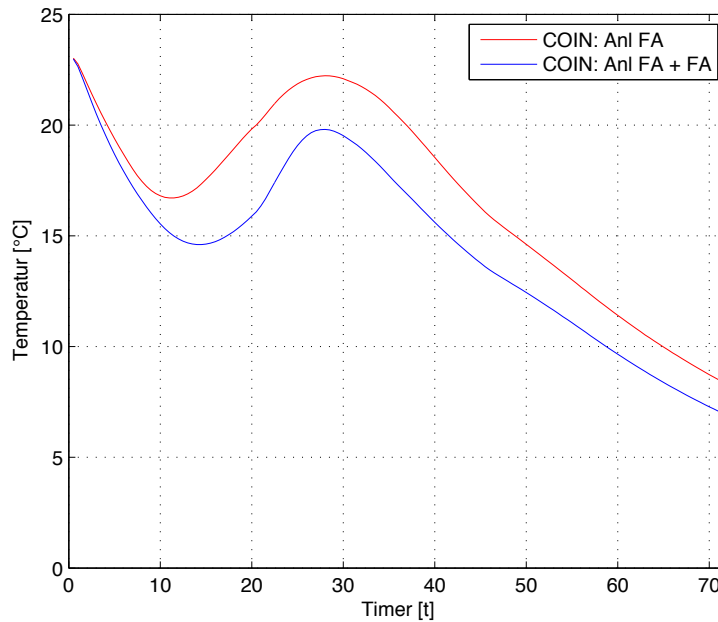
Figur 9.7: Simulering av trykkfasthetsutviklingen for veggstøp

tydelig at ved lavere temperaturer blir det redusert fasthetsutvikling.

9.2.2 Simulering av lavkarbonbetong vs. standardbetong

Lavkarbonbetong inneholder en stor andel flygeaske. Flygeaske påvirker både fasthetsutviklingen og varmeutviklingen til betongen. Når noe av sementen blir erstattet med flygeaske, utvikles det mindre total varme og reaksjonen skjer saktere. I figur 9.8 kommer effekten av lavere varmeutvikling frem. Figuren viser simulering av det samme veggstøpet som nevnt over med lavkarbonbetong og med betong uten ekstra tilsatt flygeaske. Det vil si at det er brukt en vanlig anleggsement FA som er det som er standardvare. Det er ikke lenger vanlig å benytte seg av vanlig anleggsement. Resultatet viser at redusert flygeaskeinnhold gir økt temperaturutvikling, fordi hydratiseringen skjer fortere og det utvikles mer varme. Ved høyere temperaturer skjer hydratiseringen raskere og dermed påvirkes fasthetsutviklingen. Figur 9.9 viser fasthetsutviklingen for de to forskjellige betongene ved samme situasjon. Det er tydelig at ekstra tilsatt flygeaske gir redusert tidligfasthetsutvikling.

Ved å sammenligne målingene og simuleringene med de erfaringene Skanska Anlegg har gjort seg på plassen vises det at resultatene underbygger hverandre. Temperaturmålingene for veggstøpet har ikke blitt utført på de dagene det har vært lufttemperatur ned mot -15° . Likevel er det målt veldig lave temperaturer i betongen for støp med lufttemperaturer rundt 0° . Temperaturen er på dette tidspunkt så lav at betongen er veldig følsom for temperaturendringer, så en redusert lufttemperatur til rundt -15° vil påvirke fasthetsutviklingen i stor grad. Fasthetsutviklingen ved temperaturer rundt 0° er ikke så kritisk og

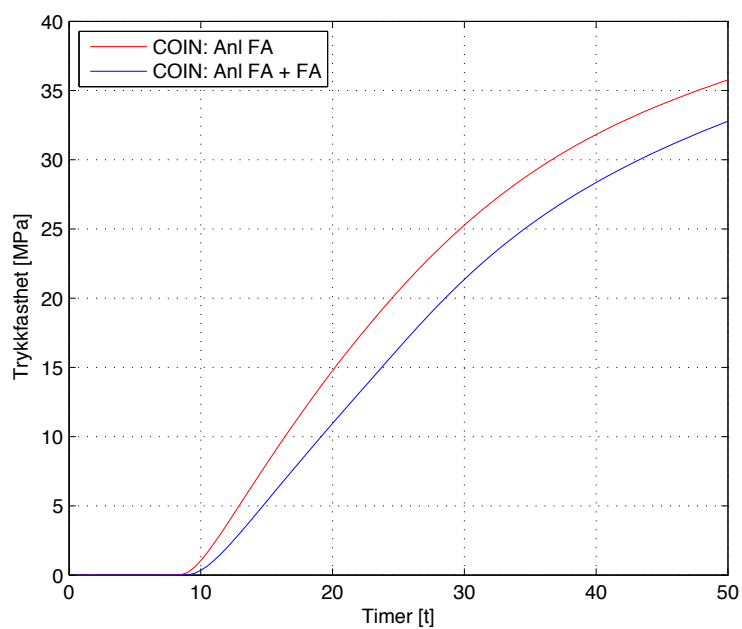


Figur 9.8: Simulering av temperaturutvikling med forskjellige betonger for veggstøp

fasthetsutviklingen er tilstrekkelig for produksjonen på Fornebu S. Dette er også det som er erfart på plassen. Det kan derfor tyde på at en betong med så mye tilsatt flygeaske vil få produksjonskonsekvenser dersom utformingen av konstruksjonen er ugunstig og/eller at lufttemperaturen er ned mot -10° til -15° .

9.3 Dekkestøp med lavkarbonbetong

På Fornebu S er det registrert problemer med plastiske svinnriss i konstruktivt påstøp og gulv på grunn. Plastisk svinn kommer av at vannet fordamper på overflaten av betongen, overflaten tørker ut og det dannes et kapillært undertrykk i porevannet. Plastisk svinn kan føre til plastiske svinnriss på overflaten av betongen i et uregelmessig mønster. Figur 9.10 viser plastiske svinnriss i betong på Fornebu S. Hvor mye betongen tørker ut på overflaten er avhengig av hvor mye vann betongen kan transportere til overflaten. Det er også avhengig av værforhold, og tiden før tildekning og type tildekning. Lavt masseforhold gir en stabil betong og dermed holder den bedre på vannet. Betonger med lavt masseforhold vil derfor ha økt tendens til plastisk svinn. En lavkarbonbetong vil ha mer finstoff som gir en ytterligere økning av stabiliteten. Dette fører igjen til økt fare for plastisk svinn. På Fornebu S er det brukt en lavkarbonbetong med kvalitet B35 MF40, og det ble brukt to lag med herdemembran på påstøpet og et lag herdemembran med ekstra tildekning på gulv på grunn for å prøve å forhindre fordamping. Likevel ble resultatet store rissvidder, spesielt i det konstruktive påstøpet på taket. Under støping av påstøpet var det høy vindhastighet og relativt høye temperaturer. Dette har bidratt til å forsterke effekten ytterligere. Det er ikke sikkert problemet hadde vært unngått ved bruk av vanlig betong,



Figur 9.9: Simulering av trykkfasthetsutviklingen med forskjellige betonger for veggstøp

spesielt ikke dersom masseforholdet måtte være like lavt, men bruk av lavkarbonbetong forsterker denne effekten, og dermed kreves det tettere oppfølging.



Figur 9.10: Foto av plastiske svinnriss på Fornebu S [Kilde: Karen Hagby]

10 Produksjon av lavkarbonhulldekker

Produksjon av lavkarbonhulldekker er i dag kun blitt gjort i småskala. Bruk av lavkarbonbetong i hulldekkeproduksjon er lite utbredt, og det er derfor ikke så mye erfaring med dette i byggebransjen. Fornebu S hadde ønske om å bli det første store prosjektet som ble bygget med lavkarbondekker, men dette ble dessverre ikke tilfelle. Utfordringene knyttet til produksjon av lavkarbonbetong i hulldekkeproduksjon og Fornebu S sin opplevelse av dette er presentert nedenfor. Produksjonsutfordringer ved produksjon av lavkarbonhulldekker er basert på Contigas erfaringer. Til sist er det sett på muligheter for produksjon av lavkarbonhulldekker i fremtiden.

10.1 Prefabrikkert lavkarbonbetong ved Contiga

Contiga er leverandør av prefabrikkerte løsninger i både stål og betong. De har ansvaret for å levere og montere bæresystemet til Fornebu S. Innenfor miljøvennlige produkter har de kommet kortere og er kun helt i startprosessen for å kunne benytte seg av flygeaske i betongen. Per i dag er flygeaske i prefab-løsninger fremdeles ikke vanlig. Med økende fokus på miljøvennlig betong er det kun et tidsspørsmål før bransjen krever at prefab-leverandører tar etter betongleverandørene og benytter seg av flygeaske.

Contiga har fem fabrikker i Norge. Disse produserer og leverer forskjellige prefabrikkerte produkter. En av fabrikkene på Stjørdal og fabrikken i Moss produserer hulldekker. Fabrikken i Moss har eget betongblandeverk, men på Stjørdal får de levert betong fra Unicon. Dette gjør at de har litt forskjellige utfordringer knyttet til produksjon av hulldekelementer med flygeaske. Hovedutfordringen er imidlertid at tilsetning av flygeaske gir økt herdetid som kan gå ut over produksjonseffektiviteten til fabrikkene.

Skanska har i prosjektene Telemark Krisesenter i Skien, Powerhouse One i Trondheim og Fornebu S i Oslo ønsket miljøvennlige hulldekker med iblandet flygeaske. Telemark Krisesenter, som stod ferdig i 2011, er i dag det eneste prosjektet som har blitt levert med over 30% iblandet flygeaske i hulldekkene. Dette var en liten leveranse på 700 m² og produksjonen forgikk i helgene. Margrethe Ollendorff var med på å kartlegge mulighetene for produksjon av hulldekker med iblandet flygeaske i forbindelse med planleggingen av Powerhouse One (Ollendorff 2012). Grunnet Fornebu S sitt høye miljømål var det ønskelig å bygge med miljøvennlig hulldekker. Fornebu S får levert hulldekker fra fabrikken i Moss, som også leverte til Telemark Krisesenter. Det vil bli fokusert på Fornebu S i denne oppgaven, og dermed produksjon ved fabrikken i Moss. Utfordringer ved fabrikken i Stjørdal omtales i oppgaven til Ollendorff (Ollendorff 2012).

10.2 Contigas fabrikk i Moss

Fabrikken i Moss omfatter i dag over 11 000 m² produksjonslokaler hvor det produseres hulldekker og de fleste typer slakk- og spennarmerte betongelementer (Contiga 2013). Fabrikken har en kapasitet på rundt 250 000 m² hulldekker per år. Produksjonen er fordelt på ni 135 m lange spennbenker, men alle spennbenkene er ikke i bruk samtidig. En spennbenk

kan produsere rundt 150 m^2 hulldekke med samme tverrsnitt og spennarmering om gangen. Hulldekkene og spenntauene kappes når betongen har oppnådd tilstrekkelig fasthet. Sikkerhetsgrensen er 36 MPa, og er uavhengig av antall spenntau. Vanligvis oppnås denne fastheten etter omtrent 16 timer. Figur 10.1 viser oppspente spenntau og hvordan de er festet i endene av spennbenkene. Figur 10.2 viser produksjonen av hulldekker. Maskinen beveger seg fremover med en hastighet på rundt 90 cm i minuttet og samtidig blir betong støpt ut i hulldekkeformen.



Figur 10.1: Oppspente spenntau

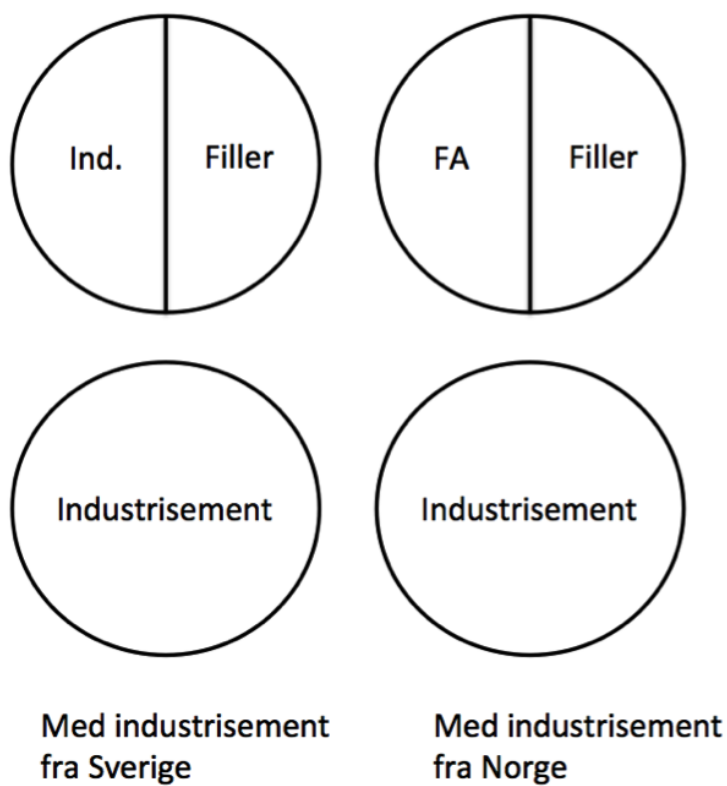
Fabrikken i Moss har to 100 tonns siloer til lagring av sement og filler, der den ene er delt i to kammere, se figur 10.3. Det blir benyttet Norcem industrisement i produksjonen av hulldekkene. Den har tidligere kommet fra Sverige, altså Cementas Industrisement. Fra 1. april 2013 blir sementen levert fra Slemmestad i Norge og produsert i Brevik. Grunnet den lange transportdistansen fra produksjonstedet i Sverige på omkring åtte timer har Contiga ønsket å ha et ekstra 50 tonns kammer med industrisement for å bøte på eventuelle forsinkelser i leveringen. I tillegg har Contiga kalksteinsmel fra Franzefoss lagret i den resterende delen av siloen for å justere for manglende finstoff i tilslaget. Dette sikrer kvaliteten på betongen og gjør fabrikken mindre sårbar mot varierende finstoffmengde i tilslaget. Etter at Norcem startet å levere sementen fra sitt anlegg på Slemmestad kan Contiga frigjøre det ekstra lageret med industrisement, og en mulighet er å erstatte det med flygeaske.

10.3 Fornebu S og lavkarbonhulldekker

I forbindelse med Fornebu S har det vært avholdt en rekke møter og samtaler mellom Contiga og Skanska for å kartlegge mulig bruk av lavkarbonbetong i hulldekkene. Nedenfor



Figur 10.2: Hulldekkeproduksjon ved fabrikk i Moss



Figur 10.3: Illustrasjon av siloene på Contigas fabrikk på Moss

er hendelsesforløpet frem til avgjørelsen om å ikke benytte seg av lavkarbonhulldekker grovt skissert basert på møtoreferater og samtaler med involverte parter (Lyngstad 2012b) (Lyngstad 2012c) (Injar 2013) (Andersen 2013) (Eriksson 2013) (Skanska & Contiga 2013).

I slutten av august 2012 ble det avholdt et møte ved Contigas fabrikk i Moss med etterfølgende omvisning i fabrikken (Lyngstad 2012b). Hensikten med møtet var å diskutere muligheter Contiga har til å bidra med tanke på miljøfokus i prosjektet. Fra prosjektets side var det et stort ønske om å redusere det totale klimagassutslippet ved å benytte seg av lavkarbonbetong, og dette ble understreket ovenfor Contiga. Dette gjaldt både plassstøpt og prefabrikkert betong. Skanska ble forklart og vist de utfordringene knyttet til produksjon av hulldekker med lavkarbonbetong. Contiga pekte hovedsakelig på utfordringen i lengre liggetid på spennbenkene grunnet økt herdetid, og logistikk med tanke på nødvendig tildekning av elementene.

Mye av samtalen rundt lavkarbonbetong i hulldekkene var med bakgrunn i Telemark Krisesenter i Skien. Dette er det første prosjektet med lavkarbonhulldekker, og dermed den eneste erfaringen Contiga og Skanska har på dette området. Det var på dette tidspunktet referert til lavkarbonbetong med 30% flygeaske. I forbindelse med Telemark Krisesenter hadde Contiga testet forskjellige andeler av flygeaske i betongen. Resultatet viste at en andel flygeaske på rundt 21% ikke gikk utover liggetiden. Skanska ble ikke tydelig informert om dette faktum. Skanska oppfattet situasjonen at liggetiden fremdeles var et problem, selv med kun 21% flygeaskeinnhold. Selv om Contiga hadde prøveblandet flere betonger i forbindelse med Telemark Krisesenter, hadde de ikke undersøkt muligheter for produksjon av lavkarbonhulldekker i større mengder.

Contiga tilbød Skanska å levere 1 000 m² hulldekker med betong som er klassifisert som lavkarbonklasse B (ref. NorBetong). Hulldekkene ville da bli produsert med industrisement og 21% tilsatt flygeaske. Produksjonen av disse hulldekkene ble lagt til helgene for å ikke gå på bekostning av den normale produksjonen, og ble derfor priset dyrere enn et vanlig hulldekke per m². Hovedgrunnen til helgeproduksjonen var daværende logistikkproblem med siloene. Den ene siloen med industrisement måtte tømmes og erstattes med flygeaske. Fornebu S har et totalt hulldekkeareal i overkant av 55 000 m². Contiga tilbød altså på det tidspunktet en minimal andel av det totale arealet grunnet kapasiteten ved kun helgeproduksjon. 1000 m² hulldekker med lavkarbonbetong utgjorde omtrent 0,07% reduksjon av det totale klimagassregnskapet for Fornebu S på det tidspunktet.

Tilbudet er skrevet i et referat fra 11. oktober 2012, men det er ikke før i en mail fra Contiga datert 31. januar 2013 at problemstillingen med siloene blir forklart Skanska. Skanska hadde opp til dette tidspunktet trodd at det var den høye andelen flygeaske og tilhørende lengere liggetid som var utfordringen til Contiga, og prøvde derfor å få Contiga til å svare på hvor mange prosent flygeaske Contiga mente det var realistisk å tilsette uten at det førte til endringer i produksjonsrutinene. De forklarte ovenfor Contiga at de hadde midler i prosjektet til å dekke eventuelle merkostnader knyttet til spesifikke miljøtiltak, men ønsket mest mulig reduksjon av klimagassutslippet for investeringene. De takket nei til tilbudet om 1 000 m² hulldekker fordi de mente at dette ikke ga dem nok 'miljøvaluta' for pengene. I tillegg viste det seg at Fornebu S klarte å redusere klimagassutslippet i forhold til gjeldende referansebygg uten å benytte seg av hulldekker med lavkarbonbetong. Argumentet for investeringen falt derfor bort. Hvilke forutsetninger Contiga hadde for

prissettingen av disse elementene er ikke kjent i detalj. I etterkant forklarer Contiga at de ikke hadde klare retningslinjer internt på hvordan de skulle håndtere en slik situasjon eller hadde oversikt over hva som faktisk måtte til for å levere lavkarbonhulldekker til Fornebu S. Dette har nok preget situasjonen.

Dersom referansebygget til prosjektet hadde vært mer realistisk, kravet i BREEAM-NOR strengere eller at prosjektet på andre måter hadde vært avhengig av lavkarbonbetong i hulldekkene kunne situasjonen ha vært annerledes med tanke på betalingsviljen til Skanska. Hvor mye Skanska hadde vært villig til å strekke seg er ikke videre kjent. Det er imidlertid nærliggende å tro at betalingsviljen hadde vært høy dersom konsekvensen hadde gått på bekostning av BREEAM-NOR-klassifiseringen. I følge Hans-Erik Andersen, kategorisjef innkjøp bæresystem i Skanska, kunne ikke Skanska juridisk sett kreve at Contiga skulle levere lavkarbonhulldekker og ta eventuelle investeringskostnader rundt dette (Andersen 2013). Videre forklarer Andersen at det er nærliggende å tro at Skanska hadde gått for et samarbeid og deling av investeringskostnadene om dette var mulig. Andersen påpeker imidlertid at andelen Skanska hadde tatt er vanskelig å forutsi, og at dette måtte blitt sett i sammenheng med kontrakten med KLP om Fornebu S. Innovasjon og fremgang skapes gjennom samarbeid i bransjen, så prosjektet var på mange måter en stor mulighet for å kunne komme et skritt videre mot en mer miljøvennlig prefab-bransje. På mange måter er det derfor beklagelig at Fornebu S ikke ble det første store prøveprosjektet med lavkarbonhulldekker. Det hadde stått i stil med resten av miljøprofilen til Fornebu S.

Etter beslutningen om å ikke benytte seg av det tilbudte omfanget av lavkarbonbetong i hulldekkene ble det diskutert alternative måter å benytte seg av lavkarbonbetong i klasse B. Det ble diskutert muligheter for å benytte seg av lavkarbonbetong i vegger og søyler. Vegger ble imidlertid ikke prioritert grunnet liten leveranse til prosjektet. Etersom søylene ikke er forspente ble det derfor foreslått bruk av lavkarbonbetong i søylene, og Contiga kunne levere firkantede søyler med 32% flygeaske. Grunnet høye ekstrakostnader tilknyttet produksjon av spesialsøylene vurderte prosjektet det ikke som aktuelt da reduksjonen utgjorde en liten del av det totale klimagassutslippet. Det nevnes eller belyses ingen andre utfordringer tilknyttet bruk av lavkarbonbetong for produksjon av søyler, så dette er et rent kostnadsspørsmål så lengde Contiga ikke har dette som standardvare.

Norcem og Contiga har hatt et teknisk og materielt samarbeid i over 20 år. Norcem sin FoU-avdeling og Contiga sin FoU/tekniske avdeling har hatt møtevirksomhet jevnlig og diskutert forskjellige løsninger innen materialvalg, armering og resepter. Norcem har derfor vært involvert i forbindelse med Fornebu S. De har lenge informert Contiga om muligheten for bruk av lavkarbonbetong i hulldekkeproduksjon, og hele tiden ønsket at Contiga skal bli med på utviklingen. Norcem har bidratt i utprøvingen av forskjellige resepter med miljøvennlig betong og har levert et eget testparti med lavkarbonsement til fabrikken i Moss. Contiga kom frem til, i samarbeid med Norcem, at den beste løsningen for fabrikken i Moss vil være kombinasjonen av Industrisement og flygeaske. Denne vurderingen er tatt etter flere forsøk med Standardsement FA og Lavkarbonsement i kombinasjon med forskjellige herdetiltak, samt en samlet miljøvurdering utført av miljøavdelingen til Contiga (Eriksson 2013). Norcem mener at produksjon av hulldekker med Standardsement FA ikke egner seg til store produksjonsanlegg, men vil være gunstig for mindre anlegg. Det er i dag flere mindre fabrikker som benytter seg av Standardsement FA i hulldekkeproduksjon.

Norcem har et godt samarbeid og gode relasjoner til Contiga. Norcem har inntrykk av at Contiga tar miljøaspektet på alvor og viser til at Contiga var først ute med EPD for prefabrikkerte betongelementer, at de tidlig byttet til en kalksteinfiller og at Contiga var tidlig ute med å prøve forskjellige miljøresepter til hulldekkeproduksjon. De er likevel usike på hvorfor Fornebu S ikke ble bygget med lavkarbonhulldekker. Norcem var også klar over at en av utfordringene til Contiga var problemer med lagring av flygeaske og produksjonsproblematikk. Norcem formidlet til Contiga at dette var et problem Norcem kunne hjelpe til med og ta ansvar for dersom Contiga ønsket å satse på lavkarbonbetong i hulldekkene på Fornebu S.

Prosessen med å få til lavkarbonbetong i hulldekkene på Fornebu S er preget av dårlig informasjonsflyt mellom Skanska og Contiga, samt innad i firmaene. Norcem har også hatt en viktig rolle i denne prosessen. De har, sammen med Skanska, ønsket at Contiga skulle starte å bruke lavkarbonbetong. I ettertid er det tydelig å se at partene ikke har samarbeidet nok med hverandre eller vært tydelige nok på sine behov. En annen utfordring var at Skanska og Contiga fokuserte på erfaringer fra Telemark Krisesenter. I tilbudsfasen til prosjektet informerte ikke Skanska Contiga om at lavkarbonbetong i hulldekkene skulle vurderes. Imidlertid ble prosjektets miljømålsettinger tydelig påpekt. Et slikt prosjekt med slike miljømålsettinger burde vurdere alle miljøtiltak, også utover de som allerede er velkjente. Hvorvidt bruk av lavkarbonbetong i hulldekker burde vurderes i denne forbindelse er vanskelig å si ettersom tiltaket er såpass nytt og lite kjent. Contiga er imidlertid en av de aktørene som er best kjent med tiltaket, da de er de eneste som på det tidspunktet hadde produsert lavkarbonhulldekker.

10.4 Nye muligheter for lavkarbonhulldekker

Hovedproblemet ved produksjon av lavkarbonhulldekker er lenge blitt omtalt som økt herdetid og dermed lengre liggetid på spennbenken. Contiga har testet en betongsammensetning med 21% flygeaske og svensk industrisement. Det har vist seg at dette ikke har gått ut over liggetiden, og dermed har problemet stått på mangelfull lagringsplass for flygeaske. Etter at Norcem startet å levere sement fra Slemmestad ble mye av logistikkproblematikken til Contiga borte. På denne måten er to av hovedutfordringene ved produksjon av lavkarbonbetong løst ved fabrikken i Moss. Contiga stiller seg derfor svært positive til å se ordentlig på muligheten for å starte med flygeaske i sine hulldekker (Injar 2013).

Da Contiga testet hulldekkeproduksjon med iblandet 21% flygeaske benyttet de seg av industrisement fra Sverige. Denne sementen har styrkeklasse 52,5 i motsetning til den norske industrisementen som har 42,5. Dette kan påvirke herdetiden til betongen. Derfor må Contiga teste nye betongsammensetninger med den nye sementen. I samråd med Skanska ved Sverre Smeplass og representanter fra Contigas teknologiavdeling ble det skissert en betongsammensetning med 16% flygeaske av totalt bindemiddel som kunne vært aktuelle for fremtidig produksjon vist i tabell 10.1.

Resepten er laget med utgangspunkt i den resepten Contiga tidligere prøvde ut med flygeaske. I resepten er det benyttet et masseforhold på 0,38 og k-verdi for flygeaske på 0,4. Med utgangspunkt i sement, flygeaske og fillermengde på anbefaling fra Contiga

Tabell 10.1: Teoretisk betongresept med 16,5% FA for produksjon av hulldekker ved Contiga i Moss

Materialer	kg/m ³
Norcem Industrisement	290
Flygeaske	60
Kalksteinmel	40
0/8 Laugslet, naturstein	1005
8/14 Skolt, knust	990
Tørrstoff i slamvann	15
Vann	140
Totalt	2540

er resepten proporsjonert med eget proporsjoneringsark fra Skanska. Resepten er ikke justert for produksjon. Dette er en resept som skal vise miljøpotensialet til hulldekkene og produksjonstilpasningene kan derfor neglisjeres i den forbindelse. Resepten gir derfor et realistisk bilde på miljøbelastningene til hulldekker som kan begynne å produseres.

Det er et ønske om å se hvor langt det er mulig å kunne strekke miljøpotensialet til hulldekkene. For at hulldekkene skal kunne produseres i store kvantum er det viktig at liggetiden ikke blir for lang. Contiga har testet betong med 21% flygeaske uten at det går utover produksjonseffektiviteten. Det vil derfor være realistisk at det er mulig å oppnå omtrent dette forutsatt dagens fabrikk i Moss. Resepten for denne betongsammensetningen er vist i tabellen 10.2 og er basert på de samme forutsetningene som over. Masseforholdet er justert ned til 0,37 for å opprettholde fastheten.

Tabell 10.2: Teoretisk betongresept med 22% FA for produksjon av hulldekker ved Contiga i Moss

Materialer	kg/m ³
Norcem Industrisement	280
Flygeaske	80
Kalksteinmel	20
0/8 Laugslet, naturstein	1005
8/14 Skolt, knust	990
Tørrstoff i slamvann	15
Vann	140
Totalt	2530

10.5 Situasjonen fremover

På hjemmesiden profilerer Contiga seg med mål om å være en miljøleder i byggebransjen fordi de mener dette vil gi Contiga et konkurransefortrinn (Contiga 2013). For at Contiga skal kunne konkurrere mot utenlandske leverandører med billig arbeidskraft er de avhengig av stor produksjonseffektivitet for å kunne levere til konkurransedyktig pris. De er derfor avhengig av en robust produksjon og er sårbare for endringer i produksjonssystemet. Det kan derfor være vanskelig for Contiga å følge denne miljøstrategien, da det kan komme i konflikt med andre interne strategier.

Miljøsatsingen til Contiga blir dermed indirekte styrt av markedets ønsker. Selv om Skanska er tydelige på at de mener at lavkarbonhulldekker er fremtiden, har ikke Contiga samme oppfatning av markedet. Contiga mener at markedet har størst fokus på konkurransedyktige priser, og har dermed satt inn sine ressurser på produksjonseffektivitet. Konkurransefortrinnet Contiga eventuelt får dersom de er første ute med lavkarbonhulldekker er vanskelig å forutsi. Imidlertid er det ihvertfall nærliggende å tro, forutsatt like stort miljøfokus i tiden fremover, at dette ihvertfall vil gi dem et fortrinn de nærmeste årene. Contiga legger ikke skjul på at de har teknologien som skal til, men ledelsen er usikre på om dette er veien å gå. Før utgangen av 2013 skal Contiga avgjøre om de ønsker å satse på lavkarbonhulldekker. Dersom de treffer beslutningen om å staste på lavkarbonhulldekker vil de trolig kunne tilby et alternativt hulldekke med redusert karbonavtrykk i først omgang fra fabrikken i Moss. Fabrikken må tilpasses på en slik måte at Contiga kan veksle mellom vanlig produksjon og produksjon med lavkarbonbetong. Det er trolig slik at lavkarbonhulldekker kun vil være aktuelt i prosjekter med høye miljømål. Contiga vurderer både å erstatte Industrisement med Standardsement FA eller kun erstatte noe med flygeaske. Ut fra vurderingene Contiga og Norcem har gjort i samarbeid, er det nærliggende å tro at Industrisement og flygeaske er det beste alternativet. I tillegg ønsker Contiga å se på muligheter for alternative energikilder i fabrikkene. Dette vil bidra til å redusere karbonavtrykket ytterligere.

Skanska Norge og Contiga har hatt et tett samarbeid og inngikk i 2010 en gjensidig leveringsavtale. Skanska inngikk en lignende leveringsavtale med Nor Element og AS Betong. Avtalen om forpliktende levering og kjøp av betongelementer dekket store deler av Skanskas prosjekter i Norge. Denne avtalen utløp i desember 2012, men pågående prosjekter med oppstart før denne perioden er fremdeles berørt av avtalen (Andersen 2013). Nye oppstartede prosjekter er ikke bundet av avtalen og dermed har Skanska og Contiga ingen gjensidige forpliktelser ovenfor hverandre, utenom det som eventuelt er inngått i prosjektsammenheng. Derfor har Contiga ingen garanti for at Skanska kommer til å velge Contiga som leverandør. Contiga må derfor ta en beslutning om lavkarbonbetong uten løfte om forpliktende kjøp fra Skanska. Skanska og Contiga har et samarbeid innen HMS og miljø med regelmessige møter, og et noe mindre teknisk samarbeid (Andersen 2013). Sistnevnte er ikke regelmessig men kommer opp i forbindelse med prosjekter etter behov. Dette gjelder prosjekter med spesielle behov. Et av samarbeidsprosjektene mellom Skanska og Contiga var Telemark Krisesenter i Skien. Fornebu S hadde også potensialet til å bli et slik prosjekt, men samarbeidet mellom Skanska og Contiga omkring bruk av lavkarbonhulldekker har vist seg mindre vellykket i dette prosjektet.

Contiga og Skanska har samtidig begge tett samarbeid med Norcem. På denne måten er det muligheter for at disse tre aktørene går sammen om et felles samarbeid for å bidra til lavkarbonhulldekker som standard i tiden fremover. Dette forutsetter at alle aktørene har ønsket om å satse på dette området.

Norcem har vært en av de store pådriverne i bransjen til lavkarbonbetong og har bidratt betydelig med utviklingen av Lavkarbonsement og som leverandør av flygeaske. Norcem er imidlertid usikre på om dette er noe de ønsker å satse på og er spente på hvordan markedet blir fremover med tanke på etterspørselen etter Lavkarbonsement (Eriksson 2013). De er også usikre på hvordan de reviderte reglene for bruk av tilsetningsmaterialer og k-verdimetoden vil påvirke bruken av lavkarbonbetong. I følge Eriksson kan reglene strammes inn grunnet bestandighetskrav, spesielt ved bruk av k-verdi, både for flygeaske i sementen og direkte i betongen. Om Norcem ønsker å satse på lavkarbonsementen eller tilby ren flygeaske er derfor avhengig av de nye reglene og hvordan markedet utvikler seg.

Norcem peker også på at de og andre betong- og sementleverandører står ovenfor et logistikk- og produksjonsproblem. Markedet er dekket av produkter til forskjellige formål. Norcem tilbyr allerede ni forskjellige sementer, i tillegg til ren flygeaske. Dersom de eventuelt skal begynne å tilby Lavkarbonsement til vanlig prosjektlevering vil de måtte vurdere produksjonsstrategien sin. Eriksson tror dette også er tilfelle for de andre betong- og sementleverandørene som ofte har begrenset lagringsplass på fabrikkene. Om markedet derfor skal satse på Lavkarbonsement som produkt eller ekstra tilsetning av flygeaske i betongen blir derfor et vurderingsspørsmål.

11 Diskusjon

FNs klimakonvensjon har som felles målsetning å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser på et nivå som er lavt nok til å hindre farlig menneskeskapt påvirkning av jordens klima. Trolig vil denne målsetningen kreve en omlegging av hele verdenssamfunnet. Om dette er tilfellet står vi ovenfor et spørsmål om vilje. Hvorvidt hele verden er villige til å endre sin livstil for å få til dette er ikke mulig å svare på, men i realiteten helt nødvendig. Vi har dermed bare mulighet til å starte med eget land, med vår bransje og med oss selv.

En av de største miljømålsetningene til den norske regjeringen er at Norge skal bli et lavutslippssamfunn innen 2050. En rapport fra IEA mener at dette er mulig, men det vil kreve ny teknologi, ny infrastruktur og et godt samarbeid mellom land, aktører og enkeltpersoner. Spørsmålet er om ny teknologi er en forutsetning eller et hinder for at Norge skal oppnå denne målsetningen. Dette kan bare fremtiden svare på.

Et bygg forandrer landarealer, øker transport- og materialforbruket, og trigger økt bruk av fossilt brensel. Byggenæringen står derfor globalt ansvarlig for stor del av miljøpåvirkningene. Den norske byggenæringen har et sterkt fokus på miljø. Dette er synlig i stadig nye initiativer og samarbeid mellom aktører, og at bransjen har lavt forbruk av fossilt brensel og energi i driftsfasen for nybygg. Utviklingen har synliggjort andre store utslippsposter. Nå er det økende fokus på materialer og en helhetlig vurdering av byggets miljøpåvirkning. Dagens regjering ønsker imidlertid å fortsette med økt fokuset på energi-effektivitet gjennom krav om passivhusnivå i 2015 og nullutslippsnivå i 2020. De støtter likevel oppunder økt kunnskap om helhetlige miljøvurderinger og miljøvennlige materialer.

I innstillingen, Innst. 129 S (2012-2013), til Meld. St. 28 er opposisjonen imidlertid uenige hvorvidt krav om Passivhus innen 2015 er et satsningsområde for norsk byggenæring. Argumentene er at strøm fra det norske strømmettet er produsert fra norsk vannkraft, altså fornybar energi uten utslipp av klimagasser. På denne måten kan kravet til energi-effektivisering være mindre for Norge enn i andre land. Norsk produksjon av vannkraft er imidlertid svært sårbar for variasjoner, og Norge er dermed til tider avhengig av å kunne få tilført energi fra naboland med stabil strømproduksjon fra kull- og kjernekraftverk. Argumentet er også at bygging av passivhus er et dyrere alternativ, og kan hindre utbygging av nye boliger for å imøtekomme den voksende befolkningsveksten. Økt utbygging er likevel ekvivalent med økt ressursbruk og økte miljøpåkjenninger.

Betongkonstruksjoner utgjør en betydelig del av byggenæringen. De har ulike miljøpåvirkninger gjennom hele livsløpet som alle er sentrale i vurderingen av bærekraft. For å kunne sammenfatte forskjellige påvirkninger må felles retningslinjer være beskrevet i lovverket. Per i dag er LCA beskrevet med generelle prinsipper, men vi mangler fremdeles spesifikke retningslinjer innen viktige områder, som for betongkonstruksjoner. ISO er imidlertid i ferd med å utvikle serien ISO 13315 som miljøstandard for betongkonstruksjoner. Dette er nødvendig for å skape kvalitet i LCA.

En av de viktigste systemgrensene i en LCA er levetidsbetraktningene, da det får direkte konsekvenser for miljøpåvirkningen. Innenfor betong og betongkonstruksjoner har levetidsbetraktningene et stor potensialet for redusjen av miljøpåkjenningene. I dag finnes det lite felles standardisering, og det er derfor behov for å definere en felles oppfatning av hva som markerer endt levetid. Den lange levetiden til betong er et viktig argument

innenfor miljøperspektivet. Regjeringen ønsker å satse på tre som bygningsmateriale grunnet lave miljøpåkjenninger. For at betong skal kunne vurderes best mulig mot tre må, i tillegg til levetid, betongens styrke og bestandighet tas med i betraktningen. Regler for livsløpvurderinger må være basert på samme prinsipp, men være tilpasset materialenes evner for at sammenligning skal kunne gjøres. Materialene må også bli satt i sammenheng med funksjon. Dette understreker viktigheten av felles retningslinjer.

Konseptet med helhetlige vurderinger av miljøet er blitt implementert for hele byggverk gjennom miljøklassifiseringer for bygg. Det finnes en rekke miljøklassifiseringssystemer over hele verden med ulike fokusområder og poengsystemer. De er dermed ikke direkte sammenlignbare. Ofte er de tilpasset et land, og tilpasninger til andre land er derfor nødvendig dersom det skal benyttes i andre land. BREEAM-NOR er det klassifiseringssystemet den norske bransjen har valgt å satse på, og er en norsk tilpasning av BREEAM. En felles norsk bransjeenighet om samme klassifiseringssystem styrker kunnskap om og kvalitet på bygg. Faren er imidlertid at man kan bli blind for andre fokusområdet og perspektiver.

Det er spesielt kravet om materialer som er tilpasset den norske bransjen. Det totale klimagassutslippet skal regnes ut i klimagassregnskap.no. Klimagassregnskap.no er et norsk verktøy, men baserer seg på europeiske utslippsreferanser. BREEAM-NOR er altså tilpasset Norge og benytter seg av et verktøy som er tilpasset Europa. Fordi Norge har lavere utslippstall enn Europa, spesielt på betong, vil påkrevd reduksjon av klimagassutslippet være enkelt ved bruk av norsk betong. Dette illustrerer at både BREEAM-NOR og klimagassregnskap.no ikke er ferdigutviklede verktøy og at det kreves en bedre sammenheng mellom disse.

Klimagassregnskap.no er også på andre måter mindre tilfredsstillende som verktøy. Grunnet utslippstall fra Europa og ingen mulighet for innlegging av egne utslippstall, må brukere av verktøyet gjøre mye av klimagassberegningene utenfor selve systemet. Ofte benyttes EPD for å dokumentere det aktuelle materialets utslipp. En EPD kan ha forskjellige systemgrenser, og dermed må brukere være bevisst på hvilke utslippstall som skal benyttes og hva som er forutsetningene i klimagassregnskap.no. Det finnes mange forskjellige oppsett på EPD-er i dag og det er dermed vanskelig å ta ut riktig informasjon. Dette er forvirrende og stiller ytterligere krav om økt bevissthet og kunnskap hos bruker. EPD-Norge jobber imidlertid med å få på plass et internasjonalt system.

Betong alene er ansvarlig for en betydelig del av det menneskeskapte klimagassutslippet. Store deler av dette klimagassutslippet oppstår i produksjonsfasen, der sement alene står for hele 85% av utslippene. Etersom kalsineringen i sementproduksjonen fører til frigjøring av CO₂ er CO₂-fangst eller andre måter som forhindrer utslipp i atmosfæren helt nødvendig om vi skal fortsette å produsere sement. Det resterende andelen av utslipp fra sementen kan reduseres ved bruk av alternativt brensel.

En viktig miljøindikator for betong isolert sett vil derfor være utslipp av CO₂-ekv. Gjennom utvikling av EPD-kalkulatorer er denne indikatoren blitt lett tilgjengelig og kan enkelt spesifiseres for forskjellige betonger og betongelementer. Dette er en grunn til at lavkarbonbetong er blitt så aktuelt.

Kravet til lavkarbonbetong blir i løpet av 2013 definert kun etter betongens karbonavtrykk. Definisjon av systemgrenser i forbindelse med denne definisjonen må spesifiseres,

slik at begrepet blir allment forstått. Bransjen må ta stilling til om parametere som transport til byggeplassen og karbonatisering skal inngå i systemgrensen. Sistnevnte er trolig vanskelig å inkludere ettersom denne faktoren er avhengig av betongens bruksmåte og avfallshåndtering. Transport til byggeplassen har imidlertid større betydning for definisjonen. Lavkarbonbetongen vil nødvendigvis ikke bli lavkarbonbetong dersom den må transporteres langt. Likefullt vil inkludering av transport få konflikter ved bruk av klimagassregnskap.no.

Ettersom sementen alene er ansvarlig for så store deler av betongens karbonavtrykk er det beste tiltaket å redusere sementmengden. I lavkarbonbetong er bindemidlet byttet ut med karbonnøytrale substitusjonsmaterialer. De mest brukte substitusjonsmaterialene er alle biprodukter av annen industri, som ikke nødvendigvis er miljøvennlig i seg selv. Likevel er det en miljøgevinst å benytte seg av restprodukter. Paradokset er at en miljøverstering må holde seg i live for at en annen industri skal kunne være miljøvennlig.

I dag er det mangel på flygeaske i Europa. Med et økende behov for flygeaske og andre substitusjonsmaterialer, kan dette medføre at materialene må importeres. Dette vil føre til økte utslipp, grunnet lange transportdistanser. Dagens lavkarbonbetong forutsetter altså at tilsetningsmaterialene er tilgjengelige i nærheten, samt at de også i fremtiden vil beholde status som karbonnøytrale. Diskusjonen om karbonnøytralitet kommer trolig ikke før stålindustrien og kullkraftverkene ønsker å dytte noe av miljøpåvirkningen over på betongbransjen.

Norsk standard regulerer bruke av substitusjonsmaterialer i betongen. Det er i dag ikke mulig å oppnå redusert karbonavtrykk med tilsetning av flygeaske uten å fravike fra reglene. Noe som krever kunnskapsrike aktører for å kunne benytte seg av lavkarbonbetong, og dermed er bruken begrenset. Dersom Norcem bestemmer seg for å produsere lavkarbonsement vil trolig lavkarbonbetong bli mer tilgjengelig for flere aktører, fordi det er lettere å benytte seg av flygeaskesementer enn en kombinasjon av flygeaske og vanlig sement. Dersom lavkarbonsementen ikke blir hyllevare, kan det hindre økt bruk av lavkarbonbetong i bransjen.

Erstatning av sement endrer på betongens bestandighet på forskjellige måter, og med økt bruk av substitusjonsmaterialer stilles det nye krav til regelverket. Det nye regelverket som er forventet i 2014 vil trolig spesifisere krav til bestandighet basert på mengde og type substitusjonsmaterialer i sementen. Lavkarbonbetong har generelt vist dårlig bestandighet mot karbonatisering, og dersom dette vil redusere levetiden til konstruksjonen vil trolig den helhetlig miljøpåvirkningen bli større.

Alt dette tatt i betraktning er lavkarbonbetong ofte sett i lyset av muligheten for redusert karbonavtrykk. For Fornebu S er betongen ansvarlig for over 50% av det totale klimagassutslippet. Av dette er plasstøpt betong og hulldekker ansvarlig for omtrent halvparten hver, mens vegger, søyler og bjelker utgjør en mindre del. Effekten ved bruk av lavkarbonbetong i de plasstøpte konstruksjonene på Fornebu S er relativt liten sammenlignet med norske bransjereferanser. Dette er grunnet at norsk ferdigbetong normalt produseres med et allerede høyt innhold av flygeaske, og har dermed allerede et gunstig utslipptall. Lavkarbonbetong utgjør en 2,4% reduksjon av klimagasser totalt for materialene for Fornebu S. Et ytterligere økt innhold av substitusjonsmaterialer vil ha relativt stor betydning på den totale reduksjonen. Det har vært produsert betong med høyt inn-

hold av substitusjonsmaterialer, så potensialet til karbonreduksjon er ikke oppnådd for lavkarbonbetong i plasstøpte konstruksjoner.

Ettersom norsk normalbetong i utgangspunktet har lavt karbonavtrykk, vil lavkarbetong gi en liten reduksjonsprosent sammenlignet med disse. Dette kan indikere at det ikke er nok å kun benytte seg av lavkarbonbetong i de plasstøpte konstruksjonene, for å redusere utslippet i forhold til norsk bransje. Lavkarbonhulldekker er nødt å komme inn på markedet. Prefabrikkerte elementer produseres som regel uten bruk av tilsetningsmaterialer, og har dermed et gunstigere utgangs punkt for reduksjon enn ferdigbetong. Dersom Fornebu S hadde blitt produsert med lavkarbonhulldekker slik de ønsket, ville de klart nesten 5% reduksjon av det totale klimagassutslippet. Dette er imidlertid ikke så langt unna det de eventuelt kunne oppnådd med et høyere innhold av substitusjonsmaterialer i de plasstøpte konstruksjonene. Hvilke av tiltakene som er best for et prosjekt vil derfor være avhengig av mengdeforholdet mellom plasstøpt betong og hulldekker. Det er imidlertid ingen tvil om at en kombinasjon av disse er det aller beste. Dersom både lavkarbonhulldekker og lavkarbonbetong blir strukket til det ytterste ville det totale utslippet av klimagasser bli betydelig redusert.

Fremtidig bruk av lavkarbonbetong, slik bransjen er i dag, vil bli brukt for å oppnå poeng i BREEAM-NOR eller i andre prosjekter med krav til karbonreduksjon. I begge tilfeller vil klimagassregnskap.no bli benyttet. Dersom klimagassregnskap.no fortsetter med europeiske referanser og kravet i BREEAM-NOR ikke blir strengere, vil det ikke være en pådriver for bruk av lavkarbonbetong i bransjen. Dette er i hovedsak fordi tilstrekkelige poeng og reduksjon kan oppnås ved bruk av vanlig norsk betong.

Betongkonstruksjoner blir designet for å ha tilstrekkelig brukbarhet, styrke og bestandighet. Bærekraftige betongkonstruksjoner krever imidlertid også krav om helhetlig miljødesign. Det er ikke lenger tilstrekkelig at miljødesign blir ivarettatt av minimert bruk av materialmengder grunnet kostnadsbesparelser. Miljødesign må bli et kriterium fra starten av, likestilt med de andre designkriteriene. For Fornebu S er det fra starten lagt ned retningslinjer på hvordan bæresystemet skal være utformet med ønsket søyleavstander, grunnet funksjonalitet. Resultatene fra oppgaven indikerer at denne løsningen er minst gunstig i et miljøperspektiv. Potensialet i hulldekkesystemer blir først utnyttet med optimaliserte hulldekkespenn, altså største lengde som tversnittstykkelsen tillater. Illustrativt ville en omlegging av bæresystemet redusere klimagassutslippene med omtrent 5%, som tilsvarer både bruk av lavkarbonbetong og lavkarbonhulldekker. Dette har derfor et stort potensiale for reduksjon av klimagassutslippet.

Miljødesign og funksjonalitet er mulig motstridende for hulldekkesystemer. Redusert funksjonalitet og fleksibilitet kan øke miljøpåvirkningene i det lange løp. Dermed vil den beste løsningen være en kombinasjon av disse. Det å likestille miljødesign med de andre designkriteriene vil trolig være den største utfordringen i dagens bransje. Det krever at vi legger mye av dagens rutiner bort, og tar frem mye teknikker. Fremdeles er bransjen sterkt preget av at økonomi, fremdrift og kvalitet er de viktigste kriteriene i byggeprosjekter. Disse er også viktige slik bransjen er i dag, men er ikke nødvendigvis forenelige med miljø.

Lavkarbonbetong har egenskaper som kan påvirke produksjon av både betong støpt på byggeplass og fremstilt i industriprosesser negativt. Basert på erfaringer fra Fornebu S er det lite som tyder på at lavkarbonbetong i plasstøpte konstruksjoner gir store produk-

sjonskonsekvenser for prosjektet. Det kan imidlertid oppstå betydelig forsinket avbinding og dermed forsinket fremdrift ved kombinasjoner av konstruksjoner med stort varmetap og tynt tverrsnitt ved lav lufttemperaturen. Produksjon av lavkarbonhulldekker er teoretisk mulig, og det ligger et potensiale for økt karbonreduksjon. Om dette blir produsert i fremtiden er imidlertid helt avhengig av leverandører av hulldekker, og deres målsettinger.

12 Konklusjon

Plasstøpt lavkarbonbetong gir en relativt lav reduksjon av det totale klimagassutslippet for materialer sammenlignet med referanser fra norsk betongbransje. For Fornebu S vil det utgjøre 2,4% reduksjon. Den lave reduksjonen skyldes først og fremst at norsk betong vanligvis inneholder en andel flygeaske, og har dermed allerede et redusert karbonavtrykk sammenlignet med gjennomsnittlig europeisk betong brukt i klimagassregnskap.no. Det er et potensiale for ytterligere reduksjon av det totale klimagassregnskapet ved økning av andel substitusjonsmaterialer i plasstøpt betong og bruk av lavkarbonhulldekker. Hulldekker blir normalt ikke produsert med blandingssementer og har derfor et større potensialet for redusert karbonavtrykk. Det er først ved kombinasjon av lavkarbonbetong og lavkarbonhulldekker vi vil se en vesentlig reduksjon av det totale klimagassutslippet i forhold til norske betongreferanser. Avhengig av andel flygeaske i den plasstøpte betongen og i hulldekkene vil dette utgjøre rundt 5 og 10%.

Det ligger også et potensiale i utforming av hulldekkesystemer med tanke på redusert karbonavtrykk. Rektangulære hulldekkesystemer med optimaliserte hulldekkespenn og korte bjelkespenn, samt minst mulig hulldekketykkelse er gunstig i denne sammenheng. For Fornebu S vil dette utgjøre omtrent 5% reduksjon av det totale klimagassutslippet. For å kunne utnyttet dette, må miljø bli en del av designprosessen, og bli stilt på lik linje med de andre dimensjoneringskriteriene. Valg av hulldekkesystem må imidlertid bli sett i sammenheng med ønske om tilpasningsdyktighet og fleksibilitet.

Klimagassregnskap.no er på vei til å bli et godt verktøy, men er ikke tilfredsstillende i dag. Fordi klimagassregnskap.no baserer seg på europeiske utslippstall for betong, vil bruk av norsk betong gi store reduksjoner av klimagassutslippet. BREEAM-NOR benytter seg av klimagassregnskap.no på en lite hensiktsmessig måte. Per i dag er poengkravene for redusert klimagassutslipp utformet slik at de kan oppnås poeng ved vanlige norske bygningsmaterialer. Det må derfor bli bedre samsvar mellom klimagassregnskap.no og poengkravene i BREEAM-NOR, spesielt dersom det skal være et argumentet for bruk av lavkarbonbetong i bransjen.

Bruk av lavkarbonbetong i plasstøpte betongkonstruksjoner får generelt akseptable konsekvenser for produksjon. Det er ikke før ved temperaturer under -10° at det kan bli et betydelig problem med sen avbinding. Kravet om avvik fra reglene i norsk standard kan sette en begrensning for vanlig bruk av lavkarbonbetong, da avviket krever kunnskap og erfaring. De nye oppdaterte reglene vil få betydning for hvor tilgjengelig lavkarbonbetong vil bli fremover.

Produksjon av lavkarbonhulldekker er sårbar for stor andel av flygeaske. Det vil derfor være opp til hver enkelt hulldekkeprodusent å finne den beste tilpassede betongresepten til sin produksjon. For hulldekkefabrikken til Contiga i Moss er en betongresept rundt 16% iblandet flygeaske mest realistisk. Høyt innhold av flygeaske, opp mot 30% , i betong brukt i hulldekkeproduksjon vil per i dag begrense seg til mindre prosjekter.

13 Videre arbeid

Denne oppgaven har sett på hvilken betydning lavkarbonbetong, både i plasstøpte betongkonstruksjoner og hulldekker, har for det totale klimagassregnskapet, samt om det er mulig å redusere karbonavtrykket på andre måter.

Produksjon av lavkarbonhulldekker - det er ikke gjennomført praktisk prøving av betongresepter i forbindelse med produksjon av lavkarbonhulldekker, og det vil være nødvendig å finne optimalisert betongresept for masseproduksjon.

Lave støpetemperaturer - hvordan lavkarbonbetong oppfører seg ved lave støpetemperaturer ned mot -10° , og hvordan dette kan håndteres på byggeplassen.

Levetidsbetraktninger av lavkarbonbetong - hvordan klimagassutslippet blir påvirket av lavkarbonbetong sin reduserte motstand mot karbonatisering.

Avfallshåndtering av betong - hvordan betongen best mulig kan håndteres etter endt levetid og hvordan dette får betydning for de helhetlig miljøpåvirkningene.

CO₂-fangst - hvilket potensiale som ligger i CO₂-fangst og hvordan dette best skal håndteres på sementfabrikkene.

Klimagassregnskap.no - se på potensialet i klimagassregnskap.no og hvordan utviklingen av dette verktøyet skal skje fremover for å bli best mulig tilpasset andre verktøy i bransjen.

Referanser

- Aamodt, A. (2012), 'Verdens grønneste kjøpesenter', *Relasjon* (4), 8.
- Aarstad, K. (2012), 'Telefonsamtaler og mailkorrespondanser med Kari Aarstad i Unicon, høst 2012'.
- Alexander, S. & Vinje, L. (2012), *Betongelementboken - Bind A Bygging med betongelementer*, Betongelementforeningen.
- Anda, P. (2013), 'Prosjektdatabasen', April 2013.
URL: <http://www.arkitektur.no/prosjektdatabasen>
- Andersen, H. E. (2013), 'Møte med Hans-Erik Andersen, kategorisjef innkjøp bæresystem i Skanska, 11.04.13'.
- Andresen, T. Ø. (2013), 'Mailkorrespondanser med Tor Øistein Andresen i Rambøll, vår 2013'.
- Bamforth, P. (2004), Enhancing reinforced concrete durability, Technical Report 61, Concrete Society.
- Bay-Eriksson, T. (2013), 'Mailkorrespondanser med Tonje Bay-Eriksson, Kvalitet- og HMS sjef i Contiga, vår 2013'.
- Bramslev, K. (2013), Materialkrav Mat 1, in 'Materialkrav i BREEAM NOR, Oslo 27.02.2013', Norwegian Green Building Council and Byggevarerindustrien and Direktoratet for byggkvalitet.
- Brunvoll, F., Homstvedt, S. & Kolshus, K. E. (2012), Indikatorer for bærekraftig utvikling 2012, Technical report, Statistisk sentralbyrå.
- Byggforsk (2002), *571.403 Metaller til bygningsbruk. Typer og egenskaper.*, 1 edn, Byggforskserien.
- Byggforsk (2003), *572.111 Resirkulert tilslag*, 2 edn, Byggforskserien.
- Byggforsk (2010), *572.207 Tilsetningsstoffer for betong*, 1 edn, Byggforskserien.
- Byggforsk (2012), *572.115 Tilslagsmaterialer for betong*, 1 edn, Byggforskserien.
- Caldarone, M. A. (2009), *High-strength Concrete – A practical guide*, Taylor and Francis, London and New York.
- Celsa Group (2013), 'About us: Celsa Armeringsstål', April 2013.
URL: <http://www.celsaarmeringsstaal.com/Celsa.mvc/Presentacion>
- Cemex (2012), 'Cemex.no', Oktober 2012.
URL: <http://www.cemex.no/>

Contiga (2013), 'Store miljøambisjoner', April 2013.

URL: <http://www.contiga.no>

Enova (2013), 'Formål', Mai 2013.

URL: <http://www.enova.no/om-enova/36/0/>

EPD-Norge (2009), 'Retningslinjer for Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Norsk tilpasning av NS-EN-ISO 14025 Miljødeklarasjoner type III', Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner (EPD-Norge).

EPD-Norge (2013), Environmental Product Declaration, *in* 'Materialkrav i BREEAM NOR, Oslo 27.02.2013', Norwegian Green Building Council and Byggevarerindustrien and Direktoratet for byggkvalitet.

Eriksson, S. B. (2013), 'Møte med Svein B. Eriksson, markedssjef i Norcem, mai 2013'.

Folvik, K. (2012), Fornebu S - i verdensklasse, *in* 'Norsk Betongdag 24. - 25. oktober 2012', Norsk Betongforening.

Future Built (2013), 'Om futurebuilt', 6. mars 2013.

URL: <http://www.futurebuilt.no>

Geiker, M. R. (2008), 'Chapter 9 self compacting concrete (SCC)', *Sidney Mindess ed. Developments in the formulation and reinforcement of concrete, Woodhead Publishing Limited ISBN: 987-1-84569-263-6*, pp 187–207.

Grønn Byggeallianse (2013), 'Grønn byggeallianse', Mars 2013.

URL: <http://www.byggalliansen.no/>

HeidelbergCement (2012), Bærekraftrapport 2010 2011, Technical report, Heidelberg Cement Northern Europe.

Helland, S. (2013), 'Design for service life: implementation of fib Model Code 2010 rules in the operational code ISO 16204', *Structural Concrete* **14**, 10–18.

Injar, J. (2013), 'Møte med Contiga om lavkarbonbetong i hulldekker 04.04.113'. Contiga: Jørn S. Injar, Rune Løken, Jan Otto Berger. Skanska: Sverre Smeplass. NTNU: Nina Borvik.

Jacobsen, S., Mork, J., Bjøntegaard, Ø., Smeplass, S. & Maage, M. (2009), *TKT 4215 Concrete Technology 1*, NTNU - Department of Structural Engineering.

Jahren, P. (2011), *Betong - Historie og historier*, Tapir akademisk forlag.

Jahren, P., Jacobsen, S., Kjellsen, K. O., Løbakk, A., Magerøy, H., Myren, S., Brå, H. & Bjerke, M. (2010), Økt fokus på Miljø og Klimaendringer - Nye muligheter for betong, Technical report, Norsk Betongforening.

- Jahren, P., Kjellsen, K. O., Jacobsen, S., Magerøy, H., Petkovic, G., Myren, S. & Reiersen, J.-E. (2009), CO2-utslipp - sement og betong Utfordringer og Perspektiver, Technical report, Norsk Betongforening.
- Jahren, T. (2012), 'Telefonsamtaler og mailkorrespondanser med Thomas Jahren i Cemex, høst 2012'.
- Juliebø, E. (1997), *Armeringsboka*, Landsforeningen for bygg og anlegg Universitetsforlaget.
- KLIF (2013a), 'Om EMAS', Klima- og Forurensingsdirektoratet. 5. mars 2013.
URL: <http://www.klif.no/naringsliv/EMAS/Om-EMAS/>
- KLIF (2013b), *Unngå helse- og miljøskadelige stoffer i bygg*, Direktoratet for Byggekvalitet og Klima- og forurensingsdirektoratet.
- KLP Eiendom AS (2012), 'Tilbudsinnbydelse Addendum nr.02', *Kontrakt - Totalentreprise Fornebu S*.
- KRD (2012), *Meld. St. 28 Gode bygg for eit bedre samfunn - ein framtidretta bygningspolitikk*, Kommunal- og regionaldepartementet.
- Lyngstad, H. (2012a), Miljøplan. Miljøplan for Fornebu S, notat Skanska.
- Lyngstad, H. (2012b), 'Særmøte mellom Skanska og Contiga 11.10.2012'. Contiga; Elisabeth Rønning og Tonje Bay-Eiriksson, Skanska; Unni Nerdal, Akin Olowo og Heidi Lyngsted.
- Lyngstad, H. (2012c), 'Særmøte mellom Skanska og Contiga 23.08.2012'. Contiga: Elisabeth Rønning, Nina S. Kostøl, Tonje Bay-Eiriksson, Jørn S. Injar, Thor-Egil Einarsrud. Skanska: Ida M. Strøm, Unni Nerdal, Stein Johnsen, Heidi Lyngsted.
- Lyngstad, H. (2012d), 'Særmøte mellom Skanska, Rambøll, KLP, Kåre Hagen og Multi-consult 13.12.2012'.
- Magerøy, H. (2011), Produksjon av fabrikkbetong i Norge - Totalvolum. 'Statesikk vist grafisk'.
- Magnus, E. (2013), Hvilke fortrinn gir Svanemerket i BREEAM-NOR, in 'Materialkrav i BREEAM NOR, Oslo 27.02.2013', Norwegian Green Building Council and Byggevareindustrien and Direktoratet for byggkvalitet.
- MD (2011-2012), *Meld. St. 21 Norsk klimapolitikk*, Miljøverndepartement.
- Mehta, P. K. & Monteiro, P. J. (2006), *Concrete - Microstructure, Properties and Materials*, 3 edn, McGraw-Hill.
- Miljødepartementet (2013), 'Framtidens byer', 6. mars 2013.
URL: <http://www.regjeringen.no/nb/sub/framtidensbyer/>

- Miljømerkning (2012), 'Svanemerket er den offisielle miljømerkeordningen', 3. mars 2013.
URL: <http://www.svanemerket.no/>
- Neville, A. (1995), *Properties of Concrete*, 4 edn, Longman.
- NGBC (2012), BREEAM-NOR, Teknisk Manual ver. 1.0, Norwegian Green Building Council.
- NGBC (2013), 'Dette er Norwegian Green Building Council', 5. mars 2013.
URL: <http://www.ngbc.no>
- NorBetong (2012), 'Lavkarbonbetong', Oktober 2012.
URL: <http://www.heidelbergcement.com/no/no/norbetong/miljo/lavkarbonbetong>
- Norcem (2012), 'Norcem.no', Oktober 2012.
URL: <http://www.heidelbergcement.com/no/no/norcem/home.htm>
- Norsk Akkreditering (2013), 'EMAS', 5. mars 2013.
URL: <http://www.akkreditert.no/no/Om/oss/EMAS>
- Norsk Stålforbund (1995), 'Miljøbygging i stål', *Oversatt fra European Confederation of iron and steel industries*.
- NOU (2009), *Globale miljøutfordringer - norsk politikk Hvordan bærekraftig utvikling og klima bedre kan ivaretas i offentlige beslutningsprosesser*, Norges offentlige utredninger 2009:16.
- NVE (2013), 'Energimerkeordningen', Norges vassdrags- og energidirektorat. 12. mars 2013.
URL: www.energimerkning.no
- Ollendorff, M. (2012), *Powerhouse - Innebygget energi og klimagassregnskap for bæresystemer*, Masteroppgave ved Institutt for konstruksjonsteknikk ved NTNU.
- Oslo Kommune (2011), 'Hva er Næring for klima', 6. mars 2013.
URL: <http://www.naeringforklima.oslo.kommune.no/>
- Østensen, I. (2012), *FAKTA 2013 Energi- og vannressurser i Norge*, Olje- og Energidepartementet.
- Powerhouse (2013), 'Om Powerhouse', Mai 2013.
URL: <http://powerhouse.no/om/>
- Rambøll Norge AS (2012), '1120483 - RIB A 0 23 O 46: Lastplan for nivå 2, Fornebu S', Tegning.
- Regjeringen.no (2012), 'Klimaforliket vedtatt i stortinget juni 2012', April 2013.
URL: <http://www.regjeringen.no/>

- Rønning, A., Lyng, K.-A. & Vold, M. (2011), Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer, Technical report, Sustainable Innovation.
- Sakai, K. (2008), Environmental design of concrete structures - general principles. fib Task Group 3.6, Bulletin 47, Technical report, fib.
- Sakai, K. (2013), Sustainability in fib Model Code 2010 and its future perspectives. Unpublished work by Koji Sakai, article in Structural Concrete.
- Selvig, E. (2012), *Klimagassregnskap.no versjon 4*, Dokumentasjonsrapport, Statsbygg og Civitas.
- Selvig, E. (2013a), 'Mailkorrespondanser med Eivind Selvig i Civitas, våren 2013'.
- Selvig, E. (2013b), Om referansebygg i tidligfase materialmodul i klimagassregnskap.no/v4 og poengberegning i BREEAM-NOR. Notat fra klimagassregnskap.no.
- SINTEF (2007), 'Sintef Byggforsk Teknisk Godkjenning', 3. mars 2013.
URL: <http://www.sintef.no/Byggforsk/Godkjenning-og-sertifisering/>
- SINTEF (2010), 'ECOprodukt - miljøriktig material og produktvalg i praksis', 4.mars 2013.
URL: <http://www.sintef.no/Byggforsk/Bygninger/>
- Skanska & Contiga (2013), 'Møte mellom Skanska og Contiga om lavkarbonhuldekker april 2013'.
- Smeplass, S. (2012), 'Bruk av lavkarbonbetong - fravik fra Norsk Standard'. Internt notat Fornebu S, Skanska.
- Sørensen, S. I. (2010), *Betongkonstruksjoner: Beregning og dimensjonering etter Eurocode 2*, Tapir akademisk forlag.
- Standard Norge (2013), 'Passivhusstandard', 12. mars 2013.
URL: <http://www.standard.no/>
- Stiftelsen Miljøfyrtårn (2013), 'Dette er miljøfyrtårn', 4.mars 2013.
URL: www.miljofyrtarn.no
- Teknologiavdelingen (2002-2005), Konstruksjonsbetong med resirkulert tilslag, Prosjektrapport nr 17, Statens Vegvesen Teknologiavdelingen.
- Udahl, G. (2013), 'Mailkorrespondanser med Geir Udahl, konstruksjonssjef Contiga, våren 2013'.
- Vold, M. (2012), EPD-generator for betong, in 'Norsk Betongdag 24. - 25. oktober 2012', Norsk Betongforening.

von Greve-Dierfeld, S. (2013), Memo on material classification and on requirements regarding the concrete cover. Personal communication, Unpublished work by Stefanie von Greve-Dierfeld /TU Munich. PhD thesis autumn 2013.

Woldsteel Association (2013), 'About steel', April 2013.

URL: *<http://www.worldsteel.org>*

ZEB (2013), 'About the research centre on zero emission buildings – ZEB', 6. mars 2013.

URL: *www.zeb.no*

Vedlegg

Vedlegg A Referansebygg

Referansebygg i versjon 4 og for norsk betongbransje

REFERANSEBYGG VERSJON 4		UTEN BETONG		REFERANSEBYGG NORSK BRANSJE	
TOTALT [kg CO2-ekv]	21 517 424	TOTALT [kg CO2-ekv]	5 464 584	TOTALT [kg CO2-ekv]	12 967 420
Basismaterialer	352 290	Basismaterialer	352 290	Basismaterialer	352 290
Stål (puter og forankringsrør)	314 944	Stål (puter og forankringsrør)	314 944	Stål (puter og forankringsrør)	314 944
Maling	37 347	Maling	37 347	Maling	37 347
Bæresystem	2 617 867	Bæresystem	1 006 443	Bæresystem	2 158 347
Søyler av prefab.betong	272 169	Søyler av prefab.betong	-	Søyler av prefab.betong	209 798
Bjelker av prefab. Betong	1 339 256	Bjelker av prefab. Betong	-	Bjelker av prefab. Betong	942 106
Stålsøyler	66 470	Stålsøyler	66 470	Stålsøyler	66 470
Stålbjelker	939 973	Stålbjelker	939 973	Stålbjelker	939 973
Grunn og fundamenter	3 240 129	Grunn og fundamenter	1 278 372	Grunn og fundamenter	2 537 858
Armering	96 947	Armering	-	Armering	96 947
Plasstøpt betong	1 864 810	Plasstøpt betong	-	Plasstøpt betong	1 162 539
Polystyren	1 279	Polystyren	1 279	Polystyren	1 279
Stålkjernepeler	1 277 093	Stålkjernepeler	1 277 093	Stålkjernepeler	1 277 093
Yttervegger	1 937 678	Yttervegger	1 010 994	Yttervegger	1 660 264
Armering	199 801	Armering	-	Armering	199 801
Plasstøpt betong	726 883	Plasstøpt betong	-	Plasstøpt betong	449 469
Kryssfinerplater	149 105	Kryssfinerplater	149 105	Kryssfinerplater	149 105
Trepanel	5 863	Trepanel	5 863	Trepanel	5 863
Naturstein	-	Naturstein	-	Naturstein	-
Lettklinker	18 133	Lettklinker	18 133	Lettklinker	18 133
Iso-blokk	219 383	Iso-blokk	219 383	Iso-blokk	219 383
Bindingsverk, Stål	838	Bindingsverk, Stål	838	Bindingsverk, Stål	838
Bindingsverk, tre	151	Bindingsverk, tre	151	Bindingsverk, tre	151
Steinull	49 893	Steinull	49 893	Steinull	49 893
Polystyren	10 672	Polystyren	10 672	Polystyren	10 672
GU-plater	1 640	GU-plater	1 640	GU-plater	1 640
Vindu	555 316	Vindu	555 316	Vindu	555 316
Innvegger	1 713 873	Innvegger	481 529	Innvegger	1 109 053
Vegger av prefab. Betong	1 232 344	Vegger av prefab. Betong	-	Vegger av prefab. Betong	627 524
Lettklinker	58 037	Lettklinker	58 037	Lettklinker	58 037
Puss	4 653	Puss	4 653	Puss	4 653
Bindingsverk, stål	1 790	Bindingsverk, stål	1 790	Bindingsverk, stål	1 790
Steinull	78 193	Steinull	78 193	Steinull	78 193
Kryssfinerplater	338 855	Kryssfinerplater	338 855	Kryssfinerplater	338 855
Dekker	9 352 139	Dekker	887 749	Dekker	3 970 145
Hulldekker	6 049 390	Hulldekker	-	Hulldekker	2 386 384
Mineralull	23 273	Mineralull	23 273	Mineralull	23 273
Påstøp	2 415 000	Påstøp	-	Påstøp	696 012
Asfaltdekke	539	Asfaltdekke	539	Asfaltdekke	539
Massiv parkett	-	Massiv parkett	-	Massiv parkett	-
Linoleum	288 743	Linoleum	288 743	Linoleum	288 743
Vinyl	541 971	Vinyl	541 971	Vinyl	541 971
Systemgips - gips	33 223	Systemgips - gips	33 223	Systemgips - gips	33 223
Yttertak	2 303 001	Yttertak	446 761	Yttertak	1 179 017
Hulldekker	1 856 240	Hulldekker	-	Hulldekker	732 256
Polystyren	446 545	Polystyren	446 545	Polystyren	446 545
2 lag Asfaltpap	216	2 lag Asfaltpap	216	2 lag Asfaltpap	216
Trapper	446	Trapper	446	Trapper	446

Vedlegg B Betongresepter

Betongresepter brukt ved Fornebu S og betongresepter utarbeidet i samarbeid med NorBetong

B35 MF40 D22 ANL SKB					
20 % FA		30 % FA		40 % FA	
Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]
Norcem Anlegg FA	390	Norcem Anlegg FA	340	Norcem Anlegg FA	296
Silikastøv	16	Silikastøv	14	Silikastøv	12
Flygeaske	0	Flygeaske	54	Flygeaske	104
Fritt vann	164	Fritt vann	158	Fritt vann	153
Absorbert vann	12	Absorbert vann	12	Absorbert vann	12
Lyngås 0/8 mm	916	Lyngås 0/8 mm	916	Lyngås 0/8 mm	916
Steinskogen 11/16 mm	358	Steinskogen 11/16 mm	358	Steinskogen 11/16 mm	358
Fransefoss 16/22 mm	546	Fransefoss 16/22 mm	546	Fransefoss 16/22 mm	546
Mapeir 25	3	Mapeir 25	2	Mapeir 25	2
Dynamon SRN	7	Dynamon SRN	6	Dynamon SRN	5
Densitet	2402	Densitet	2399	Densitet	2396
B35 MF40 D16 ANL SKB					
20 % FA		30 % FA		40 % FA	
Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]
Norcem Anlegg FA	390	Norcem Anlegg FA	340	Norcem Anlegg FA	296
Silikastøv	16	Silikastøv	14	Silikastøv	12
Flygeaske	0	Flygeaske	54	Flygeaske	104
Fritt vann	164	Fritt vann	158	Fritt vann	153
Absorbert vann	14	Absorbert vann	14	Absorbert vann	14
Lyngås 0/8 mm	987	Lyngås 0/8 mm	987	Lyngås 0/8 mm	987
Steinskogen 11/16 mm	829	Steinskogen 11/16 mm	829	Steinskogen 11/16 mm	829
Fransefoss 16/22 mm	0	Fransefoss 16/22 mm	0	Fransefoss 16/22 mm	0
Mapeir 25	3	Mapeir 25	2	Mapeir 25	2
Dynamon SRN	7	Dynamon SRN	6	Dynamon SRN	5
Densitet	2400	Densitet	2397	Densitet	2395
B45 M40 D22 ANL / B45 MF40 D22 ANL					
20 % FA		30 % FA		40 % FA	
Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]
Norcem Anlegg FA	370	Norcem Anlegg FA	324	Norcem Anlegg FA	281
Silikastøv	15	Silikastøv	13	Silikastøv	11
Flygeaske	0	Flygeaske	52	Flygeaske	98
Fritt vann	156	Fritt vann	150	Fritt vann	145
Absorbert vann	12	Absorbert vann	12	Absorbert vann	12
Lyngås 0/8 mm	937	Lyngås 0/8 mm	937	Lyngås 0/8 mm	937
Steinskogen 11/16 mm	366	Steinskogen 11/16 mm	366	Steinskogen 11/16 mm	366
Fransefoss 16/22 mm	558	Fransefoss 16/22 mm	558	Fransefoss 16/22 mm	558
Mapeir 25	3	Mapeir 25	2	Mapeir 25	2
Dynamon SRN	4	Dynamon SRN	3	Dynamon SRN	3
Densitet	2416	Densitet	2413	Densitet	2410
B35 M60 D16 SKB					
20 % FA		30 % FA		35 % FA	
Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]
Norcem Standard FA	357	Norcem Standard FA	313	Norcem Standard FA	293
Silikastøv	14	Silikastøv	13	Silikastøv	12
Flygeaske	0	Flygeaske	50	Flygeaske	73
Fritt vann	181	Fritt vann	175	Fritt vann	173
Absorbert vann	13	Absorbert vann	13	Absorbert vann	13
Lyngås 0/8 mm	1031	Lyngås 0/8 mm	1031	Lyngås 0/8 mm	1031
Steinskogen 11/16 mm	765	Steinskogen 11/16 mm	765	Steinskogen 11/16 mm	765
Fransefoss 16/22 mm	0	Fransefoss 16/22 mm	0	Fransefoss 16/22 mm	0
Mapeir 25	3	Mapeir 25	2	Mapeir 25	2
Dynamon SRN	7	Dynamon SRN	6	Dynamon SRN	6
Densitet	2363	Densitet	2361	Densitet	2361

Betongresepter brukt ved Fornebu S og betongresepter utarbeidet i samarbeid med NorBetong

B35 M60 D22 SKB					
20 % FA		30 % FA		35 % FA	
Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]
Norcem Standard FA	357	Norcem Standard FA	313	Norcem Standard FA	290
Silikastøv	14	Silikastøv	13	Silikastøv	12
Flygeaske	0	Flygeaske	50	Flygeaske	76
Fritt vann	181	Fritt vann	175	Fritt vann	172
Absorbert vann	12	Absorbert vann	12	Absorbert vann	12
Lyngås 0/8 mm	908	Lyngås 0/8 mm	908	Lyngås 0/8 mm	908
Steinskogen 11/16 mm	355	Steinskogen 11/16 mm	355	Steinskogen 11/16 mm	
Fransefoss 16/22 mm	541	Fransefoss 16/22 mm	541	Fransefoss 16/22 mm	541
Mapeir 25	3	Mapeir 25	2	Mapeir 25	2
Dynamon SRN	6	Dynamon SRN	6	Dynamon SRN	5
Densitet	2369	Densitet	2367	Densitet	2366

B20 M90 D22			
20 % FA		30 % FA	
Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]
Norcem Standard FA	278	Norcem Standard FA	245
Silikastøv	0	Silikastøv	0
Flygeaske	0	Flygeaske	37
Fritt vann	192	Fritt vann	187
Absorbert vann	13	Absorbert vann	13
Lyngås 0/8 mm	1058	Lyngås 0/8 mm	1058
Steinskogen 11/16 mm	364	Steinskogen 11/16 mm	364
Fransefoss 16/22 mm	525	Fransefoss 16/22 mm	525
Mapeir 25	0	Mapeir 25	0
Dynamon SRN	1	Dynamon SRN	1
Densitet	2430	Densitet	2429

B35 MF40 D16 25% RED ANL					
20 %		30 %		40 %	
Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]
Norcem Anlegg FA	383	Norcem Anlegg FA	334	Norcem Anlegg FA	291
Silikastøv	15	Silikastøv	13	Silikastøv	12
Flygeaske	0	Flygeaske	54	Flygeaske	102
Fritt vann	161	Fritt vann	155	Fritt vann	150
Absorbert vann	14	Absorbert vann	14	Absorbert vann	14
Lyngås 0/8 mm	1065	Lyngås 0/8 mm	1065	Lyngås 0/8 mm	1065
Steinskogen 11/16 mm	761	Steinskogen 11/16 mm	761	Steinskogen 11/16 mm	761
Fransefoss 16/22 mm	0	Fransefoss 16/22 mm	0	Fransefoss 16/22 mm	0
Mapeir 25	2	Mapeir 25	2	Mapeir 25	2
Dynamon SRN	5	Dynamon SRN	4	Dynamon SRN	3
Densitet	2400	Densitet	2397	Densitet	2395

REFERANSER					
B45 MF40 ANL FA		B45 MF40 STD FA		B35 M40 25% RED STD FA	
Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]	Materialer	[kg/m3]
Norcem Anlegg FA	374	Norcem Standard FA	423	Norcem Standard FA	435
Silikastøv	12	Silikastøv	13	Silikastøv	13
Flygeaske	0	Flygeaske	0	Flygeaske	0
Fritt vann	151	Fritt vann	169	Fritt vann	172
Absorbert vann		Absorbert vann		Absorbert vann	
Lyngås 0/8 mm	939	Lyngås 0/8 mm	853	Lyngås 0/8 mm	1042
Steinskogen 11/16 mm	367	Steinskogen 11/16 mm	347	Steinskogen 11/16 mm	683
Fransefoss 16/22 mm	558	Fransefoss 16/22 mm	564	Fransefoss 16/22 mm	
Mapeir 25	2	Mapeir 25	2	Mapeir 25	4
Dynamon SRN	3	Dynamon SRN	5	Dynamon SRN	5
Densitet	2406	Densitet	2376	Densitet	2354

B35 MF40 med STD FA		B35 M60 SKB	
Materialer		Materialer	
Norcem Standard FA	422	Norcem Standard FA	371
Silikastøv	20	Silikastøv	11
Flygeaske	0	Flygeaske	0
Fritt vann	170	Fritt vann	170
Absorbert vann		Absorbert vann	
Lyngås 0/8 mm	987	Lyngås 0/8 mm	967
Steinskogen 11/16 mm	775	Steinskogen 11/16 mm	813
Fransefoss 16/22 mm		Fransefoss 16/22 mm	
Mapeir 25	5	Mapeir 25	2
Dynamon SRN	7	Dynamon SRN	6
Densitet	2386	Densitet	2340

Vedlegg C EPD fra NorBetong

- B20 M90 D22
- B35 MF40 D16 ANL SKB
- B35 MF40 D22 ANL
- B35 MF40 D22 ANL SKB
- B35 M60 D16 SKB
- B35 M60 D22 SKB
- B45 M40 D22 ANL
- B45 MF40 D22 ANL
- B35 MF40 D16 25% RED ANL

Environmental Product Declaration ISO 14025

**Ferdigbetong
B20 M90 D22**

Synk 200

NORBETONG
HEIDELBERGCEMENT Group



Verifikasjon verktøy: Intern: Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av verktøy med data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning, Østfoldforskning as, etter ISO 14025, 8.1.3.

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av "EPD-generator for ferdigbetong", Versjon 3.3 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)

Av Britt Blom Marstrander
Tom I. Fredvik

Produsent:

NorBetong, Lilleakerveien 2B, 0283 Oslo

Produksjonssted: Stor-Oslo

www.norbetong.no

Telefon: 22 87 83 00

Org.nr: No-934 468 740

ISO 14001: S-003

Kontaktperson: britt.blom.marstrander@norbetong.no

Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011.

Avvik fra PCR:

Deklarert enhet er 1 m³ betong - Utstøping er ikke inkludert

Miljøindikatorer	Deklart enhet:	
	Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)	Transport til kunde A4
Global oppvarming:	186,4 kg CO ₂ ekv/m ³ betong	0,9 kg CO ₂ ekv/m ³ betong
Energiforbruk:	1577,3 MJ/m ³ betong	11,8 MJ/m ³ betong
Andel fornybar energi:	11,2 %	0,0 %
Om data	Sementdata er basert på EPD	
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimaet i huset evt ikke relevant for produktgruppen	
Kjemikalier	Produktet inneholder ingen kjemikalier på "candidate"- eller "prioritet"-lista	

Omfang og marked

Deklarert enhet: Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding på betongstasjon. I tillegg er transport til kunde inkludert i egen kolonne

Produktets levetid: 50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang: Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien: 2012

Årstall for data: Produksjons og utslippstall for betongstasjonen er fra 2011

Antatt markedsområde: Norge

Produktbeskrivelse:

Produseres i hht NS-EN 206-1

Produktspesifikasjon

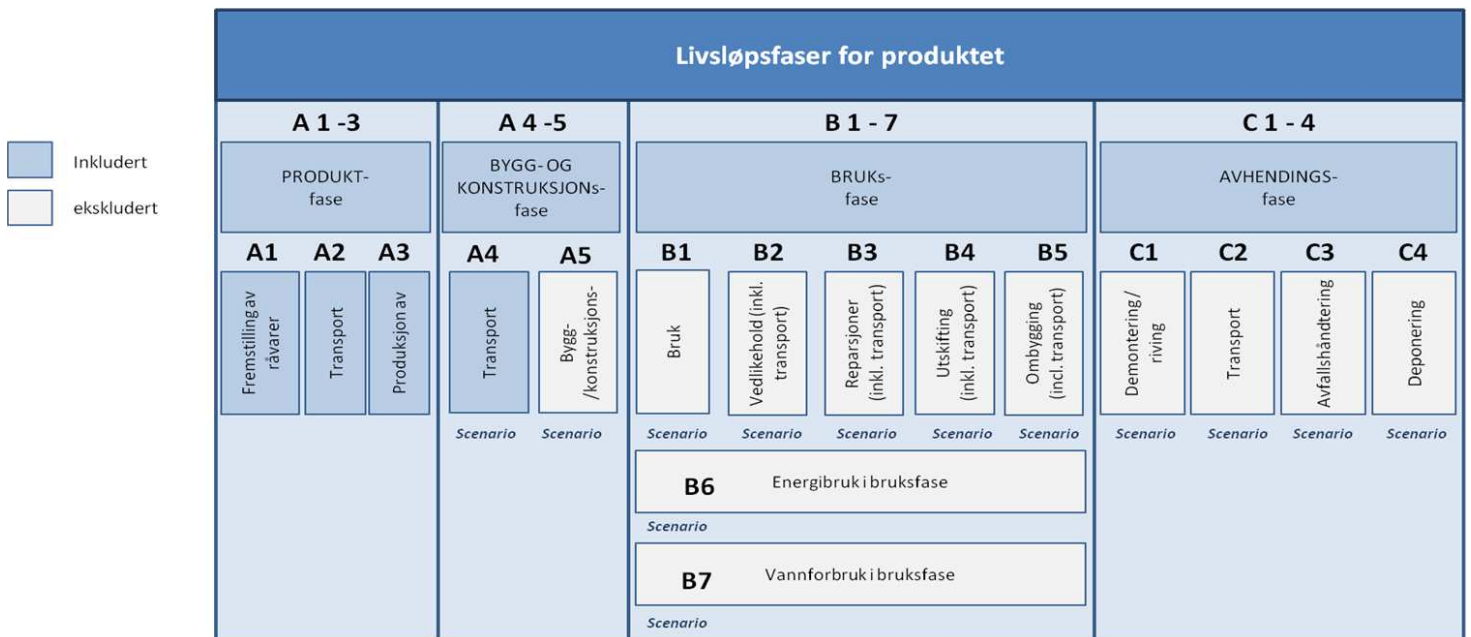
Tabell 1

Per deklarerer enhet A1-A3	Mass [kg/m ³]	Andel [%]	Data kvalitet	Andel resirkulert materiale [%]
CEM II (FA-sement) - Norcem Brevik	278	12 %	EPD	15 %
	-			
Vann	191	8 %		
Natursand	1 058	44 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	364	15 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	524	22 %	litteraturdata	
	-		-	
	-		-	
Superplastiserende	1	0 %	Generiske data	
	-		-	
	-		-	
	-		-	
	-		-	
Totalt	2 416	100 %		0 %

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (fra EN 15804), 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
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang

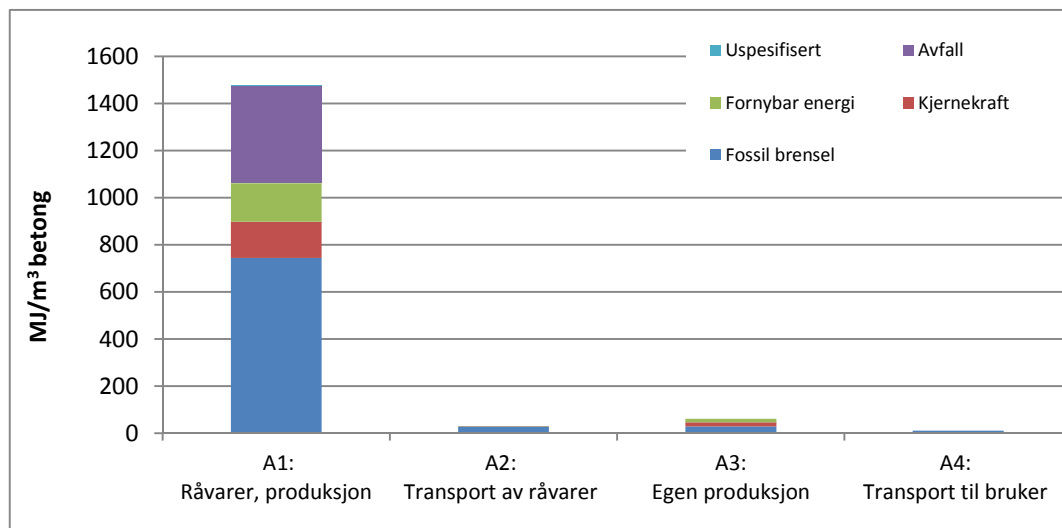
Ressursforbruk

Materialressurser Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser	Slamvann	kg/m ³ betong						
Nye ,fornybare ressurser	Vann	kg/m ³ betong	448,3	5,7	46,5	500,5		Vann i egen produksjon inkluderer også vann i betongblandingen
	Biomasse	kg/m ³ betong	1,7E+00	2,9E-04	3,4E-01	2,1E+00		
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Gjenbrukt masse, Silika, Slagg, Flyveaske etc	kg/m ³ betong	58,2			58,2		Resirkulerte materialer i råvarene (f.eks flyveaske og slagg i sement) kommer inn her
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³ betong	333,8	3,1E-04	7,9E-03	333,8		
	Mineraler, sand, stein	kg/m ³ betong	1 999,0	1,8E-04	2,6E-02	1 999,0		
	Metaller	kg/m ³ betong	1,7E+00	4,3E-06	3,6E-03	1,7E+00		
		kg/m ³ betong						

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Fossil brensel	Kull	MJ/m ³ betong	636,2	0,2	6,7	643,1	-	
	Olje	MJ/m ³ betong	56,0	27,7	16,7	100,3	11,5	
	Gass	MJ/m ³ betong	53,0	1,5	6,02	60,5	0,3	
	Torv	MJ/m ³ betong	9,1	0,0	1,1	10,1	-	
Kjernekraft		MJ/m ³ betong	153,5	0,2	17,7	171,5	-	
Fornybar energi	Biomass	MJ/m ³ betong	43,8	-	-	43,8	-	
	Vannkraft	MJ/m ³ betong	113,0	0,0	13,0	126,0	-	
	Solkraft	MJ/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
	Vindkraft	MJ/m ³ betong	6,3	0,0	0,8	7,1	-	
Avfall	Avfallsforbrenning	MJ/m ³ betong	414,8	-	-	414,8	-	
Uspesifisert		MJ/m ³ betong	0,0	-	-	0,0	-	
Totalt			1486	29,6	62,0	1 577,3	11,8	

Energi brukt oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPD'er i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet), med et GWP-utslipp på 0,165 kg CO₂-ekv/kWh

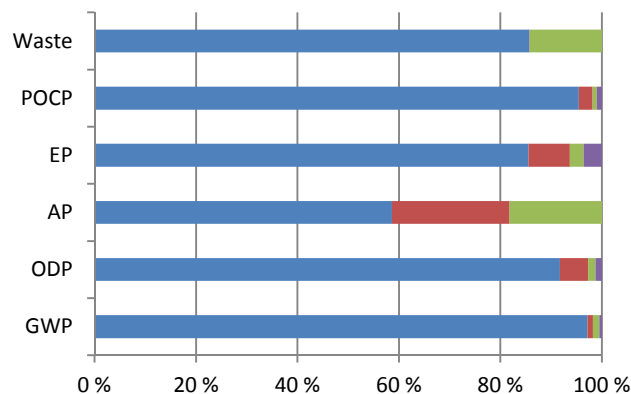
Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

Parameter	Enhet	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	
GWP	Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	186,4	0,9
ODP	Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	1,3E-06	
AP	Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,4	0,0
EP	Overgjødning	kg PO ₄ ³⁻ -ekv/m ³ betong	0,1	0,0
POCP	Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,0	0,0
ADPE	Abiotic depletion poten	kg Sb -ekv/m ³ betong	N.A*	N.A
ADPF	Abiotic depletion poten	MJ/m ³ betong	N.A*	N.A
Waste	Avfall	kg/m ³ betong	22,3	

NA* Abiotisk Ressursforbruk er ikke inkludert siden datagrunnlaget foreløpig er mangelfullt på området

■ Produksjon av råvarer A1
■ Transport av råvarer A2
■ Egen produksjon A3
■ Transport til bruker A4



Avfall og største utslipp på vektbasis Tabell 5

	Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	176,7	2,0	2,2	180,9	0,9	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	
N ₂ O	kg/m ³ betong	7,0E-04	3,0E-05	9,7E-05	8,2E-04	5,5E-05	
NO _x	kg/m ³ betong	0,41	0,02	0,00	0,43	0,01	
SO _x	kg/m ³ betong	0,14	0,01	0,00	0,15	0,00	
VOC	kg/m ³ betong	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
CO	kg/m ³ betong	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	19,1	0,0	3,2	22,3	-	
Radioaktivt avfall	kg/m ³ betong						Ikke oppgitt i kg
Annet	kg/m ³ betong	0,1	0,0	0,0	0,1	-	

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

Annen informasjon

Bibliografi

- ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.
- ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.
- PCR for betong: www.epd-norge.no : NPCR 20 Precast concrete products, March 2012 March 2012
- Vold, M. (2008): Livsløpsdata for fabrikkbetong, Østfoldforskning AS, OR 18.12, Fredrikstad.
- NS-EN 15804:2012: Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products

Environmental Product Declaration ISO 14025

Ferdigbetong B35 MF40 D16 ANL SKB Lavkarbon A K2



Verifikasjon verktøy: Intern: Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av verktøy med data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning, Østfoldforskning as, etter ISO 14025, 8.1.3.

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av "EPD-generator for ferdigbetong", Versjon 3.3 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)

Av Britt Blom Marstrander
Tom I. Fredvik

Produsent:

NorBetong, Lilleakerveien 2B, 0283 Oslo

Produksjonssted: Stor-Oslo

www.norbetong.no

Telefon: 22 87 83 00

Org.nr: No-934 468 740

ISO 14001: S-003

Kontaktperson: britt.blom.marstrander@norbetong.no

Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011.

Avvik fra PCR:

Deklarert enhet er 1 m³ betong - Utstøping er ikke inkludert

Miljøindikatorer	Deklart enhet:	
	Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)	Transport til kunde A4
Global oppvarming:	227,6 kg CO ₂ ekv/m ³ betong	0,9 kg CO ₂ ekv/m ³ betong
Energiforbruk:	1894,5 MJ/m ³ betong	11,6 MJ/m ³ betong
Andel fornybar energi:	10,7 %	0,0 %
Om data	Sementdata er basert på EPD	
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimaet i huset evt ikke relevant for produktgruppen	
Kjemikalier	Produktet inneholder ingen kjemikalier på "candidate"- eller "prioritet"-lista	

Omfang og marked

Deklarert enhet: Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding på betongstasjon. I tillegg er transport til kunde inkludert i egen kolonne

Produktets levetid: 50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang: Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien: 2012

Årstall for data: Produksjons og utslippstall for betongstasjonen er fra 2011

Antatt markedsområde: Norge

Produktbeskrivelse:

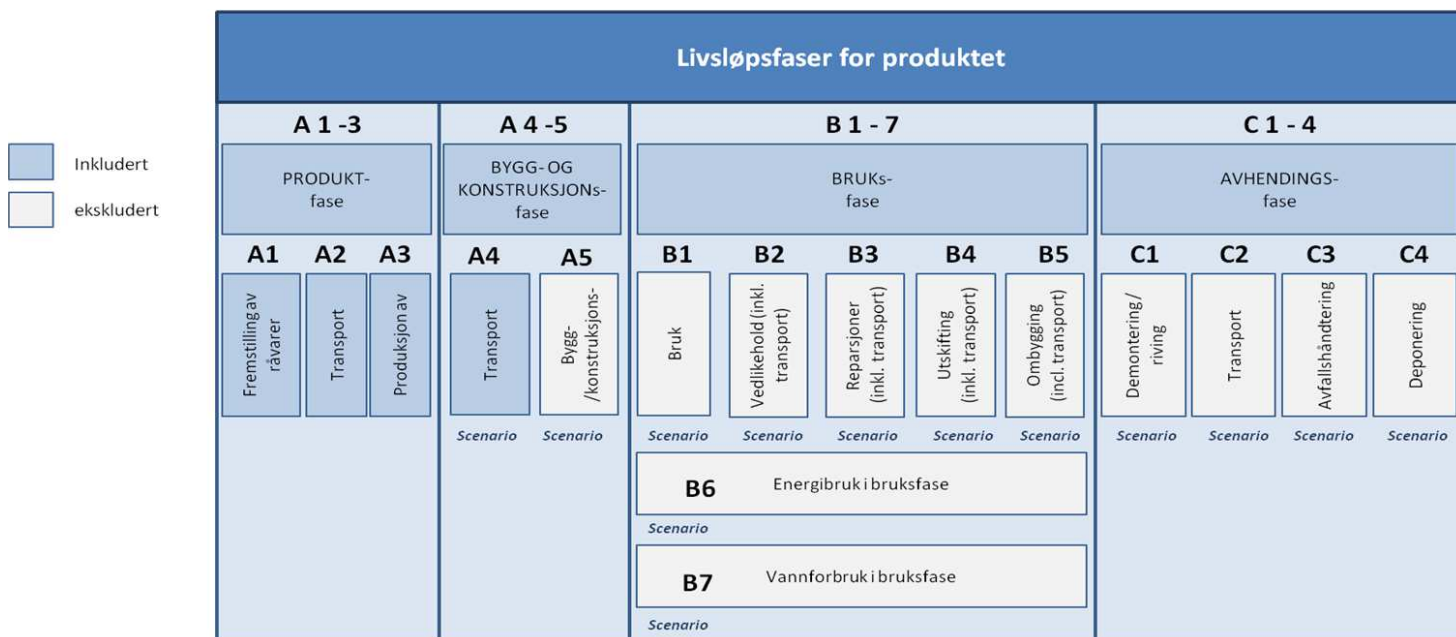
Produseres i hht NS-EN 206-1

Per deklarerer enhet A1-A3	Mass [kg/m ³]	Andel [%]	Data kvalitet	Andel resirkulert materiale [%]
CEM II (FA-sement) - Norcem Brevik	341	14 %	EPD	15 %
	-			
Vann	150	6 %		
Natursand	987	41 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	829	35 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	-		-	
	-		-	
Superplastiserende	7	0 %	Generiske data	
	-		-	
Luftinnførende	3	0 %	Generiske data	
Silika	13	1 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Flyveaske	55	2 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Totalt	2 384	100 %		0 %

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (fra EN 15804), 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
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang

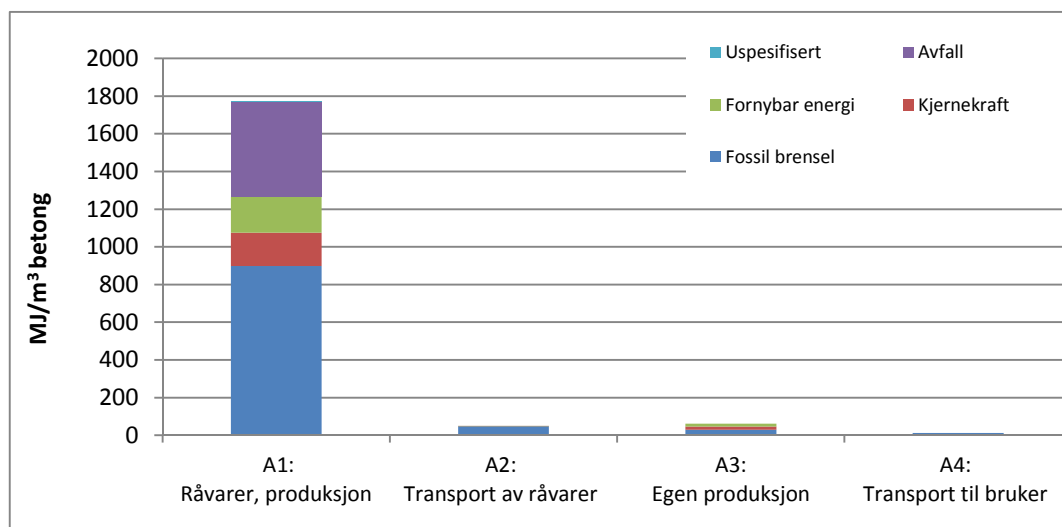
Ressursforbruk

Materialressurser Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser	Slamvann	kg/m ³ betong						
Nye ,fornybare ressurser	Vann	kg/m ³ betong	513,5	9,4	46,5	569,4		Vann i egen produksjon inkluderer også vann i betongblandingen
	Biomasse	kg/m ³ betong	2,1E+00	4,8E-04	3,4E-01	2,4E+00		
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Gjenbrukt masse, Silika, Slagg, Flyveaske etc	kg/m ³ betong	71,4			71,4		Resirkulerte materialer i råvarene (f.eks flyveaske og slagg i sement) kommer inn her
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³ betong	409,4	5,3E-04	7,9E-03	409,4		
	Mineraler, sand, stein	kg/m ³ betong	1 866,1	3,0E-04	2,6E-02	1 866,1		
	Metaller	kg/m ³ betong	2,1E+00	7,6E-06	3,6E-03	2,1E+00		
		kg/m ³ betong						

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Fossil brensel	Kull	MJ/m ³ betong	776,1	0,3	6,7	783,2	-	
	Olje	MJ/m ³ betong	58,5	45,7	16,7	120,9	11,3	
	Gass	MJ/m ³ betong	63,2	2,3	6,02	71,5	0,3	
	Torv	MJ/m ³ betong	10,5	0,0	1,1	11,6	-	
Kjernekraft		MJ/m ³ betong	178,1	0,4	17,7	196,3	-	
Fornybar energi	Biomass	MJ/m ³ betong	49,9	-	-	49,9	-	
	Vannkraft	MJ/m ³ betong	131,6	0,0	13,0	144,6	-	
	Solkraft	MJ/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
	Vindkraft	MJ/m ³ betong	7,4	0,0	0,8	8,3	-	
Avfall	Avfallsforbrenning	MJ/m ³ betong	508,2	-	-	508,2	-	
Uspesifisert		MJ/m ³ betong	0,0	-	-	0,0	-	
Totalt			1784	48,9	62,0	1 894,5	11,6	

Energi brukt oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPD'er i Norge.

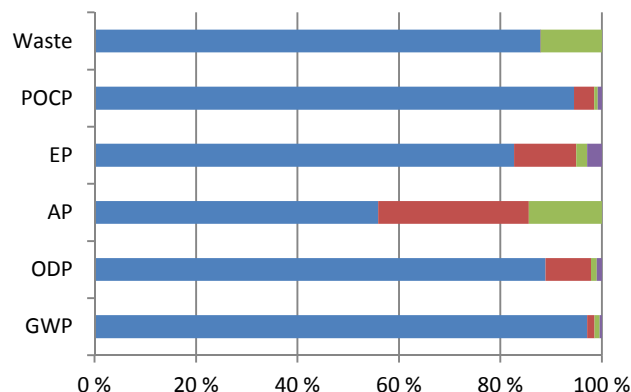
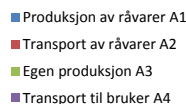
Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet), med et GWP-utslipp på 0,165 kg CO₂-ekv/kWh

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

Parameter	Enhet	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4
GWP	Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	227,6
ODP	Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	1,6E-06
AP	Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,5
EP	Overgjødning	kg PO ₄ ³⁻ -ekv/m ³ betong	0,1
POCP	Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,0
ADPE	Abiotic depletion poten	kg Sb -ekv/m ³ betong	N.A*
ADPF	Abiotic depletion poten	MJ/m ³ betong	N.A*
Waste	Avfall	kg/m ³ betong	26,4

NA* Abiotisk Ressursforbruk er ikke inkludert siden datagrunnlaget foreløpig er mangelfullt på området



Avfall og største utslipp på vektbasis Tabell 5

	Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	215,4	3,3	2,2	220,9	0,9	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	
N ₂ O	kg/m ³ betong	8,2E-04	5,4E-05	9,7E-05	9,7E-04	5,4E-05	
NO _x	kg/m ³ betong	0,50	0,04	0,00	0,54	0,01	
SO _x	kg/m ³ betong	0,17	0,02	0,00	0,20	0,00	
VOC	kg/m ³ betong	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	
CO	kg/m ³ betong	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	23,2	0,0	3,2	26,4	-	
Radioaktivt avfall	kg/m ³ betong						Ikke oppgitt i kg
Annet	kg/m ³ betong	0,1	0,0	0,0	0,1	-	

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

Annen informasjon

Bibliografi

- ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.
- ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.
- PCR for betong: www.epd-norge.no : NPCR 20 Precast concrete products, March 2012
- Vold, M. (2008): Livsløpsdata for fabrikkbetong, Østfoldforskning AS, OR 18.12, Fredrikstad.
- NS-EN 15804:2012: Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products

Environmental Product Declaration ISO 14025

Ferdigbetong B35 MF40 D22 ANL Lavkarbon A Synk 200



Verifikasjon verktøy: Intern: Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av verktøy med data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning, Østfoldforskning as, etter ISO 14025, 8.1.3.

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av "EPD-generator for ferdigbetong", Versjon 3.3 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)

Av Britt Blom Marstrander
Tom I. Fredvik

Produsent:

NorBetong, Lilleakerveien 2B, 0283 Oslo

Produksjonssted: Stor-Oslo

www.norbetong.no

Telefon: 22 87 83 00

Org.nr: No-934 468 740

ISO 14001: S-003

Kontaktperson: britt.blom.marstrander@norbetong.no

Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011.

Avvik fra PCR:

Deklarert enhet er 1 m³ betong - Utstøping er ikke inkludert

Miljøindikatorer	Deklart enhet:		Transport til kunde	
	Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)		A4	
Global oppvarming:	216,0	kg CO ₂ ekv/m ³ betong	0,9	kg CO ₂ ekv/m ³ betong
Energiforbruk:	1807,2	MJ/m ³ betong	11,7	MJ/m ³ betong
Andel fornybar energi:	10,8	%	0,0	%
Om data	Sementdata er basert på EPD			
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimaet i huset evt ikke relevant for produktgruppen			
Kjemikalier	Produktet inneholder ingen kjemikalier på "candidate"- eller "prioritet"-lista			

Omfang og marked

Deklarert enhet: Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding på betongstasjon. I tillegg er transport til kunde inkludert i egen kolonne

Produktets levetid: 50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang: Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien: 2012

Årstall for data: Produksjons og utslippstall for betongstasjonen er fra 2011

Antatt markedsområde: Norge

Produktbeskrivelse:

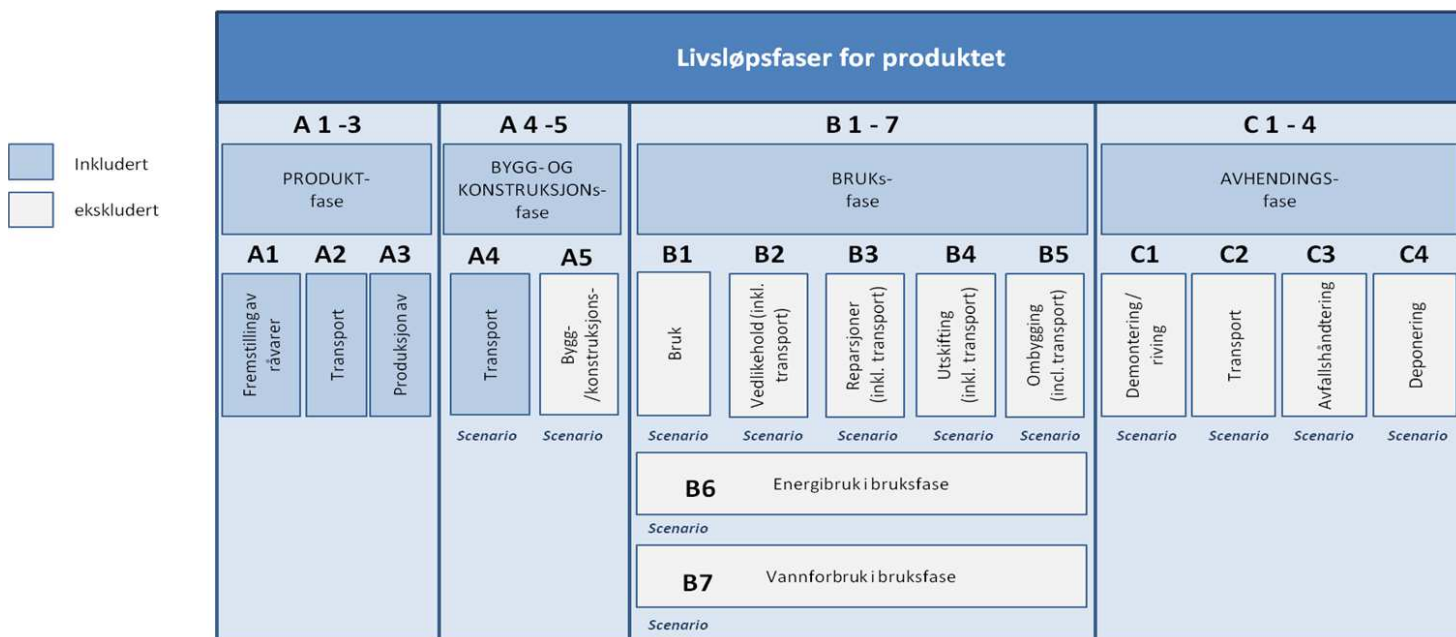
Produseres i hht NS-EN 206-1

Per deklarerer enhet A1-A3	Mass [kg/m ³]	Andel [%]	Data kvalitet	Andel resirkulert materiale [%]
CEM II (FA-sement) - Norcem Brevik	323	13 %	EPD	15 %
	-			
Vann	145	6 %		
Natursand	938	39 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	367	15 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	558	23 %	litteraturdata	
	-		-	
	-		-	
Superplastiserende	4	0 %	Generiske data	
	-		-	
Luftinnførende	2	0 %	Generiske data	
Silika	12	0 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Flyveaske	52	2 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Totalt	2 401	100 %		0 %

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (fra EN 15804), 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
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang

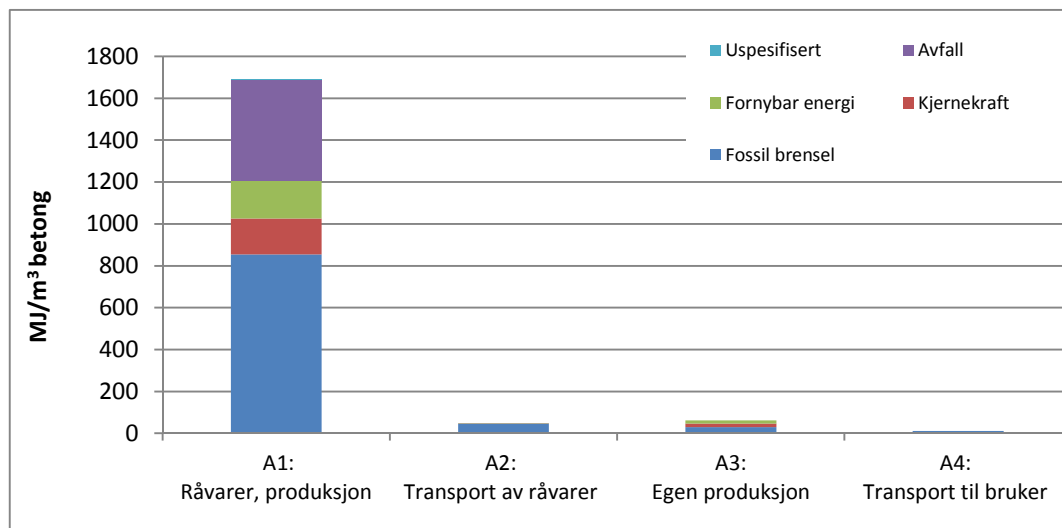
Ressursforbruk

Materialressurser Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser	Slamvann	kg/m ³ betong						
Nye ,fornybare ressurser	Vann	kg/m ³ betong	495,5	8,9	46,5	550,9		Vann i egen produksjon inkluderer også vann i betongblandingen
	Biomasse	kg/m ³ betong	2,0E+00	4,5E-04	3,4E-01	2,3E+00		
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Gjenbrukt masse, Silika, Slagg, Flyveaske etc	kg/m ³ betong	67,6			67,6		Resirkulerte materialer i råvarene (f.eks flyveaske og slagg i sement) kommer inn her
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³ betong	387,8	5,0E-04	7,9E-03	387,8		
	Mineraler, sand, stein	kg/m ³ betong	1 914,2	2,8E-04	2,6E-02	1 914,2		
	Metaller	kg/m ³ betong	2,0E+00	7,1E-06	3,6E-03	2,0E+00		
		kg/m ³ betong						

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Fossil brensel	Kull	MJ/m ³ betong	736,2	0,3	6,7	743,2	-	
	Olje	MJ/m ³ betong	58,0	43,2	16,7	117,8	11,4	
	Gass	MJ/m ³ betong	60,3	2,2	6,02	68,5	0,3	
	Torv	MJ/m ³ betong	10,1	0,0	1,1	11,2	-	
Kjernekraft		MJ/m ³ betong	171,3	0,4	17,7	189,4	-	
Fornybar energi	Biomass	MJ/m ³ betong	48,2	-	-	48,2	-	
	Vannkraft	MJ/m ³ betong	126,4	0,0	13,0	139,4	-	
	Solkraft	MJ/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
	Vindkraft	MJ/m ³ betong	7,1	0,0	0,8	8,0	-	
Avfall	Avfallsforbrenning	MJ/m ³ betong	481,5	-	-	481,5	-	
Uspesifisert		MJ/m ³ betong	0,0	-	-	0,0	-	
Totalt			1699	46,1	62,0	1 807,2	11,7	

Energi brukt oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPD'er i Norge.

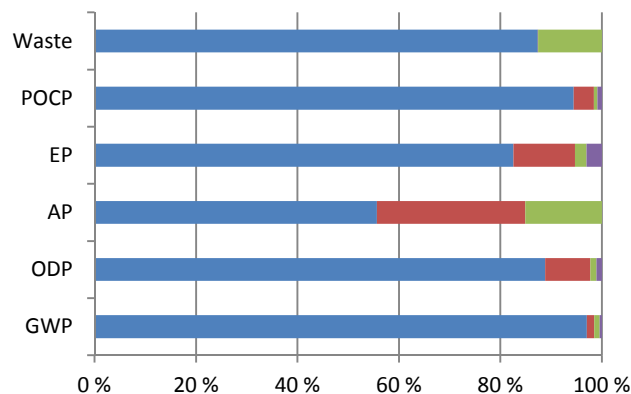
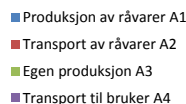
Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet), med et GWP-utslipp på 0,165 kg CO₂-ekv/kWh

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

Parameter	Enhet	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4
GWP	Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	216,0
ODP	Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	1,5E-06
AP	Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,5
EP	Overgjødning	kg PO ₄ ³⁻ -ekv/m ³ betong	0,1
POCP	Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,0
ADPE	Abiotic depletion poten	kg Sb -ekv/m ³ betong	N.A*
ADPF	Abiotic depletion poten	MJ/m ³ betong	N.A*
Waste	Avfall	kg/m ³ betong	25,3

NA* Abiotisk Ressursforbruk er ikke inkludert siden datagrunnlaget foreløpig er mangelfullt på området



Avfall og største utslipp på vektbasis Tabell 5

	Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	204,4	3,1	2,2	209,7	0,9	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	
N ₂ O	kg/m ³ betong	7,8E-04	5,1E-05	9,7E-05	9,3E-04	5,4E-05	
NO _x	kg/m ³ betong	0,47	0,04	0,00	0,51	0,01	
SO _x	kg/m ³ betong	0,16	0,02	0,00	0,19	0,00	
VOC	kg/m ³ betong	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
CO	kg/m ³ betong	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	22,1	0,0	3,2	25,2	-	
Radioaktivt avfall	kg/m ³ betong						Ikke oppgitt i kg
Annet	kg/m ³ betong	0,1	0,0	0,0	0,1	-	

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

Annen informasjon

Bibliografi

- ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.
- ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.
- PCR for betong: www.epd-norge.no : NPCR 20 Precast concrete products, March 2012
- Vold, M. (2008): Livsløpsdata for fabrikkbetong, Østfoldforskning AS, OR 18.12, Fredrikstad.
- NS-EN 15804:2012: Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products

Environmental Product Declaration ISO 14025

Ferdigbetong B35 MF40 D22 ANL SKB Lavkarbon A K2



Verifikasjon verktøy: Intern: Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av verktøy med data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning, Østfoldforskning as, etter ISO 14025, 8.1.3.

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av "EPD-generator for ferdigbetong", Versjon 3.3 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)

Av Britt Blom Marstrander
Tom I. Fredvik

Produsent:

NorBetong, Lilleakerveien 2B, 0283 Oslo

Produksjonssted: Stor-Oslo

www.norbetong.no

Telefon: 22 87 83 00

Org.nr: No-934 468 740

ISO 14001: S-003

Kontaktperson: britt.blom.marstrander@norbetong.no

Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011.

Avvik fra PCR:

Deklarert enhet er 1 m³ betong - Utstøping er ikke inkludert

Miljøindikatorer	Deklart enhet:	
	Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)	Transport til kunde A4
Global oppvarming:	227,5 kg CO ₂ ekv/m ³ betong	0,9 kg CO ₂ ekv/m ³ betong
Energiforbruk:	1893,4 MJ/m ³ betong	11,7 MJ/m ³ betong
Andel fornybar energi:	10,7 %	0,0 %
Om data	Sementdata er basert på EPD	
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimaet i huset evt ikke relevant for produktgruppen	
Kjemikalier	Produktet inneholder ingen kjemikalier på "candidate"- eller "prioritet"-lista	

Omfang og marked

Deklarert enhet: Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding på betongstasjon. I tillegg er transport til kunde inkludert i egen kolonne

Produktets levetid: 50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang: Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien: 2012

Årstall for data: Produksjons og utslippstall for betongstasjonen er fra 2011

Antatt markedsområde: Norge

Produktbeskrivelse:

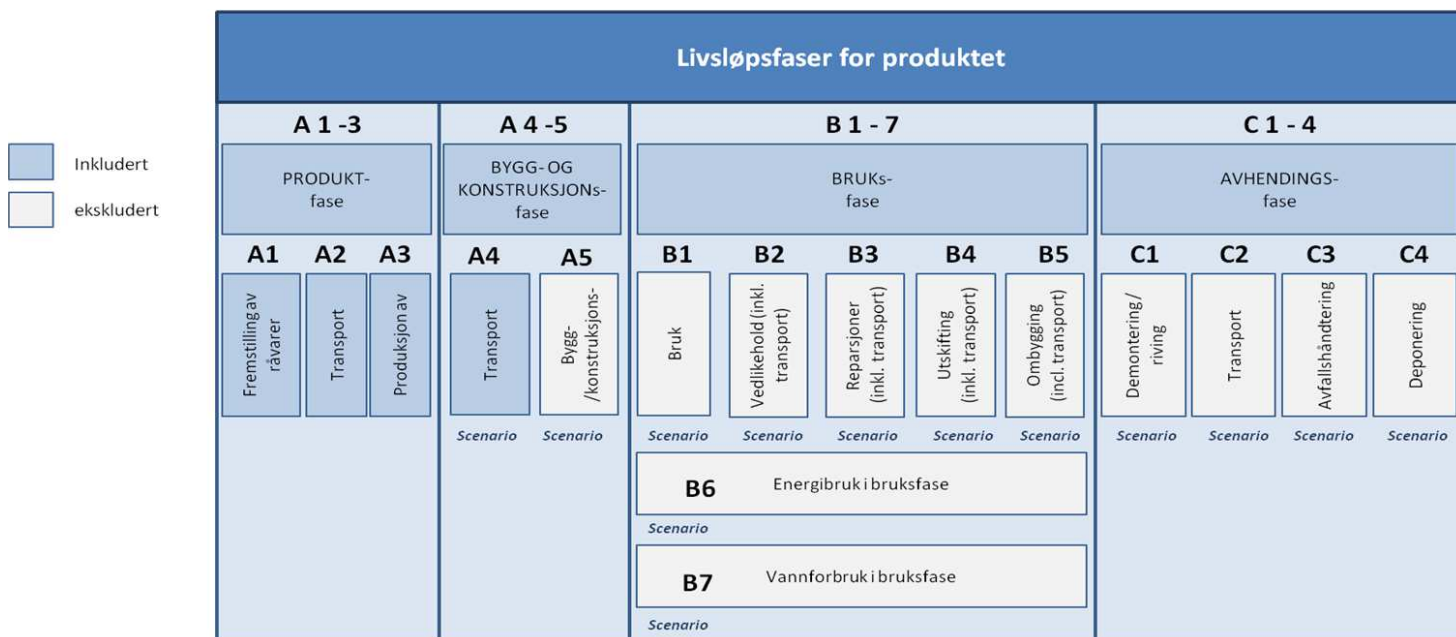
Produseres i hht NS-EN 206-1

Per deklarerer enhet A1-A3	Mass [kg/m ³]	Andel [%]	Data kvalitet	Andel resirkulert materiale [%]
CEM II (FA-sement) - Norcem Brevik	341	14 %	EPD	15 %
	-			
Vann	151	6 %		
Natursand	916	38 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	358	15 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	545	23 %	litteraturdata	
	-		-	
	-		-	
Superplastiserende	6	0 %	Generiske data	
	-		-	
Luftinnførende	3	0 %	Generiske data	
Silika	13	1 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Flyveaske	55	2 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Totalt	2 388	100 %		0 %

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (fra EN 15804), 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
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang

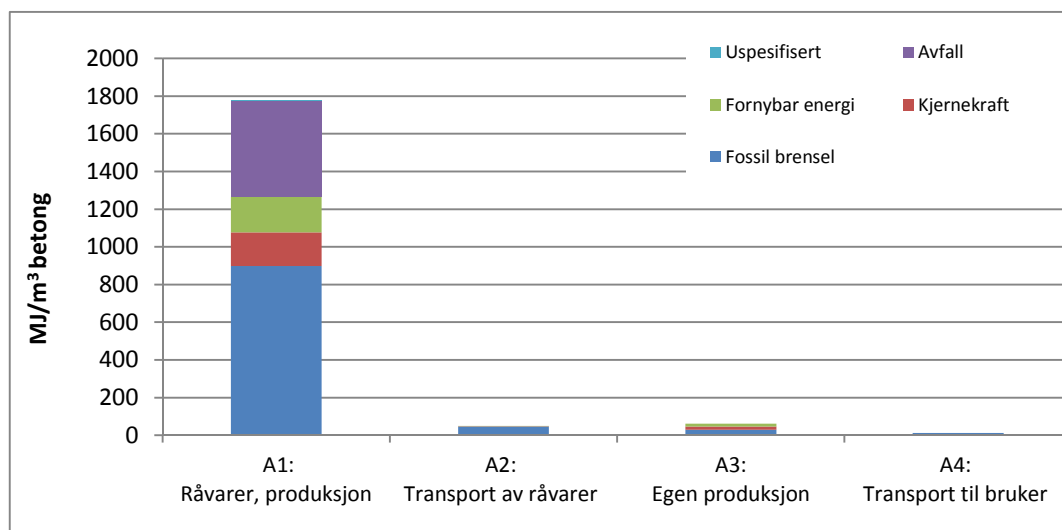
Ressursforbruk

Materialressurser Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser	Slamvann	kg/m ³ betong						
Nye ,fornybare ressurser	Vann	kg/m ³ betong	513,7	9,2	46,5	569,4		Vann i egen produksjon inkluderer også vann i betongblandingen
	Biomasse	kg/m ³ betong	2,1E+00	4,7E-04	3,4E-01	2,4E+00		
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Gjenbrukt masse, Silika, Slagg, Flyveaske etc	kg/m ³ betong	71,4			71,4		Resirkulerte materialer i råvarene (f.eks flyveaske og slagg i sement) kommer inn her
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³ betong	409,4	5,2E-04	7,9E-03	409,4		
	Mineraler, sand, stein	kg/m ³ betong	1 869,2	2,9E-04	2,6E-02	1 869,2		
	Metaller	kg/m ³ betong	2,1E+00	7,4E-06	3,6E-03	2,1E+00		
		kg/m ³ betong						

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Fossil brensel	Kull	MJ/m ³ betong	776,1	0,3	6,7	783,2	-	
	Olje	MJ/m ³ betong	58,5	44,6	16,7	119,8	11,3	
	Gass	MJ/m ³ betong	63,2	2,3	6,02	71,4	0,3	
	Torv	MJ/m ³ betong	10,5	0,0	1,1	11,6	-	
Kjernekraft		MJ/m ³ betong	178,2	0,4	17,7	196,3	-	
Fornybar energi	Biomass	MJ/m ³ betong	49,9	-	-	49,9	-	
	Vannkraft	MJ/m ³ betong	131,6	0,0	13,0	144,7	-	
	Solkraft	MJ/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
	Vindkraft	MJ/m ³ betong	7,4	0,0	0,8	8,3	-	
Avfall	Avfallsforbrenning	MJ/m ³ betong	508,2	-	-	508,2	-	
Uspesifisert		MJ/m ³ betong	0,0	-	-	0,0	-	
Totalt			1784	47,6	62,0	1 893,4	11,7	

Energi brukt oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPD'er i Norge.

Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet), med et GWP-utslipp på 0,165 kg CO₂-ekv/kWh

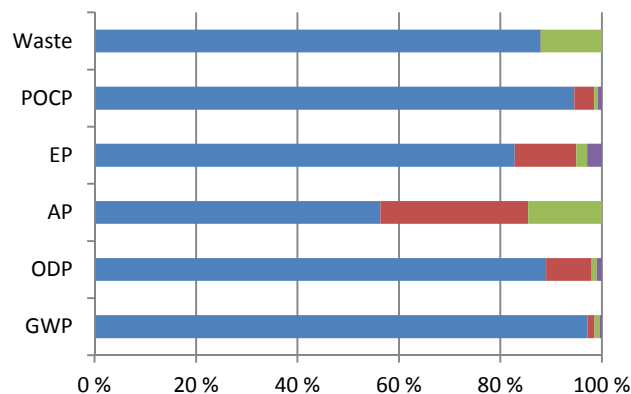
Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

Parameter	Enhet	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	
GWP	Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	227,5	0,9
ODP	Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	1,6E-06	
AP	Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,5	0,0
EP	Overgjødning	kg PO ₄ ³⁻ -ekv/m ³ betong	0,1	0,0
POCP	Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,0	0,0
ADPE	Abiotic depletion poten	kg Sb -ekv/m ³ betong	N.A*	N.A
ADPF	Abiotic depletion poten	MJ/m ³ betong	N.A*	N.A
Waste	Avfall	kg/m ³ betong	26,4	

NA* Abiotisk Ressursforbruk er ikke inkludert siden datagrunnlaget foreløpig er mangelfullt på området

■ Produksjon av råvarer A1
 ■ Transport av råvarer A2
 ■ Egen produksjon A3
 ■ Transport til bruker A4



Avfall og største utslipp på vektbasis Tabell 5

	Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	215,5	3,2	2,2	220,8	0,9	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	
N ₂ O	kg/m ³ betong	8,2E-04	5,3E-05	9,7E-05	9,7E-04	5,4E-05	
NO _x	kg/m ³ betong	0,50	0,04	0,00	0,54	0,01	
SO _x	kg/m ³ betong	0,17	0,02	0,00	0,20	0,00	
VOC	kg/m ³ betong	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	
CO	kg/m ³ betong	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	23,2	0,0	3,2	26,4	-	
Radioaktivt avfall	kg/m ³ betong						Ikke oppgitt i kg
Annet	kg/m ³ betong	0,1	0,0	0,0	0,1	-	

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

Annen informasjon

Bibliografi

- ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.
- ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.
- PCR for betong: www.epd-norge.no : NPCR 20 Precast concrete products, March 2012
- Vold, M. (2008): Livsløpsdata for fabrikkbetong, Østfoldforskning AS, OR 18.12, Fredrikstad.
- NS-EN 15804:2012: Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products

Environmental Product Declaration ISO 14025

Ferdigbetong B35 M60 D16 SKB Lavkarbon A K2



Verifikasjon verktøy: Intern: Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av verktøy med data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning, Østfoldforskning as, etter ISO 14025, 8.1.3.

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av "EPD-generator for ferdigbetong", Versjon 3.3 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)

Av Britt Blom Marstrander
Tom I. Fredvik

Produsent:

NorBetong, Lilleakerveien 2B, 0283 Oslo

Produksjonssted: Stor-Oslo

www.norbetong.no

Telefon: 22 87 83 00

Org.nr: No-934 468 740

ISO 14001: S-003

Kontaktperson: britt.blom.marstrander@norbetong.no

Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011.

Avvik fra PCR:

Deklarert enhet er 1 m³ betong - Utstøping er ikke inkludert

Miljøindikatorer	Deklart enhet:	
	Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)	Transport til kunde A4
Global oppvarming:	203,8 kg CO ₂ ekv/m ³ betong	0,9 kg CO ₂ ekv/m ³ betong
Energiforbruk:	1712,6 MJ/m ³ betong	11,5 MJ/m ³ betong
Andel fornybar energi:	10,9 %	0,0 %
Om data	Sementdata er basert på EPD	
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimaet i huset evt ikke relevant for produktgruppen	
Kjemikalier	Produktet inneholder ingen kjemikalier på "candidate"- eller "prioritet"-lista	

Omfang og marked

Deklarert enhet: Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding på betongstasjon. I tillegg er transport til kunde inkludert i egen kolonne

Produktets levetid: 50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang: Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien: 2012

Årstall for data: Produksjons og utslippstall for betongstasjonen er fra 2011

Antatt markedsområde: Norge

Produktbeskrivelse:

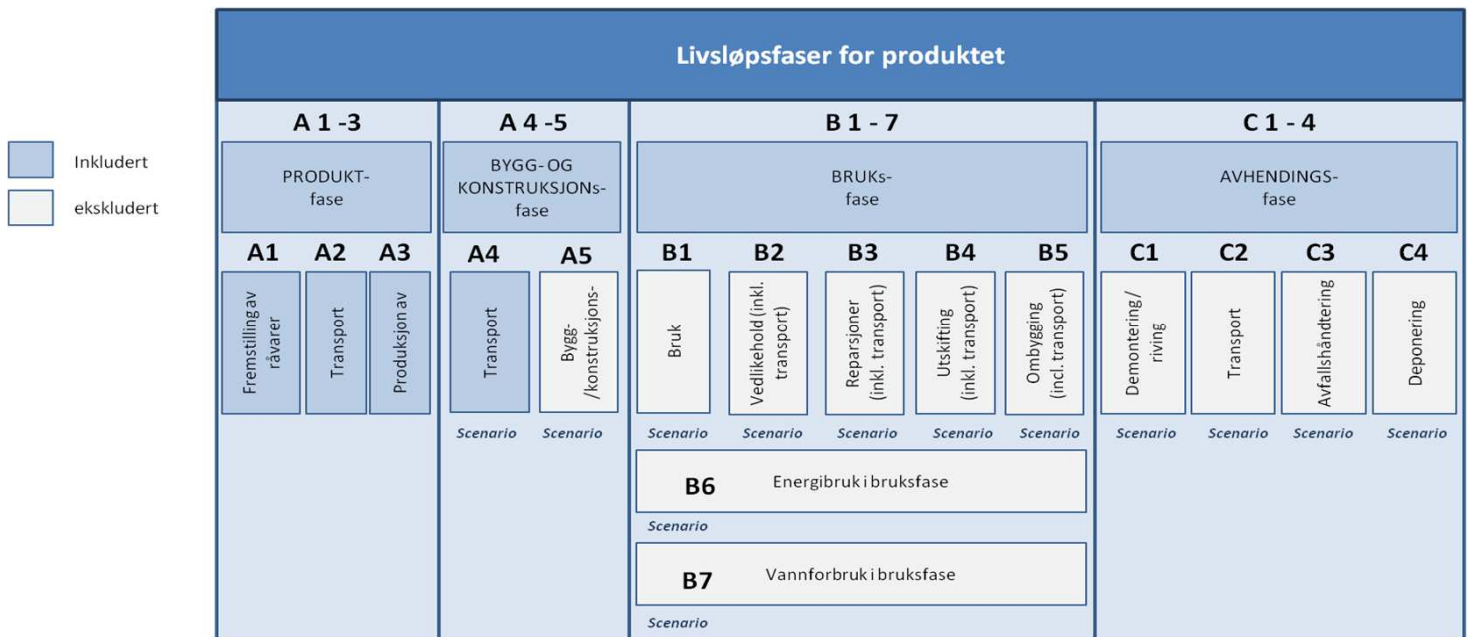
Produseres i hht NS-EN 206-1

Per deklarerer enhet A1-A3	Mass [kg/m ³]	Andel [%]	Data kvalitet	Andel resirkulert materiale [%]
CEM II (FA-sement) - Norcem Brevik	304	13 %	EPD	15 %
	-			
Vann	163	7 %		
Natursand	1 045	44 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	777	33 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	-		-	
	-		-	
Superplastiserende	6	0 %	Generiske data	
	-		-	
Luftinnførende	2	0 %	Generiske data	
Silika	12	1 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Flyveaske	49	2 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Totalt	2 358	100 %		0 %

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (fra EN 15804), 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
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang

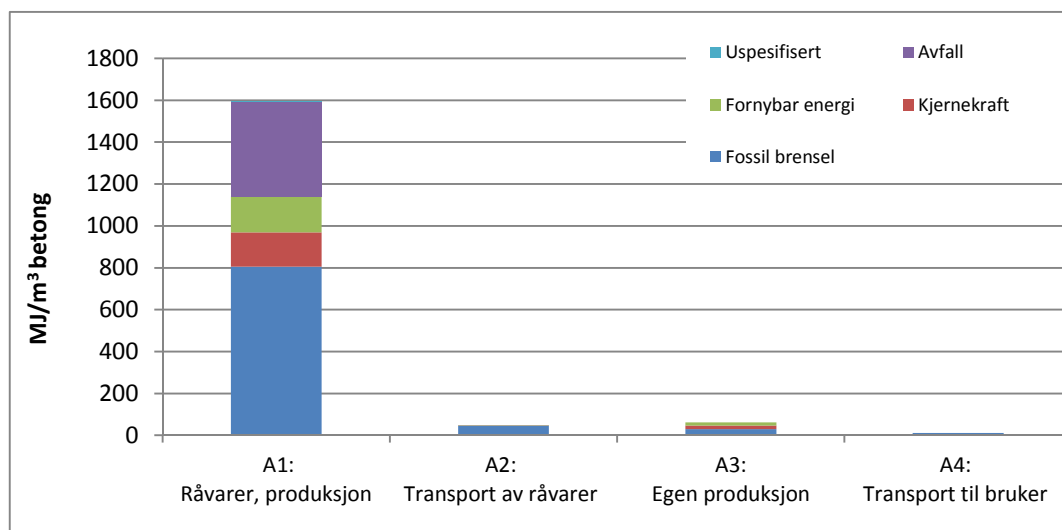
Ressursforbruk

Materialressurser Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser	Slamvann	kg/m ³ betong						
Nye ,fornybare ressurser	Vann	kg/m ³ betong	470,7	9,0	46,5	526,2		Vann i egen produksjon inkluderer også vann i betongblandingen
	Biomasse	kg/m ³ betong	1,9E+00	4,6E-04	3,4E-01	2,2E+00		
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Gjenbrukt masse, Silika, Slagg, Flyveaske etc	kg/m ³ betong	63,6			63,6		Resirkulerte materialer i råvarene (f.eks flyveaske og slagg i sement) kommer inn her
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³ betong	365,0	5,0E-04	7,9E-03	365,0		
	Mineraler, sand, stein	kg/m ³ betong	1 872,0	2,9E-04	2,6E-02	1 872,0		
	Metaller	kg/m ³ betong	1,9E+00	7,1E-06	3,6E-03	1,9E+00		
		kg/m ³ betong						

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Fossil brensel	Kull	MJ/m ³ betong	693,4	0,3	6,7	700,4	-	
	Olje	MJ/m ³ betong	55,8	43,8	16,7	116,2	11,2	
	Gass	MJ/m ³ betong	56,9	2,2	6,02	65,2	0,3	
	Torv	MJ/m ³ betong	9,6	0,0	1,1	10,7	-	
Kjernekraft		MJ/m ³ betong	162,4	0,4	17,7	180,5	-	
Fornybar energi	Biomass	MJ/m ³ betong	45,9	-	-	45,9	-	
	Vannkraft	MJ/m ³ betong	119,8	0,0	13,0	132,8	-	
	Solkraft	MJ/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
	Vindkraft	MJ/m ³ betong	6,7	0,0	0,8	7,6	-	
Avfall	Avfallsforbrenning	MJ/m ³ betong	453,3	-	-	453,3	-	
Uspesifisert		MJ/m ³ betong	0,0	-	-	0,0	-	
Totalt			1604	46,8	62,0	1 712,6	11,5	

Energi brukt oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPD'er i Norge.

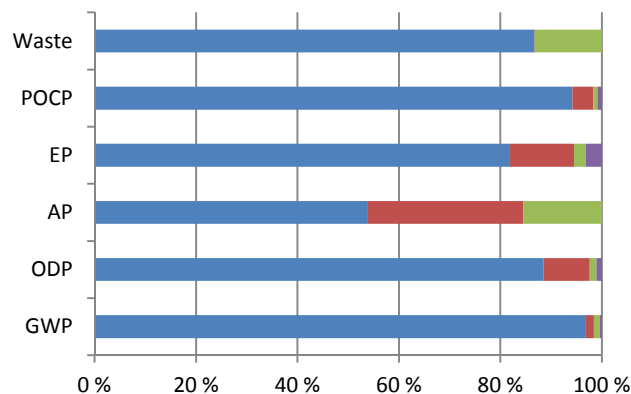
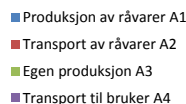
Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet), med et GWP-utslipp på 0,165 kg CO₂-ekv/kWh

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

Parameter	Enhet	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	
GWP	Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	203,8	0,9
ODP	Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	1,5E-06	
AP	Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,5	0,0
EP	Overgjødning	kg PO ₄ ³⁻ -ekv/m ³ betong	0,1	0,0
POCP	Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,0	0,0
ADPE	Abiotic depletion poten	kg Sb -ekv/m ³ betong	N.A*	N.A
ADPF	Abiotic depletion poten	MJ/m ³ betong	N.A*	N.A
Waste	Avfall	kg/m ³ betong	24,0	

NA* Abiotisk Ressursforbruk er ikke inkludert siden datagrunnlaget foreløpig er mangelfullt på området



Avfall og største utslipp på vektbasis Tabell 5

	Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	192,5	3,1	2,2	197,9	0,9	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	
N ₂ O	kg/m ³ betong	7,4E-04	5,0E-05	9,7E-05	8,9E-04	5,3E-05	
NO _x	kg/m ³ betong	0,44	0,04	0,00	0,48	0,01	
SO _x	kg/m ³ betong	0,15	0,02	0,00	0,18	0,00	
VOC	kg/m ³ betong	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
CO	kg/m ³ betong	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	20,8	0,0	3,2	24,0	-	
Radioaktivt avfall	kg/m ³ betong						Ikke oppgitt i kg
Annet	kg/m ³ betong	0,1	0,0	0,0	0,1	-	

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

Annen informasjon

Bibliografi

- ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.
- ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.
- PCR for betong: www.epd-norge.no : NPCR 20 Precast concrete products, March 2012 March 2012
- Vold, M. (2008): Livsløpsdata for fabrikkbetong, Østfoldforskning AS, OR 18.12, Fredrikstad.
- NS-EN 15804:2012: Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products

Environmental Product Declaration ISO 14025

Ferdigbetong B35 M60 D22 SKB Lavkarbon A K2



Verifikasjon verktøy: Intern: Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av verktøy med data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning, Østfoldforskning as, etter ISO 14025, 8.1.3.

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av "EPD-generator for ferdigbetong", Versjon 3.3 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)

Av Britt Blom Marstrander
Tom I. Fredvik

Produsent:

NorBetong, Lilleakerveien 2B, 0283 Oslo

Produksjonssted: Stor-Oslo

www.norbetong.no

Telefon: 22 87 83 00

Org.nr: No-934 468 740

ISO 14001: S-003

Kontaktperson: britt.blom.marstrander@norbetong.no

Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011.

Avvik fra PCR:

Deklarert enhet er 1 m³ betong - Utstøping er ikke inkludert

Miljøindikatorer	Deklart enhet:	
	Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)	Transport til kunde A4
Global oppvarming:	203,7 kg CO ₂ ekv/m ³ betong	0,9 kg CO ₂ ekv/m ³ betong
Energiforbruk:	1711,0 MJ/m ³ betong	11,6 MJ/m ³ betong
Andel fornybar energi:	10,9 %	0,0 %
Om data	Sementdata er basert på EPD	
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimaet i huset evt ikke relevant for produktgruppen	
Kjemikalier	Produktet inneholder ingen kjemikalier på "candidate"- eller "prioritet"-lista	

Omfang og marked

Deklarert enhet: Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding på betongstasjon. I tillegg er transport til kunde inkludert i egen kolonne

Produktets levetid: 50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang: Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien: 2012

Årstall for data: Produksjons og utslippstall for betongstasjonen er fra 2011

Antatt markedsområde: Norge

Produktbeskrivelse:

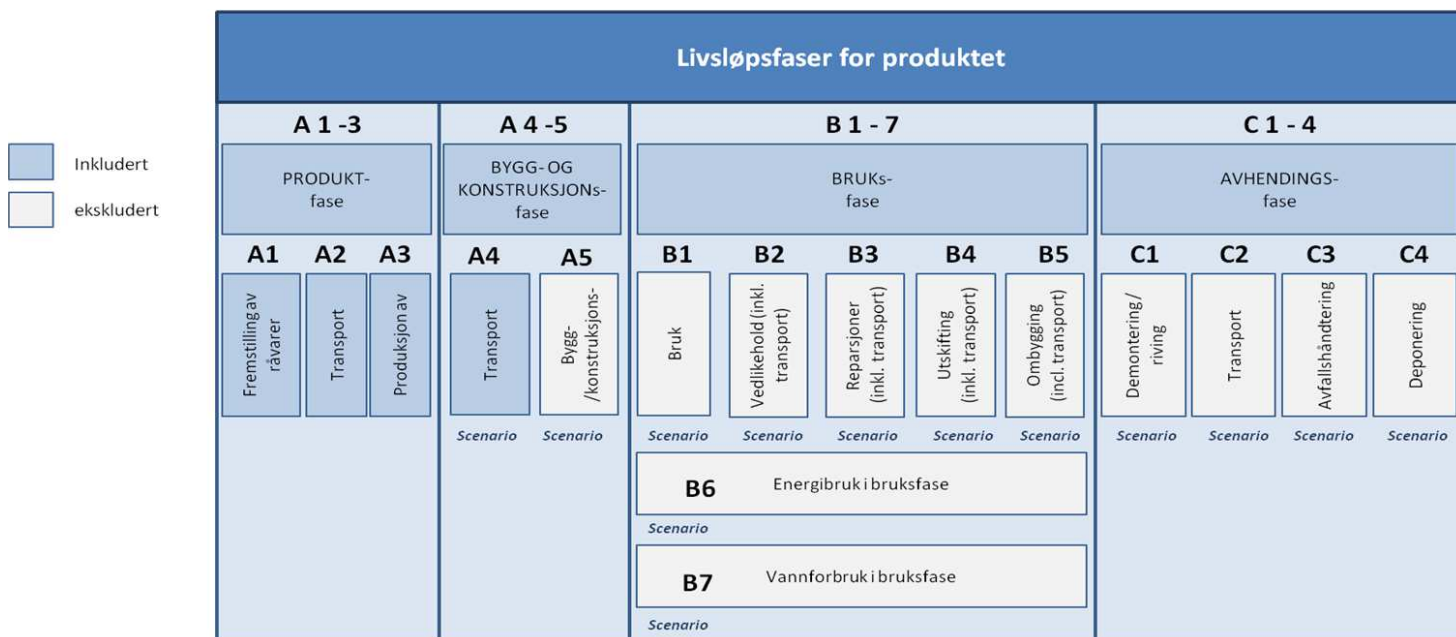
Produseres i hht NS-EN 206-1

Per deklarerer enhet A1-A3	Mass [kg/m ³]	Andel [%]	Data kvalitet	Andel resirkulert materiale [%]
CEM II (FA-sement) - Norcem Brevik	304	13 %	EPD	15 %
	-			
Vann	163	7 %		
Natursand	921	39 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	360	15 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	548	23 %	litteraturdata	
	-		-	
	-		-	
Superplastiserende	6	0 %	Generiske data	
	-		-	
Luftinnførende	2	0 %	Generiske data	
Silika	12	1 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Flyveaske	49	2 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Totalt	2 365	100 %		0 %

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (fra EN 15804), 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
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang

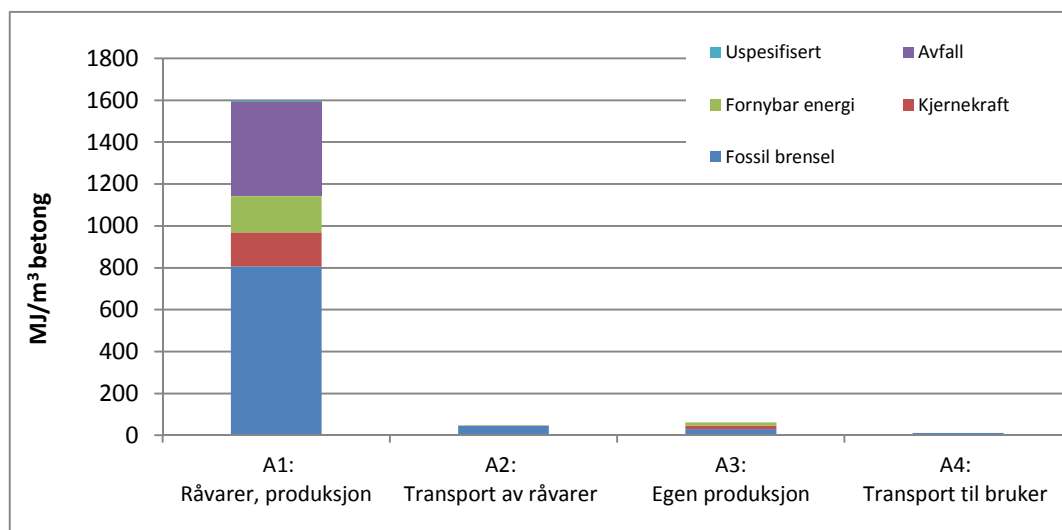
Ressursforbruk

Materialressurser Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser	Slamvann	kg/m ³ betong						
Nye ,fornybare ressurser	Vann	kg/m ³ betong	471,2	8,6	46,5	526,3		Vann i egen produksjon inkluderer også vann i betongblandingen
	Biomasse	kg/m ³ betong	1,9E+00	4,4E-04	3,4E-01	2,2E+00		
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Gjenbrukt masse, Silika, Slagg, Flyveaske etc	kg/m ³ betong	63,6			63,6		Resirkulerte materialer i råvarene (f.eks flyveaske og slagg i sement) kommer inn her
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³ betong	365,0	4,8E-04	7,9E-03	365,0		
	Mineraler, sand, stein	kg/m ³ betong	1 879,2	2,7E-04	2,6E-02	1 879,2		
	Metaller	kg/m ³ betong	1,9E+00	6,9E-06	3,6E-03	1,9E+00		
		kg/m ³ betong						

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Fossil brensel	Kull	MJ/m ³ betong	693,5	0,3	6,7	700,5	-	
	Olje	MJ/m ³ betong	55,9	41,8	16,7	114,4	11,2	
	Gass	MJ/m ³ betong	57,0	2,1	6,02	65,1	0,3	
	Torv	MJ/m ³ betong	9,6	0,0	1,1	10,7	-	
Kjernekraft		MJ/m ³ betong	162,5	0,4	17,7	180,6	-	
Fornybar energi	Biomass	MJ/m ³ betong	45,9	-	-	45,9	-	
	Vannkraft	MJ/m ³ betong	119,9	0,0	13,0	132,9	-	
	Solkraft	MJ/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
	Vindkraft	MJ/m ³ betong	6,7	0,0	0,8	7,6	-	
Avfall	Avfallsforbrenning	MJ/m ³ betong	453,3	-	-	453,3	-	
Uspesifisert		MJ/m ³ betong	0,0	-	-	0,0	-	
Totalt			1604	44,7	62,0	1 711,0	11,6	

Energi brukt oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPD'er i Norge.

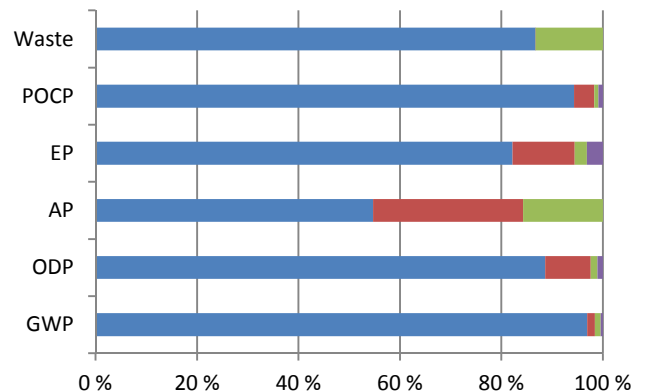
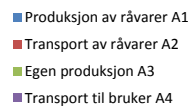
Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet), med et GWP-utslipp på 0,165 kg CO₂-ekv/kWh

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

Parameter	Enhet	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4
GWP	Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	203,7
ODP	Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	1,5E-06
AP	Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,5
EP	Overgjødning	kg PO ₄ ³⁻ -ekv/m ³ betong	0,1
POCP	Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,0
ADPE	Abiotic depletion poten	kg Sb -ekv/m ³ betong	N.A*
ADPF	Abiotic depletion poten	MJ/m ³ betong	N.A*
Waste	Avfall	kg/m ³ betong	24,0

NA* Abiotisk Ressursforbruk er ikke inkludert siden datagrunnlaget foreløpig er mangelfullt på området



Avfall og største utslipp på vektbasis Tabell 5

	Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	192,5	3,0	2,2	197,7	0,9	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	
N ₂ O	kg/m ³ betong	7,4E-04	4,9E-05	9,7E-05	8,9E-04	5,4E-05	
NO _x	kg/m ³ betong	0,44	0,04	0,00	0,48	0,01	
SO _x	kg/m ³ betong	0,15	0,02	0,00	0,18	0,00	
VOC	kg/m ³ betong	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
CO	kg/m ³ betong	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	20,8	0,0	3,2	24,0	-	
Radioaktivt avfall	kg/m ³ betong						Ikke oppgitt i kg
Annet	kg/m ³ betong	0,1	0,0	0,0	0,1	-	

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

Annen informasjon

Bibliografi

- ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.
- ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.
- PCR for betong: www.epd-norge.no : NPCR 20 Precast concrete products, March 2012 March 2012
- Vold, M. (2008): Livsløpsdata for fabrikkbetong, Østfoldforskning AS, OR 18.12, Fredrikstad.
- NS-EN 15804:2012: Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products

Environmental Product Declaration ISO 14025

Ferdigbetong
B45 M40 D22 ANL
Lavkarbon A
Synk 200

NORBETONG
HEIDELBERGCEMENT Group



Verifikasjon verktøy: Intern: Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av verktøy med data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning, Østfoldforskning as, etter ISO 14025, 8.1.3.

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av "EPD-generator for ferdigbetong", Versjon 3.3 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)

Av Britt Blom Marstrander
Tom I. Fredvik

Produsent:

NorBetong, Lilleakerveien 2B, 0283 Oslo

Produksjonssted: Stor-Oslo

www.norbetong.no

Telefon: 22 87 83 00

Org.nr: No-934 468 740

ISO 14001: S-003

Kontaktperson: britt.blom.marstrander@norbetong.no

Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011.

Avvik fra PCR:

Deklarert enhet er 1 m³ betong - Utstøping er ikke inkludert

Miljøindikatorer	Deklart enhet:		Transport til kunde	
	Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)		A4	
Global oppvarming:	216,0	kg CO ₂ ekv/m ³ betong	0,9	kg CO ₂ ekv/m ³ betong
Energiforbruk:	1807,2	MJ/m ³ betong	11,7	MJ/m ³ betong
Andel fornybar energi:	10,8	%	0,0	%
Om data	Sementdata er basert på EPD			
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimaet i huset evt ikke relevant for produktgruppen			
Kjemikalier	Produktet inneholder ingen kjemikalier på "candidate"- eller "prioritet"-lista			

Omfang og marked

Deklarert enhet: Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding på betongstasjon. I tillegg er transport til kunde inkludert i egen kolonne

Produktets levetid: 50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang: Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien: 2012

Årstall for data: Produksjons og utslippstall for betongstasjonen er fra 2011

Antatt markedsområde: Norge

Produktbeskrivelse:

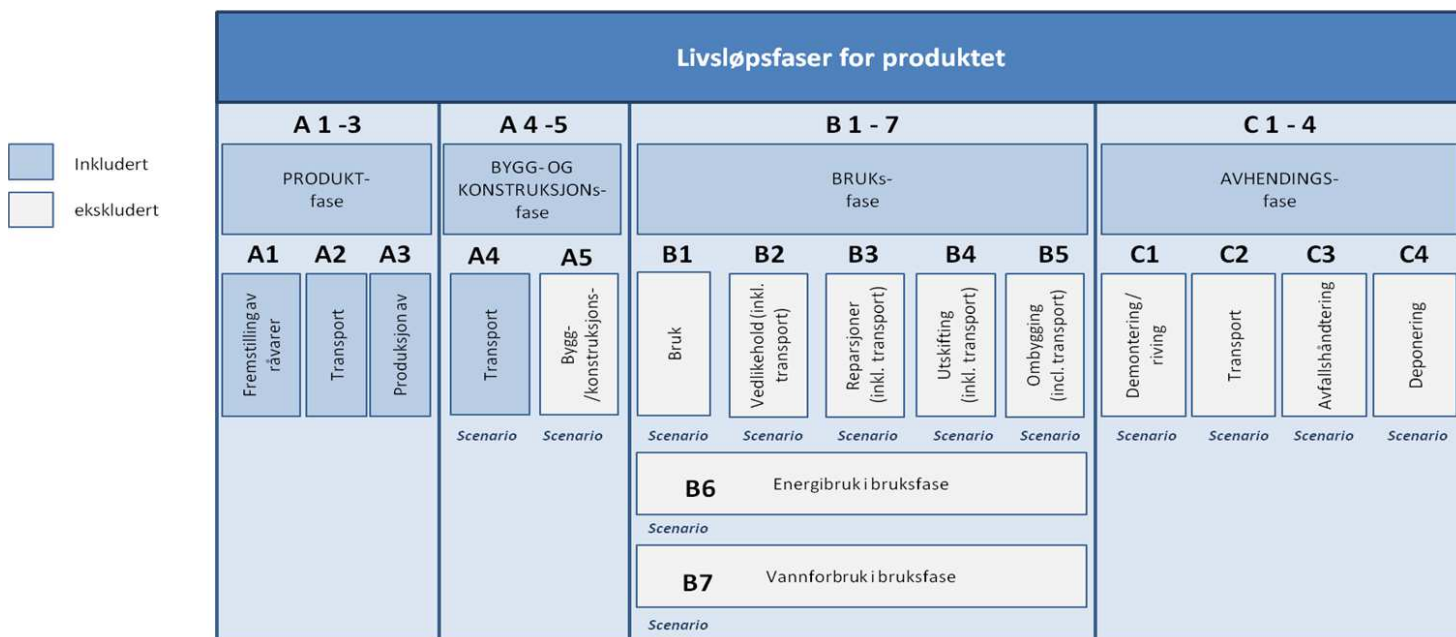
Produseres i hht NS-EN 206-1

Per deklarerer enhet A1-A3	Mass [kg/m ³]	Andel [%]	Data kvalitet	Andel resirkulert materiale [%]
CEM II (FA-sement) - Norcem Brevik	323	13 %	EPD	15 %
	-			
Vann	145	6 %		
Natursand	938	39 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	367	15 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	558	23 %	litteraturdata	
	-		-	
	-		-	
Superplastiserende	4	0 %	Generiske data	
	-		-	
Luftinnførende	2	0 %	Generiske data	
Silika	12	0 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Flyveaske	52	2 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Totalt	2 401	100 %		0 %

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (fra EN 15804), 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
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang

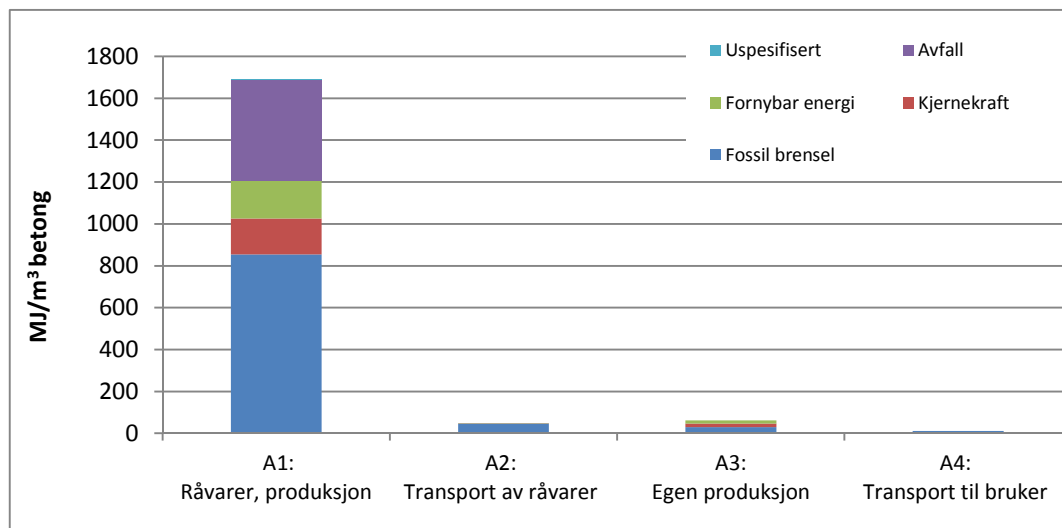
Ressursforbruk

Materialressurser Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser	Slamvann	kg/m ³ betong						
Nye ,fornybare ressurser	Vann	kg/m ³ betong	495,5	8,9	46,5	550,9		Vann i egen produksjon inkluderer også vann i betongblandingen
	Biomasse	kg/m ³ betong	2,0E+00	4,5E-04	3,4E-01	2,3E+00		
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Gjenbrukt masse, Silika, Slagg, Flyveaske etc	kg/m ³ betong	67,6			67,6		Resirkulerte materialer i råvarene (f.eks flyveaske og slagg i sement) kommer inn her
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³ betong	387,8	5,0E-04	7,9E-03	387,8		
	Mineraler, sand, stein	kg/m ³ betong	1 914,2	2,8E-04	2,6E-02	1 914,2		
	Metaller	kg/m ³ betong	2,0E+00	7,1E-06	3,6E-03	2,0E+00		
		kg/m ³ betong						

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Fossil brensel	Kull	MJ/m ³ betong	736,2	0,3	6,7	743,2	-	
	Olje	MJ/m ³ betong	58,0	43,2	16,7	117,8	11,4	
	Gass	MJ/m ³ betong	60,3	2,2	6,02	68,5	0,3	
	Torv	MJ/m ³ betong	10,1	0,0	1,1	11,2	-	
Kjernekraft		MJ/m ³ betong	171,3	0,4	17,7	189,4	-	
Fornybar energi	Biomass	MJ/m ³ betong	48,2	-	-	48,2	-	
	Vannkraft	MJ/m ³ betong	126,4	0,0	13,0	139,4	-	
	Solkraft	MJ/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
	Vindkraft	MJ/m ³ betong	7,1	0,0	0,8	8,0	-	
Avfall	Avfallsforbrenning	MJ/m ³ betong	481,5	-	-	481,5	-	
Uspesifisert		MJ/m ³ betong	0,0	-	-	0,0	-	
Totalt			1699	46,1	62,0	1 807,2	11,7	

Energi brukt oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPD'er i Norge.

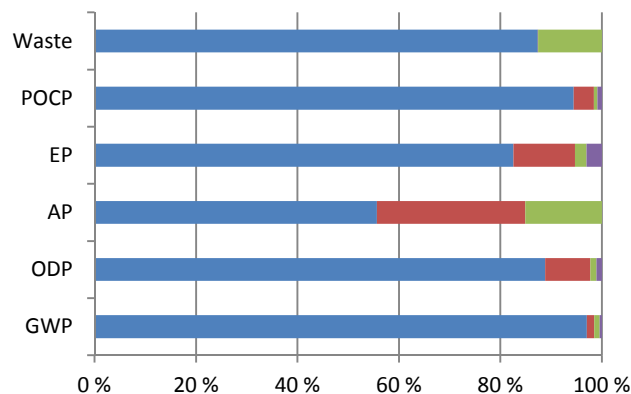
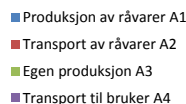
Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet), med et GWP-utslipp på 0,165 kg CO₂-ekv/kWh

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

Parameter	Enhet	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4
GWP	Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	216,0
ODP	Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	1,5E-06
AP	Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,5
EP	Overgjødning	kg PO ₄ ³⁻ -ekv/m ³ betong	0,1
POCP	Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,0
ADPE	Abiotic depletion poten	kg Sb -ekv/m ³ betong	N.A*
ADPF	Abiotic depletion poten	MJ/m ³ betong	N.A*
Waste	Avfall	kg/m ³ betong	25,3

NA* Abiotisk Ressursforbruk er ikke inkludert siden datagrunnlaget foreløpig er mangelfullt på området



Avfall og største utslipp på vektbasis Tabell 5

	Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	204,4	3,1	2,2	209,7	0,9	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	
N ₂ O	kg/m ³ betong	7,8E-04	5,1E-05	9,7E-05	9,3E-04	5,4E-05	
NO _x	kg/m ³ betong	0,47	0,04	0,00	0,51	0,01	
SO _x	kg/m ³ betong	0,16	0,02	0,00	0,19	0,00	
VOC	kg/m ³ betong	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
CO	kg/m ³ betong	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	22,1	0,0	3,2	25,2	-	
Radioaktivt avfall	kg/m ³ betong						Ikke oppgitt i kg
Annet	kg/m ³ betong	0,1	0,0	0,0	0,1	-	

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

Annen informasjon

Bibliografi

- ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.
- ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.
- PCR for betong: www.epd-norge.no : NPCR 20 Precast concrete products, March 2012
- Vold, M. (2008): Livsløpsdata for fabrikkbetong, Østfoldforskning AS, OR 18.12, Fredrikstad.
- NS-EN 15804:2012: Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products

Environmental Product Declaration ISO 14025

Ferdigbetong B45 MF40 D22 ANL Lavkarbon A Synk 200



Verifikasjon verktøy: Intern: Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av verktøy med data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning, Østfoldforskning as, etter ISO 14025, 8.1.3.

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av "EPD-generator for ferdigbetong", Versjon 3.3 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)

Av Britt Blom Marstrander
Tom I. Fredvik

Produsent:

NorBetong, Lilleakerveien 2B, 0283 Oslo

Produksjonssted: Stor-Oslo

www.norbetong.no

Telefon: 22 87 83 00

Org.nr: No-934 468 740

ISO 14001: S-003

Kontaktperson: britt.blom.marstrander@norbetong.no

Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011.

Avvik fra PCR:

Deklarert enhet er 1 m³ betong - Utstøping er ikke inkludert

Miljøindikatorer	Deklart enhet:		Transport til kunde	
	Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)		A4	
Global oppvarming:	216,0	kg CO ₂ ekv/m ³ betong	0,9	kg CO ₂ ekv/m ³ betong
Energiforbruk:	1807,2	MJ/m ³ betong	11,7	MJ/m ³ betong
Andel fornybar energi:	10,8	%	0,0	%
Om data	Sementdata er basert på EPD			
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimaet i huset evt ikke relevant for produktgruppen			
Kjemikalier	Produktet inneholder ingen kjemikalier på "candidate"- eller "prioritet"-lista			

Omfang og marked

Deklarert enhet: Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding på betongstasjon. I tillegg er transport til kunde inkludert i egen kolonne

Produktets levetid: 50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang: Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien: 2012

Årstall for data: Produksjons og utslippstall for betongstasjonen er fra 2011

Antatt markedsområde: Norge

Produktbeskrivelse:

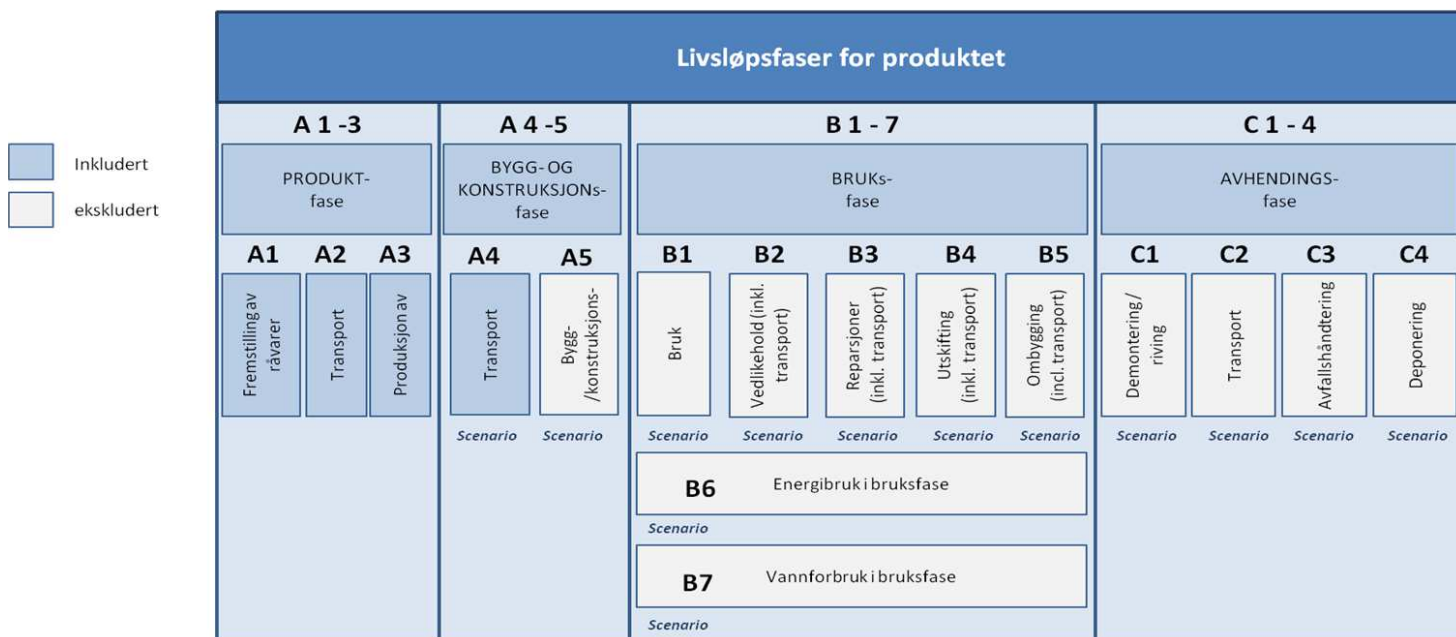
Produseres i hht NS-EN 206-1

Per deklarerer enhet A1-A3	Mass [kg/m ³]	Andel [%]	Data kvalitet	Andel resirkulert materiale [%]
CEM II (FA-sement) - Norcem Brevik	323	13 %	EPD	15 %
	-			
Vann	145	6 %		
Natursand	938	39 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	367	15 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	558	23 %	litteraturdata	
	-		-	
	-		-	
Superplastiserende	4	0 %	Generiske data	
	-		-	
Luftinnførende	2	0 %	Generiske data	
Silika	12	0 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Flyveaske	52	2 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Totalt	2 401	100 %		0 %

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (fra EN 15804), 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
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang

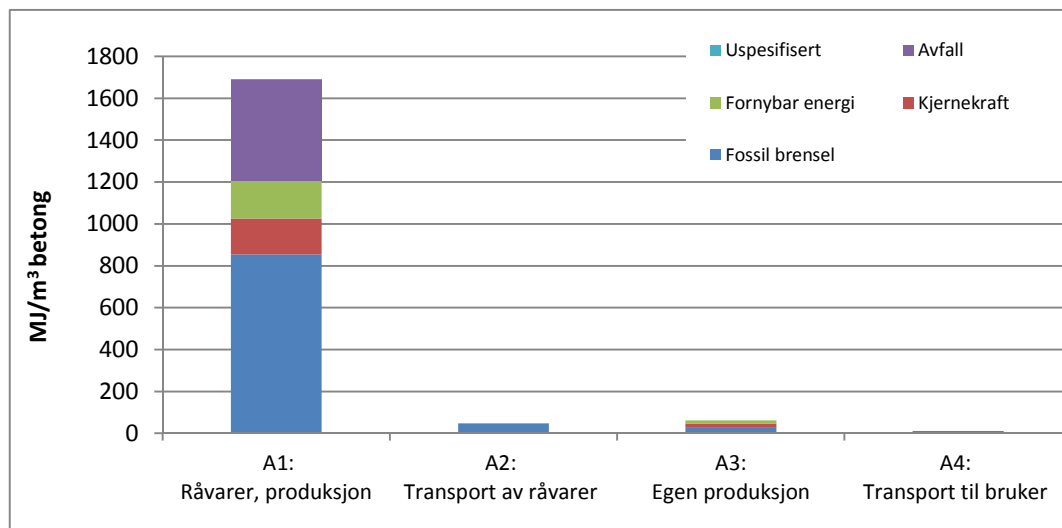
Ressursforbruk

Materialressurser Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser	Slamvann	kg/m ³ betong						
Nye ,fornybare ressurser	Vann	kg/m ³ betong	495,5	8,9	46,5	550,9		Vann i egen produksjon inkluderer også vann i betongblandingen
	Biomasse	kg/m ³ betong	2,0E+00	4,5E-04	3,4E-01	2,3E+00		
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Gjenbrukt masse, Silika, Slagg, Flyveaske etc	kg/m ³ betong	67,6			67,6		Resirkulerte materialer i råvarene (f.eks flyveaske og slagg i sement) kommer inn her
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³ betong	387,8	5,0E-04	7,9E-03	387,8		
	Mineraler, sand, stein	kg/m ³ betong	1 914,2	2,8E-04	2,6E-02	1 914,2		
	Metaller	kg/m ³ betong	2,0E+00	7,1E-06	3,6E-03	2,0E+00		
		kg/m ³ betong						

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Fossil Brensel	Kull	MJ/m ³ betong	736,2	0,3	6,7	743,2	-	
	Olje	MJ/m ³ betong	58,0	43,2	16,7	117,8	11,4	
	Gass	MJ/m ³ betong	60,3	2,2	6,02	68,5	0,3	
	Torv	MJ/m ³ betong	10,1	0,0	1,1	11,2	-	
Kjernekraft		MJ/m ³ betong	171,3	0,4	17,7	189,4	-	
Fornybar energi	Biomass	MJ/m ³ betong	48,2	-	-	48,2	-	
	Vannkraft	MJ/m ³ betong	126,4	0,0	13,0	139,4	-	
	Solkraft	MJ/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
	Vindkraft	MJ/m ³ betong	7,1	0,0	0,8	8,0	-	
Avfall	Avfallsforbrenning	MJ/m ³ betong	481,5	-	-	481,5	-	
Uspesifisert		MJ/m ³ betong	0,0	-	-	0,0	-	
Totalt			1699	46,1	62,0	1 807,2	11,7	

Energi brukt oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPD'er i Norge.

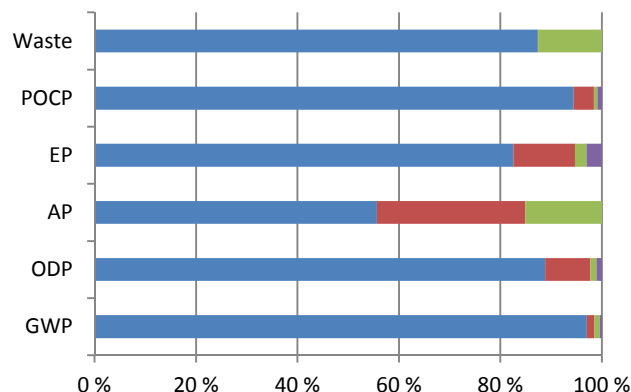
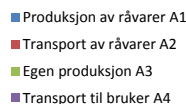
Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet), med et GWP-utslipp på 0,165 kg CO₂-ekv/kWh

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

Parameter	Enhet	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4
GWP	Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	216,0
ODP	Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	1,5E-06
AP	Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,5
EP	Overgjødning	kg PO ₄ ³⁻ -ekv/m ³ betong	0,1
POCP	Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,0
ADPE	Abiotic depletion poten	kg Sb -ekv/m ³ betong	N.A*
ADPF	Abiotic depletion poten	MJ/m ³ betong	N.A*
Waste	Avfall	kg/m ³ betong	25,3

NA* Abiotisk Ressursforbruk er ikke inkludert siden datagrunnlaget foreløpig er mangelfullt på området



Avfall og største utslipp på vektbasis Tabell 5

	Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	204,4	3,1	2,2	209,7	0,9	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	
N ₂ O	kg/m ³ betong	7,8E-04	5,1E-05	9,7E-05	9,3E-04	5,4E-05	
NO _x	kg/m ³ betong	0,47	0,04	0,00	0,51	0,01	
SO _x	kg/m ³ betong	0,16	0,02	0,00	0,19	0,00	
VOC	kg/m ³ betong	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
CO	kg/m ³ betong	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	22,1	0,0	3,2	25,2	-	
Radioaktivt avfall	kg/m ³ betong						Ikke oppgitt i kg
Annet	kg/m ³ betong	0,1	0,0	0,0	0,1	-	

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

Annen informasjon

Bibliografi

- ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.
- ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.
- PCR for betong: www.epd-norge.no : NPCR 20 Precast concrete products, March 2012
- Vold, M. (2008): Livsløpsdata for fabrikkbetong, Østfoldforskning AS, OR 18.12, Fredrikstad.
- NS-EN 15804:2012: Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products

Environmental Product Declaration ISO 14025

Ferdigbetong B35 MF40 D16 25%RED ANL Lavkarbon A Synk 200



Verifikasjon verktøy: Intern: Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av verktøy med data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning, Østfoldforskning as, etter ISO 14025, 8.1.3.

Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av "EPD-generator for ferdigbetong", Versjon 3.3 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)

Av Britt Blom Marstrander
Tom I. Fredvik

Produsent:

NorBetong, Lilleakerveien 2B, 0283 Oslo

Produksjonssted: Stor-Oslo

www.norbetong.no

Telefon: 22 87 83 00

Org.nr: No-934 468 740

ISO 14001: S-003

Kontaktperson: britt.blom.marstrander@norbetong.no

Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011.

Avvik fra PCR:

Deklarert enhet er 1 m³ betong - Utstøping er ikke inkludert

Miljøindikatorer	Deklart enhet:	
	Fra råvareutvinning til fabrikkport (A1-A3)	Transport til kunde A4
Global oppvarming:	223,2 kg CO ₂ ekv/m ³ betong	0,9 kg CO ₂ ekv/m ³ betong
Energiforbruk:	1861,9 MJ/m ³ betong	11,6 MJ/m ³ betong
Andel fornybar energi:	10,7 %	0,0 %
Om data	Sementdata er basert på EPD	
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimaet i huset evt ikke relevant for produktgruppen	
Kjemikalier	Produktet inneholder ingen kjemikalier på "candidate"- eller "prioritet"-lista	

Omfang og marked

Deklarert enhet: Produksjon av råvarer, transport til betongstasjon, blanding på betongstasjon. I tillegg er transport til kunde inkludert i egen kolonne

Produktets levetid: 50 -100 år, beror på bruk

Analyseomfang: Fra råvareuttak til levering hos kunde

Årstall for studien: 2012

Årstall for data: Produksjons og utslippstall for betongstasjonen er fra 2011

Antatt markedsområde: Norge

Produktbeskrivelse:

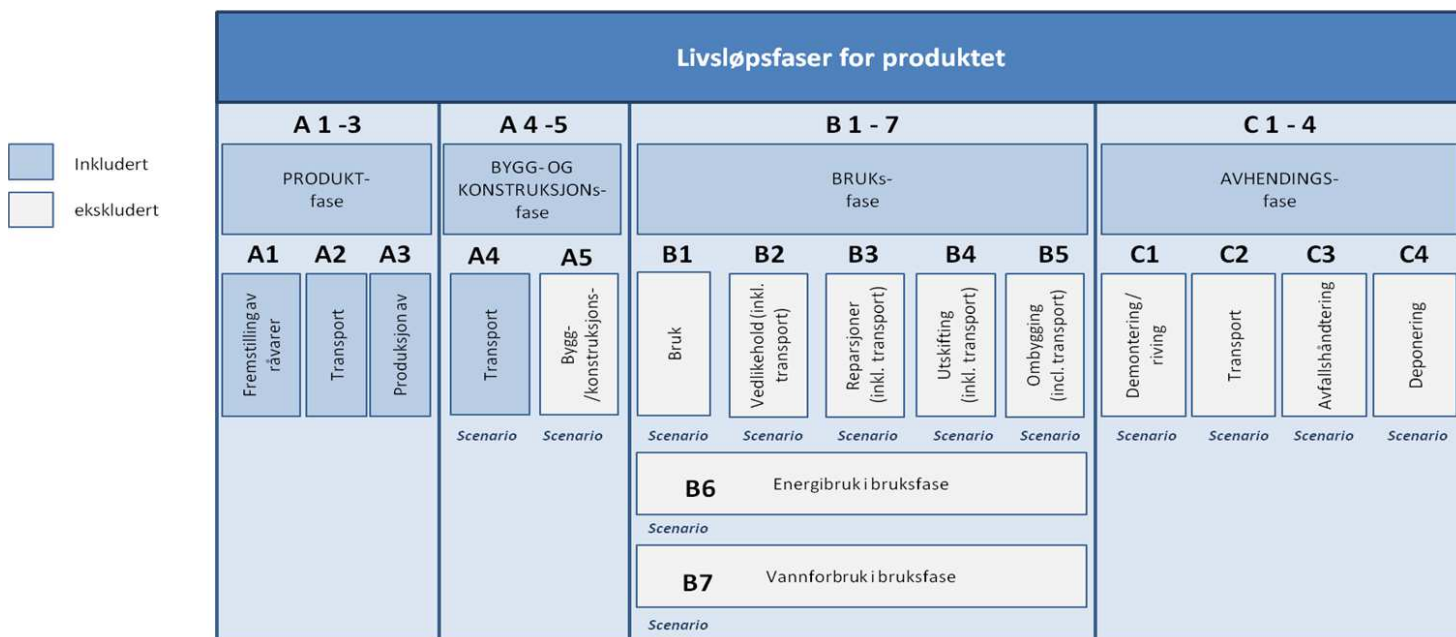
Produseres i hht NS-EN 206-1

Per deklarerer enhet A1-A3	Mass [kg/m ³]	Andel [%]	Data kvalitet	Andel resirkulert materiale [%]
CEM II (FA-sement) - Norcem Brevik	334	14 %	EPD	15 %
	-			
Vann	150	6 %		
Natursand	1 067	45 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	761	32 %	litteraturdata	
Grov >8 mm.	-		-	
	-		-	
Superplastiserende	4	0 %	Generiske data	
	-		-	
Luftinnførende	2	0 %	Generiske data	
Silika	13	1 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Flyveaske	54	2 %	Avfall fra annen prosess	100 %
Totalt	2 385	100 %		0 %

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (fra EN 15804), 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
- Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon ved råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang

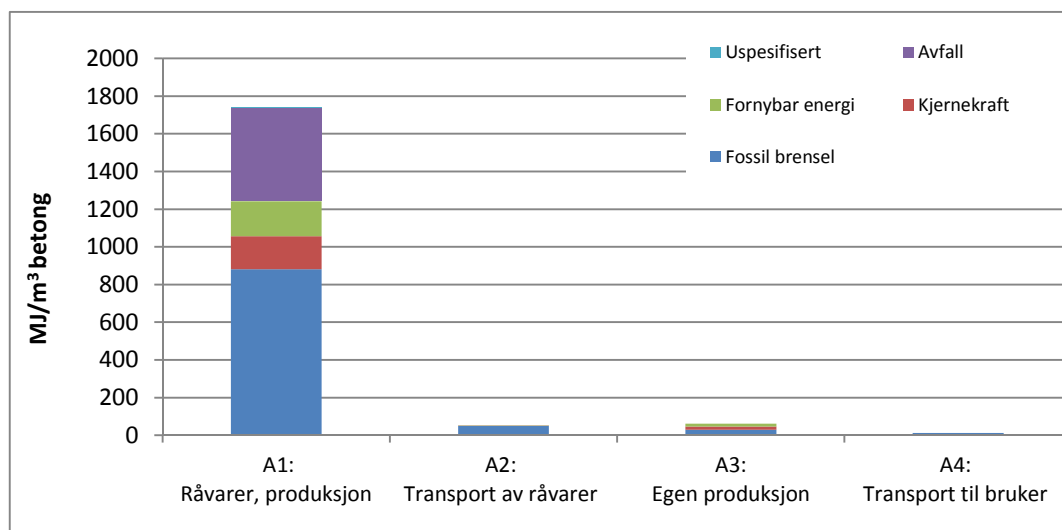
Ressursforbruk

Materialressurser Tabell 2

Materialressurser		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Resirkulerte, fornybare ressurser	Slamvann	kg/m ³ betong						
Nye ,fornybare ressurser	Vann	kg/m ³ betong	506,1	9,5	46,5	562,1		Vann i egen produksjon inkluderer også vann i betongblandingen
	Biomasse	kg/m ³ betong	2,1E+00	4,8E-04	3,4E-01	2,4E+00		
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Gjenbrukt masse, Silika, Slagg, Flyveaske etc	kg/m ³ betong	69,9			69,9		Resirkulerte materialer i råvarene (f.eks flyveaske og slagg i sement) kommer inn her
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	kg/m ³ betong	401,0	5,3E-04	7,9E-03	401,0		
	Mineraler, sand, stein	kg/m ³ betong	1 878,4	3,0E-04	2,6E-02	1 878,4		
	Metaller	kg/m ³ betong	2,1E+00	7,6E-06	3,6E-03	2,1E+00		
		kg/m ³ betong						

Land areal og vannressurser

Energiressurser



Tabell 3. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til bruker A4	Kommentarer
Fossil brensel	Kull	MJ/m ³ betong	760,6	0,3	6,7	767,6	-	
	Olje	MJ/m ³ betong	58,2	46,4	16,7	121,2	11,3	
	Gass	MJ/m ³ betong	62,0	2,4	6,02	70,4	0,3	
	Torv	MJ/m ³ betong	10,4	0,0	1,1	11,4	-	
Kjernekraft		MJ/m ³ betong	175,4	0,4	17,7	193,5	-	
Fornybar energi	Biomass	MJ/m ³ betong	49,2	-	-	49,2	-	
	Vannkraft	MJ/m ³ betong	129,5	0,0	13,0	142,5	-	
	Solkraft	MJ/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
	Vindkraft	MJ/m ³ betong	7,3	0,0	0,8	8,2	-	
Avfall	Avfallsforbrenning	MJ/m ³ betong	497,8	-	-	497,8	-	
Uspesifisert		MJ/m ³ betong	0,0	-	-	0,0	-	
Totalt			1750	49,6	62,0	1 861,9	11,6	

Energi brukt oppgis i MJ og ikke kWh som beskrevet i PCR. Dette for å harmonere med andre bygg-EPD'er i Norge.

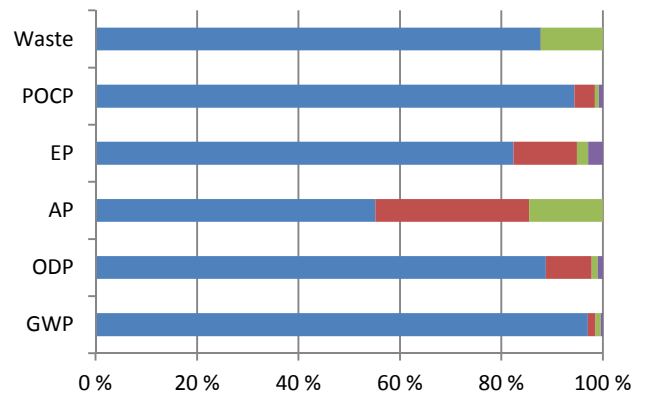
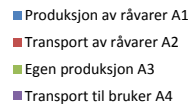
Forbruket er beregnet ut fra NordPool-mixen for el. i de nordiske landene (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet), med et GWP-utslipp på 0,165 kg CO₂-ekv/kWh

Utslipp og miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkninger Tabell 4

Parameter	Enhet	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	
GWP	Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv/m ³ betong	223,2	0,9
ODP	Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv/m ³ betong	1,6E-06	
AP	Forsuring	kg SO ₂ -ekv/m ³ betong	0,5	0,0
EP	Overgjødning	kg PO ₄ ³⁻ -ekv/m ³ betong	0,1	0,0
POCP	Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv/m ³ betong	0,0	0,0
ADPE	Abiotic depletion poten	kg Sb -ekv/m ³ betong	N.A*	N.A
ADPF	Abiotic depletion poten	MJ/m ³ betong	N.A*	N.A
Waste	Avfall	kg/m ³ betong	26,0	

NA* Abiotisk Ressursforbruk er ikke inkludert siden datagrunnlaget foreløpig er mangelfullt på området



Avfall og største utslipp på vektbasis Tabell 5

	Enhet	Råvarer, produksjon A1	Transport av råvarer A2	Egen produksjon A3	Deklarert enhet A1-A3	Transport til kunde A4	Kommentarer
Utslipp til luft							
CO ₂	kg/m ³ betong	211,1	3,3	2,2	216,6	0,9	
CH ₄	kg/m ³ betong	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	
N ₂ O	kg/m ³ betong	8,1E-04	5,4E-05	9,7E-05	9,6E-04	5,4E-05	
NO _x	kg/m ³ betong	0,49	0,04	0,00	0,53	0,01	
SO _x	kg/m ³ betong	0,17	0,02	0,00	0,19	0,00	
VOC	kg/m ³ betong	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	
CO	kg/m ³ betong	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	
Utslipp til vann							
KOF	kg/m ³ betong	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	
Avfall							
Spesialavfall	kg/m ³ betong	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
Avfall til gjenvinning	kg/m ³ betong	-	-	-	-	-	
Avfall til deponi	kg/m ³ betong	22,8	0,0	3,2	25,9	-	
Radioaktivt avfall	kg/m ³ betong						Ikke oppgitt i kg
Annet	kg/m ³ betong	0,1	0,0	0,0	0,1	-	

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

Annen informasjon

Bibliografi

- ISO 14025:2006, Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.
- ISO 21930 Sustainability in building construction - environmental declaration of building products.
- PCR for betong: www.epd-norge.no : NPCR 20 Precast concrete products, March 2012
- Vold, M. (2008): Livsløpsdata for fabrikkbetong, Østfoldforskning AS, OR 18.12, Fredrikstad.
- NS-EN 15804:2012: Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products

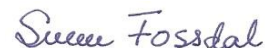
Vedlegg D EPD fra Contiga

- Betongbjelke
- Betongsøyle
- Hulldekke

Betongbjelke
Contiga AS
NEPD nr: 125N
Godkjent i tråd med EN ISO 14025, 8.1.4

Godkjent: 31.10.2011 Verifikasjonsleder:

Gyldig til: 31.10.2016



Verifikasjon av data: Intern: Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning, Østfoldforskning AS etter ISO14025, 8.1.3.


Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av EPD-kalkulator for betonglemeneter og belegningsstein, versjon 1.7 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 2)

Av: Kvalitet- og miljøsjef Tonje Bay-Eriksson

Informasjon om produsent:

Contiga AS

Produksjonssted: Moss

Peer Gynts vei 1, Moss

Org. Nr: 971 507 837

Bedriften er ikke ISO 14001-sertifisert

Antatt marked: Norge

Tonje Bay-Eriksson, Tlf 95 76 07 69, tonje.bay@contiga.no

Figur 1: Betongelement
Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011.

Tabell 1: Miljøindikatorer

	Deklartert enhet, A1-A3 [per tonn]	
Energibruk	2103	MJ
-hvorav fossil energi	256	MJ
Utslipp av klimagasser	188	kg
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimate i huset	
Kjemikalier	er ingen kjemikalier på EUs candidate list eller den no	

Omfang og marked

Deklarert enhet (DE):	1 tonn element
Funksjonell enhet (FE):	1 tonn element fra råvareuttak til avfallshåndtering
Produktets levetid:	60 år
Analyseomfang:	Fra vugge til avfallshåndtering
Årstall for studien:	2012
Årstall for data:	2011
Antatt markedsområde:	Norge

Produktspesifikasjon

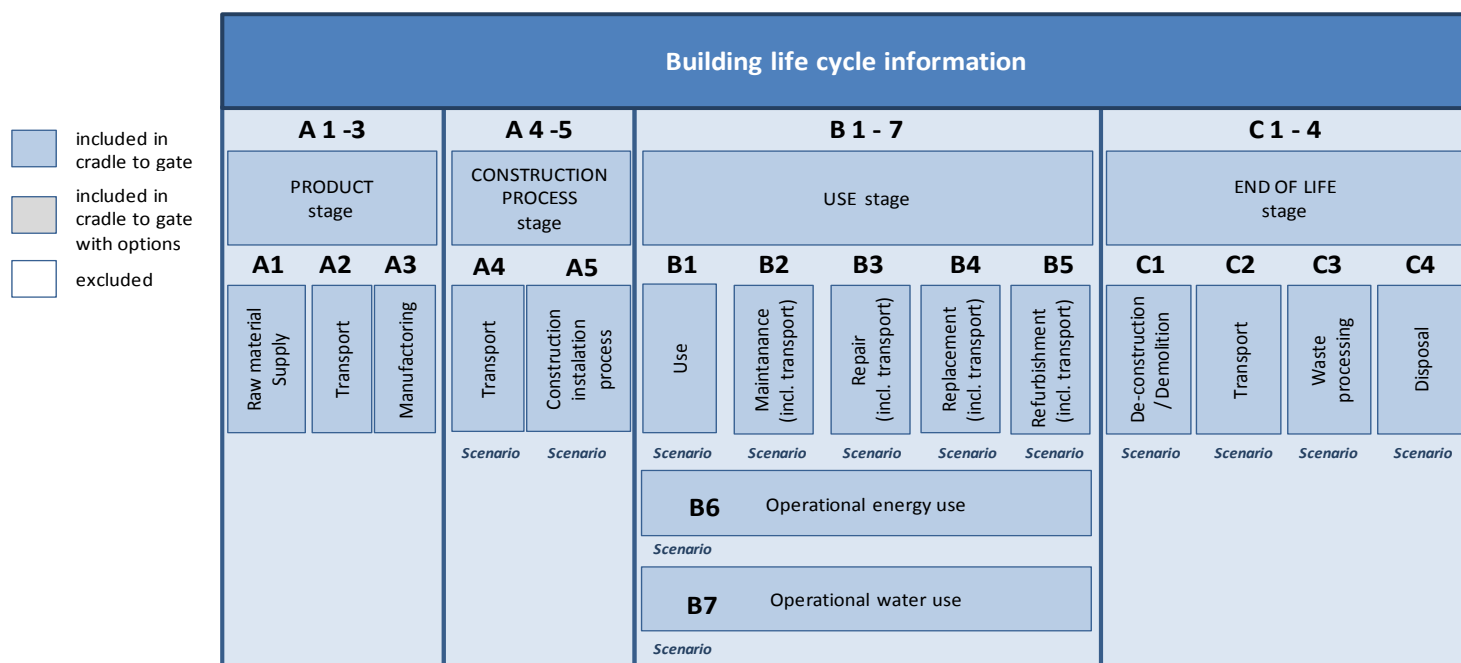
Tabell 2: Spesifikasjon av produktet

	Masse [kg/tonn]	Andel resirkulert materiale [%]	Datakvalitet	Kommentarer
Sement	174,34		EPD	
	-		-	
Tilslag	302,80		Litteratordata	
	406,79		Spesifikke data	
	-		-	
Nettvann	69,97			
Slamvann	-			
Stål	-		-	
	44,00	100	Spesifikke databasedata	
Tilsetningsstoffer	2,10		Spesifikke databasedata	Kjemikalier
Tilsetningsmaterialer	-		-	Silika og flyveaske
Fargestoffer	-		-	
Totalt	1 000	4		

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (Fra EN 15804), og gjennom korresponderende bokstav-



Figur 2 Moduler i EPDen (Fra NS-EN 15804:2012)

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 råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Ressursforbruk

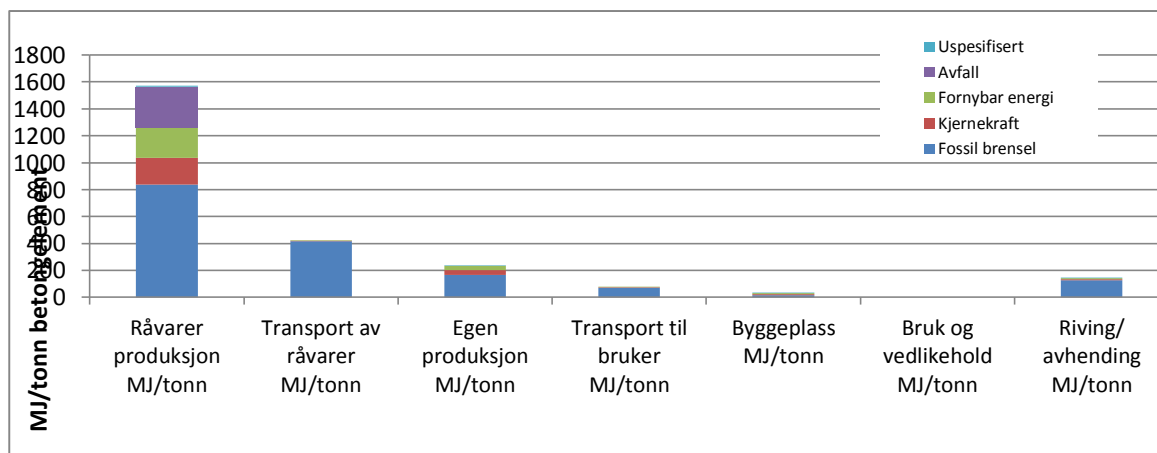
Tabell 3: Ressursforbruk i de ulike modulene

		Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Deklarert enhet	Transport til bruker	Byggeplass	Bruk og vedlikehold	Riving/avhending	Kommentarer
		[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	
		A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1-C4	
Resirkulerte, fornybare ressurser	Gjenbrukt vaskevann	-			-					
Nye fornybare ressurser	Nettvann/egenkilde	2 460,5	97,11	8,70	2 566,3	14,01	7,04		16,02	Turbinvann og kjølevann er ikke inkludert
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Gjenbrukt masse	0,2			0,2					
	Silika	-			-		-			
	Flyveaske	-			-		-			
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	242,5			242,5		0,01			
	Minerals, sand, rock	714,5			714,5		0,09			
	Kull	0,0			0,0		-			
	Jern	1,3			1,3		0,00			
	Olje	101,5			101,5		-			
	Fossilgass	0,0			0,0		-			
Sum		1 060,0			1 060,0					

Land areal og vannressurser

Landareal er ikke kartlagt. Oversikt over vannforbruk finnes i Tabell 3

Energiressurser



Figur 3. Forbruk av energiressurser gjennom livsløpet

Tabell 4. Energiforbruk fordelt på energibærer og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Deklarert enhet	Transport til bruker	Byggeplass	Bruk og vedlikehold	Riving/avhending	Kommentarer
		[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	[kg/tonn]	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	
		A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1-C4	
Fossil brensel	Olje	100,5	390,9	138,6	629,9	68,7	13,4	-	117,2	
	Kull	533,6	5,5	12,3	551,4	0,5	2,0	-	2,6	
	Gass	202,5	20,0	13,9	236,4	4,0	2,2	-	8,3	
Kjernekraft		201,27	5,29E+00	3,69E+01	2,44E+02	6,20E-01	6,39E+00	-	7,30E+00	
Fornybar energi	Biomass	24,9	-	-	24,9	-	-	-	-	
	Vannkraft	190,3	0,7	31,1	222,1	0,1	5,5	-	5,6	
	Vind-/solenergi	7,5	0,1	1,5	9,0	0,0	0,3	-	0,3	
Avfall		303,6	-	-	303,6	-	-	-	-	
Uspesifisert		9,9	-	2,2	12,2	-	0,4	-	0,4	
Totalt		1574,0	390,9	138,6	2103,5	68,7	13,4	-	117,2	

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

Tabell 5: Miljøpåvirkninger

	Enhet	Per deklartert enhet
		A1-A3 (kg/tonn)
Avfall	kg	43
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv	0,388
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv	0,081
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv	0,00001
Forsuring	kg SO ₂ -ekv	1,30
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv	188

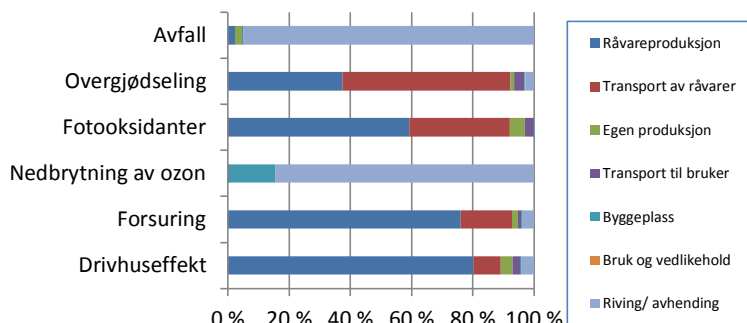
Abiotisk ressursforbruk er ikke beregnet for produktet pga usikkerhet ved beregningsmetode da verktøyet ble utviklet

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

Tabell 6: Avfall og største utslipp på vektbasis

	Råvarer [kg/tonn]	Transport av råvarer [kg/tonn]	Egen produksjon [kg/tonn]	Deklartert enhet [kg/tonn]	Transport til bruker [kg/tonn]	Byggeplass [kg/tonn]	Bruk og vedlikehold [kg/tonn]	Riving/ avhending [kg/tonn]	Kommentarer
	A1	A2	A3	A1-A4	A4	A5	B1-B7	C1-C4	
Utslipp til luft									
CO ₂	150,2	17,1	7,5	174,7	5,0	1,2	-	8,7	
CH ₄	2,1E-01	2,1E-02	1,1E-02	2,5E-01	4,9E-03	1,9E-03	-	9,9E-03	
N ₂ O	2,3E-02	1,0E-03	2,0E-04	2,4E-02	1,7E-04	3,3E-05	-	2,9E-04	
NO _x	3,8E-01	2,7E-01	1,6E-02	6,6E-01	1,8E-02	9,6E-03	-	8,2E-02	
SO _x	6,5E-01	7,9E-02	1,7E-02	7,4E-01	4,1E-03	1,6E-03	-	7,6E-03	
VOC	1,1E-02	2,8E-02	4,2E-03	4,3E-02	2,6E-03	1,5E-03	-	6,7E-03	
CO	3,6E-02	1,1E-01	5,3E-03	1,5E-01	9,1E-04	4,0E-03	-	1,7E-02	
Utslipp til vann									
KOF	0,10	0,10	0,04	0,25	0,01	0,00	-	0,02	
Avfall									
Spesialavfall	6,34E-03	2,79E-04	6,60E-05	6,68E-03	1,20E-05	1,83E-05	-	1,91E-05	
Avfall til gjenvinning	7,5	-	-	7,5	-	1,0	-	-	
Avfall til forbrenning	-	-	0,0	0,0	-	2,0	-	-	
Avfall til deponi	14,3	0,1	21,5	35,9	0,0	-	-	900,0	
Annet avfall	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	

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



Figur 4 Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

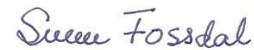
Bibliografi

- 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): EPD-generator for betongprodukter - Bakgrunnsdokumentasjon, Østfoldforskning AS, OR 23.11 Fredrikstad.
- Vold, M. (2011): EPD-generator for betongprodukter - Brukerveiledning, Østfoldforskning AS, OR 24.11 Fredrikstad.
- PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20/11
- EN 15804: 2011 Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products.

Betongsøyle
Contiga AS
NEPD nr: 127N
Godkjent i tråd med EN ISO 14025, 8.1.4

Godkjent: 31.10.201 Verifikasjonsleder:

Gyldig til: 31.10.2016


Verifikasjon av data Intern:

Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning, Østfoldforskning AS etter ISO14025, 8.1.3.


Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av EPD-kalkulator for betonglemeneter og belegningsstein, versjon 1.7 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 2)

Av: Kvalitet- og miljøsjef Tonje Bay-Eriksson

Informasjon om produsent:

Contiga AS

Produksjonssted: Moss

Peer Gynts vei 1

Org. Nr: 971 507 837

Bedriften er ikke ISO 14001-sertifisert

Norge

Tonje Bay-Eriksson, Tlf 95 76 07 69, tonje.bay@contiga.no

Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011.


Figur 1: Betongelement
Tabell 1: Miljøindikatorer

	Deklartert enhet, A1-A3 [per tonn]	
Energibruk	2272	MJ
- hvorav fossil energi	284	MJ
Utslipp av klimagasser	196	kg
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimaet i huset	
Kjemikalier	Produktet inneholder ingen kjemikalier på EUs candidate list eller den norske prioritetslisten	

Omfang og marked

Deklarert enhet (DE):	1 tonn element
Funksjonell enhet (FE):	1 tonn element fra råvareuttak til avfallshåndtering
Produktets levetid:	60 år
Analyseomfang:	Fra vugge til avfallshåndtering
Årstall for studien:	2012
Årstall for data:	2011
Antatt markedsområde:	Norge

Produktspesifikasjon

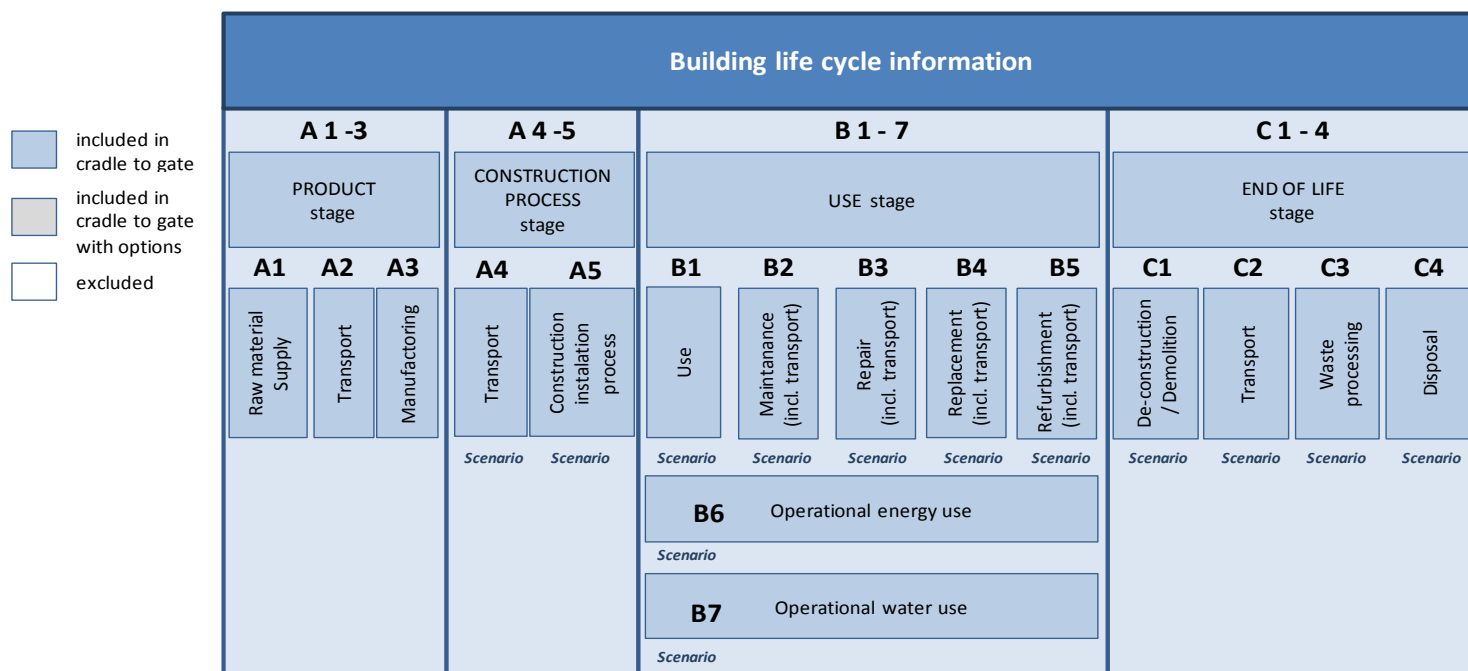
Tabell 2: Spesifikasjon av produktet

	Masse [kg/tonn]	Andel resirkulert materiale [%]	Datakvalitet	Kommentarer
Sement	172,85		EPD	
	-		-	
Tilslag	314,24		Litteratordata	
	388,91		Spesifikke data	
	-		-	
Nettvann	69,37			
Slamvann	-			
	-		-	
Stål	53,50	100	Spesifikke databasedata	
Tilsetningsstoffer	1,14		Spesifikke databasedata	Kjemikalier
Tilsetningsmaterialer	-		-	Silika og flyveaske
Fargestoffer	-		-	
Totalt	1 000	5		

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (Fra EN 15804), og gjennom korresponderende



Figur 2 Moduler i EPDen (Fra NS-EN 15804:2012)

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 råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

Ressursforbruk

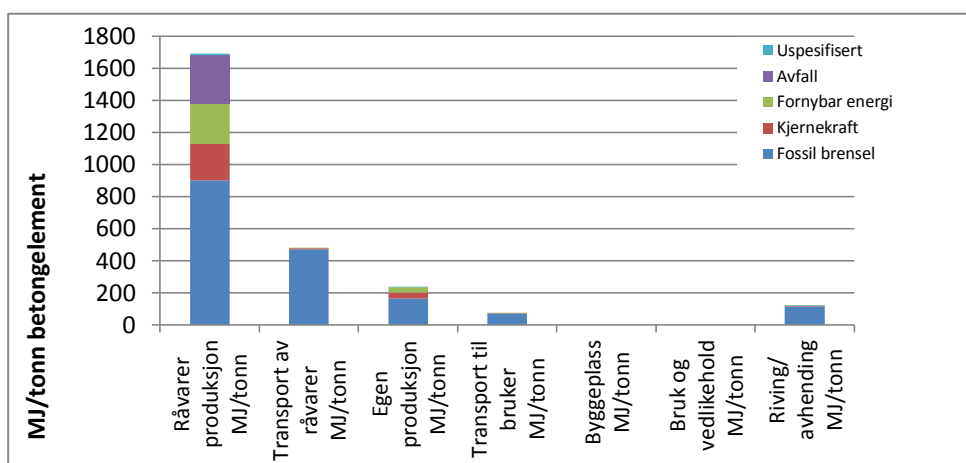
Tabell 3: Ressursforbruk i de ulike modulene

		Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Deklarert enhet	Transport til bruker	Byggeplass	Bruk og vedlikehold	Riving/avhending	Kommentarer
		[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	
		A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1-C4	
Resirkulerte, fornybare ressurser	Gjenbrukt vaskevann	-			-					
Nye fornybare ressurser	Nettvann/egenkilde	2 969,8	111,2	9,3	3 090,2	14,0	-		9,62	Turbinvann og kjølevann er ikke inkludert
	Gjenbrukt masse	0,2			0,2					
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	-			-					
	Flyveaske	-			-					
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	241,1			241,1					
	Minerals, sand, rock	708,8			708,8					
	Kull	0,0			0,0					
	Jern	1,3			1,3					
	Olje	59,1			59,1					
	Fossilgass	0,0			0,0					
Sum		3 980,3			3 980,3					

Land areal og vannressurser

Landareal er ikke kartlagt. Oversikt over vannforbruk finnes i Tabell 3

Energiressurser



Figur 3. Forbruk av energiressurser gjennom livsløpet

Tabell 4. Energiforbruk fordelt på energibærere og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Deklarert enhet	Transport til bruker	Byggeplass	Bruk og vedlikehold	Riving/avhending	Kommentarer
		[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	[kg/tonn]	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	
		A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1-C4	
Fossil brensel	Olje	116,89	443,26	138,61	698,76	68,69	-	-	109,82	
	Kull	546,14	6,39	12,32	564,86	0,47	-	-	0,76	
	Gass	238,79	22,94	13,90	275,62	4,03	-	-	6,44	
Kjernerkeft		225,76	6,12E+00	3,69E+01	2,69E+02	6,20E-01	-	-	9,92E-01	
Fornybar energi	Biomass	24,72	-	-	24,72	-	-	-	-	
	Vannkraft	217,33	0,76	31,11	249,20	0,08	-	-	0,12	
	Vind-/solenergi	8,23	0,11	1,46	9,80	0,01	-	-	0,02	
Avfall		301,07	-	-	301,07	-	-	-	-	
Uspesifisert		10,93	-	2,24	13,18	-	-	-	0,00	
Totalt		1689,87	443,26	138,61	2271,74	68,69	-	-	109,82	

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

Tabell 5: Miljøpåvirkninger

	Enhet	Per deklart enhet
		A1-A3 (kg/tonn)
Avfall	kg	45
Overgjødning	kg PO ₄ ²⁻ -ekv	0,404
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv	0,090
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv	0,00001
Forsuring	kg SO ₂ -ekv	1,46
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv	196

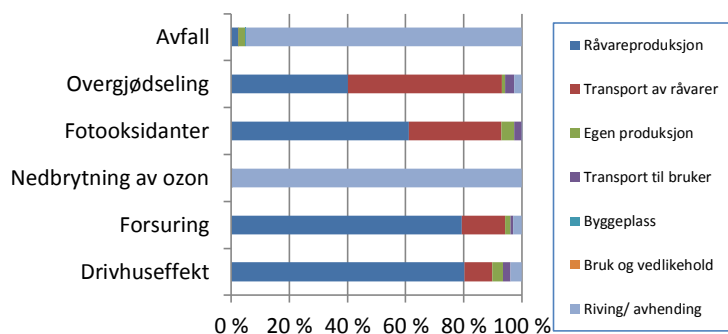
Abiotisk ressursforbruk er ikke beregnet for produktet pga usikkerhet ved beregningsmetode da verktøyet ble utviklet

Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.

Tabell 6: Avfall og største utslipp på vektbasis

	Råvarer [kg/tonn]	Transport av råvarer [kg/tonn]	Egen produksjon [kg/tonn]	Deklart enhet [kg/tonn]	Transport til bruker [kg/tonn]	Byggeplass [kg/tonn]	Bruk og vedlikehold [kg/tonn]	Riving/ avhending [kg/tonn]	Kommentarer
	A1	A2	A3	A1-A4	A4	A5	B1-B7	C1-C4	
Utslipp til luft									
CO ₂	153,9	18,7	7,5	180,1	5,0	-	-	7,9	
CH ₄	2,3E-01	2,4E-02	1,1E-02	2,6E-01	4,9E-03	-	-	8,4E-03	
N ₂ O	2,8E-02	1,2E-03	2,0E-04	3,0E-02	1,7E-04	-	-	2,6E-04	
NO _x	3,9E-01	2,9E-01	1,6E-02	7,0E-01	1,8E-02	-	-	7,7E-02	
SO _x	7,6E-01	6,8E-02	1,7E-02	8,5E-01	4,1E-03	-	-	6,6E-03	
VOC	1,3E-02	3,1E-02	4,2E-03	4,8E-02	2,6E-03	-	-	5,9E-03	
CO	4,2E-02	1,3E-01	5,3E-03	1,8E-01	9,1E-04	-	-	1,5E-02	
Utslipp til vann									
KOF	0,12	0,12	0,04	0,27	0,01	-	-	0,02	
Avfall									
Spesialavfall	7,42E-03	3,27E-04	1,06E-04	7,85E-03	1,20E-05	1,91E-05	-	1,91E-05	
Avfall til gjenvinning	9,1	-	-	9,1	-	-	-	-	
Avfall til forbrenning	-	-	-	-	-	1,0	-	-	
Avfall til deponi	14,4	0,1	21,4	36,0	0,0	2,0	-	900,0	
Annet avfall	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0	

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



Figur 4 Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

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): EPD-generator for betongprodukter - Bakgrunnsdokumentasjon, Østfoldforskning AS, OR 23.11 Fredrikstad.

Vold, M. (2011): EPD-generator for betongprodukter - Brukerveiledning, Østfoldforskning AS, OR 24.11 Fredrikstad.

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20/11

EN 15804: 2011 Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products.

HD320

NEPD nr: 160N

Contiga AS



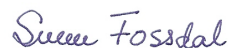
Figur 1

Godkjent i tråd med EN ISO 14025, 8.1.4

Godkjent: 17.12.2012

Verifikasjonsleder:

Gyldig til: 17.12.2017



Verifikasjon av data:

Intern:

Ekstern: x

Uavhengig verifikasjon av data og annen miljøinformasjon er foretatt av seniorforsker Anne Rønning etter ISO14025, 8.1.3.



Deklarasjonen er utarbeidet ved hjelp av EPD-kalkulator for betonglemeneter og belegningsstein, versjon 1.7 (verktøy og database basert på hovedsakelig spesifikke data, se tabell 1)

 Østfoldforskning

Informasjon om produsent:

Contiga AS

Produksjonssted

Moss

Peer Gynts vei 1

Org. Nr: 971 507 837

Tonje Bay-Eriksson, tlf 95 76 07 69, tonje.bay@contiga.no

Om EPD:

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

PCR:

PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011

Tabell 1: Miljøindikatorer

	Deklarert enhet, A1-A3 [per tonn]	Deklarert enhet, A1-A3 [per m2]	
Energibruk	1 516	574	MJ
-hvorav fossil energi	93	35	MJ
Utslipp av klimagasser	149	56	kg
Inneklima	Produktet vil ikke påvirke inneklimaet i huset		
Kjemikalier	Produktet inneholder ingen kjemikalier på EUs candidate list eller den norske prioritetslisten		

Omfang og marked

Deklarert enhet (DE):	1 tonn og 1 m2 element
Funksjonell enhet (FE):	1 tonn og 1m2 element fra råvareuttak til avfallshåndtering
Produktets levetid:	60 år
Analyseomfang:	Vugge til avfallshåndtering
Årstall for studien:	2012
Årstall for data:	2011
Antatt markedsområde:	Norge

Produktspesifikasjon

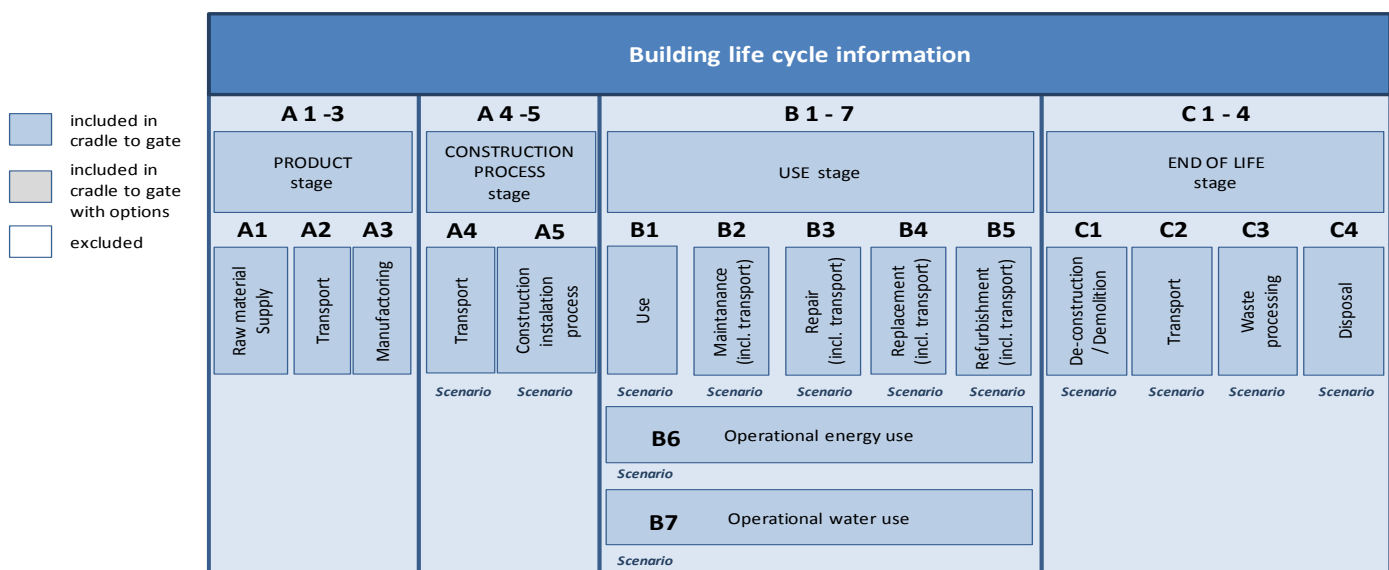
Tabell 2: Spesifikasjon av produktet

	Masse [kg/tonn]	Andel resirkulert materiale [%]	Masse [kg/m2]	Datakvalitet	Kommentarer
Sement	134,25	-	50,80	EPD	
	-	-	-	-	
Tilslag	394,07	-	149,12	Litteratordata	
	-	-	-	-	
	396,84	100	150,16	Spesifikke databasedata	
Nettvann	55,28		20,92		
Slamvann	-	-	-	-	
Stål	19,56	-	7,40	Spesifikke databasedata	
	-	-	-	-	
Isolasjon	-	-	-	-	
Tilsetningsstoffer	-	-	-	-	Kjemikalier
Tilsetningsmaterialer	-	-	-	-	Silika og flyveaske
Fargestoffer	-	-	-	-	
Totalt	1 000		378,40		

Metodiske beslutninger

Systemgrenser:

Hvilke livsløpsfaser som inngår beskrives i figuren nedenfor (Fra NS-EN 15804:2012), og gjennom korresponderende bokstav- og tallbetegnelse er i deklarasjonen



Figur 2 Moduler i EPDen (Fra NS-EN 15804:2012)

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 råvarene i betongen er allokert til råvarene og derved betong i neste omgang.

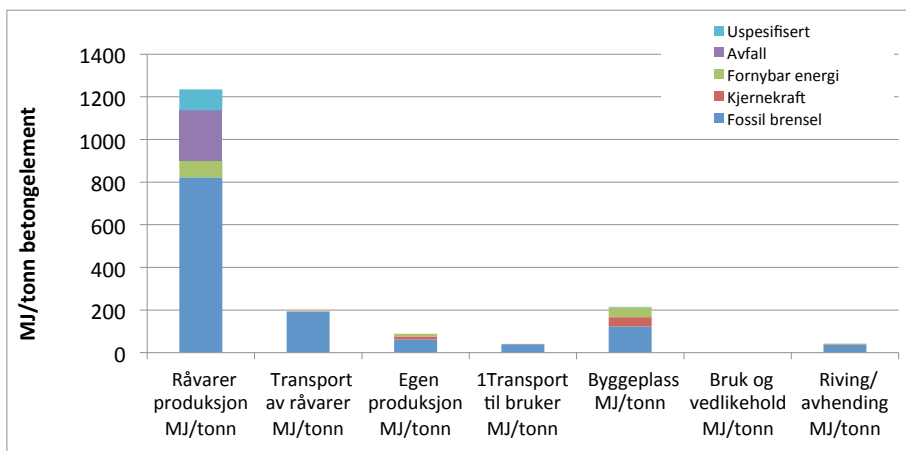
Tabell 3: Ressursforbruk i de ulike modulene

		Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Totalt, Deklaraert enhet		Transport til bruker	Byggeplass	Bruk og vedlikehold	Riving/avhending	Kommentarer
		[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	A1-A3 kg/tonn	A1-A3 kg/m ²	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	[kg/tonn]	
		A1	A2	A3			A4	A5	B1-B7	C1-C4	
Resirkulerte, fornybare ressurser	Gjenbrukt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nye, fornybare ressurser	Nettvann/ egen kilde	425,89	37,57	78,66	542,13	158,01	7,58	815,54	-	5,34	Eks turbinvann og kjølevann
	Gjenbrukt masse	0,18	-	-	0,18	0,07	-	-	-	-	
Resirkulerte, ikke fornybare ressurser	Silika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Flyveaske	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nye, ikke fornybare ressurser	Kalsium/kalkstein	190,73	-	-	190,73	72,23	-	4,59	-	-	
	Minerals, sand, rock	794,80	-	-	794,80	300,99	-	19,86	-	-	
	Kull	0,00	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-	
	Jern	23,94	-	-	23,94	9,07	-	0,02	-	-	
	Olje	0,00	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-	
	Fossilgss	0,00	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-	
Sum		1 435,55	37,57	78,66	1 551,78	540,36	7,58	840,01	-	5,34	

Land areal og vannressurser

Landareal er ikke kartlagt. Oversikt over vannforbruk finnes i Tabell 3.

Energiressurser



Figur 3. Forbruk av energiressurser gjennom livsløpet

Tabell 4. Energiforbruk fordelt på energibærer og livsløpsfaser.

		Råvarer produksjon	Transport av råvarer	Egen produksjon	Totalt, Deklaraert enhet		Transport til bruker	Byggeplass	Bruk og vedlikehold	Riving/avhending	Kommentarer
		[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	A1-A3 kg/tonn	A1-A3 kg/m ²	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	[MJ/tonn]	
		A1	A2	A3			A4	A5	B1-B7	C1-C4	
Fossil brensel	Olje	64,21	1,82E+02	5,25E+01	298,33	112,98	3,72E+01	3,52E+01	-	3,22E+01	
	Kull	701,68	1,37E+00	4,67E+00	707,71	268,01	2,56E-01	2,99E+01	-	1,03E+00	
	Gass	56,16	8,39E+00	5,26E+00	69,82	26,44	2,18E+00	5,78E+01	-	2,50E+00	
Kjernerkeft		0,00	1,58E+00	1,40E+01	15,58	5,90	3,36E-01	4,40E+01	-	3,04E+00	
Fornybar energi	Biomass	2,02E+01	-	-	20,23	7,66	-	-	-	-	
	Vannkraft	56,80	1,86E-01	1,18E+01	68,77	26,04	4,23E-02	4,50E+01	-	2,46E+00	
	Vind-/solenergi	3,40	2,75E-02	5,53E-01	3,98	1,51	5,16E-03	1,35E+00	-	1,16E-01	
Avfall		233,82	-	-	233,82	88,55	-	-	-	-	
Uspesifisert		98,06	-	-	98,06	37,13	-	1,78E+00	-	1,76E-01	
Totalt		1 234,34	1,93E+02	8,87E+01	1 516,28	574,22	4,00E+01	2,15E+02	-	4,15E+01	

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

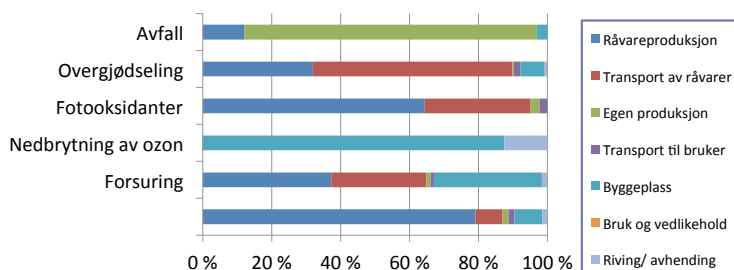
Forbruket er beregnet ut fra Nordisk Produksjonsmix, Medium voltage, 2008 for el (CO₂-faktor: 34,2 g/MJ eller 123 g/kWh) (unntatt hvis virksomhetene kjøper sertifisert fornybar elektrisitet).

Utslipp og miljøpåvirkninger

Tabell 5: Miljøpåvirkninger

	Enhet	Per deklart enhet	
		A1-A3 (kg/tonn)	A1-A3 (kg/m2)
Avfall	kg	115,98	44
Overgjødsling	kg PO ₄ ²⁻ -ekv	0,36	0
Fotooksidanter	kg C ₂ H ₂ -ekv	0,058	0
Nedbrytning av ozon	kg CFC-11-ekv	0,00000	0
Forsuring	kg SO ₂ -ekv	0,56	0
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ekv	149,12	56

Abiotisk ressursforbruk er ikke beregnet for produktet pga usikkerhet ved beregningsmetode da verktøyet ble utviklet. Emisjoner til innemiljø er ikke relevant for dette produktet.



Figur 4 Prosentvis fordeling per livsløpsfase av miljøpåvirkning

Tabell 6: Avfall og største utslipp på vektbasis

	Råvarer [kg/tonn]	Transport av råvarer [kg/tonn]	Egen produksjon [kg/tonn]	Totalt, Deklart enhet		Transport til bruker [kg/tonn]	Byggeplass [kg/tonn]	Bruk og vedlikehold [kg/tonn]	Riving/avhending [kg/tonn]	Kommentarer
	A1	A2	A3	A1-A3 kg/tonn	A1-A3 kg/m2	A4	A5	B1-B7	C1-C4	
Utslipp til luft										
CO ₂	126,639	12,864	2,840	142,343	53,91	2,69E+00	10,709	-	2,439	
CH ₄	0,214	0,009	0,004	0,227	0,09	2,64E-03	2,62E-02	-	0,003	
N ₂ O	0,001	0,000	0,000	0,001	0,00	9,12E-05	7,54E-03	-	8,12E-05	
NO _x	0,288	0,151	0,006	0,445	0,17	9,53E-03	3,49E-02	-	0,023	
SO _x	0,138	0,129	0,006	0,273	0,10	2,22E-03	1,83E-01	-	2,20E-03	
VOC	0,008	0,011	0,002	0,021	0,01	1,39E-03	3,84E-03	-	1,91E-03	
CO	0,622	0,019	0,002	0,643	0,24	4,91E-04	1,37E-02	-	0,005	
Utslipp til vann										
KOF	0,124	0,049	1,58E-02	0,188	0,07	7,53E-03	1,92E-02	-	0,007	
Avfall										
Spesialavfall	0,004	0,000	4,02E-05	0,004	0,00	6,47E-06	1,86E-03	-	1,12E-05	
Avfall til gjenvinning	-	-	-	-	-	-	2,46E+00	-	-	
Avfall til forbrenning	-	-	-	-	-	-	2,64E+00	-	-	
Avfall til deponi	14,317	0,000	8,117	22,435	8,50	-	6,45E+00	-	900,026	
Annet avfall	0,022	-	2,01E-04	0,023	0,01	-	1,15E-03	-	-	

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

Tilleggsinformasjon/Avfallsbehandling for sluttprodukt

I denne beregningen er det forutsatt sement fra Norcem Brevik. Dersom Norcem leverer sement fra et annet sted kan dette få en liten innvirkning på resultatet.

Bibliografi

- 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): EPD-generator for betongprodukter - Bakgrunnsdokumentasjon, Østfoldforskning AS, OR 23.11 Fredrikstad.
- Vold, M. (2011): EPD-generator for betongprodukter - Brukerveiledning, Østfoldforskning AS, OR 24.11 Fredrikstad.
- PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20/11
- NS EN 15804:2012 Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations – core rules for the product category of construction products.

Vedlegg E Klimagassregnskap

Klimagassregnskap for Fornebu 5
Innlagte mengder, referansebygg og totalt klimagassutslipp

INNLAGTE MENGDER PER 11.04.13							
Kode	Kategori	Materiale	Levetid	Dimensjon	Mengde	Enhet	Utslipp Kg CO2
1365687083	Basismaterialer	Stål fra malm	60	Vekt		30940 kg	225 527
1365687104	Basismaterialer	Stål fra malm	60	Vekt		78037 kg	89 417
1365687017	Basismaterialer	Maling	60	Vekt		5759 kg	20 588
1365687029	Basismaterialer	Maling	60	Vekt		7075 kg	16 759
1365687191	Bæresystem	Søyler av prefab. betong	60	Lengde		172 m	82 307
1365687191	Bæresystem	Søyler av prefab. betong	60	Tverrsnitt		0,785 m2	
1365687230	Bæresystem	Søyler av prefab. betong	60	Lengde		1063 m	189 862
1365687230	Bæresystem	Søyler av prefab. betong	60	Tverrsnitt		0,293 m2	
1365687267	Bæresystem	Bjelker av prefab. betong	60	Lengde		5355 m	1 339 256
1365687267	Bæresystem	Bjelker av prefab. betong	60	Tverrsnitt		0,39 m2	
1365687297	Bæresystem	Stålsøyler - total vekt	60	Vekt		23000 kg	66 470
1365687352	Bæresystem	Stålbjelker - total vekt	60	Vekt		11250 kg	32 513
1365687395	Bæresystem	Stålbjelker - total vekt	60	Vekt		314000 kg	907 460
1365744969	Grunn og fundamenter	Armering	60	Vekt		206271 kg	96 947
1365744946	Grunn og fundamenter	Betong	60	Volum		4133 m3	1 864 810
1365687453	Grunn og fundamenter	Polystyren	60	Areal		2423 m2	1 279
1365687453	Grunn og fundamenter	Polystyren	60	Tykkelse		0,1 m	
1365687598	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Lengde		758 m	114 152
1365687598	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Stål pr meter		50,9 kg/m	
1365687598	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	pelehoder		53 stk	
1365687598	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Stål pr pelehode		17,3 kg/stk	
1365687649	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Lengde		628 m	169 434
1365687649	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Stål pr meter		90,4 kg/m	
1365687649	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	pelehoder		42 stk	
1365687649	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Stål pr pelehode		44,2 kg/stk	
1365687688	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Lengde		470 m	200 653
1365687688	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Stål pr meter		141,3 kg/m	
1365687688	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	pelehoder		37 stk	
1365687688	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Stål pr pelehode		81,6 kg/stk	
1365687721	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Lengde		1282 m	792 854
1365687721	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Stål pr meter		203,5 kg/m	
1365687721	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	pelehoder		93 stk	
1365687721	Grunn og fundamenter	Stålkjernerpeeler	60	Stål pr pelehode		144,7 kg/stk	
1365745090	Yttervegger	Armering	60	Vekt		425109 kg	199 801
1365745046	Yttervegger	Betong	60	Volum		1611 m3	726 883
1365687800	Yttervegger	Kryssfinersplater	30	Areal		4972 m2	43 629
1365687800	Yttervegger	Kryssfinersplater	30	Tykkelse		0,015 m	
1365687841	Yttervegger	Trepanel	30	Areal		4510 m2	5 863
1365687841	Yttervegger	Trepanel	30	Tykkelse		0,05 m	
1365687871	Yttervegger	Naturstein	30	Areal		1680 m2	-
1365687871	Yttervegger	Naturstein	30	Tykkelse		0,02 m	
1365687912	Yttervegger	Lettklinker	60	Areal		267 m2	18 133
1365687912	Yttervegger	Lettklinker	60	Tykkelse		0,35 m	
1365687938	Yttervegger	Iso-blokk:	60	Areal		1722 m2	219 383
1365687938	Yttervegger	Iso-blokk:	60	Tykkelse		0,35 m	
1365687990	Yttervegger	Bindingsverk av stål	60	Areal		58 m2	838
1365687990	Yttervegger	Bindingsverk av stål	60	Tykkelse		0,25 m	
1365688005	Yttervegger	Bindingsverk av tre	60	Areal		388 m2	151
1365688005	Yttervegger	Bindingsverk av tre	60	Tverrsnitt		0,012 m2	
1365688111	Yttervegger	Mineralull - Steinull	60	Areal		4880 m2	49 893
1365688111	Yttervegger	Mineralull - Steinull	60	Tykkelse		0,3 m	
1365688143	Yttervegger	Polystyren	60	Areal		2500 m2	10 672
1365688143	Yttervegger	Polystyren	60	Tykkelse		0,05 m	
1365688163	Yttervegger	GU-plater	60	Areal		842 m2	1 640
1365688213	Yttervegger	Vinduer av aluminium - faste	25	Areal		1002 m2	555 316
1365688213	Yttervegger	Vinduer av aluminium - faste	25	Tykkelse for glass		0,016 m	
1365688270	Yttervegger	Kryssfinersplater	20	Areal		1232 m2	14 054
1365688270	Yttervegger	Kryssfinersplater	20	Tykkelse		0,013 m	
1365688303	Yttervegger	Kryssfinersplater	20	Areal		4972 m2	52 355
1365688303	Yttervegger	Kryssfinersplater	20	Tykkelse		0,012 m	
1365688332	Yttervegger	Kryssfinersplater	20	Areal		2968 m2	39 066
1365688332	Yttervegger	Kryssfinersplater	20	Tykkelse		0,015 m	
1365688372	Innvegger	Betongelement	60	Areal		3631 m2	841 414
1365688372	Innvegger	Betongelement	60	Tykkelse		0,23 m	
1365688381	Innvegger	Betongelement	60	Areal		1687 m2	390 930
1365688381	Innvegger	Betongelement	60	Tykkelse		0,23 m	
1365688422	Innvegger	Lettklinker	60	Areal		1994 m2	58 037
1365688422	Innvegger	Lettklinker	60	Tykkelse		0,15 m	
1365688446	Innvegger	Puss	60	Areal		7520 m2	4 653
1365688446	Innvegger	Puss	60	Tykkelse		0,002 m	
1365688499	Innvegger	Bindingsverk av stål	30	Areal		177 m2	1 790
1365688499	Innvegger	Bindingsverk av stål	30	Tykkelse		0,1 m	
1365688535	Innvegger	Isolasjon av mineralull: Steinull	15	Areal		5736 m2	78 193
1365688535	Innvegger	Isolasjon av mineralull: Steinull	15	Tykkelse		0,1 m	
1365688598	Innvegger	kryssfinersplater	15	Areal		16090 m2	338 855
1365688598	Innvegger	kryssfinersplater	15	Tykkelse		0,018 m	
1365745139	Dekker	Huldekker	60	Areal		42614 m2	6 049 390
1365745139	Dekker	Huldekker	60	Tykkelse		0,32 m	
1365688683	Dekker	Mineralull - Steinull	60	Areal		13658 m2	23 273
1365688683	Dekker	Mineralull - Steinull	60	Tykkelse		0,05 m	
1365688728	Dekker	Påstøp	25	Areal		18707 m2	2 415 000
1365688728	Dekker	Påstøp	25	Tykkelse		0,1 m	
1365688728	Dekker	Påstøp	25	Armering i påstøp, stål		3 kg/m2	
1365688757	Dekker	Asfaltdekke	25	Areal		13593 m2	539
1365688757	Dekker	Asfaltdekke	25	Tykkelse		0,02 m	
1365688787	Dekker	Massiv parkett - eik (22 mm)	25	Areal		1380 m2	-
1365688787	Dekker	Massiv parkett - eik (22 mm)	25	Tykkelse		0,022 m	
1365696205	Dekker	Linoleum	25	Areal		16668 m2	288 743
1365696205	Dekker	Linoleum	25	Tykkelse		0,003 m	
1365688836	Dekker	Vinyl	25	Areal		14748 m2	541 971
1365688836	Dekker	Vinyl	25	Tykkelse		0,004 m	
1365688967	Dekker	Systemhimling - gips	15	Areal		4045 m2	33 223
1365688967	Dekker	Systemhimling - gips	15	Tykkelse		0,013 m	
1365745203	Yttertak	Huldekker	60	Areal		13076 m2	1 856 240
1365745203	Yttertak	Huldekker	60	Tykkelse		0,32 m	
1365688930	Yttertak	Polystyren	60	Areal		13076 m2	446 545
1365688930	Yttertak	Polystyren	60	Tykkelse		0,4 m	
1365688956	Yttertak	2 lag asfaltpapp	30	Areal		13076 m2	216
1365688956	Yttertak	2 lag asfaltpapp	30	Tykkelse		0,01 m	
1365689004	Trapper	Trapper - pr. etg.	60	Trapper pr etasje		18 stk/etasje	206
1365689004	Trapper	Trapper - pr. etg.	60	Antall etasjer		6 stk	
1365689004	Trapper	Trapper - pr. etg.	60	Betong pr trapp		0,076 m3 pr trapp	
1365689014	Trapper	Trapper - pr. etg.	60	Trapper pr etasje		18 stk/etasje	137
1365689014	Trapper	Trapper - pr. etg.	60	Antall etasjer		4 stk	
1365689014	Trapper	Trapper - pr. etg.	60	Betong pr trapp		0,076 m3 pr trapp	
1365689019	Trapper	Trapper - pr. etg.	60	Trapper pr etasje		18 stk/etasje	103
1365689019	Trapper	Trapper - pr. etg.	60	Antall etasjer		3 stk	
1365689019	Trapper	Trapper - pr. etg.	60	Betong pr trapp		0,076 m3 pr trapp	

Klimagassregnskap for Fornebu S
Innlagte mengder, referansebygg og totalt klimagassutslipp

REFERANSEBYGG VERSJON 4		UTEN BETONG		REFERANSEBYGG NORSK BRANSJE	
TOTALT [kg CO2-ekv]	21 517 424	TOTALT [kg CO2-ekv]	5 464 584	TOTALT [kg CO2-ekv]	12 967 420
Basismaterialer	352 290	Basismaterialer	352 290	Basismaterialer	352 290
Stål (puter og forankringsrør)	314 944	Stål (puter og forankringsrør)	314 944	Stål (puter og forankringsrør)	314 944
Maling	37 347	Maling	37 347	Maling	37 347
Bæresystem	2 617 867	Bæresystem	1 006 443	Bæresystem	2 158 347
Søyler av prefab.betong	272 169	Søyler av prefab.betong	-	Søyler av prefab.betong	209 798
Bjelker av prefab. Betong	1 339 256	Bjelker av prefab. Betong	-	Bjelker av prefab. Betong	942 106
Stålsøyler	66 470	Stålsøyler	66 470	Stålsøyler	66 470
Stålbjelker	939 973	Stålbjelker	939 973	Stålbjelker	939 973
Grunn og fundamenter	3 240 129	Grunn og fundamenter	1 278 372	Grunn og fundamenter	2 537 858
Armering	96 947	Armering	-	Armering	96 947
Plasstøpt betong	1 864 810	Plasstøpt betong	-	Plasstøpt betong	1 162 539
Polystyren	1 279	Polystyren	1 279	Polystyren	1 279
Stålkjernepeler	1 277 093	Stålkjernepeler	1 277 093	Stålkjernepeler	1 277 093
Yttervegger	1 937 678	Yttervegger	1 010 994	Yttervegger	1 660 264
Armering	199 801	Armering	-	Armering	199 801
Plasstøpt betong	726 883	Plasstøpt betong	-	Plasstøpt betong	449 469
Kryssfinerplater	149 105	Kryssfinerplater	149 105	Kryssfinerplater	149 105
Trepanel	5 863	Trepanel	5 863	Trepanel	5 863
Naturstein	-	Naturstein	-	Naturstein	-
Lettklinker	18 133	Lettklinker	18 133	Lettklinker	18 133
Iso-blokk	219 383	Iso-blokk	219 383	Iso-blokk	219 383
Bindingsverk, Stål	838	Bindingsverk, Stål	838	Bindingsverk, Stål	838
Bindingsverk, tre	151	Bindingsverk, tre	151	Bindingsverk, tre	151
Steinull	49 893	Steinull	49 893	Steinull	49 893
Polystyren	10 672	Polystyren	10 672	Polystyren	10 672
GU-plater	1 640	GU-plater	1 640	GU-plater	1 640
Vindu	555 316	Vindu	555 316	Vindu	555 316
Innvegger	1 713 873	Innvegger	481 529	Innvegger	1 109 053
Vegger av prefab. Betong	1 232 344	Vegger av prefab. Betong	-	Vegger av prefab. Betong	627 524
Lettklinker	58 037	Lettklinker	58 037	Lettklinker	58 037
Puss	4 653	Puss	4 653	Puss	4 653
Bindingsverk, stål	1 790	Bindingsverk, stål	1 790	Bindingsverk, stål	1 790
Steinull	78 193	Steinull	78 193	Steinull	78 193
Kryssfinerplater	338 855	Kryssfinerplater	338 855	Kryssfinerplater	338 855
Dekker	9 352 139	Dekker	887 749	Dekker	3 970 145
Hulldekker	6 049 390	Hulldekker	-	Hulldekker	2 386 384
Mineralull	23 273	Mineralull	23 273	Mineralull	23 273
Påstøp	2 415 000	Påstøp	-	Påstøp	696 012
Asfaltdekke	539	Asfaltdekke	539	Asfaltdekke	539
Massiv parkett	-	Massiv parkett	-	Massiv parkett	-
Linoleum	288 743	Linoleum	288 743	Linoleum	288 743
Vinyl	541 971	Vinyl	541 971	Vinyl	541 971
Systemgips - gips	33 223	Systemgips - gips	33 223	Systemgips - gips	33 223
Yttertak	2 303 001	Yttertak	446 761	Yttertak	1 179 017
Hulldekker	1 856 240	Hulldekker	-	Hulldekker	732 256
Polystyren	446 545	Polystyren	446 545	Polystyren	446 545
2 lag Asfaltpap	216	2 lag Asfaltpap	216	2 lag Asfaltpap	216
Trapper	446	Trapper	446	Trapper	446

Klimagassregnskap				
		Fordeling		
	Versjon 4		Norsk bransje	
Plasstøpt betong*	5 303 441	25 %	2 604 768	20 %
Hulldekker	7 905 630	37 %	3 118 640	24 %
Betongsøyler	272 169	1 %	209 798	2 %
Betongbjelker	1 339 256	6 %	942 106	7 %
Vegelementer	1 232 344	6 %	627 524	5 %
Annent	5 464 584	25 %	5 464 584	42 %
TOTALT [kg CO2-ekv]	21 517 424	100 %	12 967 420	100 %
* Med armering				
Muligheter for reduksjon: Plasstøpt betong				
Version 4	5 303 441	5 303	Reduksjon	
Standard	2 604 768	2 605	51 %	Reduksjon
Optimalisert	2 466 360	2 466	53 %	5 %
Fornebu S	2 292 861	2 293	57 %	12 %
Teoretisk	2 054 712	2 055	61 %	21 %
Muligheter for reduksjon: Hulldekker				
Version 4	7 905 630	7 906	Reduksjon	
Norsk bransje	3 118 640	3 119	61 %	Reduksjon
Hulldekker med 16,5 % FA	2 809 171	2 809	64 %	10 %
Hulldekker med 22 % FA	2 710 042	2 710	66 %	13 %
Hulldekker med 33 % FA	2 506 050	2 506	68 %	20 %
Totalt klimagassregnskap				
Version 4	21 517 424	21 517	Reduksjon	
Norsk bransje	12 967 420	12 967	40 %	Reduksjon
Plasstøpt, Optimalisert	12 829 012	12 829	40 %	1,1 %
Plasstøpt, Fornebu S	12 655 513	12 656	41 %	2,4 %
Plasstøpt, Teoretisk	12 417 364	12 417	42 %	4,2 %
Plasstøpt, Fornebu S + HD 3	12 346 044	12 346	43 %	4,8 %
Plasstøpt, Teoretisk + HD 2	12 008 766	12 009	44 %	7,4 %
Plasstøpt, Teoretisk + HD 3	11 804 774	11 805	45 %	9,0 %

Klimagassregnskap for Fornebu S Utslipp for prefabrikkerte betongelementer

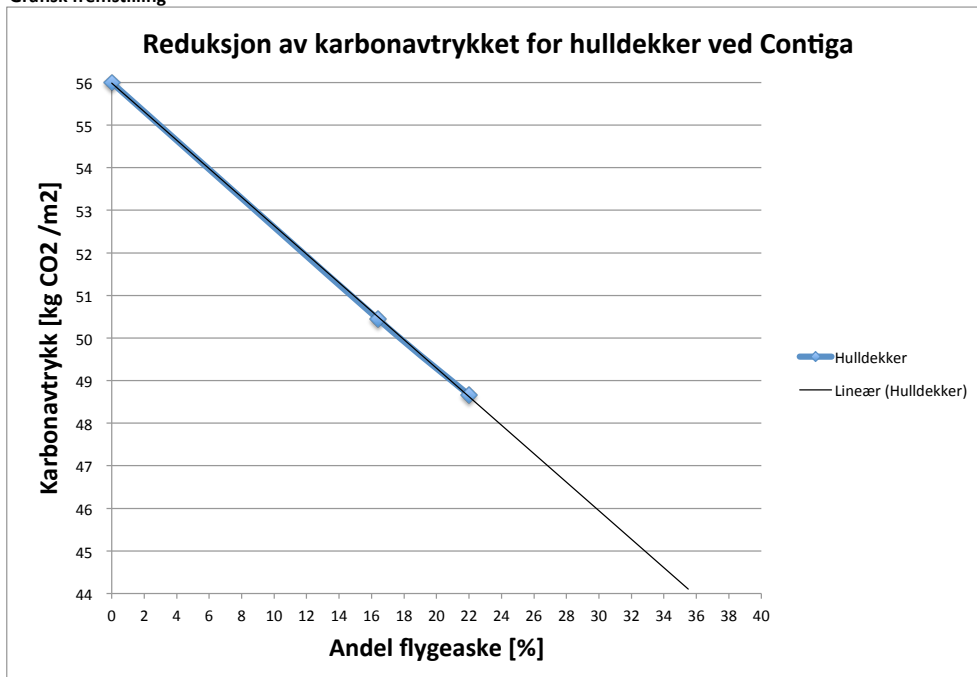
Inndata Hulldekker		
Hulldekker i Dekker	42614	m2
Hulldekker i Yttertak	13076	m2
Total mengde HD	55 690	m2
Utslippstall HD 0 % FA	56	kg CO2/m2
Sementmengde	51	kg/m2
Utslippstall Industrisement	733	Kg CO2/tonn sement

NB! Oppdateringer på Contigas EPD-kalkulator gir ikke lenger mulighet for utslipp per m2. Dermed er det regnet ut gjennomsnitt av to metoder.

Utslippstall fra Contiga v/Tone Bay-Erikson		
Utslippstall HD 0 % FA	148	kg CO2/tonn
Utslippstall HD 16,5 % FA	135	kg CO2/tonn
Utslippstall HD 22 % FA	131	kg CO2/tonn
Omregnet utslippstall		
Utslippstall HD 0 % FA	56	kg CO2/m2
Utslippstall HD 16,5 % FA*	51	kg CO2/m2
Utslippstall HD 22 % FA*	50	kg CO2/m2
*Antar samme mengde betong per m2 hulldekke		
Isolerer utslippet fra sementen		
Utslippstall for sementen per m2 HD**	37	kg CO2/m2 HD
Utslippstall for faste verdier per m2 HD	19	kg CO2/m2 HD
**DVS. at 37 kg CO2 kommer fra sementen		
Omregnet utslippstall		
Utslippstall HD 0 % FA	56	kg CO2/m2 HD
Utslippstall HD 16,5 % FA	50	kg CO2/m2 HD
Utslippstall HD 22 % FA	48	kg CO2/m2 HD
Gjennomsnitt av utslippstall		
Utslippstall HD 0 % FA	56	kg CO2/m2 HD
Utslippstall HD 16,5 % FA	50	kg CO2/m2 HD
Utslippstall HD 22 % FA	49	kg CO2/m2 HD
Utslippstall basert på grafisk fremstilling		
Utslippstall HD 33 % FA	45	kg CO2/m2 HD

NB2! Hulldekker med 33 % flygeaske er basert på resepten ved Telemark Kriresenter.

Grafisk fremstilling



Klimagassregnskap for Fornebu S
Utslipp for prefabrikkerte betongelementer

Betongresept fra Telemark Krisesenter		
Materiale	HD 33 % FA	Referanse
Industrisement	254	380
Flygeaske k= 0,7	127	-
Betofill SA	47	-
Skolt	980	980
Laugslet	1 000	1 040
Slamvann	80	80
Masseforhold	0,4	0,41

Totalt utslipp for hulldekkene				
Beregning av utslipp	Dekker [kg CO2]	Yttertak [kg CO2]	Totalt [kg CO2]	Totalt [tonn CO2]
Utslippstall HD 0 % FA	2 386 384	732 256	3 118 640	3 119
Utslippstall HD 16,5 % FA	2 149 578	659 593	2 809 171	2 809
Utslippstall HD 22 % FA	2 073 725	636 317	2 710 042	2 710
Utslippstall HD 33 % FA	1 917 630	588 420	2 506 050	2 506

Utslipp for annen prefab.					
Produkt	Utslipp [kg CO2/tonn]	Densitet [tonn/m3]	Utslipp [kg CO2/m3]	Mengde [m3]	Utslipp [kg CO2]
Betongbjelke, EPD Contiga	188	2,4	451	2088	942 106
Betongsøyle, EPD Contiga	196	2,4	470	446	209 798
	Utslipp [kg CO2/m2]			Mengde [m2]	
Veggelement, EPD Contiga	118			5318	627 524

**Klimagassregnskap for Fornebu S
Utslipp for plaststøpt betong**

Utslippstall fra NorBetong [kg CO2/m3]						
Betongkvalitet	Sementtype	Versjon 4	Standard	Optimalisert	Fornebu S	Teoretisk
B25 M90	Std. FA	451	186	186	186	166
B35 M60	Std. FA	451	246	237	204	195
B35 MF40	Anl. FA	451	287	254	223	196
B45 MF40	Anl. FA	451	279	246	216	190
B35 M40	Anl. FA	451	279	258	228	199

*Ikke utprøvd

Mengder fra Rambøll [m3]					
Betongkvalitet	Grunn og fundamenter	Påstøp	Yttervegg		
B25 M90		1 871			
B35 M60*					
B35 MF40	1 179				
B45 MF40	303				
B35 M40	2 651		1 611		

* Ble brukt veldig lite grunnet dårlig støpelighet

Utslipp av klimagasser for betong [kg CO2]							
	Grunn og fundamenter	Påstøp	Yttervegg	Totalt	Totalt [tonn CO2]	Armering fra Versjon 4 [kg CO2]	Tot. inkl. armering
Versjon 4	1 863 983	1 687 642	726 561	4 278 186	4 278	296 748	4 574 934
Standard	1 162 539	696 012	449 469	2 308 020	2 308	296 748	2 604 768
Optimalisert	1 057 962	696 012	415 638	2 169 612	2 170	296 748	2 466 360
Fornebu S	932 793	696 012	367 308	1 996 113	1 996	296 748	2 292 861
Teoretisk	816 203	621 172	320 589	1 757 964	1 758	296 748	2 054 712

Vedlegg F Tabellkapasiteter fra Contiga

Tabellkapasiteter for hulldekker fra Contiga

Hulldekkekapasiteter					
Hulldekker	Antall spenntau	Momentkapasitet [kNm/m]	Skjærkapasitet [kN/m]	As [mm ²]	Ac [mm ²]
HD 265	6	154	82,5	600	162 400
HD 265	8	201	87,1	800	162 400
HD 265	10	248	91,6	1000	162 400
HD 320	7	220	108,2	700	196 200
HD 320	8	250	111,0	800	196 200
HD 320	9	280	113,8	900	196 200
HD 400	7	286	138,3	700	236 800
HD 400	8	326	142,0	800	236 800

Vedlegg G Dimensjonering av huldekketystemer

Dimensjonering av hulldekkssystemer
Dimensjonering

Lastsituasjon Plan 1		Dimensjonering av hulldekker, bjelke og søyler	
g	2 kN/m ²		
p	5 kN/m ²		
		P	
Lastfaktor ULS A	1,35	1,05	
Lastfaktor ULS B	1,2	1,5	
Hulldekkелеment	g tot [kN/m ²]	ULS A [kN/m ²]	ULS B [kN/m ²]
HD 200	2,85	4,85	11,80
HD 265	3,92	5,92	13,24
HD 320	4,7	6,7	14,6
HD 400	5,5	7,5	15,5
			17,7
			20,0
			22,3

HD Moment- og skjærkapasitet	
Hulldekkелеment	Antall spenntau
HD 265	6
HD 320	8
HD 400	10
	12
	14
	16
	18
	20
	22
	24
	26
	28
	30

Hulldekkелеmentdimensjonering			
Spenntau	HD 265	HD 320	HD 400
6	8	10	12
7	9	11	13
8	10	12	14
9	11	13	15
10	12	14	16

Skjærkapasitet [kN/m]		Moment [kNm]	
HD 265	62	HD 265	124
HD 320	71	HD 320	143
HD 400	85	HD 400	171
	90		180
	95		194
	100		206
	105		218
	110		229
	115		240
	120		250
	125		260
	130		268

Last for bjelke og søyledimensjonering			
HD 265	0,71	HD 265	0,81
HD 320	0,81	HD 320	0,91
HD 400	0,91	HD 400	1,01
	0,95		1,05
	1,00		1,10
	1,05		1,15
	1,10		1,20
	1,15		1,25
	1,20		1,30
	1,25		1,35
	1,30		1,40
	1,35		1,45
	1,40		1,50

Bjelke- og søyledimensjonering			
HD 265	0,64	HD 265	0,75
HD 320	0,75	HD 320	0,85
HD 400	0,85	HD 400	1,00
	0,90		1,05
	0,95		1,10
	1,00		1,15
	1,05		1,20
	1,10		1,25
	1,15		1,30
	1,20		1,35
	1,25		1,40
	1,30		1,45
	1,35		1,50
	1,40		1,55
	1,45		1,60
	1,50		1,65
	1,55		1,70
	1,60		1,75
	1,65		1,80
	1,70		1,85
	1,75		1,90
	1,80		1,95
	1,85		2,00
	1,90		2,05
	1,95		2,10
	2,00		2,15
	2,05		2,20
	2,10		2,25
	2,15		2,30
	2,20		2,35
	2,25		2,40
	2,30		2,45
	2,35		2,50
	2,40		2,55
	2,45		2,60
	2,50		2,65
	2,55		2,70
	2,60		2,75
	2,65		2,80
	2,70		2,85
	2,75		2,90
	2,80		2,95
	2,85		3,00
	2,90		3,05
	2,95		3,10
	3,00		3,15
	3,05		3,20
	3,10		3,25
	3,15		3,30
	3,20		3,35
	3,25		3,40
	3,30		3,45
	3,35		3,50
	3,40		3,55
	3,45		3,60
	3,50		3,65
	3,55		3,70
	3,60		3,75
	3,65		3,80
	3,70		3,85
	3,75		3,90
	3,80		3,95
	3,85		4,00
	3,90		4,05
	3,95		4,10
	4,00		4,15
	4,05		4,20
	4,10		4,25
	4,15		4,30
	4,20		4,35
	4,25		4,40
	4,30		4,45
	4,35		4,50
	4,40		4,55
	4,45		4,60
	4,50		4,65
	4,55		4,70
	4,60		4,75
	4,65		4,80
	4,70		4,85
	4,75		4,90
	4,80		4,95
	4,85		5,00
	4,90		5,05
	4,95		5,10
	5,00		5,15
	5,05		5,20
	5,10		5,25
	5,15		5,30
	5,20		5,35
	5,25		5,40
	5,30		5,45
	5,35		5,50
	5,40		5,55
	5,45		5,60
	5,50		5,65
	5,55		5,70
	5,60		5,75
	5,65		5,80
	5,70		5,85
	5,75		5,90
	5,80		5,95
	5,85		6,00
	5,90		6,05
	5,95		6,10
	6,00		6,15
	6,05		6,20
	6,10		6,25
	6,15		6,30
	6,20		6,35
	6,25		6,40
	6,30		6,45
	6,35		6,50
	6,40		6,55
	6,45		6,60
	6,50		6,65
	6,55		6,70
	6,60		6,75
	6,65		6,80
	6,70		6,85
	6,75		6,90
	6,80		6,95
	6,85		7,00
	6,90		7,05
	6,95		7,10
	7,00		7,15
	7,05		7,20
	7,10		7,25
	7,15		7,30
	7,20		7,35
	7,25		7,40
	7,30		7,45
	7,35		7,50
	7,40		7,55
	7,45		7,60
	7,50		7,65
	7,55		7,70
	7,60		7,75
	7,65		7,80
	7,70		7,85
	7,75		7,90
	7,80		7,95
	7,85		8,00
	7,90		8,05
	7,95		8,10
	8,00		8,15
	8,05		8,20
	8,10		8,25
	8,15		8,30
	8,20		8,35
	8,25		8,40
	8,30		8,45
	8,35		8,50
	8,40		8,55
	8,45		8,60
	8,50		8,65
	8,55		8,70
	8,60		8,75
	8,65		8,80
	8,70		8,85
	8,75		8,90
	8,80		8,95
	8,85		9,00
	8,90		9,05
	8,95		9,10
	9,00		9,15
	9,05		9,20
	9,10		9,25
	9,15		9,30
	9,20		9,35
	9,25		9,40
	9,30		9,45
	9,35		9,50
	9,40		9,55
	9,45		9,60
	9,50		9,65
	9,55		9,70
	9,60		9,75
	9,65		9,80
	9,70		9,85
	9,75		9,90
	9,80		9,95
	9,85		10,00
	9,90		10,05
	9,95		10,10
	10,00		10,15
	10,05		10,20
	10,10		10,25
	10,15		10,30
	10,20		10,35
	10,25		10,40
	10,30		10,45
	10,35		10,50
	10,40		10,55
	10,45		10,60
	10,50		10,65
	10,55		10,70
	10,60		10,75
	10,65		10,80
	10,70		10,85
	10,75		10,90
	10,80		10,95
	10,85		11,00
	10,90		11,05
	10,95		11,10
	11,00		11,15
	11,05		11,20
	11,10		11,25
	11,15		11,30
	11,20		11,35
	11,25		11,40
	11,30		11,45
	11,35		11,50
	11,40		11,55
	11,45		11,60
	11,50		11,65
	11,55		11,70
	11,60		11,75
	11,65		11,80
	11,70		11,85
	11,75		11,90
	11,80		11,95
	11,85		12,00
	11,90		12,05
	11,95		12,10
	12,00		12,15
	12,05		12,20
	12,10		12,25
	12,15		12,30
	12,20		12,35
	12,25		12,40
	12,30		12,45
	12,35		12,50
	12,40		12,55
	12,45		12,60
	12,50		12,65
	12,55		12,70
	12,60		12,75
	12,65		12,80
	12,70		12,85
	12,75		12,90
	12,80		12,95
	12,85		13,00
	12,90		13,05
	12,95		13,10
	13,00		13,15
	13,05		13,20
	13,10		13,25
	13,15		13,30
	13,20		13,35
	13,25		13,40
	13,30		13,45
	13,35		13,50
	13,40		13,55
	13,45		13,60
	13,50		13,65
	13,55		13,70
	13,60		13,75
	13,65		

**Dimensjonering av hulldekkesystemer
Armeringsmengder**

Armeringsmengder												
Armeringsmengde for bjelkene												
Bjelke bo/h/h1	Tverrsnitt, Ac [mm ²]	Kilde	Momentkapasitet [kNm]	h [mm]	d [mm]	z [mm]	f _{pd} [N/mm ²]	As, spenn [mm ²]	As, lengde [mm ²]	bo [mm]	As, bøyle [mm ² /m]	
500/470/200	295000	Dim. Fornebu	915	470	410	328	1330	2097	1964	500	170	
500/600/300	390000	Dim. Fornebu	1200	600	540	432	1330	2089	1964	500	170	
600/400/200	300000	Dim. Fornebu	618	400	340	272	1330	1708	1964	600	204	
200/500/200	160000	Tabell A 4.14	385	500	440	352	1330	822	1964	200	68	
400/600/300	330000	Dim. Fornebu	1100	600	540	432	1330	1915	1964	400	136	
300/600/300	270000	Tabell A 4.14	640	600	540	432	1330	1114	1964	300	102	
400/700/300	370000	Tabell A 4.14	1105	700	640	512	1330	1623	1964	400	136	
400/600/200	300000	Tabell A 4.14	795	600	540	432	1330	1384	1964	400	136	
300/700/300	300000	Tabell A 4.14	895	700	640	512	1330	1314	1964	300	102	
200/600/200	180000	Tabell A 4.14	545	600	540	432	1330	949	1964	200	68	
400/600/300	330000	Tabell A 4.15	795	600	540	432	1330	1384	1964	400	136	

Armering for søyler			
Søyler b/h	Diameter [mm]	Tverrsnitt, Ac [mm ²]	Slakkarmering [mm ²]
600*600	4*25 + 2*20	360 000	3219
500*500	4*25 + 2*20	250 000	3219
400*400	4*25	160 000	1963
300*300	4*20	90 000	1256
200*200	4*20	40 000	1256

Utrekning av spennarmering, basert på tall fra Contiga

Tabellkapasiter for bjelkene er enten hentet fra Tabell A 4.14 i Betongelementboken Bind A eller fra de bjelkene som er gjort tilgjengelige for Fornebu S. I tabell A 4.14 er det ikke oppgitt armeringsmengder. Det er derfor gjort et overslag basert på anbefaling av Geir Udahl fra Contiga (Udahl 2013). Ettersom armeringsmengden for bjelkene ved Forenbu S er tilpasset, er det valgt å gjøre et overslag på armeringen både for slakkarmeringen og spennarmeringen for å likestille tilfellene mest mulig. Mengden spennarmering er regnet ut fra gjeldende momentkapasitet for bjelkene.

$$A_s = M_{RD} / (z * f_{pd})$$

$$d = h - a$$

$$z = 0,8 \quad d = 0,8 (h - a)$$

$$f_{pd} = f_{p,0,1,k} * \text{tap} / \gamma_p$$

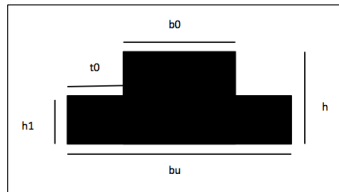
$$\text{tap} = 10 \%$$

$$\gamma_p = 1,15$$

$$f_{p,0,1,k} = 1700 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{pd} = 1700 * 0,9 / 1,15 = 1330 \text{ N/mm}^2$$

$$a\text{-mål} = 60 \text{ mm}$$



Utrekning av lengdearmering

Antar gjennomsnittet for slakkarmering basert på de bjelkene som er gjort tilgjengelig for Forenbu S. Det er vanligvis en stang i hvert hjørne for å binde armeringen sammen.

Diameter settes lik 25 mm.

$$A_s, \text{ stykk} = (25/2)^2 * 3,14 = 491 \text{ mm}^2$$

$$A_s, \text{ lengde} = \text{antall} * A_s, \text{ stykk}$$

Utrekning for bøylearmering

Antar minimumsarmering fra EC 2.

$$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$p_w, \text{ min} = 0,1 * \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,0034$$

$$A_{sw}/s = p_w, \text{ min} * b_0 \text{ [mm}^2/\text{m]}$$

Utrekning av søylearmering

Det er valgt søylediameter etter tykkelsen på tilhørende bjelke. Deretter er det valgt armering etter dimensjoner på de søylene som er gjort tilgjengelige på Fornebu S. Det er tatt utgangspunkt i en stang i hvert hjørne.

$$A_s, \text{ stykk} = (d/2)^2 * 3,14$$

$$A_s, \text{ søyle} = \text{antall} * A_s, \text{ stykk}$$

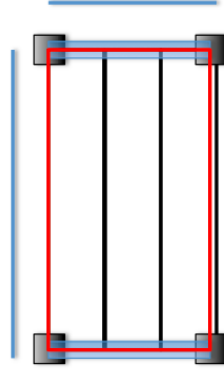
Dimensjonering av hulldekkssystemer
Materialregnskap

Materialregnskap																	
HD265																	
Dekkespenn	Bjelkespenn	Betongvolum			Betongmengde			Spennarmeringsvolum			Spennarmeringsmengde			Slakkarmeringsmengde			
		Dekke [m3]	Bjelke [m3]	Søyle [m3]	Totalt [m3]	Mengde [kg]	Mengde [kg/m2]	Dekke [m3]	Bjelke [m3]	Totalt [m3]	Mengde [kg]	Mengde [kg/m2]	Bjelke [m3]	Søyle [m3]	Totalt [m3]	Mengde [kg]	Mengde [kg/m2]
8,25	8	8,9	2,36	0,6	11,9	29 730	450	0,03	0,02	0,05	391	5,9	0,02	0,01	0,02	195	2,9
10	8	10,8	3,12	0,6	14,5	36 367	455	0,05	0,02	0,07	550	6,9	0,02	0,01	0,02	195	2,4
10	6	8,1	1,8	0,9	10,8	26 960	449	0,04	0,01	0,05	394	6,6	0,01	0,01	0,02	163	2,7
12	6	9,7	1,77	0,6	12,1	30 285	421	0,06	0,01	0,07	570	7,9	0,01	0,01	0,02	161	2,2
12	4	6,5	0,64	0,1	7,2	18 080	377	0,04	0,00	0,04	340	7,1	0,01	0,00	0,01	87	1,8

HD320																	
Dekkespenn	Bjelkespenn	Betongvolum			Betongmengde			Spennarmeringsvolum			Spennarmeringsmengde			Slakkarmeringsmengde			
		Dekke [m3]	Bjelke [m3]	Søyle [m3]	Totalt [m3]	Mengde [kg]	Mengde [kg/m2]	Dekke [m3]	Bjelke [m3]	Totalt [m3]	Mengde [kg]	Mengde [kg/m2]	Bjelke [m3]	Søyle [m3]	Totalt [m3]	Mengde [kg]	Mengde [kg/m2]
8,25	8	10,8	2,64	0,4	13,8	34 538	523	0,04	0,02	0,05	422	6,4	0,02	0,00	0,02	169	2,6
10	8	13,1	2,64	0,4	16,1	40 260	503	0,05	0,02	0,06	487	6,1	0,02	0,00	0,02	169	2,1
10	6	9,8	1,62	0,2	11,6	29 115	485	0,04	0,01	0,04	327	5,5	0,01	0,00	0,01	97	1,6
12	6	11,8	1,98	0,4	14,1	35 340	491	0,05	0,01	0,07	514	7,1	0,01	0,00	0,02	136	1,9
12	4	7,8	0,64	0,1	8,6	21 460	447	0,04	0,00	0,04	308	6,4	0,01	0,00	0,01	87	1,8

HD400																	
Dekkespenn	Bjelkespenn	Betongvolum			Betongmengde			Spennarmeringsvolum			Spennarmeringsmengde			Slakkarmeringsmengde			
		Dekke [m3]	Bjelke [m3]	Søyle [m3]	Totalt [m3]	Mengde [kg]	Mengde [kg/m2]	Dekke [m3]	Bjelke [m3]	Totalt [m3]	Mengde [kg]	Mengde [kg/m2]	Bjelke [m3]	Søyle [m3]	Totalt [m3]	Mengde [kg]	Mengde [kg/m2]
8,25	8	13,0	2,96	0,4	16,4	40 920	620	0,04	0,01	0,05	404	6,1	0,02	0,00	0,02	169	2,6
10	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	6	11,8	1,8	0,4	14,0	35 060	584	0,04	0,01	0,04	340	5,7	0,01	0,00	0,02	136	2,3
12	6	14,2	1,8	0,2	16,2	40 560	563	0,05	0,01	0,06	439	6,1	0,01	0,00	0,02	121	1,7
12	4	9,5	0,72	0,1	10,3	25 720	536	0,03	0,00	0,04	281	5,9	0,01	0,00	0,01	87	1,8

HD-Spenn



Materialsystem:
Hele HD
1 søyle (4 * ¼ søyle)
Søylehøyde = 2,4 m
1 bjelke (2 * ½ bjelke)

Dimensjonering av hulldekkystemer
Klimagassregnskap

Klimagassregnskap											
HD265											
Dekkespenn	Bjelkespenn	Betong			Spennarmring			Slakkarmring			Totalt
		Mengde [kg/m ²]	Utslippstall [kg CO ₂ /kg]	Utslipp [kg CO ₂ /m ²]	Mengde [kg/m ²]	Utslippstall [kg CO ₂ /kg]	Utslipp [kg CO ₂ /m ²]	Mengde [kg/m ²]	Utslippstall [kg CO ₂ /kg]	Utslipp [kg CO ₂ /m ²]	
8,25	8	450,5	0,104	47	5,9	2,89	17	2,9	0,47	1,4	65
10	8	454,6	0,104	47	6,9	2,89	20	2,4	0,47	1,1	68
10	6	449,3	0,104	47	6,6	2,89	19	2,7	0,47	1,3	67
12	6	420,6	0,104	44	7,9	2,89	23	2,2	0,47	1,1	67
12	4	376,7	0,104	39	7,1	2,89	20	1,8	0,47	0,9	60

HD320											
Dekkespenn	Bjelkespenn	Betong			Spennarmring			Slakkarmring			Totalt
		Mengde [kg/m ²]	Utslippstall [kg CO ₂ /kg]	Utslipp [kg CO ₂ /m ²]	Mengde [kg/m ²]	Utslippstall [kg CO ₂ /kg]	Utslipp [kg CO ₂ /m ²]	Mengde [kg/m ²]	Utslippstall [kg CO ₂ /kg]	Utslipp [kg CO ₂ /m ²]	
8,25	8	523,3	0,104	54	6,4	2,89	18	2,6	0,47	1,2	74
10	8	503,3	0,104	52	6,1	2,89	18	2,1	0,47	1,0	71
10	6	485,3	0,104	50	5,5	2,89	16	1,6	0,47	0,8	67
12	6	490,8	0,104	51	7,1	2,89	21	1,9	0,47	0,9	72
12	4	447,1	0,104	46	6,4	2,89	19	1,8	0,47	0,9	66

HD400											
Dekkespenn	Bjelkespenn	Betong			Spennarmring			Slakkarmring			Totalt
		Mengde [kg/m ²]	Utslippstall [kg CO ₂ /kg]	Utslipp [kg CO ₂ /m ²]	Mengde [kg/m ²]	Utslippstall [kg CO ₂ /kg]	Utslipp [kg CO ₂ /m ²]	Mengde [kg/m ²]	Utslippstall [kg CO ₂ /kg]	Utslipp [kg CO ₂ /m ²]	
8,25	8	620,0	0,104	64	6,1	2,89	18	2,6	0,47	1,2	83
10	8	-	0,104	61	5,7	2,89	16	2,3	0,47	1,1	78
12	6	563,3	0,104	58	6,1	2,89	18	1,7	0,47	0,8	77
12	4	535,8	0,104	56	5,9	2,89	17	1,8	0,47	0,9	73

Resept hos Contiga i Oslo			Resept for Contiga i Trondheim levert av Unicon		
Materialer	kg/m ³	kg/m ³	Materialer	kg/m ³	kg/m ³
Norcem Ind.	340	358	Norcem Ind.	358	294
Betofill	60	62	60 Kalkstein	62	47
Sand 0/8	1005	964	Sand 0/8	964	940
Pukk	998	903	Pukk	903	893
Slamvann	144	0	144 Flygeaske	0	88
Vann	40	180	Vann	180	180
Totalt	2587	2467	Totalt	2467	2442

Utslippstall [kg/m³] 259 Utslippstall [kg/m³] 270 230

Antagelser for utslippstall av hulldekkbetong

Contiga leverer kun EPD-er for ferdigprodukter. Det er derfor gjort et overslag på utslippet for betongen som blir brukt i vanlig hulldekkproduksjon. Anslaget er basert på betongresepten til Contiga for hulldekker i Moss og resperter laget av Unicon for Contiga for hulldekkproduksjon i Trondheim. Sistnevnte er hentet fra masteroppgaven til Margrethe Ollendorff (Ollendorff 2012). Det er antatt at sementen er ansvarlig for utslippet og interpolert utslippstall etter sementmengden. Utslippstallet er kun et estimat.

Utslippstallene for spennarmring og slakkarmring er hentet fra henholdsvis stål fra malm og stål fra skrap, og er fra klimagassregnskap.no.

Vedlegg H Utdrag fra støpedagboken til Skanska Anlegg

Utdrag fra Skanska Anlegg sin støpedagbok

Liste over veggstøp i perioden Desember 2012 til Mars 2013									
Nummer	Dag	Dato	Oppstart	Slutt	Timer	Temperatur	Resept	Kvalitet	Mengde
1	Fredag	07.12.12				-4	FS3	B35 M60	45,5
2	Tirsdag	11.12.12	08:20	18:00	09:40	-14,9	FS3	B35 M60	29
3	Onsdag	19.12.12	08:35	14:14	05:39	-2	FS9	B35MF40	27
4	Torsdag	20.12.12	08:05	17:30	09:25	-	FS3	B35 M60	42
5	Torsdag	10.01.13	08:15	18:10	09:55	0	FS5	B35 MF40	17,5
6	Fredag	11.01.13	08:30	20:30	12:00	-5	FS3	M35 M60	52
7	Fredag	18.01.13	08:20	16:30	08:10	-10	FS9	B35 MF40	41,5
8	Mandag	21.01.13	08:30	14:30	06:00	-7	FS10	B35 MF40	23
9	Torsdag	24.01.13	08:15	18:00	09:45	-10	FS10	B35 MF40	22
10	Fredag	25.01.13	07:30	16:30	09:00	-	FS9	B35 MF40	42
11	Fredag	25.01.13	08:45	16:30	07:45	-	FS9	B35 MF40	22
12	Tirsdag	29.01.13	12:30	19:30	07:00	2	FS9	B35 MF40	17
13	Fredag	01.02.13	08:15	18:00	09:45	-10	FS9	B35 MF40	22
14	Fredag	01.02.13	08:00	20:00	12:00	-10	FS9	B35 MF40	42
15	Fredag	08.02.13	08:10	20:00	11:50	-3	FS9	B35 MF40	32,5
16	Lørdag	09.02.13	07:30	15:15	07:45	-7	FS9	B35 MF40	28
17	Lørdag	09.02.13	08:15	15:15	07:00	-7	FS9	B35 MF40	-
18	Fredag*	15.02.13	08:15	17:00	08:45	-2	FS9	B35 MF40	52
19	Lørdag	16.02.13	08:00	17:30	09:30	-	FS9	B35 MF40	46
20	Lørdag	16.02.13	08:00	17:30	09:30	-	FS9	B35 MF40	23
21	Fredag	22.02.13	09:00	10:15	01:15	-3	FS9	B35 MF40	14
22	Fredag	22.02.13	08:15	15:00	06:45	-3	FS9	B35 MF40	19
23	Lørdag	23.02.13	08:00	17:30	09:30	-2	FS9	B35 MF40	45
24	Lørdag	23.02.13	08:30	15:00	06:30	-1	FS9	B35 MF40	30
25	Fredag	01.03.13	08:50	19:00	10:10	2	FS9	B35 MF40	62
26	Fredag	01.03.13	08:30	17:30	09:00	2	FS9	B35 MF40	30
27	Onsdag	06.03.13	07:30	14:45	07:15	4	FS9	B35 MF40	34,5
28	Onsdag	06.03.13	14:30	21:30	07:00	4	FS9	B35 MF40	13,5
29	Fredag	08.03.13	08:00	16:00	08:00	-1	FS9	B35 MF40	51
30	Onsdag	13.03.13	07:30	12:00	04:30	-7	FS9	B35 MF40	22

*Gjennomført temperaturlogging

Temperaturdata		
Dato	Temperatur	Kommentar
15.03.13	0	Pent
13.03.13	-7	Pent
11.03.13	-9	Pent
08.03.13	-1	Pent
07.03.13	2	Pent
06.03.13	4	Pent
05.03.13	5	Pent
04.03.13	5	Skyet
01.03.13	2	Pent
23.02.13	-1	Overskyet
22.02.13	-3	Opphold
21.02.13	-2	Opphold
19.02.13	-3	Sol/opphold
18.02.13	2	Sludd
15.02.13	-2	Pent
13.02.13	-4	Pent
09.02.13	-7	Opphold
08.02.13	-3	Opphold
07.02.13	-2	Opphold
06.02.13	-2	Opphold
05.02.13	-3	Lettskyet
04.02.13	-3	Snø
31.01.13	0	Pent
29.01.13	2	Pent
24.01.13	-10	Pent
21.01.13	-7	Pent
18.01.13	-10	Pent
17.01.13	-10	Pent
16.01.13	-10	Pent
15.01.13	-7	Pent
14.01.13	-13	Pent
12.01.13	-4	Pent
11.01.13	-5	
10.01.13	0	
19.12.12	-2	
12.12.12	-12	Overskyet
11.12.12	-14,9	
07.12.12	-4	

Vedlegg I Simulering med CracktestCOIN

Utdrag fra CrackTeStCOIN -rapport: Simulering av veggstøp 15.01.13

INPUT-DATA FOR VEGGSTØP MED LAVKARBONBETONG (ANL FA + FA)

Simuleringsdata

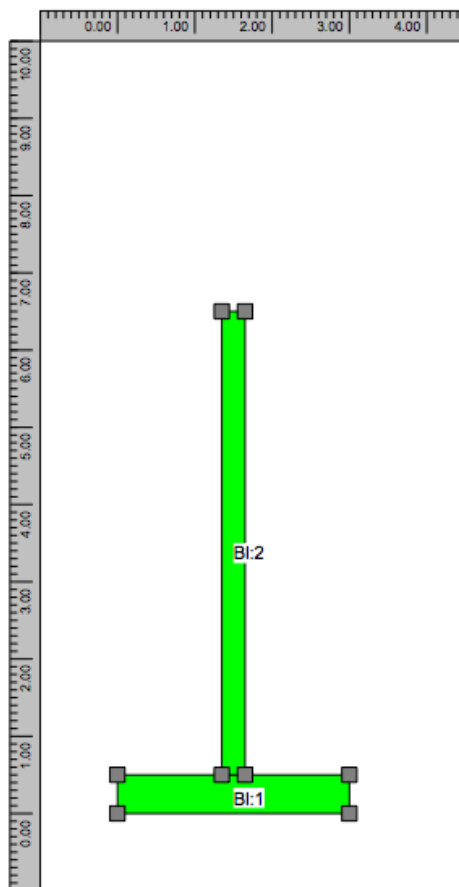
Systemnavn: CrackTeStCOIN

Systemversjon: 1.0

Opprettet: 2013.02.19 07.31.09

Laget av: Oliver Berget Skjølvik

Geometri



Blokk 1: Herdet betong (3.000;0.000) - (3.000;0.500) - (1.650;0.500) - (1.350;0.500) - (0.000;0.500) - (0.000;0.000)

Blokk 2: Simulert fylling (1.650;0.500) - (1.650;6.500) - (1.350;6.500) - (1.350;0.500)

Stimuleringstid: 72 timer

Betongparametere

Start temperatur: 22,8 °C

Materialdefinisjon

Betongresept

Materialer	[kg/m ³]
Tilslag under 8 mm	987
Tilslag over 8 mm	830
Anleggssement FA	341
Flygeaske	55
Silika	13
Vann	150
SP-Stoff	7
L-stoff	2

Material definisjon:

Density: 2384 (kg/m³)

Heat cap. 1030 (J/(kg·K))

Heat cond. 2.3 (W/m²K)

Q (J/kg) as piece-wise linear function of equivalent time of maturity (h), (equ. time; Q):
(0;0), (7.6;10000), (10.6;20000), (13.6;40000), (15.8;60000), (17.8;80000), (19.6;100000),
(21.7;120000), (25.6;140000), (32.7;160000), (41.9;180000), (55.6;200000),
(75.4;220000), (102.2;240000), (119;250000), (139.5;260000), (172.8;270000),
(200.9;275000), (255.1;280000), (279.9;281000),

AIni 36000 (J/mol)

BIni 50 (J/mol K)

ASet 36000 (J/mol)

BSet 50 (J/mol K)

A 36000 (J/mol)

B 50 (J/mol K)

s 0.26 (-)

tIni 1 (h)

tFin 8 (h)

nSet 1 (h)

FSet 1e-300 (h)

ncc28d 0.503 (h)

Fcc28 79.74 (MPa)

Boundary

Forskaling

Temperatur: Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))
(0;0) (20;0) (21;2.5) (38;0) (47;2) (56;0)

Vindstyrke: Piece-wise constant (time (h); velocity (m/s))
(0;4) (20;2.5) (25;2.5) (30;2) (35;1.5) (45;1)

Varmetapskoeffisient: Piece-wise constant (time (h); htc (W/m²K)) Wood/Plywood 0.022
(m) Free surface

Fri flate

Temperatur: Piece-wise linear (time (h);temp. (°C)) (0;0) (20;0) (21;2.5) (38;0) (47;2)
(56;0)

Vindstyrke: Constant 2 (m/s)

Varmetapskoeffisient: Constant 1000 (W/m²K) Free surface

Toppflaten

Temperatur: Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))
(0;0) (20;0) (21;2.5) (38;0) (47;2) (56;0)

Vindstyrke: Constant 3.5 (m/s)

Varmetapskoeffisient: Piece-wise constant (time (h);htc (W/m²K)) (0;3.58709) Expanded
polyethylene 0.01 (m) Free surface (72;1000)

Moving Boundary

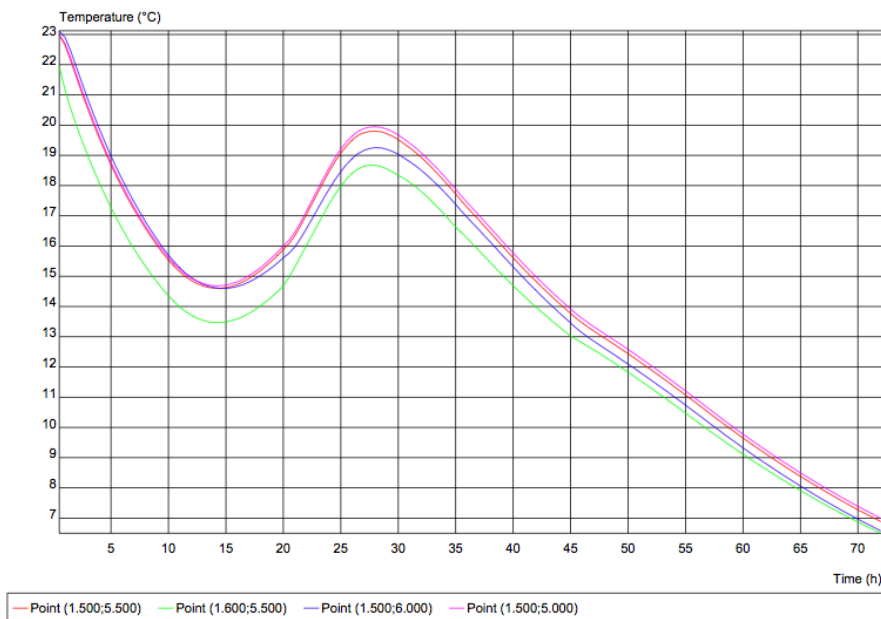
Temperatur: Constant 0 (°C)

Vindstyrke: Constant 1 (m/s)

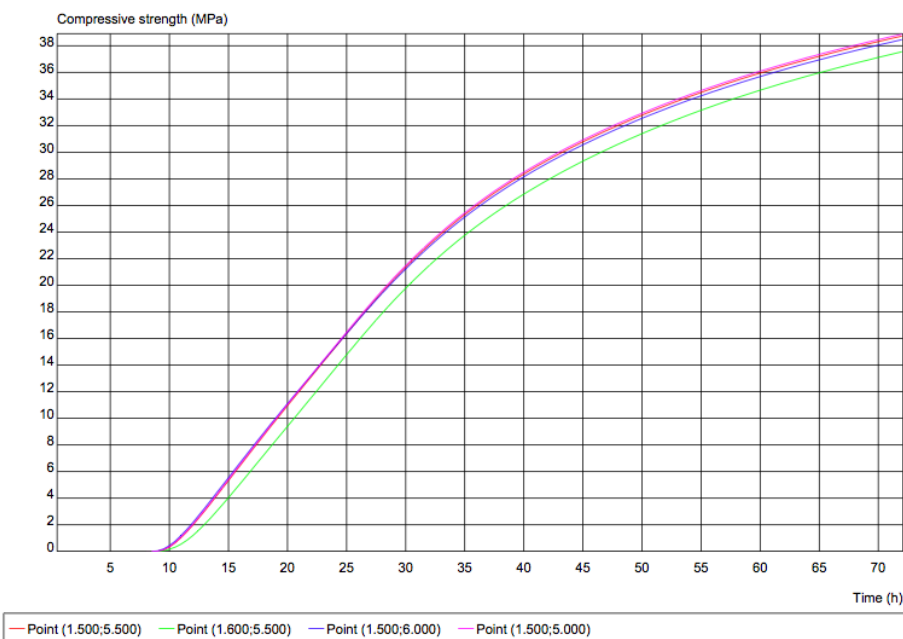
Varmetapskoeffisient: Constant 1000 (W/m²K) Free surface

Resultater

Temperaturutviklingen for forskjellige punkter i veggen



Fasthetsutviklingen for forskjellige punkter i veggen

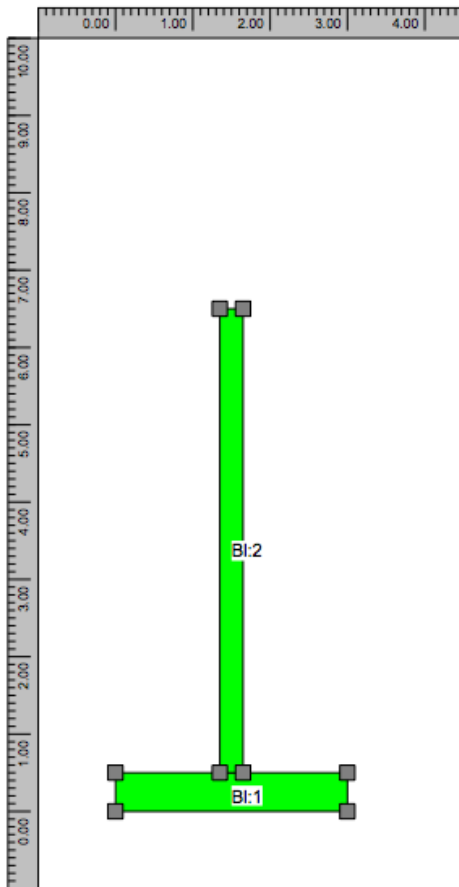


INPUT-DATA FOR VEGGSTØP MED ANLEGGSEMENT (ANL FA)

Simuleringsdata

Systemnavn: CrackTeStCOIN
Systemversjon: 1.0
Opprettet: 2013.02.19 07.31.09
Laget av: Oliver Berget Skjølsvik

Geometri



Blokk 1: Herdet betong (3.000;0.000) - (3.000;0.500) - (1.650;0.500) - (1.350;0.500) - (0.000;0.500) - (0.000;0.000)

Blokk 2: Simulert fylling (1.650;0.500) - (1.650;6.500) - (1.350;6.500) - (1.350;0.500)

Stimuleringstid: 72 timer

Betongparametere

Start temperatur: 22,8 °C

Materialdefinisjon

Betongresept

Materialer	[kg/m ³]
Tilslag under 8 mm	939
Tilslag over 8 mm	886
Anleggssement FA	378
Flygeaske	0
Silika	18
Vann	158
SP-Stoff	0
L-stoff	2

Material definisjon:

Norcem Anleggssement FA med resultater fra Oliver Berget Skjølvsvik masteroppgave (2011)

Density: 2407 (kg/m³)

Heat cap. 1040 (J/(kg·K))

Heat cond. 2.1 (W/m²K)

C 395.7 (kg/m³)

te0 0.1 (h), BetaDIni 1 (-), AIni 34840 (J/mol), BIni 292 (J/mol K)

BetaDSet 1 (-), ASet 34840 (J/mol), BSet 292 (J/mol K)

BetaD 1 (-), A 34840 (J/mol), B 292 (J/mol K)

s 0.23 (-), tIni 1 (h), tFin 8 (h), nSet 1 (-)

Fset 0.5028 (MPa)

ncc28d 1e-300 (-)

Fcc28 72.9 (MPa)

Boundary

Forskaling

Temperatur: Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))
(0;0) (20;0) (21;2.5) (38;0) (47;2) (56;0)

Vindstyrke: Piece-wise constant (time (h); velocity (m/s))
(0;4) (20;2.5) (25;2.5) (30;2) (35;1.5) (45;1)

Varmetapskoeffisient: Piece-wise constant (time (h); htc (W/m²K)) Wood/Plywood 0.022
(m) Free surface

Fri flate

Temperatur: Piece-wise linear (time (h);temp. (°C)) (0;0) (20;0) (21;2.5) (38;0) (47;2)
(56;0)

Vindstyrke: Constant 2 (m/s)

Varmetapskoeffisient: Constant 1000 (W/m²K) Free surface

Toppflaten

Temperatur: Piece-wise linear (time (h);temp. (°C))
(0;0) (20;0) (21;2.5) (38;0) (47;2) (56;0)

Vindstyrke: Constant 3.5 (m/s)

Varmetapskoeffisient: Piece-wise constant (time (h);htc (W/m²K)) (0;3.58709) Expanded
polyethylene 0.01 (m) Free surface (72;1000)

Moving Boundary

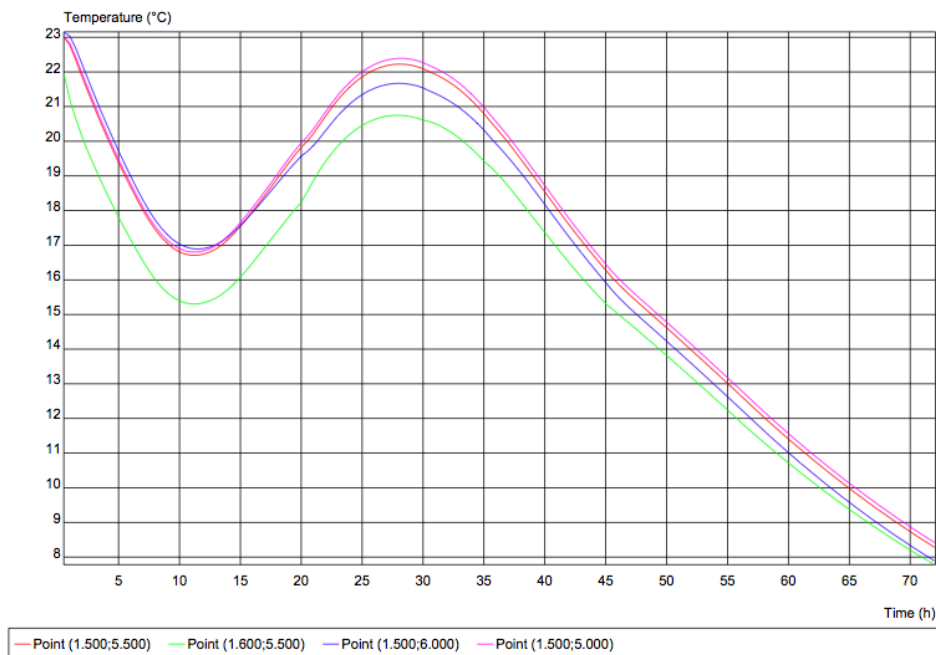
Temperatur: Constant 0 (°C)

Vindstyrke: Constant 1 (m/s)

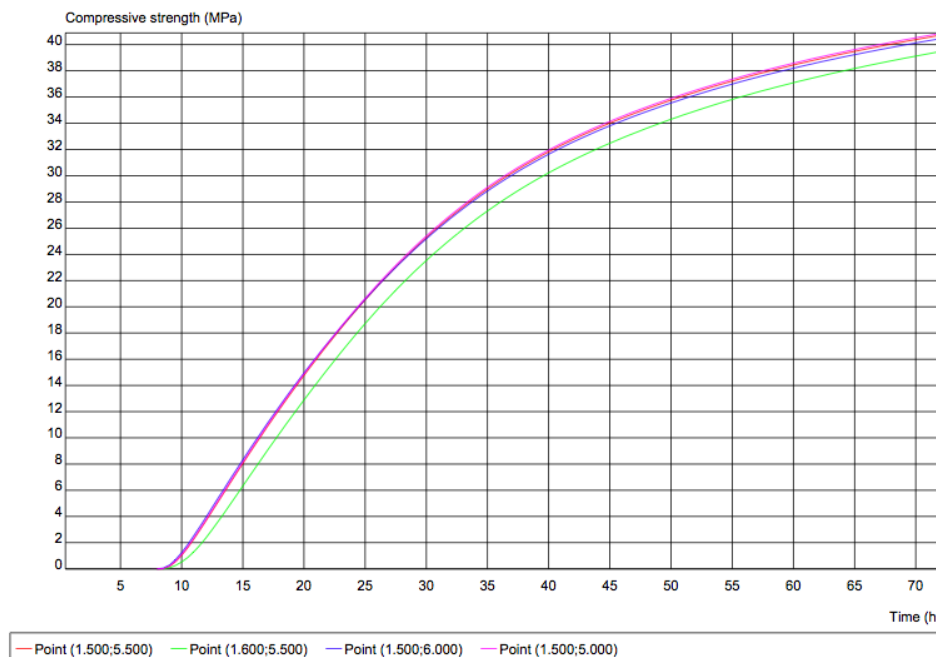
Varmetapskoeffisient: Constant 1000 (W/m²K) Free surface

Resultater

Temperaturutviklingen for forskjellige punkter i veggen



Fasthetsutviklingen for forskjellige punkter i veggen



Vedlegg J Fasthetsutvikling basert på fib-modell

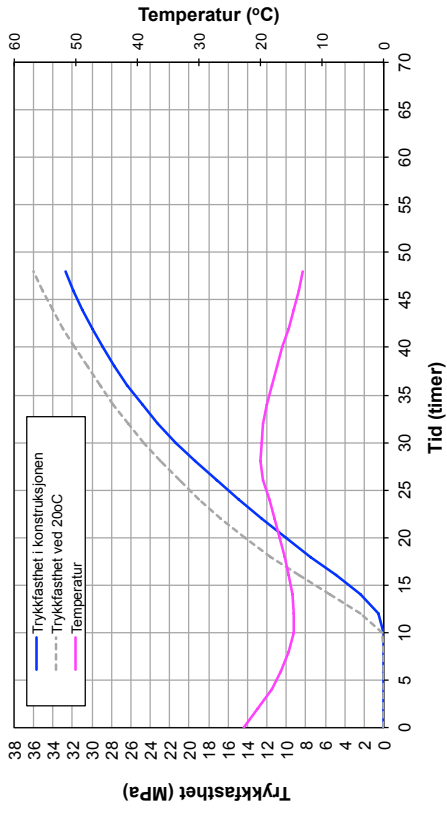
fib-modell for modenhetsprinsippet

Fasthet etter modenhetsprinsippet

© ss 2012-05-26

Oppdatert til fib-modell 25.04.2013 OBS

Tid [timer]	Betongtemperatur [°C]	Modenhet [timer]	Trykkfasthet i konstr. [MPa]	Trykkfasthet ved 20°C. [MPa]
0,0	22,8	0		
2,0	20,3	2,2		
4,0	18,2	4,1		
6,0	16,7	5,8		
8,0	15,5	7,5		
10,0	14,7	9,0	0,0	0,1
12,0	14,5	10,5	0,5	2,4
14,0	14,8	12,1	2,5	5,5
16,0	15,4	13,6	4,9	8,7
18,0	16,1	15,2	7,5	11,6
20,0	16,8	16,9	10,0	14,3
22,0	17,7	18,6	12,5	16,8
24,0	18,6	20,5	14,9	19,0
26,0	19,5	22,4	17,2	21,0
28,0	20,0	24,3	19,3	22,9
30,0	19,9	26,3	21,4	24,7
32,0	19,5	28,3	23,2	26,3
34,0	18,9	30,2	24,8	27,8
36,0	18,1	32,1	26,3	29,2
38,0	17,3	33,8	27,7	30,5
40,0	16,4	35,6	28,9	31,7
42,0	15,5	37,2	30,0	32,9
44,0	14,6	38,7	31,0	34,0
46,0	13,8	40,2	31,9	35,1
48,0	13,1	41,6	32,7	36,1

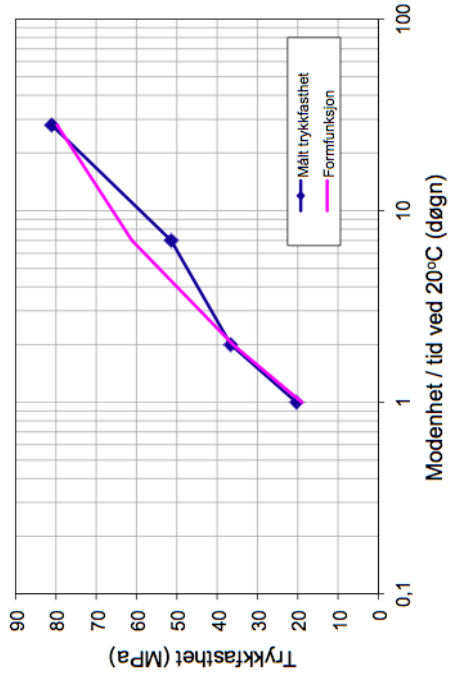


Tilpassing av formfunksjon - trykkfasthet

Tid (døgn)	Tid (timer)	Forms-funksjon	Målt trykkfasthet	Vekt ved avvik	Δy^{n-1}
1	9,0	-	0,0	-	-
2	24	19,0	20,3	10	20
7	168	36,1	36,6	7	0
28	672	79,7	51,4	2	928
	0		81,0	10	21
	0			1	0
	0			1	0

$f_{c,28}$	79,8
s	0,25
t_0	9,00
$\Sigma \Delta y^2$	970
R	0,9795

$$f_c(M) = f_{c,28} \cdot e^{\left[s \cdot \left(1 - \sqrt[672]{M - t_0} \right) \right]}$$



Modenhet
 $M = \sum H(T) \cdot \Delta t$

Hastighetsfunksjonen
 $H(T) = c \cdot \frac{E(T)}{R} \cdot \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{293-T} \right)$

Temperaturfølsomhet
 $E(T) = A + B(20-T), T < 20^\circ\text{C}$
 $E(T) = A, T > 20^\circ\text{C}$

A	36000
B	50