



# Lavenergibetong til Powerhouse Brattørkaia - prosjektet

**Fredrik Magnussen**  
**Hanserud**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2017

Hovedveileder: Sverre Smeplass, KT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for konstruksjonsteknikk





## MASTEROPPGAVE 2017

FAGOMRÅDE: Betongteknologi	DATO: 11. Juni 2017	ANTALL SIDER: 34
----------------------------	---------------------	------------------

TITTEL:

**Lavenergibetong til Powerhouse One – prosjektet**  
Low energy concrete for the Powerhouse One – project

UTFØRT AV:

Fredrik Magnussen Hanserud



SAMMENDRAG:

Powerhouse Brattørkaia er prosjektert med bæresystem i betong og etasjeskiller i form av etterspente plaststøpte flatdekker. Disse skal utføres i betongklasse B35M90. På grunn av oppspenning av trykkrefter og prosjektets fremdrift er det nødvendig at denne oppnår 25 MPa trykkfasthet allerede etter 3 døgn. I tillegg er det ønskelig at betongen har maksimalt 1500 MJ/m<sup>3</sup> innebygget energi.

Det største energibidraget til betongens innebygde energi kommer fra produksjon av sement. Derfor vil det være hensiktsmessig å benytte store mengder pozzolaner i betongens bindemiddel for å redusere sementforbruket. Det er i denne oppgaven testet betongtyper med flygeaske og masovnsagg, kombinert med silikastøv, som sementerstatning.

For å vurdere et utvalg betongresepters egnethet for prosjektet er det gjennomført forsøk av trykkfasthet gjennom tidlig herdeforløp og etter 28-døgn, herdekasseforsøk og forsøk for å beregne aktiveringsenergi. I tillegg er betongenes innebygde energi beregnet.

Resultatene fra miljøberegningene viser at for å redusere nivået av innebygget energi tilstrekkelig er det nødvendig å produsere betong med bindemiddel bestående av 50% flygeaske, 10% silikastøv og 40% sementklinker. Ved bruk av slaggsement oppnås ikke målsetningen om 1500 MJ/m<sup>3</sup> innebygget energi. Målingen av trykkfasthet viser at en slik flygeaskebetong med masseforhold 0,4 og matriksvolum 290 l/m<sup>3</sup> oppnår den nødvendige fastheten etter 3 døgn. Masseforhold 0,48 og matriksvolum 300 l/m<sup>3</sup> ga til sammenligning ikke den nødvendige fastheten, selv ved bruk av herdingsakselerator. Det er derfor tydelig at justering av betongens masseforhold er den mest effektive måten å justere også betongens trykkfasthet tidlig i herdeforløpet.

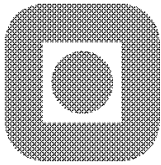
FAGLÆRER: Prof. Sverre Smeplass

VEILEDER(E): Prof. Sverre Smeplass

UTFØRT VED: Institutt for konstruksjonsteknikk







# INSTITUTT FOR KONSTRUKSJONSTEKNIKK

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

## MASTEROPPGAVE 2017

*for stud. techn.*  
*Fredrik Magnussen Hanserud*

### ***Lavenergibetong til Powerhouse One - prosjektet***

*Low energy concrete for the Powerhouse One – project*

#### **Innledning**

Powerhouse-alliansen har som mål å bygge og drive det første energipositive kontor-nybygget i Norge. Bygg står i dag for 40 prosent av verdens energiforbruk, og potensialet for energisparing er enormt, både i Norge og globalt. Powerhouse Brattørkaia skal produsere mer ren, miljøvennlig energi enn det forbruker. Dette betyr at produsert energi i byggets driftsfase i løpet av byggets levetid skal dekke inn energien som er gått med til produksjon av byggevarer, transport, oppføring, drift og avhending av bygget. Energiforbruket ved produksjon og montasje av materialer utgjør nesten 50% av byggets totale energiomsetning. Betongen står for en betydelig andel av dette.

#### **Oppgave**

Oppgaven går ut på å finne og prøve ut materialsammensetninger som gir en betydelig reduksjon av energiforbruket ved produksjon av betongen og delmaterialene til de etterspente dekkene i Powerhouse One, og som samtidig har et CO<sub>2</sub>-bidrag som minst tilfredsstillende kravet til lavkarbonbetong klasse A iht. Norsk Betongforenings publikasjon nr. 37 «Lavkarbonbetong».

Det er også et mål at betongen skal tilfredsstillende byggeforskriftens krav til sikkerhet og bestandighet, dette betyr at betongen fortrinnsvis skal ha en sammensetning som ligger innenfor kravene i NS-EN 206 «Betong. Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar».

Betongen skal videre ha produksjonsegenskaper på blandeverk og byggeplass som ikke i for stor grad avviker fra tradisjonelle betongtyper. Det vil være nødvendig å gjennomføre både analyser og et laboratorieprogram for å verifisere at disse kravene kan ivaretas.

## **Gjennomføring**

Oppgaven utføres ved Institutt for konstruksjonsteknikk i samarbeid med Skanska Norge AS og stud. techn. Frederic Hermansen, som skriver prosjektoppgave på samme tema i fag TKT 4530 Betongteknologi, fordypningsprosjekt. Gjennomføringen av oppgaven skal tilpasses de ressursene som stilles til disposisjon.

Oppgaven er utlevert 14. januar 2017. Besvarelsen skal innleveres innen 11. juni 2017.

Trondheim 14. januar 2017.

Sverre Smeplass  
Prof. II

## Forord

Oppgaven er skrevet våren 2017 ved Institutt for Konstruksjonsteknikk ved NTNU i Trondheim. Den er skrevet i samarbeid med Skanska Norge AS, i forbindelse med Powerhouse-samarbeidets prosjekt Powerhouse Brattørkaia. En stor takk rettes til professor Sverre Smeplass for muligheten til å jobbe med en så spennende oppgave, og for god veiledning gjennom arbeidet. Stor takk også til stud. techn. Frederic Hermansen, som skriver prosjektoppgave på samme tema, for godt samarbeid om forsøkene som er gjennomført og konstruktive diskusjoner.

I arbeidet med oppgaven er det produsert 460 liter, eller om lag 1100 kg, betong, og det er knust 216 betongterninger i trykkpressen på m-lab betong på laboratoriet på Konstruksjonsteknikk. Dette arbeidet hadde vært umulig for oss å gjennomføre uten rådgivning og hjelp fra personalet ved laben. Spesielt takk til ingeniør Steinar Seehus for hans assistanse med det generelle laboratoriearbeidet og for å ha stilt opp til arbeid gjennom natta for å få gjennomført aktiveringsenergi-forsøket.

Ellers rettes takk til alle som har bidratt med informasjon og konstruktive diskusjoner i løpet av våren. Her nevnes spesielt Jonny Tverrdal hos Unicon og Tom Fredvik hos Norcem.

Jeg ønsker å takke alle som har vært med å gjøre studietiden i Trondheim til en magisk opplevelse; studiemiljøet ved Bygg- og miljøteknikk, Studentersamfundet og alle andre som bidrar til å gjøre Trondheim til den byen den er.

Til slutt vil jeg takke familien min hjemme for all hjelp og støtte gjennom studietiden og i arbeidet med denne oppgaven.

## Sammendrag

Powerhouse-samarbeidet er en gruppe aktører i norsk byggebransje som ønsker å vise at det er mulig å bygge konkurransedyktige bygg på en mer miljøvennlig måte også i norsk klima. Powerhouse Brattørkaia er Powerhouse-samarbeidets første nybyggprosjekt og har som mål å bygge verdens nordligste pluss-hus. Dette betyr at bygget gjennom hele sitt livsløp skal produsere mer energi enn det som går med til konstruksjon, drift og avhending. For å oppnå dette er det essensielt å lage betong med minst mulig innebygget energi til bruk i bæresystemet, ettersom byggematerialene forventes å utgjøre 50% av byggets totale energiforbruk gjennom livsløpet.

Powerhouse Brattørkaia er prosjektert med bæresystem i betong og etasjeskiller i form av etterspente plaststøpte flatdekker. Disse skal utføres i betongklasse B35M90. På grunn av oppspenning av trykkrefter og prosjektets fremdrift er det nødvendig at denne oppnår 25 MPa trykkfasthet allerede etter 3 døgn. I tillegg er det ønskelig at betongen har maksimalt 1500 MJ/m<sup>3</sup> innebygget energi.

Det største energibidraget til betongens innebygde energi kommer fra produksjon av sement. Derfor vil det være hensiktsmessig å benytte store mengder pozzolaner i betongens bindemiddel for å redusere sementforbruket. Det er i denne oppgaven testet betongtyper med flygeaske og masovnslagg, kombinert med silikastøv, som sementerstatning. Alle disse stoffene er avfallsprodukter fra annen industri, og energiforbruket i disse prosessene allokeres til prosessens hovedprodukt. De kommer derfor svært gunstig ut i miljøregnskapene. Utstrakt bruk av pozzolaner gjør at hydratiseringsreaksjonene i betongen går tregere enn ved ren sement, og følgelig at betongen utvikler trykkfasthet betydelig langsommere. I tillegg vil hydratiseringsreaksjonene være spesielt temperaturfølsomme. Proporsjonering av betongen er derfor en balansegang mellom å redusere innebygget energi og å oppnå tilstrekkelig tidlig trykkfasthet.

For å vurdere et utvalg betongresepters egnethet for prosjektet er det gjennomført forsøk av trykkfasthet gjennom tidlig herdeforløp og etter 28-døgn, herdekasseforsøk og forsøk for å beregne aktiveringsenergi. I tillegg er betongenes innebygde energi beregnet.

Resultatene fra miljøberegningene viser at for å redusere nivået av innebygget energi tilstrekkelig er det nødvendig å produsere betong med bindemiddel bestående av 50% flygeaske, 10% silikastøv og 40% sementklinker. Ved bruk av slaggsement oppnås ikke målsetningen om 1500 MJ/m<sup>3</sup> innebygget energi.

Målingen av trykkfasthet viser at en slik flygeaskebetong med masseforhold 0,4 og matriksvolum 290 l/m<sup>3</sup> oppnår den nødvendige fastheten etter 3 døgn. Masseforhold 0,48 og matriksvolum 300 l/m<sup>3</sup> ga til sammenligning ikke den nødvendige fastheten, selv ved bruk av herdingsakselerator. Det er derfor tydelig at justering av betongens masseforhold er den mest effektive måten å justere også betongens trykkfasthet tidlig i herdeforløpet.

Testing av aktiveringsenergi for de ulike bindemidlene viser at hydratiseringsraten til disse betongtypene er spesielt følsomme for temperaturendringer. For å oppnå den nødvendige tidlige trykkfastheten er det derfor essensielt å sørge for at betongen herder ved tilstrekkelig høy temperatur. Dette kan gjøres ved isolering og oppvarming etter støp, samt ved bruk av herdingsakselerator.

## Abstract

The Powerhouse initiative is a group of project developers, project designers, contractors and material suppliers in the Norwegian building industry dedicated to proving it possible to build commercially competitive buildings in a more environmentally conscious way even in the Norwegian climate. Powerhouse Brattørkaia is their first construction project, and aims to build the world's northernmost energy positive building. This means that the building will produce more energy throughout its lifetime than it consumes, including construction, use and demolition. To achieve this goal it is essential to minimize the energy consumption associated with the building materials, as these are estimated to make up as much as 50% of the project's total energy consumption.

Powerhouse Brattørkaia is planned with a structural system made of concrete, and post tensioned concrete slabs. These require concrete of class B35M90. Due to the forces involved with post tensioning, it is necessary that the concrete develops 25 MPa compressive stress capacity within 3 days of curing. Additionally it is desired that the concrete has no more associated energy consumption than 1500 MJ/m<sup>3</sup>.

The main contributor to the concrete's energy consumption is production of cement. Therefore, using large quantities of pozzolana to replace cement in the concrete binder is favorable. This report is on testing of concrete recipes using fly ash or blast furnace slag in combination with silica fume, to replace cement in the binder. These products are by-products of other industrial processes, and are therefore very favorable when calculating energy consumption. Use of pozzolana in the quantities tested in these experiments will significantly reduce the rate of hydration for the binder, slowing the development of compressive capacity. In addition, the rate of hydration will be especially sensitive to changes in temperature. Proportioning of the concrete will therefore have to balance reducing energy consumption with the ability to achieve the necessary early compressive capacity.

In order to evaluate a number of concrete recipes concerning their suitability for the project, they were tested for compression capacity throughout the early curing and after 28 days. Additionally activation energy- and curing box testing was performed. The associated energy consumption for all the concrete recipes has also been calculated.

The results from the energy calculations show that to achieve the required reduction of energy consumption it is necessary to produce concrete with binder consisting of 50% fly ash, 10% silica fume and 40% cement clinker. Concrete using blast furnace cement fails to reach the requirement.

Testing of the compressive capacity for the concrete shows that this fly ash-concrete with w/b-ratio of 0,4 and matrix volume of 290 l/m<sup>3</sup> does develop the required capacity within 3 days. A mix with w/b-ratio of 0,48 and matrix volume 300 l/m<sup>3</sup> failed to meet this requirement, even with the use of hardening accelerating admixture. It is therefore evident that adjusting the w/c-ratio is the most effective way to adjust the compressive capacity, even early in the curing process.

The activation energy for all the binder compositions proved to be significantly more sensitive to changes in temperature than pure cement binders. For the concrete to develop the necessary early capacity it is important to ensure that it cures at a sufficient temperature. This can be achieved by insulating and heating the concrete after pouring, and by using a hardening accelerating admixture.



# Innhold

Forord .....	i
Sammendrag .....	ii
Abstract .....	iii
Figurliste .....	vii
Tabelliste .....	vii
Formelliste.....	vii
Kapittel 1 Hensikt.....	1
1.1. Powerhouse Brattørkaia.....	1
Kapittel 2 Teoretisk bakgrunn.....	3
2.1. Miljøvurderinger.....	3
2.1.1. LCA.....	3
2.1.2. Miljødeklarasjoner.....	3
2.1.3. Miljøklassifisering.....	3
2.1.4. Miljøregnskap.....	3
2.2. Betong.....	4
2.2.1. Lavenergibetong.....	5
2.2.2. Hydratisering.....	5
2.2.3. Pozzolaner.....	6
2.2.4. Modenhet.....	7
2.2.5. Herdingsakselerator.....	7
2.2.6. Etterspente plastøppte flatdekker.....	7
2.2.7. Konsekvenser for prosjektet.....	8
Kapittel 3 Metode.....	9
3.1. Energiregnskap.....	9
3.2. Betongresepter.....	9
3.2.1. Aktuelle sementtyper.....	10
3.2.2. Utarbeidelse av resepter.....	10
3.2.3. Blandeprosedyre.....	12
3.3. Testing av egenskaper for fersk betong.....	12
3.4. Måling av densitet.....	12
3.5. Fasthetsmåling.....	12
3.6. Herdekasse.....	13
3.7. Aktiveringsenergi.....	14

Kapittel 4 Resultater .....	17
4.1. Miljøberegninger .....	17
4.1.1. Delmaterialer .....	17
4.1.2. Beregninger .....	17
4.2. Betongegenskaper .....	19
4.2.1. Densitet .....	19
4.2.2. Egenskaper i fersk tilstand.....	20
4.3. Fasthet .....	22
4.4. Herdekasse .....	24
4.4.1. Resept 1 .....	24
4.4.2. Resept 2 .....	25
4.4.3. Resept 5 .....	26
4.4.4. Resept 7 .....	27
4.5. Aktiveringsenergi.....	27
Kapittel 5 Diskusjon .....	29
5.1. Miljøberegninger .....	29
5.2. Fasthet .....	30
5.3. Herdekasse .....	30
5.4. Aktiveringsenergi.....	30
5.5. Herdetiltak.....	30
Kapittel 6 Konklusjon .....	32
Bibliografi .....	33
Vedleggsliste.....	34



## Figurliste

Figur 1-1 Powerhouse Brattørkaia .....	1
Figur 3-1 Eksempel på resultat fra herdekasse for standard betong .....	14
Figur 3-2 Typisk aktiveringsenergi som funksjon av temperatur .....	15
Figur 3-3 Typisk hydratiseringsrate som funksjon av temperatur .....	16
Figur 4-1 Sammenheng mellom slumpmål og plastisk viskositet .....	21
Figur 4-2 Sammenheng mellom slumpmål og flyteskjærspenning .....	21
Figur 4-3 Fasthetsutvikling gjennom tre døgn for resept 3 og 4 .....	23
Figur 4-4 Fasthetsutvikling gjennom tre døgn for resept 6 og 7 .....	23
Figur 4-5 Resultater fra herdekasse for resept 1 .....	24
Figur 4-6 Resultater fra herdekasse for resept 2 .....	25
Figur 4-7 Resultater fra herdekasse for resept 5 .....	26
Figur 4-8 Resultater fra herdekasse for resept 7 .....	27
Figur 4-9 Aktiveringsenergi for resept 4 og 6 som funksjon av temperatur .....	28

## Tabelliste

Tabell 1 Kategorier i BREEAM NOR .....	3
Tabell 2 Mineraler i sement .....	5
Tabell 3 Bestanddeler i aktuelle pozzolaner .....	6
Tabell 4 Mål for utforming av betongresepter .....	9
Tabell 5 Krav til proposjoneringsparametre for betongklasse B35M90 .....	10
Tabell 6 Betongresepter .....	11
Tabell 7 Justeringer av effektivt bindemiddel for å møte Norsk Standard .....	11
Tabell 8 Effektivt bindemiddel og krav fra Norsk Standard .....	12
Tabell 9 Prosedyre for blanding av betong .....	12
Tabell 10 Prøvetidspunkter for måling av trykkfasthet .....	13
Tabell 11 Beregning av innebygget energi for delmaterialer .....	17
Tabell 12 Mengder delmaterialer pr kubikkmeter betong .....	18
Tabell 13 Innebygget energi per kubikkmeter betong .....	18
Tabell 14 CO <sub>2</sub> -ekvivalenter per m <sup>3</sup> betong .....	19
Tabell 15 Betongdensitet ved avforming og prøving .....	19
Tabell 16 Resultater fra slumpmål og BML-viskosimeter .....	20
Tabell 17 Resultater av fasthetsmåling .....	22
Tabell 18 Total utviklet varme etter 300 modenhetstimer .....	24
Tabell 19 Resultater fra aktiveringsenergi-forsøk .....	27
Tabell 20 Innebygget energi per kubikkmeter betong .....	29
Tabell 21 Resept 4 .....	32

## Formelliste

Formel 1 Hydratisering av trikalsiumsilikat .....	5
Formel 2 Hydratisering av dikalsiumsilikat .....	6
Formel 3 Pozzolanreaksjonen .....	6
Formel 4 Hydratiseringsratefunksjonen .....	15
Formel 5 Aktiveringsenergi ved temperatur T<20°C .....	15
Formel 6 Aktiveringsenergi ved temperatur T>20°C .....	15



## Kapittel 1 Hensikt

Oppgaven skrives i forbindelse med prosjektet Powerhouse Brattørkaia, et plusshus under oppføring på Brattørkaia i Trondheim. Oppgavens målsetning er å finne betongresepter med de nødvendige egenskapene for prosjektets konstruksjonsløsning som oppfyller energikravene som stilles for å tilfredsstille prosjektets energiregnskap. Hensikten med dette arbeidet er å bidra til økt kunnskap om miljøvennlige konstruksjonsløsninger for en byggebransje med stadig økende fokus på å bidra til et grønt skifte.

### 1.1. Powerhouse Brattørkaia



Figur 1-1 Powerhouse Brattørkaia

Powerhouse-samarbeidet er en samarbeidsgruppe bestående av flere aktører i norsk byggebransje som ønsker å vise at det er mulig å bygge mer miljøvennlig også i det kalde norske klimaet uten at det går ut over byggenes konkurransedyktighet. Samarbeidsgruppen har spesielt fokus på å bygge plusshus, som gjennom levetiden produserer mer energi enn det som går med i konstruksjon, drift og rivning. På denne måten ønsker man å bidra til å minimere energibruk, med tilhørende utslipp og naturinngrep. (Powerhouse, 2017a)

Powerhouse Brattørkaia er samarbeidets første nybyggprosjekt, og startet utviklingen allerede i 2012. Bygget skal oppføres på Brattørkaia 17 A på Brattøra i Trondheim, skal være på ca. 13000 m<sup>2</sup> og skal kunne romme om lag 500 arbeidsplasser. I mai 2017 var det endelig klart for byggestart for det som skal bli verdens nordligste plusshus, og det første energipositive kontor-nybygget i Norge. Dette betyr at bygget gjennom sin levetid skal produsere mer energi enn det som går med til konstruksjon, drift og avhending (Powerhouse, 2016). Som et resultat av dette er Powerhouse Brattørkaia et pionerprosjekt på flere områder, og lærdom fra prosjektet skal komme til nytte i arbeid med fremtidige prosjekter med tilsvarende ambisiøse miljømålsetninger. Bygget er planlagt med en rekke tiltak for å oppnå disse målene: naturlig ventilasjon, energieffektiv oppvarming og gode forhold for naturlig lys sørger for å minimere energiforbruket, mens takmonterte solceller sørger for energiproduksjon. Figur 1-1 viser hvordan byggets arkitektur er tilpasset for å sørge for gode forhold for strømproduksjon og lavt energibehov. Taket skråner gradvis mot sør for å optimalisere forholdene for strømproduksjon med solceller, og den ovale åpningen i sentrum av

bygget sørger for at mest mulig av bygget har tilgang til dagslys for å minimere behovet for elektrisk belysning innendørs. (Powerhouse, 2017b)

Som et resultat av at energiforbruket i byggets driftsfase minimeres blir det relative bidraget til det totale energiregnskapet fra byggets konstruksjonsfase vesentlig større, og kan forventes å utgjøre hele 50% av byggets totale energiforbruk (Ollendorff, 2012). Sammenlignet med vanlige bygg vil derfor den innbygde energien i bygningsmaterialene gi store utslag på energiregnskapet, og ved å minimere også dette bidraget kan krav til energiproduksjon for å nå målet om å gå i pluss gjennom livsløpet reduseres. Dette kan redusere det nødvendige antall solceller for prosjektet. Det er store kostnader forbundet med solceller, og om de minst effektive av disse kan fjernes uten at det går ut over målet om pluss i energiregnskapet kan det bidra til å redusere kostnadene for prosjektet. Lave verdier for innebygget energi i bygget er dermed viktig både med tanke på å nå målet om å bygge et effektivt plusshus, og målsetningen om at bygget skal være konkurransedyktig på pris og brukervennlighet. Tidligere prosjekt- og masteroppgaver har vurdert ulike konstruksjonsløsninger opp mot hverandre for å finne hvilken metode for konstruksjon av bæresystem som vil gi de laveste verdiene for innebygget energi, og har bidratt til at man har valgt å konstruere bæresystem og etasjeskiller med etterspente flatdekker i betong (Hansrud, 2017; Ollendorff, 2012; Sælen, 2015).

## Kapittel 2 Teoretisk bakgrunn

### 2.1. Miljøvurderinger

#### 2.1.1. LCA

For å vurdere et produkts miljøeffekter gjennomfører man en livsløpsanalyse, LCA (Life Cycle-Assessment). En livsløpsanalyse bør ta for seg bidrag fra råvareutvinning, produksjon, bruk og eventuell gjenvinning eller annen avhending (StandardNorge, 2006). For byggematerialer er det i mange tilfeller mest hensiktsmessig å vurdere fasene frem til produktet forlater fabrikkport eller til det er plassert i bygget. Produktets miljøeffekter omfatter blant annet klimagassutslipp, forbruk av råvarer og energi tilknyttet uthenting av råvarer og til produksjon.

#### 2.1.2. Miljødeklarasjoner

En miljødeklarasjon er et dokument som oppsummerer en LCA for et gitt produkt. Standardiserte miljødeklarasjoner skal gjøre det mulig å sammenligne ulike produkter på samme grunnlag med tanke på miljøeffekter. Den miljødeklarasjonen som er mest utbredt for byggematerialer i Norge er EPD, Environmental Product Declaration. En EPD er en kortfattet standardisert beskrivelse av et produkts miljøprofil. Ved hjelp av standardiserte metoder og uavhengige kontrollører sikres det at dataene er troverdige og sammenlignbare. Den viser de viktigste miljøeffektene til produktet og hvor i livsløpet disse oppstår uten noen videre vektning eller tolkning av resultatene.

#### 2.1.3. Miljøklassifisering

Miljøklassifisering for et bygg som helhet er en måte å forenkle og synliggjøre byggets miljøegenskaper for kunder, investorer og myndigheter. På denne måten gjør man det enklere for alle involverte å gjøre sammenligninger av byggeprosjekter med hensyn på miljø, noe som kan stimulere til videre utvikling av mer miljøvennlige bygg. Internasjonale standarder for klassifisering gjør det mulig å sammenligne prosjekter også på tvers av landegrenser. *Building Research Establishment's Assessment Method*, BREEAM, og den norske tilpasningen BREEAM NOR er det mest brukte i Norge og vurderer bygg etter følgende 10 kategorier (NorwegianGreenBuildingCouncil, 2016):

Tabell 1 Kategorier i BREEAM NOR

Ledelse	Energi	Materialer	Vann	Helse og Inneklima
Transport	Arealplan og økologi	Avfall	Forurensning	Innovasjon

Innen de forskjellige kategoriene vurderes bygget etter ulike kriterier, som i sum vektet etter viktigheten av hver enkelt kategori. Vektingen for de forskjellige kategoriene gjør at energi og innemiljø sammen utgjør nesten 40% av totalen i BREEAM NOR, og er de to viktigste parameterne. Sertifisering etter BREEAM og BREEAM NOR skal utføres av en kvalifisert tredjepart, og kan utføres på både nye og eksisterende bygg.

#### 2.1.4. Miljøregnskap

##### 2.1.4.1. Innebygget energi

*Innebygget energi* er et begrep som har kommet i fokus i forbindelse med en økende satsning på bygg på passivhus- og nullenergi- og plusshusnivå. Regjeringen ønsker å satse på energieffektivisering av byggesektoren, blant annet ved å skjerpe energikravene i byggt teknisk forskrift til nær nullenerginivå i 2020 (*Norsk Klimapolitikk*, 2012). Innebygget energi omfatter all energibruk tilknyttet et produkt gjennom produktets levetid (Ollendorff, 2012). Dette inkluderer blant annet uttak,

prosessering og bearbeidelse av råmaterialer, produksjonsprosesser, transport og montasje. I forbindelse med bygg er det lite hensiktsmessig å regne med energibruk i forbindelse med avhending av materialer, og eventuelle muligheter for resirkulering kan være vanskelig å forutse da dette vil foregå langt frem i tid.

Et byggs totale energiregnskap vil omfatte energibruk i forbindelse med bygningsmaterialer, konstruksjonsarbeid, forbruk i bruksfasen og avhending. For et vanlig bygg utgjør materialenes innebygde energi om lag 10% av den energien som går med til ordinær bruk gjennom byggets levetid. I moderne lavutslippsbygg implementeres det en rekke tiltak for å holde energikostnader til ventilasjon, oppvarming og belysning nede, og mange utstyres med solceller eller andre installasjoner for å minimere byggets energimessige fotavtrykk, eller i noen tilfeller produsere mer energi enn bygget forbruker (Ollendorff, 2012). Som et resultat av disse tiltakene kan energibidraget fra byggematerialene være langt mer betydelig. Eksempelvis er det for prosjektet Powerhouse Brattørkaia estimert at innebygget energi vil stå for nesten 50% av det totale energiregnskapet til prosjektet.

Dette er viktig da alle tiltak for å nå et gitt energimål for bygget som helhet vil måtte avveies med tanke på økonomi og byggets attraktivitet for brukere. Fokus på konstruksjonsløsninger og materialvalg som minimerer innebygget energi kan følgelig bidra til at man kan velge løsninger som er mer gunstige med tanke på økonomi og attraktivitet på andre områder.

#### 2.1.4.2. *Global Warming Potential*

Global Warming Potential er et mål på hvor mye varme et utslipp av klimagass fanger i atmosfæren. GWP-beregninger sammenligner det potensialet utslipp av en gitt gass har til å fange varme i atmosfæren sammenlignet med CO<sub>2</sub> og regner dette i enheten CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. En CO<sub>2</sub>-ekvivalent er den mengden CO<sub>2</sub> som skal til for å holde på en tilsvarende mengde varme over et gitt tidsrom ("Understanding Global Warming Potentials, "). Dette er et verktøy for å kunne vurdere utslipp av forskjellige gasser mot hverandre med tanke på bidrag til klimaendringer og gjør det mulig å sammenligne prosesser og produkter som slipper ut forskjellige typer gasser på et likeverdig grunnlag.

## 2.2. Betong

Betong består tradisjonelt i hovedsak av sement, vann og tilslag bestående av stein, grus og sand (Maage, 2008). Type og mengdeforhold av disse tre hovedbestanddelene kan varieres for å produsere betong med de ønskede egenskapene til en gitt oppgave. I tillegg til de tre hovedbestanddelene kan det benyttes ulike tilsetningsstoffer for å ytterligere tilpasse egenskapene til betongen i både fersk og herdet tilstand. Betong klassifiseres hovedsakelig etter den karakteristiske trykkfastheten etter 28 døgns herding. For eksempel vil B35, som er målsetningen for reseptene i denne oppgaven, har en minste karakteristisk sylindertykkfasthet på 35 MPa etter 28 dogn. Det er ingen fasit på hvordan denne trykkfastheten kan oppnås, og det kan være en rekke betongresepter som resulterer i betong med den samme fastheten. I tillegg til krav til trykkfastheten er det nødvendig å sørge for at betongen er bestandig under forholdene den vil utsettes for. Det er for eksempel nødvendig med andre bestandighetsegenskaper for betong beregnet på innendørs bruk enn i betong som vil være utsatt for fukt, salter, kulde eller andre forhold som kan virke inn på betongens levetid. Som et resultat av denne fleksibiliteten er det ikke mulig å bestemme betongens miljøegenskaper kun basert på fasthetsklassen. For å kunne lage et mest mulig realistisk miljøregnskap for et prosjekt er det nødvendig å innhente eller produsere miljødata for de spesifikke

betongreseptene det er realistisk å benytte i et prosjekt for å kunne vurdere dem opp mot hverandre.

Den største bidragsyteren til miljøavtrykket til betong kommer fra produksjonen av sement (Kjellsen, 2008). Sement produseres ved at kalkstein sammen med mindre mengder kvarts, jernoksid og aluminiumoksid knuses til pulver og brennes i en sementovn ved 1400°C for å produsere sementklinker. I tillegg til å være en svært energikrevende prosess er det også store utslipp av klimagasser forbundet med denne produksjonen, både fra brensel og de kjemiske reaksjonene som finner sted (Hanserud, 2017) (Kjellsen, 2008).

#### 2.2.1. Lavenergibetong

Lavenergibetong betegner betong basert på resepter hvor man har gjennomført ett eller flere tiltak for å redusere energibruken knyttet til produksjon av betongen. I denne oppgaven er dette oppnådd ved å redusere mengden av sement som benyttes, og erstatte deler av denne med pozzolaner. Sammen utgjør sement og pozzolaner bindemiddelet i betongen. De aktuelle pozzolanene er flygeaske (FA), silikastøv (silika) og masovnsagg. Alle disse er avfallsprodukter fra annen industri, og utslipp og energibruk i fremstillingen allokteres derfor til miljøregnskapene til hovedproduktene. Pozzolanene kommer derfor svært godt ut i både energi og klimagassregnskap. Derfor vil dette tiltaket for å redusere energibruk også være gunstige med tanke på klimagassutslipp. Likevel er det verdt å merke at en løsning som viser seg optimal med tanke på innebygget energi ikke nødvendigvis er den beste med tanke på klimagassutslipp, ettersom både ulike sementer og pozzolaner vil ha ulike egenskaper med tanke på reduksjon av de to. Mer informasjon om pozzolanene finnes i (Sellevold, 2008) og (Hanserud, 2017).

#### 2.2.2. Hydratisering

Herding av betong er et resultat av kjemiske reaksjoner mellom vann og de ulike mineralene i bindemiddelet, den såkalte hydratiseringsprosessen (Sellevold, 1990). Sammensetningen av bindemiddelet vil gi store utslag på forløpet i hydratiseringsprosessen.

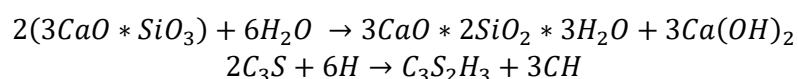
Sement består i hovedsak av kalsiumsilikater og kalsiumaluminater, samt mindre mengder av andre mineraler. Tabell 2 viser en oversikt over disse mineralene sammen med de respektive andelene man vanligvis finner i sement.

Tabell 2 Mineraler i sement

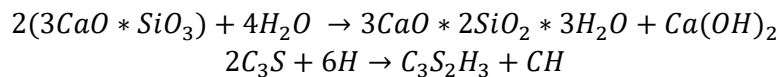
Navn	Kjemisk formel	Vektprosent
Trikalsiumsilikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	55-60%
Dikalsiumsilikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	14-20%
Trikalsiumaluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	5-10%
Tetrakalsiumaluminatferritt	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}_3$	6-10%

Fasthetsutviklingen som følger av hydratisering av sementklinker er et resultat av hydratiseringen av trikalsiumsilikat og dikalsiumsilikat som produserer kalsiumsilikathydrater, forkortet C-S-H eller C-S-H-gel, som har en approksimert komposisjon  $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ . Disse reaksjonene er vist i Formel 1 og Formel 2, og ytterligere informasjon kan finnes i (Sellevold, 1990).

Formel 1 Hydratisering av trikalsiumsilikat



Formel 2 Hydratisering av dikalsiumsilikat

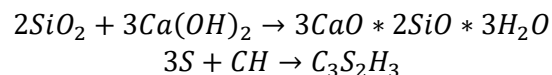


Biproduktet av disse reaksjonene, kalsiumhydroksid,  $Ca(OH)_2$ , bidrar lite til betongens fasthet. Fordi dikalsiumsilikat produserer mindre kalsiumhydroksid enn trikalsiumsilikat gjør er dikalsiumsilikat mer effektivt enn trikalsiumsilikat for betongens endelige fasthet. Trikalsiumsilikat-reaksjonen er på sin side langt raskere, noe som vil være viktig for å oppnå den tidlige fastheten påkrevd i denne oppgaven. I tillegg til dette inngår kalsiumhydroksid i pozzolanreaksjonen, mer om dette i kapittel 2.2.3.

2.2.3. Pozzolaner

Pozzolanene benyttet i denne oppgaven består i hovedsak av silikater og aluminater som reagerer sammen med sementmineralene i hydratiseringsprosessen. Tabell 3 viser andelen av de ulike mineralene i de aktuelle pozzolanene i vektprosent. Pozzolanreaksjonen skjer ved at disse mineralene reagerer med kalsiumhydroksidene som dannes av hydratiseringen av Formel 1 og Formel 2 for å danne C-S-H-gel som vist i Formel 3. På denne måten gjør pozzolanene at mer av sementklinkeren utnyttes til å produsere C-S-H-gel, som bidrar til økt trykkfasthet. Slagg er i så måte ikke et pozzolan, men betegnes som latent hydraulisk. Slagg inneholder både CaO og  $SiO_2$ , som reagerer sammen i henhold til hydratiseringsreaksjonene i kapittel 2.2.2, og i tillegg enkelte andre mineraler som også kan reagere på ulike måter med de andre bestanddelene.

Formel 3 Pozzolanreaksjonen



Tabell 3 Bestanddeler i aktuelle pozzolaner

Navn	Bestanddeler (vekt %)
Silikastøv	85-98% $SiO_2$
Flygeaske	45-55% $SiO_2$ 20-30% $Al_2O_3$
Slagg	35-45% CaO 33-43% $SiO_2$

Bruk av kombinasjonen av flygeaske og silikastøv i så store andeler av bindemiddelet som reseptene i denne oppgaven vil medføre at det ikke er tilstrekkelig overskudd av kalsiumhydroksid fra hydratiseringsreaksjonene til å reagere med hele mengden av pozzolaner. Likevel vil også de resterende mengdene pozzolaner bidra til fasthetsutviklingen i betongen gjennom geopolymerisering. Den resterende mengden pozzolan kan reagere med alkalier som finnes i små mengder i både sement og flygeaske, og danne geopolymeriske-forbindelser ("The development of room temperature hardening slag / fly ashbased geopolymer cements for Geopolymer Concretes," 2014).

Ved å benytte disse pozzolanene som erstatning for sement i betongens bindemiddel endrer man sammensetningen av mineraler i bindemiddelet, og som et resultat av dette endres forløpet i hydratiseringsprosessen. Lavere mengder kalsiumsilikater og større andeler pozzolaner fører til at hydratiseringen i tidlig fase foregår tregere. I tillegg gjør pozzolanene hydratiseringsraten mer sensitive for temperaturendringer. (Sellevoid, 2008).



For å møte kravene satt til innebygget energi for betongen av Powerhouse-prosjektet vil det være nødvendig å benytte større andeler av pozzolaner i bindemiddelet enn det som er vanlig. Dette vil resultere i at hydratiseringen vil foregå svært sakte, og følgelig at fasthetsutviklingen til betongen vil være vesentlig langsommere enn for ordinære betongtyper (Smeplass, 2017).

#### 2.2.4. Modenhet

Som for andre kjemiske reksjoner er også hydratiseringsreaksjonene i betong påvirket av temperatur. Høyere temperaturer fører til at reaksjonene skjer raskere, mens lavere temperaturer reduserer hydratiseringsraten. Dette gjelder for betong med alle typer bindemiddelsammensetninger, men ulike kombinasjoner av sementer og pozzolaner vil gi varierende sensitivitet for endringer i temperatur.

Begrepet modenhet brukes om virtuell alder for betong, sammenlignet med normal herding ved 20°C. For å finne modenheten til betong som herder ved andre temperaturer sammenligner man fastheten til betongen med fastheten til en prøve som herder ved 20°C. Eksempelvis vil en prøve som har fasthet tilsvarende 72 timers herding ved 20°C sies å ha oppnådd 72 timers modenhet, selv om det i realiteten kan ha tatt vesentlig kortere eller lengre tid. Betonger med bindemiddelsammensetning med så store andeler pozzolaner som i denne oppgaven vil være spesielt sensitive for temperaturendringer. Det betyr at ved lavere temperaturer vil de oppnå en gitt modenhet tregere enn en normal betong, mens høyere temperaturer vil gjøre at tilsvarende modenhet oppnås betydelig raskere. Denne kunnskapen er viktig for flere av forsøkene i denne oppgaven, samt i praksis ved støp i felten hvor det er nødvendig å være sikker på at betongen har nådd tilstrekkelig fasthet under de rådende forhold.

Videre lesning og matematisk bakgrunn for modenhet finnes i (Smeplass, 2003a).

#### 2.2.5. Herdingsakselerator

Det er i denne oppgaven gjort forsøk for å bestemme om herdingsakseleratoren Master X-Seed 100 vil hjelpe de aktuelle betongreseptene til å nå tilstrekkelig fasthet, og for å kartlegge effekten produktet har på hydratiseringsforløp og varmeproduksjon gjennom herdefasen. X-Seed benyttes på bakgrunn av at det er akseleratoren det er mest aktuelt å bruke til Powerhouse-prosjektet (Tverrdal, 2017). X-Seed er et flytende tilsetningsstoff som tilsettes betongen under blanding, og baserer seg på nanopartikler som fremmer hydratiseringsprosessen i tidlig fase ved å akselerere dannelsen av kalsiumsilikathydrater (BASF, 2010).

#### 2.2.6. Etterspente plastøppte flatdekker

Powerhouse Brattørkaia er prosjektert med etterspente plastøppte flatdekker i betong, løsningen som har vist seg å være mest gunstig med tanke på konstruksjonens miljøfotavtrykk, spesielt når det kommer til innebygget energi (Ollendorff, 2012). Denne dekkeløsningen er vanlig å benytte i store konstruksjoner for å sørge for tilstrekkelig kapasitet i dekker med store spennvidder. Betongen påføres trykkrefter fra armeringstau i strekk som legges slik at de motvirker lastvirkningene fra egen- og nyttelast (Sørensen, 2013). Denne spennkraften gjør det mulig å redusere dekketykkelsen og med det redusere materialforbruket i bæresystemet som helhet. Dette vil i sin tur ha gunstige utslag på bygningens miljøregnskap. Større spennvidder gjør det mulig å redusere antallet bæresøyler, noe som i seg selv er gunstig for miljøregnskapene på grunn av redusert betongforbruk, samt bidrar til å øke byggets fleksibilitet i bruksfasen. I et langsiktig bærekraftperspektiv kan dette resultere i at bygget er attraktivt for brukerne lengre, og med det forlenge byggets levetid. Plastøppte betong kan enkelt tilpasses og optimaliseres for ulike geometrier uten behov for videre sekundær bæring. For den unike arkitektoniske utformingen av Powerhouse Brattørkaia er dette en viktig bidragsyter til at denne dekkeløsningen kommer fordelaktig ut. Prefabrikerte hulldekkeelementer i betong er det

vanligste alternativet til etterspente dekker for denne typen konstruksjoner. (Sælen, 2015) konkluderer med at sekundær bæring vil utgjøre 11% av klimagassregnskapet og 13% av energiregnskapet for et bæresystem med hulldekker, og at man ved å heller bruke etterspente flatdekker kan spare 30% av klimagassutslipp og 42% av energiforbruket (Hansrud, 2017; Sælen, 2015).

Etterspent plaststøpt betong utføres vanligvis ved at det legges rør for spennarmeringen før betongen støpes. Disse følger de beregnede bøyemomentene som resulterer i dekkene fra egen- og nyttelast. Etter at betongen har oppnådd tilstrekkelig trykkapasitet påfører man strekkrefter i spennarmeringen med betongdekket selv som mothold, og dette danner trykkrefter i betongen (Sørensen, 2013). For prosjektet Powerhouse Brattørkaia er det nødvendig at betongen i dekkene har oppnådd 25 MPa trykkapasitet før oppspenning av spennarmeringen (Smeplass, 2017).

#### 2.2.7. Konsekvenser for prosjektet

Betongtypene som er aktuelle for dette prosjektet har som nevnt i kapittel 2.2.3 betydelig tregere fasthetsutvikling enn ordinære betongtyper. Samtidig er det viktig for prosjektets fremdrift at betongen når den nødvendige fastheten for fjerning av forskaling og oppspenning av spennkabler tilstrekkelig hurtig (Smeplass, 2017). Dersom betongen ikke har oppnådd tilstrekkelig kapasitet før trykkreftene påføres vil den kunne ta skade av dette, noe som vil ha store konsekvenser for byggeprosessens fremdrift. Også potensielle forsinkelser for å vente på at betongen oppnår tilstrekkelig fasthet vil være negativt for fremdriften, og man bør i størst mulig grad unngå dette. Derfor er det svært viktig å sørge for at betongen man velger er i stand til å oppnå den nødvendige fastheten tilstrekkelig raskt, samt gjennomfører nødvendige tiltak for å sikre at forholdene ligger til rette for at den gjør det. Vanlige tiltak er isolering og oppvarming av betongen etter støp, og om nødvendig å varme opp betongen allerede på fabrikk. Det er altså viktig for prosjektet å finne betongresepter som har den riktige balansen mellom lite innebygget energi og tilstrekkelig hurtig fasthetsutvikling.

## Kapittel 3 Metode

### 3.1. Energiregnskap

Energiregnskapene til betongreseptene i denne oppgaven var i utgangspunktet tenkt å skulle beregnes basert på tilgjengelig informasjon fra offentlige EPD-er og annen sammenlignbar informasjon for de aktuelle sementtypene og tilsetningsmaterialene. Disse var tenkt å være sammenlignbare med EPD-er utarbeidet med betongbransjens egne kalkulatorer. Det viste seg imidlertid at det er faktorer i disse kalkulatorene som er vanskelige å beregne uten innsikt i hva som går inn i disse verktøyenes beregninger, og det er mye informasjon rundt detaljene bak verdiene fra disse beregningene som ikke er tilgjengelig. Spesielt er verdier tilknyttet tilslag, frakt og prosesser på betongfabrikkene vanskelig å beregne uten denne informasjonen.

Som et resultat av dette er det beregnet innebygget energi for delmaterialene som varierer i de ulike forsøkene, sement og pozzolaner som utgjør bindemiddelet i betongen, for å sammenligne disse basert på tilgjengelig informasjon. Mengder og type av de resterende komponentene i betongen vil kun i liten grad variere mellom reseptene som testes. I tillegg er det innhentet verdier beregnet med en korrekt EPD-kalkulator for tilnærmet like resepter for å kunne se hvorvidt reseptene når målsetningene satt av prosjektet, og for å kunne sammenligne variasjoner mellom reseptene her med variasjonene i egne beregninger.

I tillegg til dette er tilsvarende verdier for klimagassutslipp hentet ut for å kunne sammenligne besparelsene i utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter med besparelsene i innebygget energi, og vurdere løsningene med tanke på BREEAM-sertifisering som forklart i kapittel 2.1.3 (Hansrud, 2017).

EPD-er for sementtypene er innhentet fra de respektive leverandører, verdier for pozzolaner er beregnet basert på verdier hentet fra Østfoldforsknings EPD-kalkulator (Smeplass, 2017), og verdier for transport er beregnet ved hjelp av Østfoldforsknings transportkalkulator (Østfoldforskning, 2017).

### 3.2. Betongresepter

Betongreseptene produsert i denne oppgaven skal møte krav stilt av prosjektet Powerhouse Brattørkaia, samt stilt til betong satt av Norsk Standard. Bygget prosjekteres med betong av trykkfasthetsklasse B35. Den aktuelle betongen er planlagt brukt i bæresystem og dekker, noe som medfører svært liten grad av slitasje, korrosjon og andre angrep. Derfor er det ikke nødvendig med tiltak for å oppnå høyere bestandighet enn minstekravene for bestandighetsklasse M90 og eksponeringsklasse X0 (StandardNorge, 2008). Som beskrevet i kapittel 2.2.6 er det ønskelig for konstruksjoner med etterspente flatdekker at betongen oppnår trykkapasitet på 25 MPa etter tre døgn herding. Målsetningene for energibruk gitt av prosjektet setter også et krav til maksimalt 1500MJ innebygget energi per kubikkmeter ferdig betong (Smeplass, 2017).

Tabell 4 Mål for utforming av betongresepter

Krav	Verdi
Betongklasse	B35
Bestandighetsklasse	M90
Eksponeringsklasse	X0
3-døgns fasthet	25 MPa
Innebygget energi	1500 MJ/m <sup>3</sup>

I tillegg gir Standard Norge en rekke retningslinjer for betongens sammensetning. Heriblant finner man krav til forholdet mellom mengde vann og mengde bindemiddel, kalt masseforhold, minste effektive bindemiddelmengde og hvor store andeler av sement som kan erstattes av de ulike pozzolanene i bindemiddelet (Standard Norge, 2017). Mer om disse proposjoneringsparametrene i (Smeplass, 2004a).

Tabell 5 Krav til proposjoneringsparametre for betongklasse B35M90

Parameter	Krav
Masseforhold	< 0,90
Effektiv bindemiddelmengde	> 225
Andel flygeaske i bindemiddel	< 0,35
Andel sementklinker i bindemiddel	> 0,65
Andel silikastøv i bindemiddel	< 0,11

Kravet til maksimal innebygget energi satt av prosjektet vil kunne gjøre det nødvendig å benytte betonger som i utgangspunktet ikke møter kravene gitt av Standard Norge, spesielt med tanke på andeler sement og flygeaske. Dersom man ønsker å benytte resepter som ikke møter krav satt av Norsk Standard er det nødvendig å dokumentere at betongen likevel har de egenskapene som er nødvendige for å være egnet til den tiltenkte bruken. Det kan likevel tenkes at man kan få reseptene i oppgaven til å møte kravene satt av standarden ved å regne en andel av pozzolanene som filler i betongkomposisjonen, og ikke som en del av bindemiddelet.

### 3.2.1. Aktuelle sementtyper

#### 3.2.1.1. Industrisement

Norcem industrisement er en sementtype beregnet for hurtig herding. Den er svært finmalt, noe som resulterer i stort overflateareal som bidrar til rask størkning og høy tidlig fasthet. Den bør derfor være godt egnet til dette prosjektet. (Kjellsen, 2008)

#### 3.2.1.2. Standard-FA

Norcem Standardsement FA er en sementtype som leveres med 82% standardsement og 18% flygeaske. Den har egenskaper utviklet for å fungere som kombinert sement og flygeaske, og det er derfor tenkelig at den er godt egnet for bruk sammen med enda større mengder flygeaske enn den leveres med. (Kjellsen, 2008)

#### 3.2.1.3. Slaggsement

Slaggsement er en spesialsement som vanligvis primært brukes i prosjekter der det er nødvendig med lav varmeutvikling. Slaggsementen benyttet i denne oppgaven inneholder 68% masovnsagg, 28% sementklinker og 4% filler ("MRPI®-verklaring ENCI B.V. voor CEM III/B 42,5 N," 2012).

### 3.2.2. Utarbeidelse av resepter

Tidlige estimat av miljøberegningene ga indikasjoner om at en betong med bindemiddel bestående av en stor andel flygeaske er det mest realistiske alternativet for å oppnå de nødvendige energiverdiene (Smeplass, 2017; Tverrdal, 2017). På bakgrunn av dette ble de to første reseptene i denne oppgaven utarbeidet basert på et anslag av hva som ville være nødvendig for å oppnå kravene til trykkfasthet og innebygget energi satt av prosjektet. Masseforhold 0,48 og matriksvolum 300 l/m<sup>3</sup> ble valgt for å oppnå den ønskede fasthetsklassen i henhold til (Smeplass, 2003b). Det ble først testet

en blanding med Standard-FA og en blanding med Industrisement, med tilsvarende totale mengder pozzolaner for å bedømme disse to sementtypene opp mot hverandre for videre testing. Basert på resultater fra den tidlige testingen av disse reseptene ble det foretatt nødvendige justeringer av de neste reseptene. Tidlige resultater fra testing av de to første reseptene viste at disse ikke ville oppnå den nødvendige tidlige fastheten, og det ble besluttet å redusere masseforholdet fra 0,48 til 0,4 for å forbedre denne fastheten. Dette fører til en større mengde bindemiddel, og for å minimere økningen dette vil føre til i innebygget energi ble matriksvolumet også redusert fra 300 til 290 l/m<sup>3</sup>. I tillegg ble det tydelig at kombinasjonen av Standard-FA og flygeaske utviklet fasthet raskere enn kombinasjonen av Industrisement og flygeaske, og det ble besluttet å benytte kun Standard-FA videre i forsøkene.

For å kunne bedømme effekten av herdingsakseleratoren Master X-Seed 100 ble tilsvarende resepter blandet og testet både med og uten bruk av denne. Avslutningsvis ble en betongresept med bruk av slaggsement testet både med og uten X-Seed, på tross av indikasjoner på at denne ikke vil være konkurransedyktig på energikrav. Dette fordi kunnskap om egenskapene til en slik betong vil være verdifull, da endringer knyttet til transport og tilgjengelighet kan gjøre denne typen betong mer miljømessig konkurransedyktig i forbindelse med fremtidige prosjekter. Samtlige resepter benytter 10% silikastøv i bindemiddelet da dette er den andelen som best utnytter silikastøvetts egenskaper (Smeplass, 2017). Dette resulterte i betongreseptene som vist i Tabell 6. All proporsjonering og mengdeberegning er gjort ved hjelp av Skanskas proporsjoneringsark. Proporsjonering og beregnede mengder for alle reseptene finnes i vedlegget.

Tabell 6 Betongresepter

Resept	Bindemiddel	Andel FA	Andel silika	Masseforhold	Matriksvolum	Akselerator
1	Standard FA+FA	50 %	10 %	0,48	300	Ingen
2	Industri + FA	50 %	10 %	0,48	300	Ingen
3	Standard FA+FA	50 %	10 %	0,4	290	X-Seed
4	Standard FA+FA	50 %	10 %	0,4	290	Ingen
5	Standard FA+FA	50 %	10 %	0,48	300	X-Seed
6	Slagg	0 %	10 %	0,48	300	Ingen
7	Slagg	0 %	10 %	0,48	300	X-Seed

For å sørge for at betongreseptene med flygeaske oppfyller kravene stilt av (StandardNorge, 2017) som vist i Tabell 5 er det nødvendig å regne noe av flygeasken som filler. Tabell 7 viser hvordan justeringer av mengden flygeaske som regnes med i det effektive bindemiddelet for å møte kravene i Norsk Standard. De resulterende parameterne og de aktuelle kravene fra standarden er sammenlignet i Tabell 8.

Tabell 7 Justeringer av effektivt bindemiddel for å møte Norsk Standard

Resept 4				
Bindemiddelkomponent	Mengde	Klinker	Bidrag	k
CEM II/A-V Standard FA	168,1	146,3	168,1	-
Silika	35,0	-	24,5	1,0
Flyveaske	147,1	-	46,3	0,7
Fritt vann	140,1	-	140,1	-

Tabell 8 Effektivt bindemiddel og krav fra Norsk Standard

Parameter	Krav	Oppnådd	Aksept
Masseforhold	< 0,90	0,62	✓
Effektivt bindemiddelmengde	> 225	225	✓
Andel FA av b	< 0,35	0,24	✓
Andel klinker av b	> 0,65	0,65	✓
Andel silikastøv av b	< 0,11	0,11	✓
Reell bindemiddelmengde	-	350	-

### 3.2.3. Blandeprosedyre

Blanding av betong er utført etter instruks fra personalet på M-lab betong ved Institutt for konstruksjonsteknikk ved NTNU, ved hjelp av en 50 liter Eirich-betongblandemaskin. Blandeprosedyren som benyttes er standard for denne typen prøving ved betonglaben, med blanding av tørt materiale før tilsetning av våte ingredienser og henstilling.

Tabell 9 Prosedyre for blanding av betong

2 minutter	Tørrblanding
2 minutter	Våtblanding
1 minutt	Henstilling
2 minutter	Blanding

### 3.3. Testing av egenskaper for fersk betong

Umiddelbart etter at blandeprosedyren er ferdig gjennomføres prøving av slumpmål, i henhold til NS-EN 12350-2:2009 (Standard Norge, 2009), og målinger av betongens flyteskjærspenning og viskositet ved hjelp av et BML-viskosimeter (Smeplass, 2004b). Disse forsøkene gjøres for å bestemme egenskapene til de ulike betongreseptene i fersk tilstand med hensyn til den praktiske gjennomføringen av dekkstøp, og hvilke metoder og tiltak som vil være nødvendige for å støpe dekkene så effektivt som mulig.

### 3.4. Måling av densitet

Betongens densitet er beregnet både ved avforming og ved prøving. Dette gjøres ved å finne vekten av prøvestykkene i luft og suspendert i vann. Forskjellen på de to verdiene gir prøvestykkets eksakte volum for mer nøyaktig bestemmelse av densitet enn en antakelse om at 1 liter er korrekt volum.

Betongens densitet antas å variere noe basert på massetettheten til de ulike sementtypene og pozzolanene som er benyttet. Denne kunnskapen kan være nyttig da ulike verdier for betongens densitet vil gi utslag for betongdekkenes egenlast, og dermed potensielt være viktig for beregning av nødvendige armeringsmengder.

### 3.5. Fasthetsmåling

For å teste betongens fasthetsutvikling støpes det kuber som måler 10cm\*10cm\*10cm for testing av trykkfasthet ved bestemte tidspunkter gjennom herdingsforløpet. Tabell 10 viser tidspunktene for testing som er valgt.

Tabell 10 Prøvetidspunkter for måling av trykkfasthet

12 timer	1 døgn	2 døgn	3 døgn	7 døgn	28 døgn
----------	--------	--------	--------	--------	---------

Testene fra 12 timer til 7 døgn er valgt for å kartlegge betongprøvenes fasthetsutvikling i tidlig herdefase. For denne oppgaven er resultatene etter tre døgn spesielt viktige da det er kapasiteten ved dette tidspunktet som er kritisk med tanke på oppspenning av trykkrefter som beskrevet i kapittel 2.2.6.

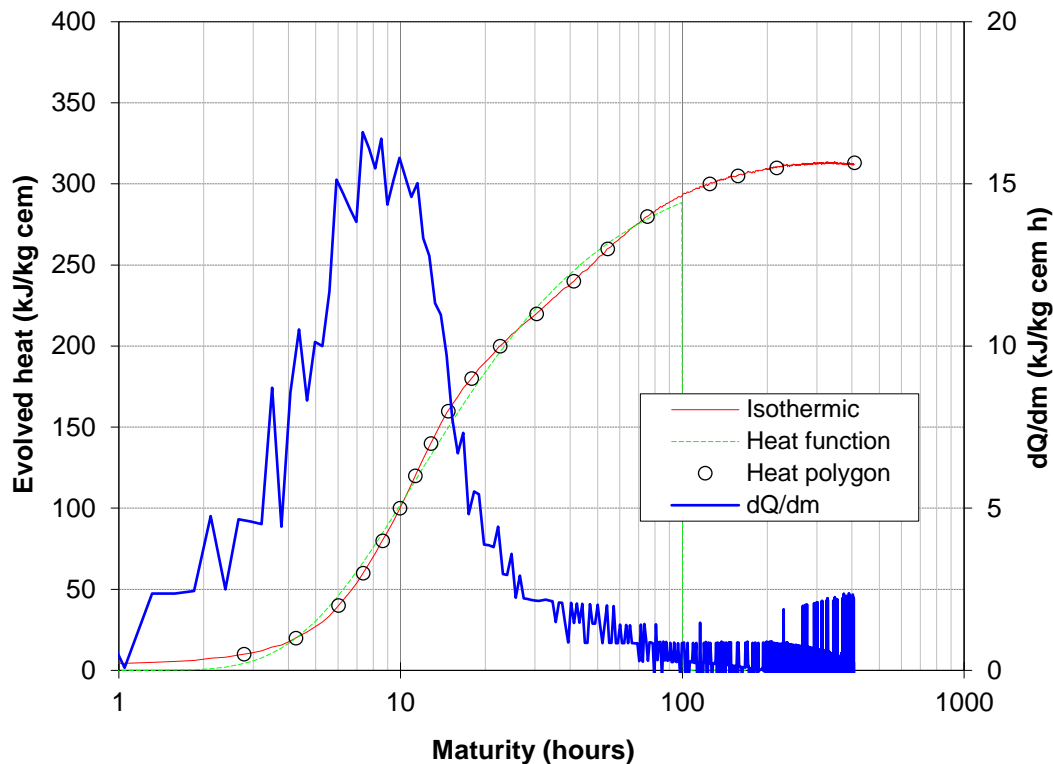
Betongprøvene avformes etter 24 timer og plasseres deretter i vannbad for å sørge for identiske forhold for herding av samtlige prøver med tanke på temperatur og fukt. Trykkapasiteten testes i en ToniTechnik 3-tonns trykkpresse som påfører prøvene gradvis økende trykkraft til brudd oppstår. Det støpes totalt 18 prøver, hvorav tre testes ved hvert av prøvetidspunktene for å redusere betydningen av individuelle forskjeller mellom prøvestykkene og eventuelle svakheter i enkeltprøver.

### 3.6. Herdekasse

Herdekasseforsøkene gjøres for å følge varmeutviklingen i betongen fra vanntilsetning under blanding og gjennom herdeprosessen for å finne mengden varme som produseres av de kjemiske reaksjonene involvert. Dette for å kunne bedømme hvor raskt disse reaksjonene skjer ved ulike tidspunkter i herdeforløpet (Smeplass, 2003a).

Herdekassen består av en isolert kasse som rommer om lag 15 liter. Kassen fylles med fersk betong, og en temperatursensor plasseres midt i betongmassen, som loggfører temperaturen i betongen hvert 15. minutt. I dette forsøket ble kassene plassert i et varmerom med temperatur rundt 38 grader celsius for å sørge for en hurtigere hydratisering, se kapittel 2.2.2. Dette ble gjort for å sørge for tilstrekkelig reaksjonshastighet for å få målbare verdier for betongens varmeproduksjon, ettersom varmeproduksjonen i disse betongene forventes å være svært lav, se kapittel 2.2.2. Normalt ville disse prøvene blitt gjort ved romtemperatur, men for de aktuelle betongtypene vil den lave varmeproduksjonen man forventer under slike forhold gi for stor usikkerhet i resultatene. Varmeutviklingen evalueres etter en ukes herding ved bruk av regneark utviklet for dette formålet (Smeplass, 2017).

Figur 3-1 viser typiske resultater fra et herdekasseforsøk for en standard betong. Den blå kurven,  $\frac{dQ}{dt}$ , viser hvordan intensiteten i varmeutviklingen i betongen varierer ettersom betongen hydratiserer. Den røde kurven viser den målte akkumulerte varmeproduksjonen i betongen mens den grønne kurven representerer en funksjon basert på disse målingene. Utviklingen er plottet på tidsaksen etter betongens modenhet, se kapittel 2.2.4.



Figur 3-1 Eksempel på resultat fra herdekasse for standard betong

For betongtypene i denne oppgaven kan man som et resultat av sammensetningen av mineraler i bindemidlene som beskrevet i kapittel 2.2.2 forvente at varmeutviklingen vil ha en vesentlig lavere intensitet og nå maksimal intensitet på ett senere tidspunkt enn for en standard betong, mens den også forventes å holde et moderat nivå i lengre tid enn for en standard betong. Man kan altså forvente at kurven for varmeutvikling vil ha en lavere men mer avrundet topp sammenlignet med Figur 3-1. Det er også å forvente at den totale akkumulerte varmen vil være betydelig lavere enn for en standard betong.

Resultatene fra dette forsøket vil vise forskjellene i forløpet til varmeutviklingen og den totale varmemengden produsert av de ulike reseptene. Dette vil være nyttig for å vurdere effekten av herdingsakselerator, samt for å evaluere eventuelle andre tiltak for å sørge for at betongen herder tilstrekkelig hurtig etter støp på byggeplass i ulike forhold.

### 3.7. Aktiveringsenergi

Beregninger av betongens modenhet som beskrevet i kapittel 2.2.4 forutsetter at man kjenner til hvordan den aktuelle betongresepten reagerer i ulike temperaturforhold. Hydratiseringsraten til betongen avhenger av to faktorer; temperatur og betongens aktiveringsenergi. Betongens aktiveringsenergi er et tallfestet uttrykk for temperatursensitiviteten til betongens hydratiseringsrate, og vil i stor grad avhenge av sammensetningen av bindemiddelet.

Hydratiseringsraten idealiseres som en funksjon av betongens temperatur som vist i Formel 4. Funksjonen for aktiveringsenergi er gitt av Formel 5 for temperaturer lavere enn 20°C og Formel 6 for temperaturer høyere enn 20°C. Forsøkene for å bestemme betongens aktiveringsenergi søker å finne verdier for konstantene A og B for de ulike bindemiddeltypene.



Formel 4 Hydratiseringsratefunksjonen

$$H(T) = e^{\frac{E(T)}{R} \left( \frac{1}{273} - \frac{1}{293-T} \right)}$$

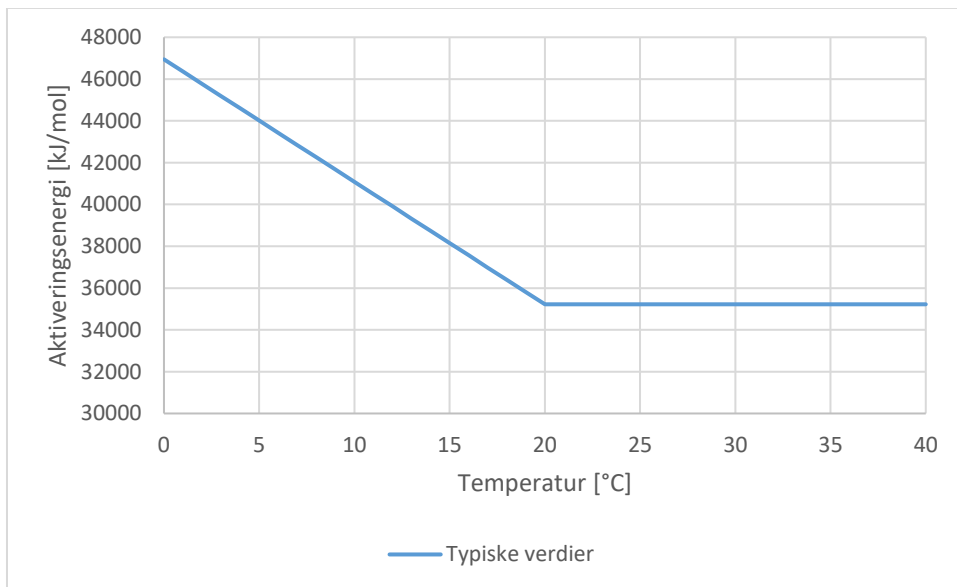
Formel 5 Aktiveringsenergi ved temperatur  $T < 20^\circ\text{C}$

$$E(T) = A + B(20 - T), T < 20^\circ\text{C}$$

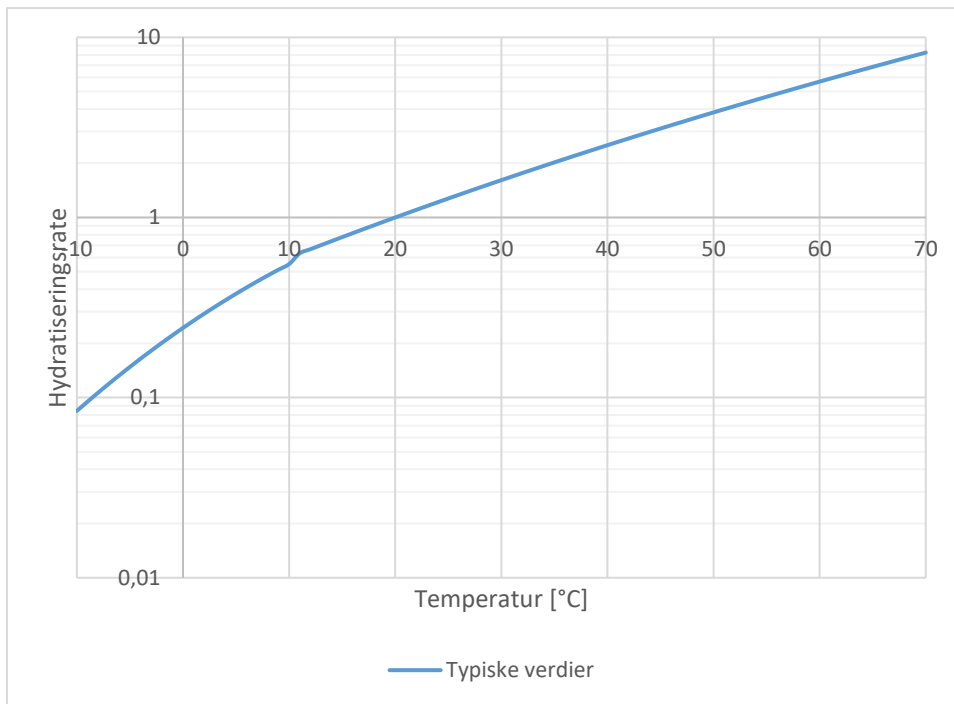
Formel 6 Aktiveringsenergi ved temperatur  $T > 20^\circ\text{C}$

$$E(T) = A, T > 20^\circ\text{C}$$

Som vi ser av formlene for aktiveringsenergi vil denne være konstant lik A for alle temperaturer høyere enn  $20^\circ\text{C}$ , mens den øker konstant ettersom temperaturen synker mot null. Fra Formel 4 ser man også tydelig at høyere aktiveringsenergi vil gjøre hydratiseringen mer temperaturfølsom. Dette er illustrert i Figur 3-2 for  $A=33500$  og  $B=1470$ , som er typiske verdier estimert i (Smeplass, 2003a). Den resulterende hydratiseringsraten er representert i Figur 3-3.



Figur 3-2 Typisk aktiveringsenergi som funksjon av temperatur



Figur 3-3 Typisk hydratiseringsrate som funksjon av temperatur

Fra Figur 3-3 ser man eksempelvis at hydratiseringsraten ved 30°C vil være om lag 1,5 ganger høyere enn raten ved 20°C, mens ved 10°C er den redusert til 0,5 ganger denne raten.

Som beskrevet i kapittel 2.2.2 er det å forvente at betongene omfattet av denne oppgaven er svært sensitive for temperaturforskjeller på grunn av det høye innholdet av pozzolaner, og den høye temperatursensitiviteten til reaksjonene til mineralene disse inneholder sammenlignet med sementmineralene.

For å beregne aktiveringsenergien til de aktuelle betongtypene støpes det prøver tilsvarende prøvene i fasthetstesting, forklart i kapittel 3.2.3 og 3.5. Disse herdes ved ulike temperaturer for å gi ulike herdingsforløp. En gruppe ved ca. 5°C, en gruppe ved ca. 20° og en gruppe ved ca. 38°C, og temperaturene i omgivelsene loggføres for å kunne gjøre presise beregninger i henhold til modenhetsprinsippet. Trykkfastheten til prøvene testes ved tilsvarende tidspunkt i modenhetsforløpet basert på estimerte verdier for aktiveringsenergi. Sammenligning av disse testresultatene ved hjelp av regneark utviklet for formålet gir verdier for betongens aktiveringsenergi (Smeplass, 2017).

Å kjenne betongens aktiveringsenergi vil være svært nyttig for gjennomføringen av prosjektet da det vil kunne gi svar på når betongen har herdet tilstrekkelig til å kunne påføre spennkraft i henhold til kapittel 2.2.6. Ved å måle betongens temperatur gjennom herdeforløpet på byggeplass vil man kunne beregne den reelle modenheten til betongdekket, som forklart i kapittel 2.2.4, og med det kunne vurdere hvorvidt den har oppnådd tilstrekkelig trykkfasthet til å bli påført den nødvendige trykkraften.

Til aktiveringsenergiforsøket ble resept 4 og 6 valgt til testing. Dette fordi tidlige resultater fra fasthetsprøvene viste at disse ville møte kravene om tidlig fasthetsutvikling gitt av prosjektet, og vil være representative for de to bindemiddelsammensetningene som er forsøkt.

## Kapittel 4 Resultater

Som forklart i kapittel 2.2 er målet for prosjektet å produsere betong i fasthetsklasse B35 med fasthet høyere enn 25 MPa etter tre døgns herding, og med mindre enn 1500 MJ innebygget energi per kubikkmeter betong.

### 4.1. Miljøberegninger

#### 4.1.1. Delmaterialer

Her følger en beskrivelse av basis for energiberegningene for de ulike delmaterialene i produksjon og transport. EPD-er og transportberegninger som danner grunnlaget for dette finnes i vedlegget.

##### 4.1.1.1. Sement

Informasjon for sementene NorCem Standard-FA, Industri og Slaggsement er hentet fra de respektive EPD-er. ("CEM I, Industrisement," 2014; "CEM II, Standardsement FA (CEM II/B-M)," 2016; "MRPI®-erklaring ENCI B.V. voor CEM III/B 42,5 N," 2012). EPD for slaggsementen kommer fra leverandøren i Nederland, ENCI, og er ikke verifisert for bruk i Norge. Likevel må disse tre regnes for å være den mest pålitelige tilgjengelige informasjonen for disse produktene per dags dato.

##### 4.1.1.2. Pozzolaner

Flygeaske og silikastøv regnes som biprodukter fra annen industri (Hansrud, 2017). Disse regnes derfor med å ha null energiforbruk knyttet til produksjon, og det eneste bidraget fra disse kommer dermed fra transport til fabrikk (Smeplass, 2017).

##### 4.1.1.3. X-Seed

Verdien beregnet for X-Seed er en generisk verdi som benyttes i EPD-kalkulatorer for alle typer tilsetningsstoffer (Tverrdal, 2017). Det er derfor knyttet stor usikkerhet til denne verdien, og det er sannsynlig at den generiske verdien er betydelig høyere enn den reelle verdien for X-Seed (Smeplass, 2017).

##### 4.1.1.4. Transport

Bidrag fra transport av delmaterialene er gjort ved hjelp av Østfoldforsknings transportkalkulator (Østfoldforskning, 2017) basert på transportavstander fra de ulike materialenes opphavssted til fabrikk i Trondheim (Tverrdal, 2017).

#### 4.1.2. Beregninger

##### 4.1.2.1. Innebygget energi

Fra dataene innhentet som beskrevet i kapittel 3.1 får vi sammenstilt den innebyggede energien som tilhører de ulike delmaterialene, gitt i Tabell 11.

Tabell 11 Beregning av innebygget energi for delmaterialer

Bidrag fra produkt og transport [MJ/tonn]			
	Produkt	Transport	SUM
STD FA	4035,6	548,5	4584,1
Industri	5551,5	548,5	6100,0
Slagg	2300,0	1414,4	3714,4
FA	0,00	879,1	879,1
Silika	0,00	646,0	646,0
X-Seed	0,035	0	0,035

Sammensetningen av de 7 reseptene utarbeidet som beskrevet i kapittel 3.2.2 fører til en gitt mengde av de ulike delmaterialene per kubikkmeter ferdig betong. Disse mengdene er gitt i Tabell 12.

Tabell 12 Mengder delmaterialer pr kubikkmeter betong

Mengde pr m <sup>3</sup> betong [kg]						
Resept	STD FA	Industri	Slagg	FA	Silika	X-Seed
1	158,31	0	0	138,53	32,98	0
2	0	131,12	0	163,91	32,78	0
3	168,07	0	0	147,07	35,02	5,25
4	168,07	0	0	147,07	35,02	0
5	158,31	0	0	138,52	32,98	5,25
6	0	0	313,19	0	34,80	0
7	0	0	313,18	0	34,80	5,25

Tabell 11 og Tabell 12 gir oss sammen grunnlag for å beregne bidraget til innebygget energi fra produksjon og transport av betongens delmaterialer for de ulike reseptene testet i denne oppgaven. I tillegg til dette er det innhentet verdier fra sammenlignbare betongresepter fra en EPD-kalkulator. Dette for å sammenligne tallene beregnet ved hjelp av offentlig tilgjengelig informasjon med resultater man får fra bransjens egne EPD-verktøy (Smeplass, 2017). Dette vil også ta høyde for energibruk i forbindelse med produksjon av betong på fabrikk, noe som ikke er tilfelle for beregningene basert på EPD-er. Tabell 13 viser denne sammenligningen sammen med den relative økningen fra EPD-beregningene til tallene basert på kalkulatoren.

Tabell 13 Innebygget energi per kubikkmeter betong

MJ/m <sup>3</sup> ferdig betong			
Resept	MJ/m <sup>3</sup> (EPD)	MJ/m <sup>3</sup> (kalkulator)	Forskjell
1	781,98	1317,34	68,46 %
2	893,20	1449,44	62,28 %
3	1018,21	1551,09	52,34 %
4	830,21	1363,09	64,19 %
5	969,98	1505,34	55,19 %
6	465,44	2287,94	391,56 %
7	653,44	2475,94	278,91 %

Man ser umiddelbart fra Tabell 13 at det er til dels store forskjeller i hvordan de ulike reseptene slår ut. Spesielt har betongene med slaggsement, resept 6 og resept 7, svært ulike utslag, langt høyere enn det som kan forventes basert på tillegg fra energibruk i forbindelse med produksjon på fabrikk.

Vi ser også fra Tabell 13 at av alle reseptene med bindemiddel av sement og flygeaske (resept 1-5) er det kun de to reseptene med akselerator (resept 3 og 5) som overskrider kravet om maksimal innebygget energi på 1500 MJ/m<sup>3</sup> ferdig betong, og disse er også svært nære å oppfylle kravet.

#### 4.1.2.2. Klimagassutslipp

Klimagassutslipp i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for de ulike betongreseptene er hentet fra tall fra bransjens EPD-kalkulator. Tabell 14 viser resultatet i beregnede CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kubikkmeter ferdig betong sammenlignet med bransjens referanseverdi for lavkarbonbetong klasse A, den høyeste lavkarbonklassen definert av Norsk Betongforening ("NB 37 Lavkarbonbetong," 2015). Lavkarbonbetong og bransjereferansene er grundigere behandlet i (Hanserud, 2017) og (Sælen, 2016).

Tabell 14 CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per m<sup>3</sup> betong

CO <sub>2</sub> -ekvivalenter per m <sup>3</sup> betong	
Resept	CO <sub>2</sub> -ekv [kg/m <sup>3</sup> ]
1	127,1
2	138,8
3	134,4
4	133,4
5	128,1
6	173,6
7	174,7
Bransjereferanse lavkarbon A	210

Som forventet har tiltakene for å redusere innebygget energi også ført til at samtlige betongresepter har vesentlig lavere verdier for tilknyttede klimagassutslipp enn selv bransjens høyeste standard for lavkarbonbetong.

## 4.2. Betongegenskaper

### 4.2.1. Densitet

Tabell 15 Viser målt densitet ved avforming og prøving for alle betongreseptene. Densitet i området 2,4 tonn per kubikkmeter er som forventet for betonger med normalt tilslag. Der viser seg også at samtlige resepter har høyere densitet enn det proporsjoneringen tilsier. Dette kan skyldes tenkes å skyldes feil ved blanding og høyere luftinnhold eller avvik i bestanddelenes faktiske densitet sammenlignet med densiteten brukt til proporsjonering. Alle densitetsmålinger finnes i vedlegget.

Tabell 15 Betongdensitet ved avforming og prøving

Resept	Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Tidspunkt	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
1	2347	Avforming	2369
		Prøving	2369
2	2344	Avforming	2351
		Prøving	2354
3	2377	Avforming	2433
		Prøving	2439
4	2376	Avforming	2431
		Prøving	2447
5	2347	Avforming	2392
		Prøving	2396
6	2374	Avforming	2407
		Prøving	2424
7	2377	Avforming	2409
		Prøving	2418

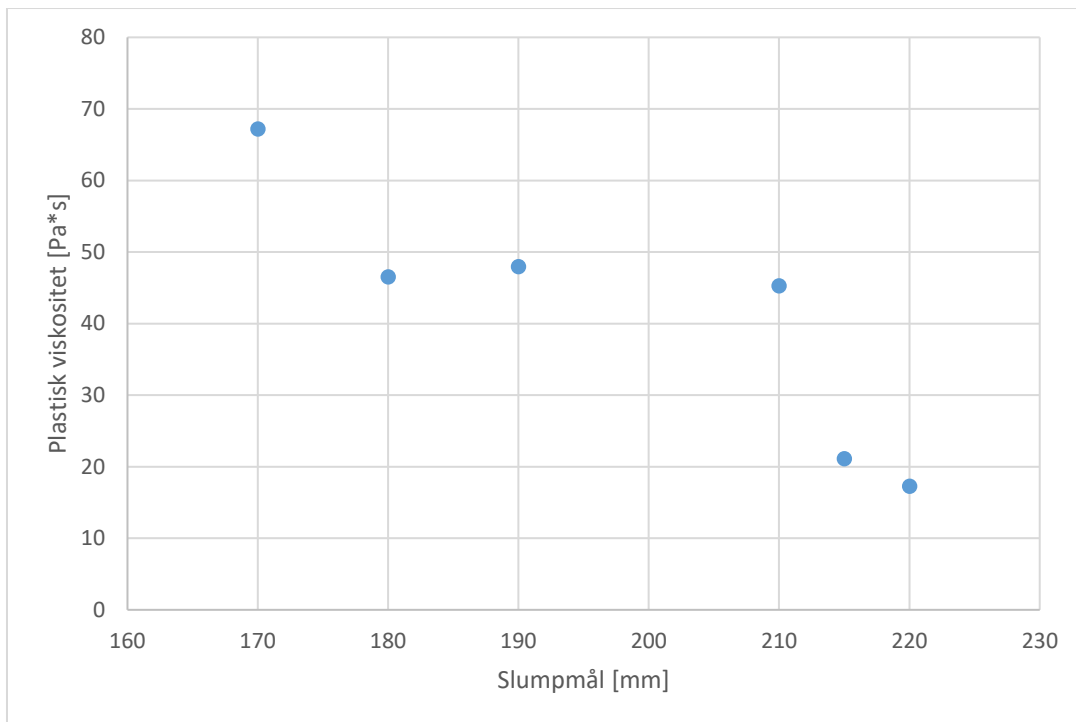
#### 4.2.2. Egenskaper i fersk tilstand

Tabell 16 viser resultatene fra forsøkene for å måle egenskapene til den ferske betongen. BML-testen for resept 4 ble ikke utført på riktig måte, og resultatene er derfor ikke brukbare.

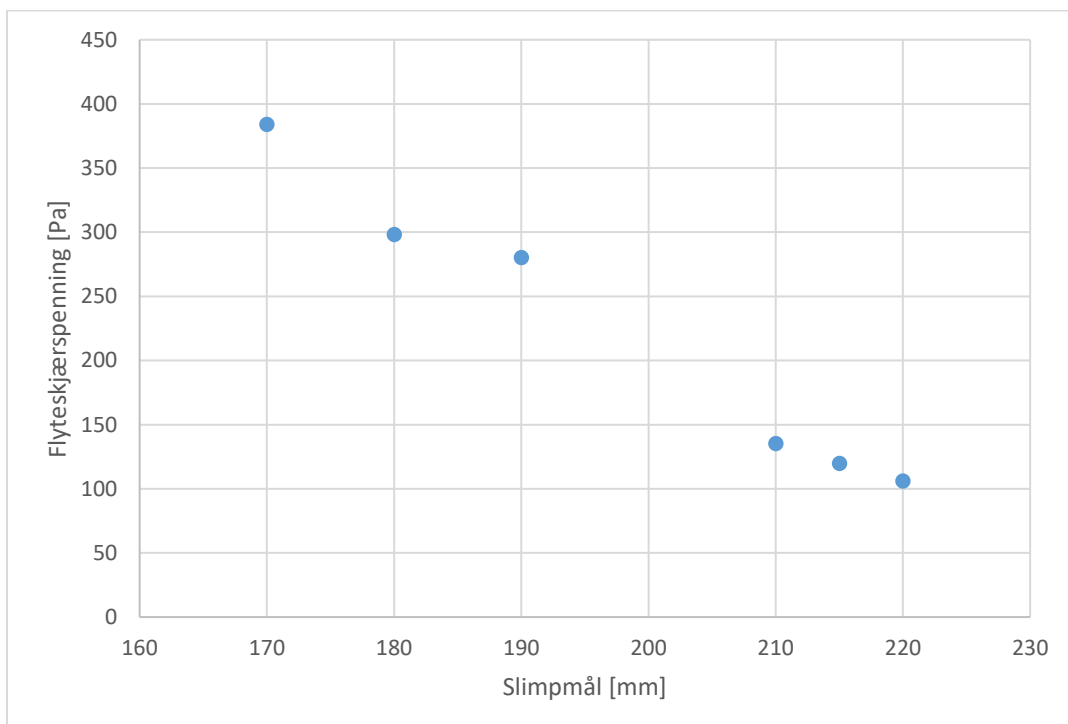
Tabell 16 Resultater fra slumpmål og BML-viskosimeter

Resept	Slump [mm]	Flyteskjærspenning [Pa]	Plastisk viskositet [Pa*s]
1	215	119,7923	21,12396
2	220	105,8991	17,25366
3	170	383,8933	67,19753
4	185	<del>199,7996</del>	<del>157,739</del>
5	180	298,1385	46,52389
6	210	135,0805	45,25185
7	190	280,0788	47,93453

Vi ser fra Tabell 16 at enkelte av betongvariantene avviker noe fra det ønskede 200 mm. Dette skyldes antakeligvis manglene erfaring og fingerspitzgefühl med proporsjonering av plastiserende tilsetningsstoff under blanding. Videre justering av mengden tilsetningsstoff bør kunne sørge for at betongen får de ønskede egenskapene for støp. Det er også helt tydelig en invers sammenheng mellom slumpmål og både viskositet og flyteskjærspenning, som illustrert i Figur 4-1 og Figur 4-2. Høyere viskositet kan medføre problemer med betongens pumpbarhet, og justeringer av reseptene for å sørge for at denne er god kan være nødvendig.



Figur 4-1 Sammenheng mellom slumpmål og plastisk viskositet



Figur 4-2 Sammenheng mellom slumpmål og flyteskjærspenning

### 4.3. Fasthet

Som forklart i kapittel 3.5 er samtlige resepter testet gjennom herdeforløpet for å undersøke fasthetsutviklingen gjennom den tidlige fasen, samt for å bedømme fastheten etter 28 døgn for å kunne bestemme om målsetningen om fasthetsklasse B35 nås. Tabell 17 viser den gjennomsnittlige fastheten til de tre prøvene testet av hver resept ved de ulike prøvetidspunktene herdet ved 20°C. Trykkfastheten for hver enkelt prøve finnes i vedlegget.

Tabell 17 Resultater av fasthetsmåling

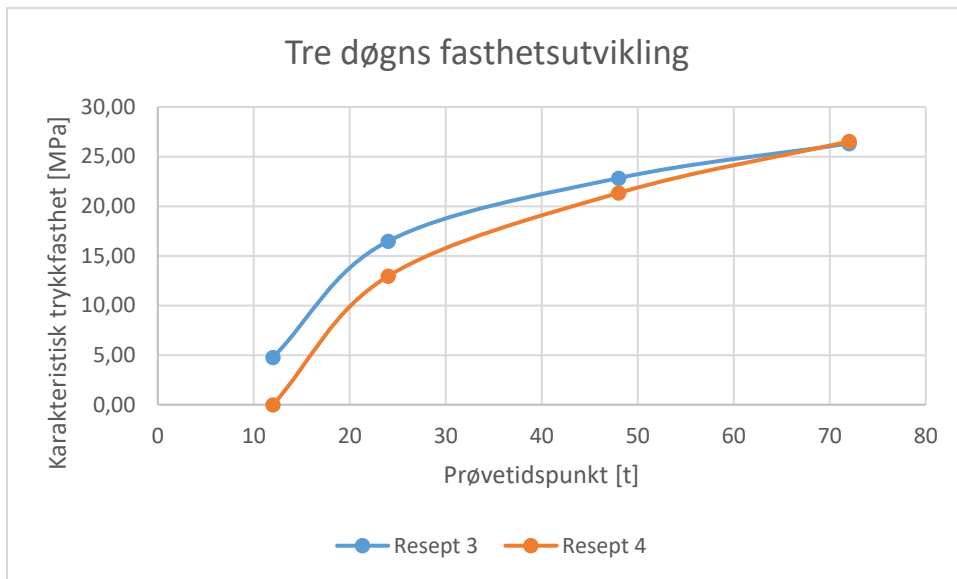
Tidspunkt [døgn]	Resept						
	1	2	3	4	5	6	7
	Fasthet [MPa]						
0,5	0,00	0,00	4,77	0,00	3,33	2,03	3,58
1	5,07	4,33	16,48	12,96	10,10	11,74	15,11
2	7,47	6,13	22,84	21,34	13,86	18,85	21,25
3	8,97	7,13	26,31	26,53	16,47	24,57	26,90
7	12,24	8,45	37,85	38,05	24,27	41,13	42,38
28	24,13	18,64	62,84	65,24	43,10	62,75	62,00

Enkelte av reseptene står med null målt fasthet etter 12 timer da disse på det tidspunktet ikke hadde oppnådd tilstrekkelig styrke til at det var målbart med det tilgjengelige utstyret. De laveste målingene gjort med utstyret ligger i området 1,1 MPa, og det kan derfor antas at målingene uten resultater ville ligget lavere enn dette med utstyr i stand til å måle disse verdiene.

Resultatene i Tabell 17 viser at det er fire av reseptene som oppfyller kravet til B35. Tre av disse har også oppnådd fasthet høyere enn 25 MPa etter tre døgn, mens den fjerde kun er 0,43 MPa for lavt og bør være brukbar til formålet. De øvrige reseptene oppfyller ingen av kravene, og er mindre interessante å drøfte videre.

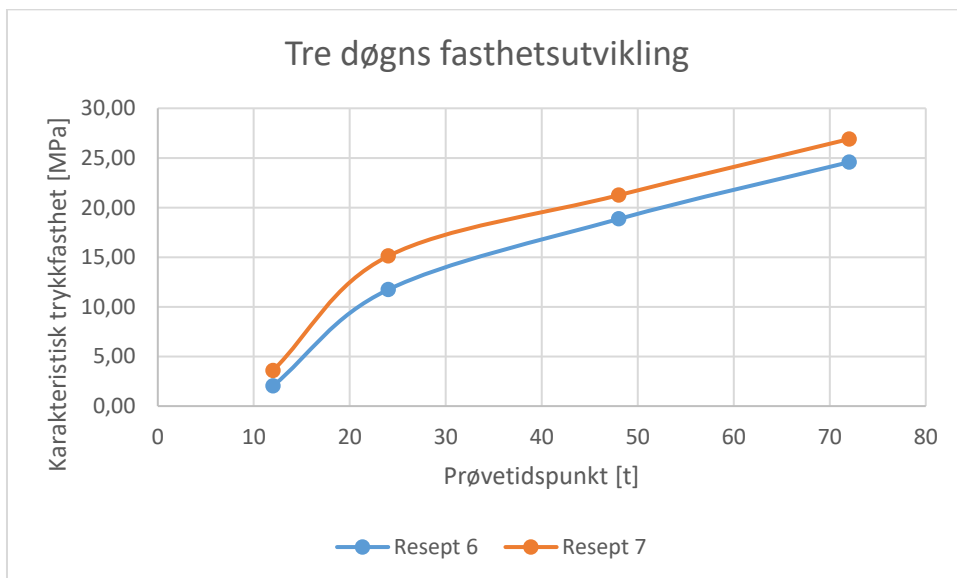
Effekten av akseleratoren X-Seed er også synlig på disse målingene. Akseleratoren har hatt størst effekt ved de tidligste prøvetidspunktene, mens tilsvarende resepter uten akselerator i stor grad har utjevnet forskjellen allerede etter tre døgn. Figur 4-3, som viser fasthetsutviklingen gjennom de første tre døgnene for resept 3 og 4, illustrerer hvordan herdeforløpet i denne tidlige fasen forløper med og uten akselerator når de andre faktorene er uendret.





Figur 4-3 Fasthetsutvikling gjennom tre døgn for resept 3 og 4

Akseleratoren vil dermed ikke ha noen merkbar effekt med tanke på målet om 25 MPa for reseptene med Standard-FA-bindemidler. Effekten virker å være noe annerledes for reseptene med slaggsement (resept 6 og 7), som vist av Figur 4-4. Her er fastheten målt noe høyere gjennom hele forløpet, også etter 7 døgn, som vi også ser i Tabell 17.



Figur 4-4 Fasthetsutvikling gjennom tre døgn for resept 6 og 7

Datagrunnlaget med tre prøver per prøvetidspunkt kan være noe tynt til å konkludere basert på dette alene. Det kan likevel være grunnlag for å benytte akselerator tross manglende effekt på fastheten etter tre døgn i seg selv, mer om dette i kapittel 3.6 Herdekasse og 5.5 Herdetiltak.

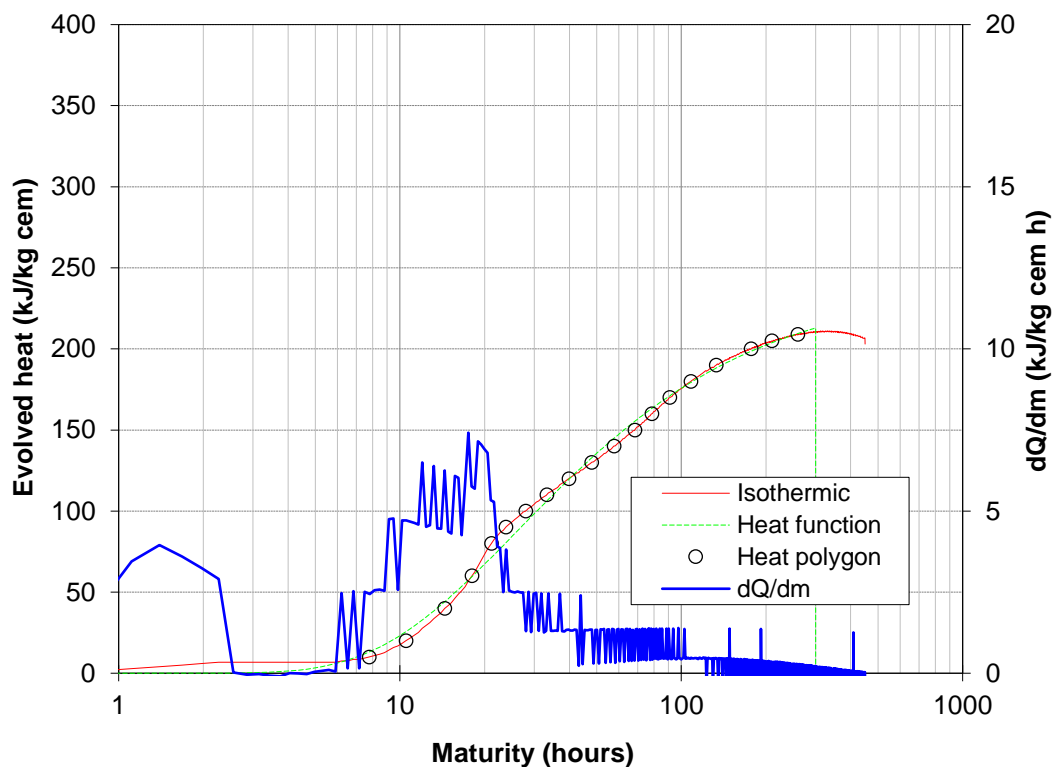
#### 4.4. Herdekasse

Her følger resultatene fra herdekasse-forsøket som beskrevet i kapittel 3.6. Tabell 18 viser den totale utviklede varmen etter 300 modenhetstimer, som er standard sammenligningsgrunnlag for sammenligning av betonger av denne typen (Smeplass, 2017).

Tabell 18 Total utviklet varme etter 300 modenhetstimer

Resept	Q [kJ/kg sement]
1	210,14
2	200,60
5	227,78
7	227,56

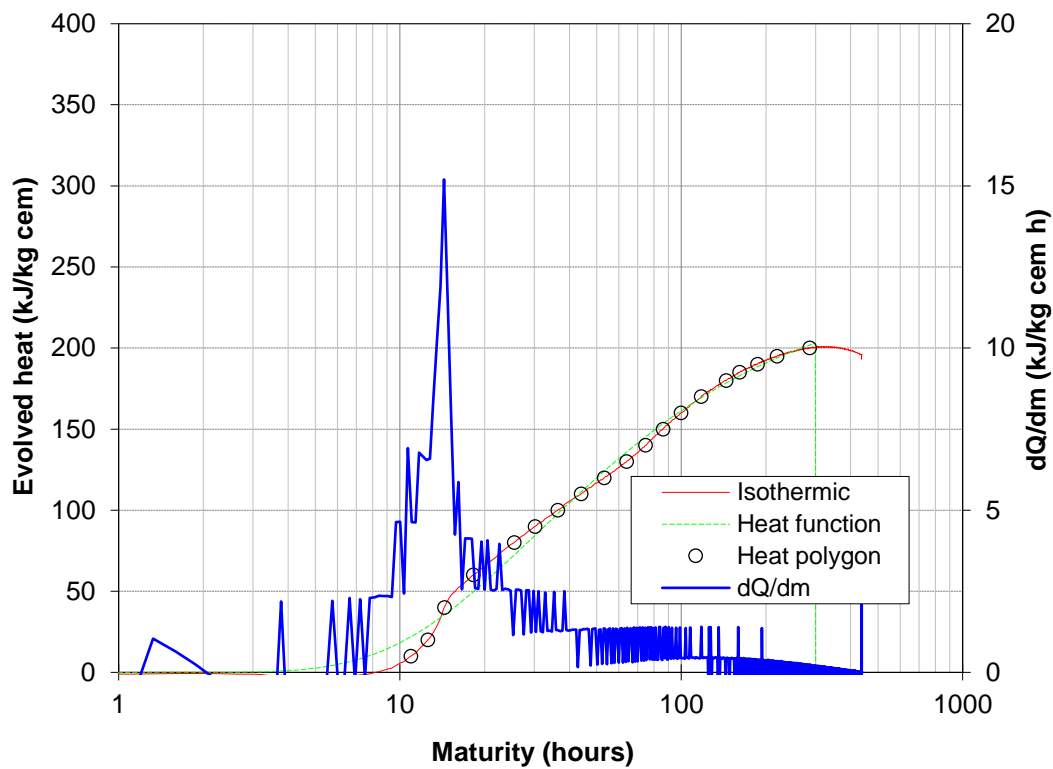
##### 4.4.1. Resept 1



Figur 4-5 Resultater fra herdekasse for resept 1

Resultatene fra det første herdekasse-forsøket viser som forventet en helt annen kurve for intensitet i varmeproduksjon,  $\frac{dQ}{dm}$ , enn forløpet for en standard betong som forklart i kapittel 3.6. Den maksimale intensiteten forekommer ikke før 10 til 11 timer har passert, og er betydelig lavere enn for standard betongresepter. Den totale utviklede varmen, illustrert av den røde kurven, er også betydelig lavere.

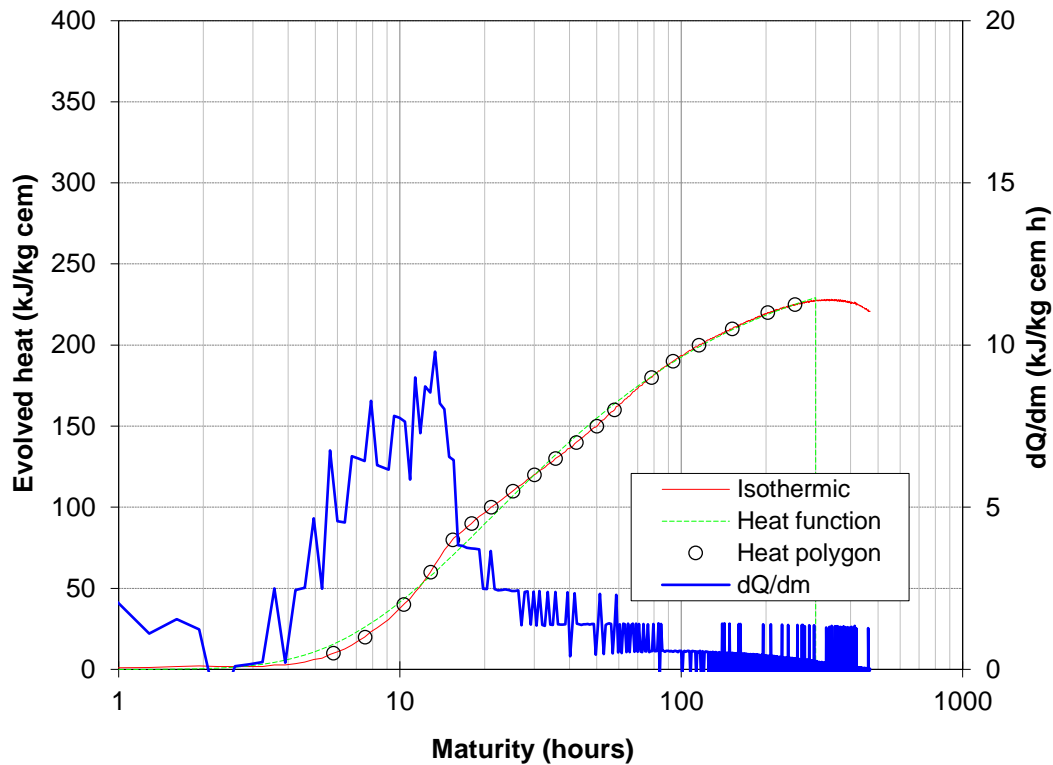
#### 4.4.2. Resept 2



Figur 4-6 Resultater fra herdekasse for resept 2

Resepten med industrisement viser et annerledes forløp enn standardsementen. Den svært finmalte sementen fører til en skarpere og høyere topp i intensitet i varmeproduksjon. Denne høye intensiteten har betydelig kortere varighet enn toppen hos resept 1 med standardsement. Dette gir også utslag i den totale produserte varmen, som er noe lavere.

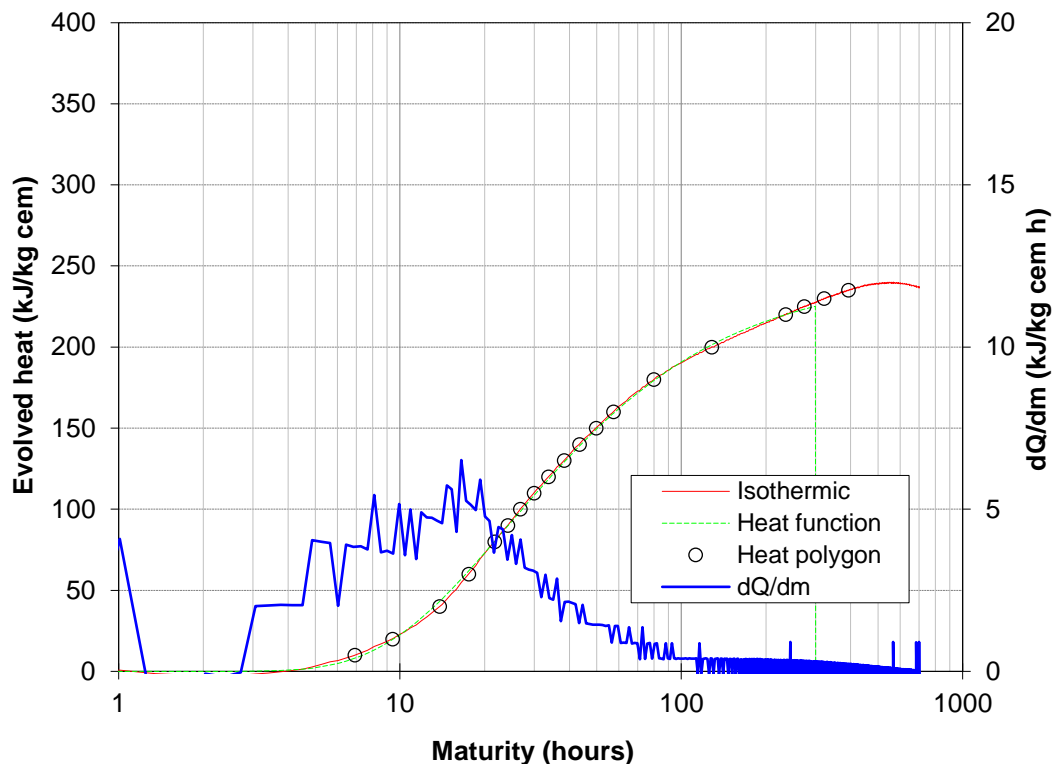
#### 4.4.3. Resept 5



Figur 4-7 Resultater fra herdekasse for resept 5

Resept 5 tilsvarer resept 1, med tillagt herdingsakselerator. Intensiteten i hydratiseringsraten øker her betydelig tidligere enn den uakselererte betongen, og nærmer seg sin høyeste intensitet allerede etter 7 til 8 timer. Den høyeste intensiteten er også betydelig høyere enn tilsvarende resept uten akselerator. Dette fører til at den totale produserte varmen er noe høyere etter 7 døgn enn uten akselerator.

#### 4.4.4. Resept 7



Figur 4-8 Resultater fra herdekasse for resept 7

Resept 7 består av slaggsement, og har som forventet en noe annerledes hydratiseringskurve enn de andre reseptene. Hydratiseringsraten stiger og synker betydelig langsommere enn for flygeaskebetongene. På tross av at den maksimale intensiteten er lavere enn hos de andre betongene gjør det at den holder en moderat reaksjonshastighet over lengre tid at den totale varmen utviklet er høyere enn for de andre reseptene.

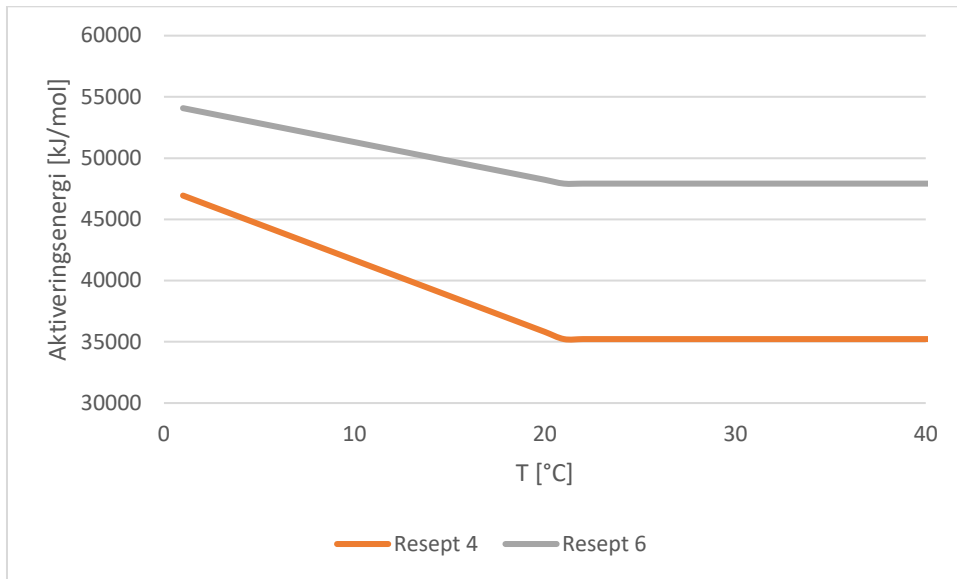
#### 4.5. Aktiveringsenergi

Resultatene fra aktiveringsenergi-forsøket består av verdien av konstantene A og B for bruk i hydratiseringsratefunksjonen som beskrevet i kapittel 3.7. De resulterende verdiene er presentert i Tabell 19. Resultatene viser at begge bindemiddeltypene vil være svært sensitive for temperaturendringer, men at slaggbetongen vil være betydelig mer sensitiv for dette enn flygeaskebetongen.

Tabell 19 Resultater fra aktiveringsenergi-forsøk

Resept	Konstant	Verdi
4	A	35224
	B	586
6	A	47920
	B	308

Begge disse verdiene er i det forventede området for betongtyper med store mengder henholdsvis flygeaske og slagg (Smeplass, 2017). Den beregnede aktiveringsenergien, fra Formel 5 og Formel 6, er vist i Figur 4-9.



Figur 4-9 Aktiveringsenergi for resept 4 og 6 som funksjon av temperatur

## Kapittel 5 Diskusjon

### 5.1. Miljøberegninger

Det er tydelig fra de store ulikhetene mellom de to utregningene av innebygget energi at det er betydelige faktorer som inngår i beregningene hos EPD-kalkulatoren det er vanskelig å beregne basert på tilgjengelige data. Dette innebærer verdier for tilslag, vann, og energi som kreves i produksjonsprosessen på betongfabrikk. Den store variasjonen i forskjellen mellom de to beregningene tyder også på at tallene hos kalkulatoren baserer seg på andre data enn det som er oppgitt i de tilgjengelige EPD-ene. Dette gjelder spesielt for slaggsementen hvor denne betongen har flere ganger høyere verdier for innebygget energi i tallene fra kalkulatoren enn det som beregnes i denne oppgaven.

På bakgrunn av usikkerhet rundt bidragene det ikke har vært mulig å finne gode kilder for verdier til, samt usikkerhet knyttet til nøyaktigheten av transportkalkulatoren er for den aktuelle typen transport er det utvilsomt mest hensiktsmessig å forholde seg til beregningene fra bransjens egen EPD-kalkulator.

Tabell 20 Innebygget energi per kubikkmeter betong

MJ/m <sup>3</sup> ferdig betong		
Resept	MJ/m <sup>3</sup> (EPD)	MJ/m <sup>3</sup> (kalkulator)
1	781,98	1317,34
2	893,20	1449,44
3	1018,21	1551,09
4	830,21	1363,09
5	969,98	1505,34
6	465,44	2287,94
7	653,44	2475,94

Vi ser altså at samtlige resepter med flygeaskebetong uten akselerator (resept 1, 2 og 4) oppfyller kravet om 1500 MJ per kubikkmeter. Avstanden fra aktuelle betongfabrikker til byggeplassen på Brattørkaia er heller ikke lang nok til at summene vil overskride dette kravet (Smeplass, 2017). Verdiene knyttet til X-Seed er antatt å være kunstig høye, 188 MJ for 8 liter per kubikkmeter betong. Derfor er det ikke gitt at bruk av akselerator gjør betongreseptene uakseptable om man kan få på plass realistiske verdier (Smeplass, 2017; Tverrdal, 2017).

Slaggbetongene er til sammenligning langt unna å oppnå kravet. Dette skyldes i stor grad at sementen per dags dato fraktes med båt fra produsenten i Nederland til Stavanger, for deretter å fraktes på vei fra Stavanger til Trondheim (Tverrdal, 2017). Det er derfor ikke aktuelt å benytte denne til Powerhouse Brattørkaia, men kunnskapen fra de øvrige forsøkene i denne oppgaven er potensielt verdifull for fremtidige prosjekter på andre steder, eller dersom transportsituasjonen skulle endre seg. Eksempelvis vil beregningene for et tenkt prosjekt i Stavanger kunne se helt annerledes ut.

Klimagassregnskapet viser tydelig at samtlige resepter kommer svært godt ut i forhold til bransjens standarder. Dette vil være gunstig med tanke på BREEAM-sertifisering for prosjektet som helhet, da klimagassutslipp er en viktig faktor i BREEAM-NOR. I tillegg viser det tydelig at etterspente flatdekker kan optimaliseres videre sammenlignet med det tidligere arbeider har vist, og være fortsette å være gunstig for prosjekter med primærfokus på klimagassutslipp.

## 5.2. Fasthet

Fra fasthetsmålingene fra resept 1, 2 og 5 er det tydelig at denne sammensetningen ikke er spesielt godt egnet for å produsere betong av den ønskede fasthetsklassen eller den påkrevde tidlige fasthetsutviklingen. Resultatene fra disse forsøkene er så mye lavere enn forventet at man ikke kan utelukke at det har vært gjort feil i prosedyren med oppmåling, blanding eller testing. At det samme resultatet er tydelig for alle tre resepter tyder likevel på at den uansett ikke vil være brukbar innenfor prosjektets rammer.

Flygeaskebetongene med redusert masseforhold, resept 3 og 4, viser at man ved å redusere masseforholdet kan få en betydelig økning både i den tidlige fastheten som er nødvendig for etterspenning av dekker og 28-døgns fasthet for å oppnå målet om fasthetsklasse B35. Videre senkning av masseforholdet bør kunne føre til enda større økninger. Justering av masseforholdet viser seg å være langt mer effektivt for å øke den tidlige fastheten enn bruk av X-Seed.

Slaggbetongene oppnår den nødvendige fastheten både etter tre døgn og oppfyller kravene for fasthetsklasse B35. Den er derfor godt egnet for denne typen konstruksjoner og bør være aktuell for fremtidige prosjekter.

## 5.3. Herdekasse

Herdekasse-resultatene viser tydelig bakgrunnen for at det viste seg mer hensiktsmessig å benytte standardsement enn industrisement kombinert med flygeaske for å oppnå den nødvendige tidlige fastheten. Kombinasjonen av Standard-FA og flygeaske gir en høyere hydratiseringsrate over lengre tid enn blandingen med industrisement, og dette fører også til høyere fasthetsutvikling spesielt i den tidlige fasen av fasthetsutviklingen.

Resept 1 og 5 er like, med unntak av at resept 5 har fått tilsatt herdingsakselerator. De to kurvene for varmeproduksjon viser at akseleratoren fremskynder hydratiseringsforløpet med 4 til 5 timer, og gjør at maksimal varmeproduksjon og hydratiseringsrate øker med ca. 33%. Dette kan være en nyttig effekt å benytte seg av i den praktiske gjennomføringen av prosjektet.

Slaggbetongen har den laveste intensiteten i varmeproduksjon. Det vil bety at den er svært sensitiv for temperaturforandringer i omgivelsene da den ikke vil kunne holde seg selv varm gjennom det tidlige herdeforløpet i like stor grad som de øvrige reseptene.

## 5.4. Aktiveringsenergi

Begge blandingene viser seg å være svært sensitive for endringer i temperatur. Slaggbetongen spesielt vil ha store utslag i hydratiseringsraten som et resultat av endret temperatur. Denne sensitiviteten gjør det spesielt viktig å sørge for at betongen holder temperaturen oppe ved å gjennomføre tiltak som videre diskutert i kapittel 5.5.

## 5.5. Herdetiltak

Som vi ser fra kapittel 4.3 Fasthet oppnår betongen den nødvendige fastheten på 25 MPa etter tre døgn med svært liten margin. Målingene av aktiveringsenergi, som vist i kapittel 4.5, viser at selv små endringer i temperaturen vil ha store utslag på betongens hydratiseringsrate. Det vil derfor være svært viktig å sørge for at man fatter tiltak under og etter støp på byggeplassen som sørger for at betongen holder den nødvendige temperaturen for å oppnå den ønskede fastheten.



Fremdriftsplanen for prosjektet tilsier at det vil foregå støp i kalde årstider, og Powerhouse Brattørkaia vil på grunn av sin plassering være utsatt for mye vær og vind.

Vanlige tiltak for å sørge for tilstrekkelig temperatur er tildekking, isolering og oppvarming av betongen i tiden etter støp. Dette bør i aller høyeste grad være aktuelle tiltak også i dette tilfellet. I tillegg til dette vil de endringene i herdeforløpet som akseleratoren gir kunne være verdifulle å ta i bruk. Akseleratoren fører til at betongen begynner å produsere egen varme tidligere og mer intensivt. Jo tidligere denne toppen i hydratiseringsrate kommer, jo mindre vil tiden betongen har til å kjøles ned være. Om man i tillegg klarer å holde på varmen betongen produserer på egenhånd ved å isolere godt vil man kunne holde behovet for ekstern oppvarming til et minimum.

For å kontrollere at disse tiltakene virker som de skal vil det være hensiktsmessig å installere temperatursensorer på ulike steder i betongen. På den måten vil man kunne følge temperaturutviklingen i betongen fortløpende for å vurdere behovet for oppvarming, og man vil kunne bruke målingene til å beregne betongens fasthet etter modenhetsprinsippet for å forsikre at den har tilstrekkelig fasthet før etterspenning påføres.

## Kapittel 6 Konklusjon

Ved å bruke en bindemiddelsammensetning bestående primært av flygeaske er det mulig å lage betong med verdier for innebygget energi lavere enn  $1500 \text{ MJ/m}^3$ , som er kravet som stilles av prosjektet Powerhouse Brattørkaia. Ved det riktige masseforholdet vil slik betong også være egnet for bruk i etterspente flatdekker ved at den oppnår 25 MPa trykkfasthet etter tre døgn og oppfyller kravene til B35M90. Resept 4, med proposjoneringsparametre vist i Tabell 21, oppfyller både krav til innebygget energi og trykkfasthet. Den har  $1363 \text{ MJ/m}^3$  innebygget energi og klimagassutslipp tilsvarende  $133 \text{ kg CO}_2\text{-ekvivalenter/m}^3$ . I tillegg til lite innebygget energi kommer alle reseptene i denne oppgaven svært godt ut i klimagassregnskap. Dette er både gunstig isolert sett med tanke på klimavennlighet, og med tanke på miljøsertifisering av prosjektet. Betong basert på slaggsement egner seg også godt for bruk med etterspente flatdekker, men er ikke konkurransedyktig på miljøegenskapene.

Tabell 21 Resept 4

Resept	Bindemiddel	Total andel FA	Andel silika	Masseforhold	Matriksvolum
4	Standard FA+FA	50 %	10 %	0,4	290

Betong med tilsvarende bindemiddelsammensetning, masseforhold 0,48 og matriksvolum  $300 \text{ l/m}^3$  ble også testet, men viste seg å ikke oppnå tilstrekkelig trykkfasthet etter tre døgn, selv med bruk av herdingsakselerator. Dette viser at justering av masseforholdet er den beste måten å justere betongens fasthet også i tidlig fase.

Hydratiseringsraten til disse betongtypene vil være svært temperaturfølsom. På grunn av dette vil det være nødvendig å gjennomføre tiltak som sørger for at den holder høy nok temperatur under herding til å oppnå den nødvendige trykkfastheten så raskt som ønsket. Dette kan gjøres ved isolasjon og oppvarming, samt ved bruk av herdingsakselerator.

Betongbransjens egne verktøy for å beregne betongens miljøegenskaper baserer seg i stor grad på lite tilgjengelig informasjon, og mye av denne informasjonen er vanskelig å få tak i for eksterne. Det er derfor vanskelig å gjennomføre fullgode beregninger av disse miljøegenskapene ved hjelp av tilgjengelig informasjon.

## Bibliografi

- BASF. (2010). Master Xceed 100.
- CEM I, Industrisement. (2014). *NEPD-1218-383-NO* EPD-Norge: Norcem.
- CEM II, Standardsement FA (CEM II/B-M). (2016). EPD-Norge: NorCem.
- The development of room temperature hardening slag / fly ashbased geopolymer cements for Geopolymer Concretes. (2014). *The European Research Project GEOASH*.
- Hanserud, F. (2017). *Miljøprosjektering av bæresystemer i bygg*. NTNU.
- Kjellsen, K. O. (2008). Cement. In NTNU (Ed.), *TKT4215 Betongteknologi 1*.
- Maage, M. (2008). Concrete practice. In NTNU (Ed.), *TKT4215 Betongteknologi 1*.
- MRPI®-verklaring ENCI B.V. voor CEM III/B 42,5 N. (2012). ENCI.
- NB 37 Lavkarbonbetong. (2015). Norsk Betongforening.
- Norsk Klimapolitikk. (2012). Klima- og miljødepartementet Retrieved from <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld-st-21-2011-2012/id679374/sec1>.
- NorwegianGreenBuildingCouncil. (2016). *BREEAM NOR*.
- Ollendorff, M. (2012). *Powerhouse - Innebygget energi og klimagassregnskap for bæresystemene*. NTNU, Trondheim.
- Powerhouse. (2016). The Powerhouse definition [Press release]. Retrieved from [http://www.powerhouse.no/content/uploads/2014/02/2016.06.14\\_Powerhouse-definition\\_til-publisering.pdf](http://www.powerhouse.no/content/uploads/2014/02/2016.06.14_Powerhouse-definition_til-publisering.pdf)
- Powerhouse. (2017a). Plusshus. Retrieved from <http://www.powerhouse.no/plusshus/>
- Powerhouse. (2017b). Powerhouse Brattørkaia. Retrieved from <http://www.powerhouse.no/prosjekter/brattorkaia/>
- Sellevoid, E. J. (1990). Hydration *TKT4215 Concrete Technology 1*.
- Sellevoid, E. J. (2008). Pozzolaner. In NTNU (Ed.), *TKT4215 Betongteknologi 1*.
- Smeplass, S. (2003a). Curing Technology *TKT4215 Betongteknologi 1*.
- Smeplass, S. (2003b). Strength of Concrete *TKT 4215 Concrete Technology*.
- Smeplass, S. (2004a). Fresh Concrete - proportioning *TKT4215 Concrete Technology 1*.
- Smeplass, S. (2004b). Fresh concrete - workability *TKT4215 Concrete Technology 1*.
- Smeplass, S. (2017). [Møter og mailkorrespondanse].
- StandardNorge. (2006). Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk (Vol. NS-EN ISO 14040:2006).
- StandardNorge. (2008). Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner *Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger* (Vol. NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008).
- StandardNorge. (2009). Prøving av fersk betong *Del 2: Synkmål* (Vol. NS-EN 12350-2:2009).
- StandardNorge. (2017). Betong - Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar (Vol. NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017).
- Sælen, H. (2015). *Miljøprosjektering av dekkeløsninger og bæresystem for Powerhouse Brattørkaia*. NTNU, Trondheim.
- Sælen, H. (2016). *Konsekvenser av irregulær ytre geometri for bæresystemets klimagassregnskap på Gullhaug Torg*. NTNU.
- Sørensen, S. I. (2013). *Betongkonstruksjoner: beregning og dimensjonering etter Eurocode 2* Akademika.
- Tverrdal, J. (2017). [Møter og mailkorrespondanse].
- Understanding Global Warming Potentials. (2015). Retrieved from <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- Østfoldforskning. (2017). Transportkalkulator. Retrieved from <http://www.lca.no/TransportInfo.aspx>

## Vedleggsliste

Proporsjonering resept 1

Proporsjonering resept 2

Proporsjonering resept 3

Proporsjonering resept 4

Proporsjonering resept 5

Proporsjonering resept 6

Proporsjonering resept 7

Herdekasse 1

Herdekasse 2

Herdekasse 5

Herdekasse 7

Resultater trykkfasthet

Resultater densitet

Resultater aktiveringsenergi

Utrekninger aktiveringsenergi

EPD Cem I

EPD Cem II

EPD Cem III

Miljøberegninger

**Proporsjonering av betong**
**SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 1
Tilsiktet kvalitet	B35 M90
Utført av	Fredrik Hanserud
Dato	

Initialparametre	Verdi						
m = v/(c+Σkp)	0,48						
Luftinnhold	2,0 %						
Sementtype	Andel	Andel klinker	Andel FA	Andel slagg	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Norcem Standard FA	100,0 %	82,0 %	18,0 %	0,0 %	3000	1,4 %	0,1 %
Norcem Industri	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	3100	0,0 %	0,0 %
Cem III	0,0 %	28,0 %	0,0 %	68,0 %	2950	0,0 %	0,0 %
Tilsetningsmaterialer	Type	Andel (av b)	k	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider	
Elkem Microsilica	Silika	10,0 %	1,0	2200	0,1 %	0,1 %	
Normineral flyveaske	FA	42,0 %	1,0	2200	1,0 %	0,3 %	
	Slagg	0,0 %	1,0	1000	1,0 %	0,3 %	
Tilsetningsstoff	% av b	[kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff	[kg/m <sup>3</sup> ] TS	Alkalier	Klorider	
Mapei Dynamon SX-N	1,5 %	1050	16,0 %	1424	0,0 %	0,0 %	
X-ceed	0,0 %	1135	22,0 %	2177	0,0 %	4,0 %	
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %	
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %	
Fiber	Vol %	[kg/m <sup>3</sup> ]					
	0,0 %	7800					
	0,0 %	1050					
Matriks	Verdi						
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300						
Oppnådd matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300						
Klinkerandel i bindemiddel	39,4 %						
Total FA- andel av bindemiddel	50,6 %						
Total slaggandel av bindemiddel	0,0 %						
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	289,6						
Effektivt vanninnhold [l/m <sup>3</sup> ]	158,3						
v/p	0,44						
Effektivt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	330						
Totalt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	330						

Beregn

**Kommentarer:**

Gule felt fylles ut, grønne beregnes.

Rød bakgrunn i cellen for oppnådd matriksvolum indikerer at beregningsmakroen ikke er kjørt, og at det derfor ikke er samsvar mellom ønsket og oppnådd matriksvolum. Dette vil også gi blanke felt i resepskjemaet.



**Blandeskjema****SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 1
Tilsiktet kvalitet	B35 M90

Blandeolum	1000 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	158,3	158,316			158,316
Norcem Industri	0,0	0,000			0,000
Cem III	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	33,0	32,982	0,0	0,000	32,982
Normineral flyveaske	138,5	138,526			138,526
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	158,3	158,316		-61,673	96,643
Absorbent vann	14,7	14,705			14,705
Årdal 0/8 mm nat. vask.	1097,7	1097,732	4,9	53,789	1151,521
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	745,6	745,629	0,5	3,728	749,357
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	4,9	4,947	84	4,156	4,947
X-ceed	0,0	0,000	78	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

111,349

\*Se fotnote på delark "Resept"

\*\* NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre					
100x200 sylindre					

**Proporsjonering av betong**
**SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 2
Tilsiktet kvalitet	B35 M90
Utført av	Fredrik Hanserud
Dato	

Initialparametre	Verdi	
m = v/(c+Σkp)	0,48	
Luftinnhold	2,0 %	

Sementtype	Andel	Andel klinker	Andel FA	Andel slagg	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Norcem Standard FA	0,0 %	82,0 %	18,0 %	0,0 %	3000	1,4 %	0,1 %
Norcem Industri	100,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	3100	0,0 %	0,0 %
Cem III	0,0 %	28,0 %	0,0 %	68,0 %	2950	0,0 %	0,0 %

Tilsetningsmaterialer	Type	Andel (av b)	k	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Elkem Microsilica	Silika	10,0 %	1,0	2200	0,1 %	0,1 %
Normineral flyveaske	FA	50,0 %	1,0	2200	1,0 %	0,3 %
	Slagg	0,0 %	1,0	1000	1,0 %	0,3 %

Tilsetningsstoff	% av b	[kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff	[kg/m <sup>3</sup> ] TS	Alkalier	Klorider
Mapei Dynamon SX-N	1,5 %	1050	16,0 %	1424	0,0 %	0,0 %
X-ceed	0,0 %	1135	22,0 %	2177	0,0 %	4,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %

Fiber	Vol %	[kg/m <sup>3</sup> ]
	0,0 %	7800
	0,0 %	1050

Matriks	Verdi
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300
Oppnådd matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300
Klinkerandel i bindemiddel	40,0 %
Total FA- andel av bindemiddel	50,0 %
Total slaggandel av bindemiddel	0,0 %
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	289,6
Effektivt vanninnhold [l/m <sup>3</sup> ]	157,3
v/p	0,44
Effektivt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	328
Totalt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	328

Beregn

**Kommentarer:**

Gule felt fylles ut, grønne beregnes.

Rød bakgrunn i cellen for oppnådd matriksvolum indikerer at beregningsmakroen ikke er kjørt, og at det derfor ikke er samsvar mellom ønsket og oppnådd matriksvolum. Dette vil også gi blanke felt i resepskjemaet.





**Blandeskjema****SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 2
Tilsiktet kvalitet	B35 M90

Blandeolum	1000 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	0,0	0,000			0,000
Norcem Industri	131,1	131,124			131,124
Cem III	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	32,8	32,781	0,0	0,000	32,781
Normineral flyveaske	163,9	163,905			163,905
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	157,3	157,349		-61,647	95,702
Absorbent vann	14,7	14,705			14,705
Årdal 0/8 mm nat. vask.	1097,7	1097,732	4,9	53,789	1151,521
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	745,6	745,629	0,5	3,728	749,357
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	4,9	4,917	84	4,130	4,917
X-ceed	0,0	0,000	78	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

110,407

\*Se fotnote på delark "Resept"

\*\* NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre					
100x200 sylindre					

**Proporsjonering av betong**
**SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 3
Tilsiktet kvalitet	B35 M90
Utført av	Fredrik Hanserud
Dato	

Initialparametre	Verdi	
m = v/(c+Σkp)	0,40	
Luftinnhold	2,0 %	

Sementtype	Andel	Andel klinker	Andel FA	Andel slagg	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Norcem Standard FA	100,0 %	82,0 %	18,0 %	0,0 %	3000	1,4 %	0,1 %
Norcem Industri	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	3100	0,0 %	0,0 %
Cem III	0,0 %	28,0 %	0,0 %	68,0 %	2950	0,0 %	0,0 %

Tilsetningsmaterialer	Type	Andel (av b)	k	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Elkem Microsilica	Silika	10,0 %	1,0	2200	0,1 %	0,1 %
Normineral flyveaske	FA	42,0 %	1,0	2200	1,0 %	0,3 %
	Slagg	0,0 %	1,0	1000	1,0 %	0,3 %

Tilsetningsstoff	% av b	[kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff	[kg/m <sup>3</sup> ] TS	Alkalier	Klorider
Mapei Dynamon SX-N	1,5 %	1050	16,0 %	1424	0,0 %	0,0 %
X-ceed	3,0 %	1135	22,0 %	2177	0,0 %	4,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %

Fiber	Vol %	[kg/m <sup>3</sup> ]
	0,0 %	7800
	0,0 %	1050

Matriks	Verdi
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	290
Oppnådd matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	290
Klinkerandel i bindemiddel	39,4 %
Total FA- andel av bindemiddel	50,6 %
Total slaggandel av bindemiddel	0,0 %
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	279,4
Effektivt vanninnhold [l/m <sup>3</sup> ]	139,5
v/p	0,37
Effektivt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	349
Totalt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	349

Beregn

**Kommentarer:**

Gule felt fylles ut, grønne beregnes.

Rød bakgrunn i cellen for oppnådd matriksvolum indikerer at beregningsmakroen ikke er kjørt, og at det derfor ikke er samsvar mellom ønsket og oppnådd matriksvolum. Dette vil også gi blanke felt i resepskjemaet.



**Blandeskjema****SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 3
Tilsiktet kvalitet	B35 M90

Blandeolum	1000 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	167,4	167,444			167,444
Norcem Industri	0,0	0,000			0,000
Cem III	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	34,9	34,884	0,0	0,000	34,884
Normineral flyveaske	146,5	146,513			146,513
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	139,5	139,536		-70,921	68,615
Absorbent vann	14,9	14,922			14,922
Årdal 0/8 mm nat. vask.	1113,9	1113,875	4,9	54,580	1168,455
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	756,6	756,594	0,5	3,783	760,377
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	5,2	5,233	84	4,395	5,233
X-ceed	10,5	10,465	78	8,163	10,465
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

83,537

\*Se fotnote på delark "Resept"

\*\* NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre					
100x200 sylindre					

**Proporsjonering av betong**
**SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 4
Tilsiktet kvalitet	B35 M90
Utført av	Fredrik Hanserud
Dato	

Initialparametre	Verdi	
m = v/(c+Σkp)	0,40	
Luftinnhold	2,0 %	

Sementtype	Andel	Andel klinker	Andel FA	Andel slagg	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Norcem Standard FA	100,0 %	82,0 %	18,0 %	0,0 %	3000	1,4 %	0,1 %
Norcem Industri	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	3100	0,0 %	0,0 %
Cem III	0,0 %	28,0 %	0,0 %	68,0 %	2950	0,0 %	0,0 %

Tilsetningsmaterialer	Type	Andel (av b)	k	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Elkem Microsilica	Silika	10,0 %	1,0	2200	0,1 %	0,1 %
Normineral flyveaske	FA	42,0 %	1,0	2200	1,0 %	0,3 %
	Slagg	0,0 %	1,0	1000	1,0 %	0,3 %

Tilsetningsstoff	% av b	[kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff	[kg/m <sup>3</sup> ] TS	Alkalier	Klorider
Mapei Dynamon SX-N	1,5 %	1050	16,0 %	1424	0,0 %	0,0 %
X-ceed	0,0 %	1135	22,0 %	2177	0,0 %	4,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %

Fiber	Vol %	[kg/m <sup>3</sup> ]
	0,0 %	7800
	0,0 %	1050

Matriks	Verdi
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	290
Oppnådd matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	290
Klinkerandel i bindemiddel	39,4 %
Total FA- andel av bindemiddel	50,6 %
Total slaggandel av bindemiddel	0,0 %
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	279,4
Effektivt vanninnhold [l/m <sup>3</sup> ]	140,1
v/p	0,37
Effektivt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	350
Totalt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	350

Beregn

**Kommentarer:**

Gule felt fylles ut, grønne beregnes.

Rød bakgrunn i cellen for oppnådd matriksvolum indikerer at beregningsmakroen ikke er kjørt, og at det derfor ikke er samsvar mellom ønsket og oppnådd matriksvolum. Dette vil også gi blanke felt i resepskjemaet.



**Blandeskjema****SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 4
Tilsiktet kvalitet	B35 M90

Blandeolum	1000 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	168,1	168,080			168,080
Norcem Industri	0,0	0,000			0,000
Cem III	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	35,0	35,017	0,0	0,000	35,017
Normineral flyveaske	147,1	147,070			147,070
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	140,1	140,066		-62,775	77,291
Absorbent vann	14,9	14,922			14,922
Årdal 0/8 mm nat. vask.	1113,9	1113,875	4,9	54,580	1168,455
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	756,6	756,594	0,5	3,783	760,377
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	5,3	5,252	84	4,412	5,252
X-ceed	0,0	0,000	78	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

92,213

\*Se fotnote på delark "Resept"

\*\* NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre					
100x200 sylindre					



**Proporsjonering av betong**
**SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 5
Tilsiktet kvalitet	B35 M90
Utført av	Fredrik Hanserud
Dato	

Initialparametre	Verdi						
m = v/(c+Σkp)	0,48						
Luftinnhold	2,0 %						
Sementtype	Andel	Andel klinker	Andel FA	Andel slagg	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Norcem Standard FA	100,0 %	82,0 %	18,0 %	0,0 %	3000	1,4 %	0,1 %
Norcem Industri	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	3100	0,0 %	0,0 %
Cem III	0,0 %	28,0 %	0,0 %	68,0 %	2950	0,0 %	0,0 %
Tilsetningsmaterialer	Type	Andel (av b)	k	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider	
Elkem Microsilica	Silika	10,0 %	1,0	2200	0,1 %	0,1 %	
Normineral flyveaske	FA	42,0 %	1,0	2200	1,0 %	0,3 %	
	Slagg	0,0 %	1,0	1000	1,0 %	0,3 %	
Tilsetningsstoff	% av b	[kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff	[kg/m <sup>3</sup> ] TS	Alkalier	Klorider	
Mapei Dynamon SX-N	1,5 %	1050	16,0 %	1424	0,0 %	0,0 %	
X-ceed	3,0 %	1135	22,0 %	2177	0,0 %	4,0 %	
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %	
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %	
Fiber	Vol %	[kg/m <sup>3</sup> ]					
	0,0 %	7800					
	0,0 %	1050					
Matriks	Verdi						
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300						
Oppnådd matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300						
Klinkerandel i bindemiddel	39,4 %						
Total FA- andel av bindemiddel	50,6 %						
Total slaggandel av bindemiddel	0,0 %						
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	289,6						
Effektivt vanninnhold [l/m <sup>3</sup> ]	157,8						
v/p	0,44						
Effektivt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	329						
Totalt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	329						

Beregn

**Kommentarer:**

Gule felt fylles ut, grønne beregnes.

Rød bakgrunn i cellen for oppnådd matriksvolum indikerer at beregningsmakroen ikke er kjørt, og at det derfor ikke er samsvar mellom ønsket og oppnådd matriksvolum. Dette vil også gi blanke felt i resepskjemaet.



**Blandeskjema****SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 5
Tilsiktet kvalitet	B35 M90

Blandeolum	1000 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	157,8	157,771			157,771
Norcem Industri	0,0	0,000			0,000
Cem III	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	32,9	32,869	0,0	0,000	32,869
Normineral flyveaske	138,0	138,050			138,050
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	157,8	157,771		-69,350	88,421
Absorbert vann	14,7	14,705			14,705
Årdal 0/8 mm nat. vask.	1097,7	1097,732	4,9	53,789	1151,521
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	745,6	745,629	0,5	3,728	749,357
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	4,9	4,930	84	4,141	4,930
X-ceed	9,9	9,861	78	7,691	9,861
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

103,127

\*Se fotnote på delark "Resept"

\*\* NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre					
100x200 sylindre					

**Proporsjonering av betong**
**SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 6
Tilsiktet kvalitet	B35 M90
Utført av	Fredrik Hanserud
Dato	

Initialparametre	Verdi	
m = v/(c+Σkp)	0,48	
Luftinnhold	2,0 %	

Sementtype	Andel	Andel klinker	Andel FA	Andel slagg	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Norcem Standard FA	0,0 %	82,0 %	18,0 %	0,0 %	3000	1,4 %	0,1 %
Norcem Industri	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	3100	0,0 %	0,0 %
Cem III	100,0 %	28,0 %	0,0 %	68,0 %	2950	0,0 %	0,0 %

Tilsetningsmaterialer	Type	Andel (av b)	k	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Elkem Microsilica	Silika	10,0 %	1,0	2200	0,1 %	0,1 %
Normineral flyveaske	FA	0,0 %	1,0	2200	1,0 %	0,3 %
	Slagg	0,0 %	1,0	1000	1,0 %	0,3 %

Tilsetningsstoff	% av b	[kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff	[kg/m <sup>3</sup> ] TS	Alkalier	Klorider
Mapei Dynamon SX-N	1,5 %	1050	16,0 %	1424	0,0 %	0,0 %
X-ceed	0,0 %	1135	22,0 %	2177	0,0 %	4,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %

Fiber	Vol %	[kg/m <sup>3</sup> ]
	0,0 %	7800
	0,0 %	1050

Matriks	Verdi
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300
Oppnådd matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300
Klinkerandel i bindemiddel	25,2 %
Total FA- andel av bindemiddel	0,0 %
Total slaggandel av bindemiddel	61,2 %
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	289,6
Effektivt vanninnhold [l/m <sup>3</sup> ]	167,0
v/p	0,44
Effektivt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	348
Totalt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	348

Beregn

**Kommentarer:**

Gule felt fylles ut, grønne beregnes.

Rød bakgrunn i cellen for oppnådd matriksvolum indikerer at beregningsmakroen ikke er kjørt, og at det derfor ikke er samsvar mellom ønsket og oppnådd matriksvolum. Dette vil også gi blanke felt i resepskjemaet.



**Blandeskjema****SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 6
Tilsiktet kvalitet	B35 M90

Blandeolum	1000 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	0,0	0,000			0,000
Norcem Industri	0,0	0,000			0,000
Cem III	313,2	313,187			313,187
Elkem Microsilica	34,8	34,799	0,0	0,000	34,799
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	167,0	167,033		-61,902	105,132
Absorbent vann	14,7	14,705			14,705
Årdal 0/8 mm nat. vask.	1097,7	1097,732	4,9	53,789	1151,521
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	745,6	745,629	0,5	3,728	749,357
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	5,2	5,220	84	4,385	5,220
X-ceed	0,0	0,000	78	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

119,837

\*Se fotnote på delark "Resept"

\*\* NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre					
100x200 sylindre					

**Proporsjonering av betong**
**SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 7
Tilsiktet kvalitet	B35 M90
Utført av	Fredrik Hanserud
Dato	

Initialparametre	Verdi	
m = v/(c+Σkp)	0,48	
Luftinnhold	2,0 %	

Sementtype	Andel	Andel klinker	Andel FA	Andel slagg	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Norcem Standard FA	100,0 %	82,0 %	18,0 %	0,0 %	3000	1,4 %	0,1 %
Norcem Industri	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	3100	0,0 %	0,0 %
Cem III	0,0 %	28,0 %	0,0 %	68,0 %	2950	0,0 %	0,0 %

Tilsetningsmaterialer	Type	Andel (av b)	k	[kg/m <sup>3</sup> ]	Alkalier	Klorider
Elkem Microsilica	Silika	10,0 %	1,0	2200	0,1 %	0,1 %
Normineral flyveaske	FA	0,0 %	1,0	2200	1,0 %	0,3 %
	Slagg	0,0 %	1,0	1000	1,0 %	0,3 %

Tilsetningsstoff	% av b	[kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff	[kg/m <sup>3</sup> ] TS	Alkalier	Klorider
Mapei Dynamon SX-N	1,5 %	1050	16,0 %	1424	0,0 %	0,0 %
X-ceed	2,9 %	1135	22,0 %	2177	0,0 %	4,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %
	0,0 %	1000	100,0 %	1000	0,0 %	0,0 %

Fiber	Vol %	[kg/m <sup>3</sup> ]
	0,0 %	7800
	0,0 %	1050

Matriks	Verdi
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300
Oppnådd matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300
Klinkerandel i bindemiddel	73,8 %
Total FA- andel av bindemiddel	16,2 %
Total slaggandel av bindemiddel	0,0 %
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	289,6
Effektivt vanninnhold [l/m <sup>3</sup> ]	167,5
v/p	0,44
Effektivt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	349
Totalt bindemiddel [kg/m <sup>3</sup> ]	349

Beregn

**Kommentarer:**

Gule felt fylles ut, grønne beregnes.

Rød bakgrunn i cellen for oppnådd matriksvolum indikerer at beregningsmakroen ikke er kjørt, og at det derfor ikke er samsvar mellom ønsket og oppnådd matriksvolum. Dette vil også gi blanke felt i resepskjemaet.





**Blandeskjema****SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave
Reseptnummer	Resept 7
Tilsiktet kvalitet	B35 M90

Blandeolum	1000 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	314,0	314,000			314,000
Norcem Industri	0,0	0,000			0,000
Cem III	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	34,9	34,889	0,0	0,000	34,889
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	167,5	167,467		-69,805	97,662
Absorbent vann	14,7	14,705			14,705
Årdal 0/8 mm nat. vask.	1097,7	1097,732	4,9	53,789	1151,521
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	745,6	745,629	0,5	3,728	749,357
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	5,2	5,233	84	4,396	5,233
X-ceed	10,1	10,118	78	7,892	10,118
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

112,367

\*Se fotnote på delark "Resept"

\*\* NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre					
100x200 sylindre					

# Adiabatic temperature and isothermic heat

(V 2.8 ss 06-02-2012)

SKANSKA

## Concrete parameters

Temp. trans. coeff.	0,0271
Density	2340
Heat capacity (fresh)	1,05
Heat capacity (hardened)	1,05
Cement content	330
Set time	9,5
A - set time	35224
B - set time	586
A - hydration	35224
B - hydration	586
Adia. start temperature	20

## Temp. trans. coeff.

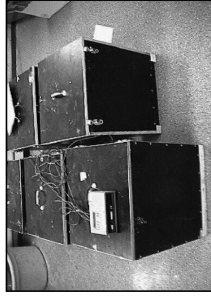
dQ/dm	0,1
m>	200
m<	250

## Heat function

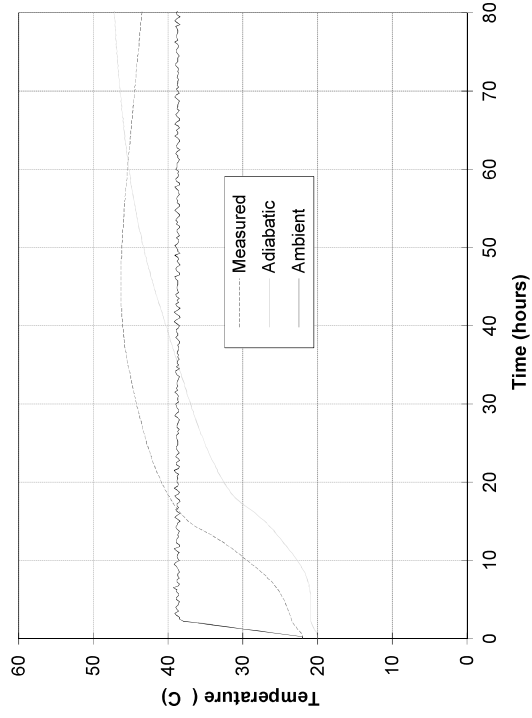
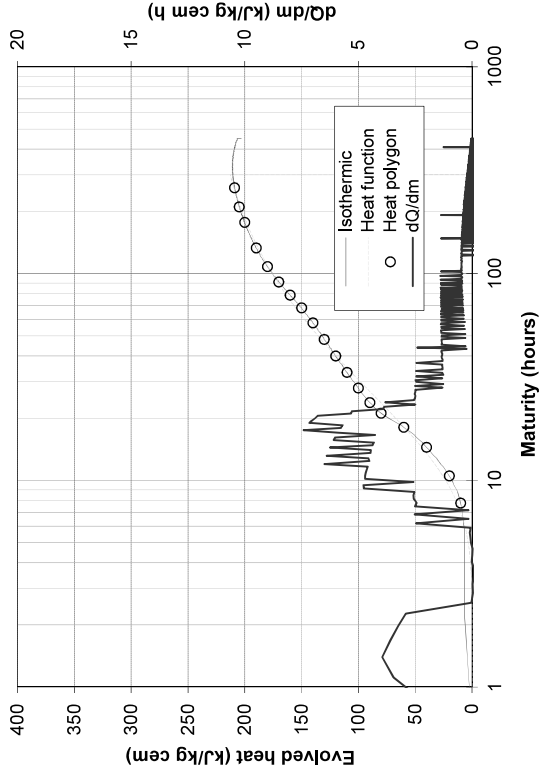
m-limit	300
Q <sub>0</sub>	240
τ	26,31
α	0,88
R <sup>2</sup>	0,9919
ΣΛ <sub>0</sub>	3950

## Heat polygon

Reference heat [kJ/kg cem]	Corresp. maturity [h]
0	0,0
10	7,8
20	10,5
40	14,4
60	18,0
80	21,1
90	23,7
100	27,9
110	33,2
120	39,9
130	47,9
140	57,7
150	68,2
160	78,6
170	91,0
180	108,0
190	132,9
200	176,8
205	210,0
209	259,5



$$\bar{Q} = Q_{\infty} \cdot e^{\left(-\frac{\tau}{M}\right)^{\alpha}}$$



## Project

Name	Herdekasse, masteroppgave
Test id	Resept 1
Perf. by	Fredrik Hanserud
Date	09.07.1905

# Adiabatic temperature and isothermic heat

(v 2.8 ss 06-02-2012)

SKANSKA

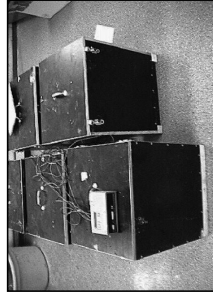
Concrete parameters	
Temp. trans. coeff.	0.0290
Density	2340
Heat capacity (fresh)	1.05
Heat capacity (hardened)	1.05
Cement content	330
Set time	9.8
A - set time	35224
B - set time	586
A - hydration	35224
B - hydration	586
Adia. start temperature	20

Temp. trans. coeff.	
dQ/dm	0.1
m>	200
m<	250

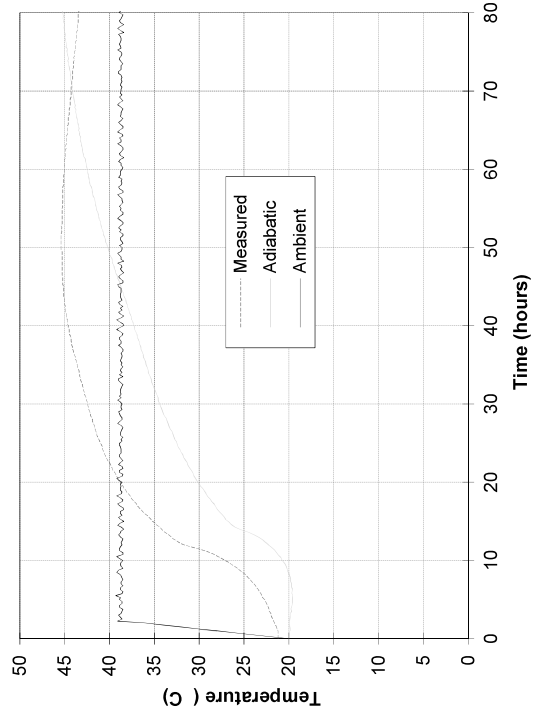
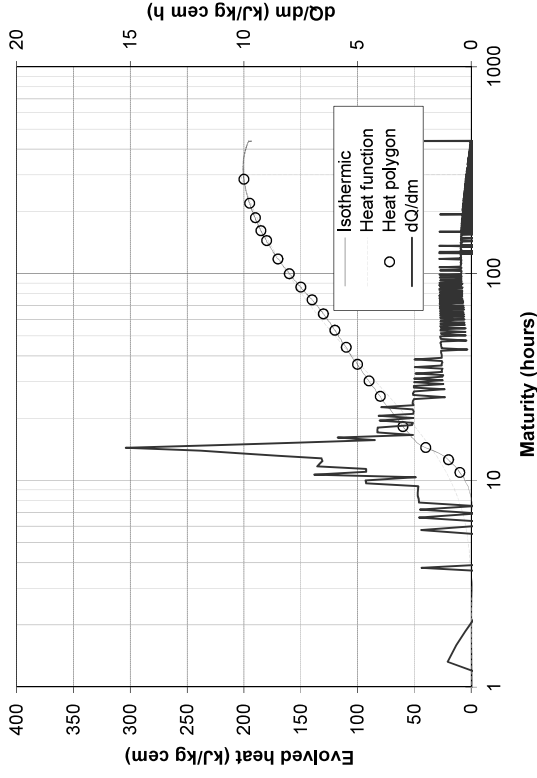
  

Heat function	
m-limit	300
Q <sub>∞</sub>	238
τ	31.45
α	0.82
R <sup>2</sup>	0.9789
ΣΛ <sub>0</sub>	7434

Heat polygon	
Reference heat [kJ/kg cem]	Corresp. maturity [h]
0	-0.2
10	10.9
20	12.6
40	14.4
60	18.2
80	25.5
90	30.2
100	36.3
110	44.0
120	53.2
130	63.9
140	74.5
150	86.0
160	99.7
170	117.5
180	144.3
185	161.1
190	186.2
195	218.8
200	285.8



$$Q = Q_{\infty} \cdot e^{\left(-\frac{\tau}{M}\right)^{\alpha}}$$



## Project

Name	Herdekasse, masteroppgave
Test id	Resept 2
Perf. by	Frederik Hanserud
Date	09.07.1905

# Adiabatic temperature and isothermic heat

(v 2.8 ss 06-02-2012)

SKANSKA

Concrete parameters	
Temp. trans. coeff.	0.0284
Density	2340
Heat capacity (fresh)	1.05
Heat capacity (hardened)	1.05
Cement content	330
Set time	5.3
A - set time	35224
B - set time	586
A - hydration	35224
B - hydration	586
Adia. start temperature	20

Temp. trans. coeff.	
dQ/dm	0.1
m>	200
m<	250

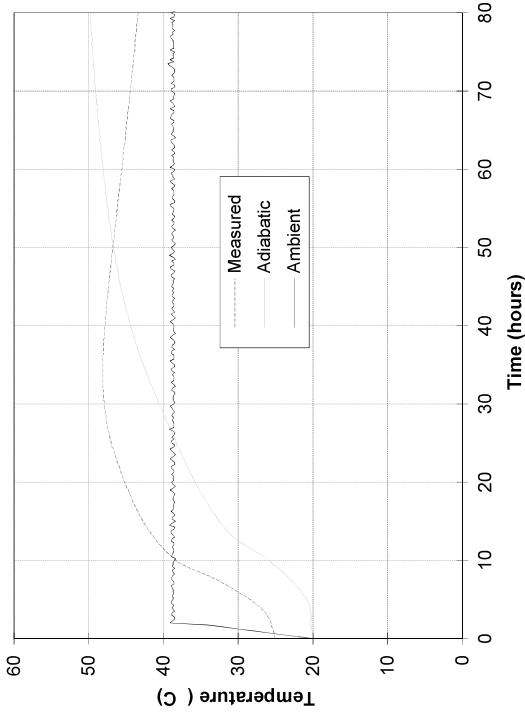
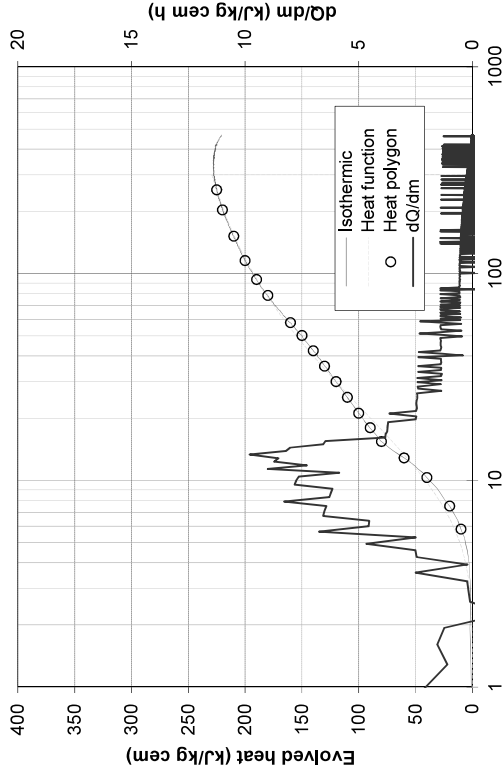
  

Heat function	
m-limit	300
Q <sub>c</sub>	260
τ	21.70
α	0.78
R	0.9929
ΣΔc	2307

Reference heat [kJ/kg cem]	Corresp. maturity [h]
0	0.0
10	5.8
20	7.5
40	10.3
60	12.8
80	15.4
90	17.9
100	21.1
110	25.2
120	30.0
130	35.7
140	42.3
150	50.1
160	57.8
180	78.3
190	93.5
200	115.5
210	151.6
220	202.8
225	253.5



$$Q = Q_{\infty} \cdot e \left( -\frac{\tau}{M} \right)^{\alpha}$$



## Project

Name	Herdekkasse, masteroppgave
Test id	Resept 5
Perf. by	Fredrik Hanserud
Date	09.07.1905

# Adiabatic temperature and isothermic heat

(V 2.8 ss 06-02-2012)

SKANSKA

## Concrete parameters

Temp. trans. coeff.	0,0298
Density	2395
Heat capacity (fresh)	1,05
Heat capacity (hardened)	1,05
Cement content	347
Set time	6
A - set time	47920
B - set time	308
A - hydration	47920
B - hydration	308
Adia. start temperature	20

## Temp. trans. coeff.

dQ/dm	0,1
m>	250
m<	300

## Heat function

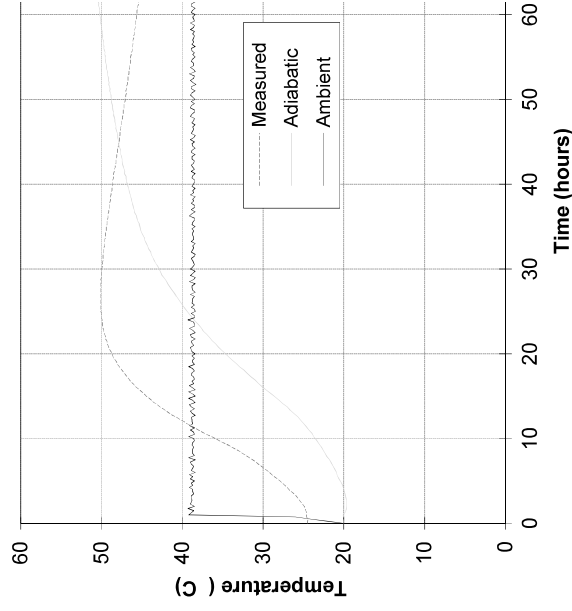
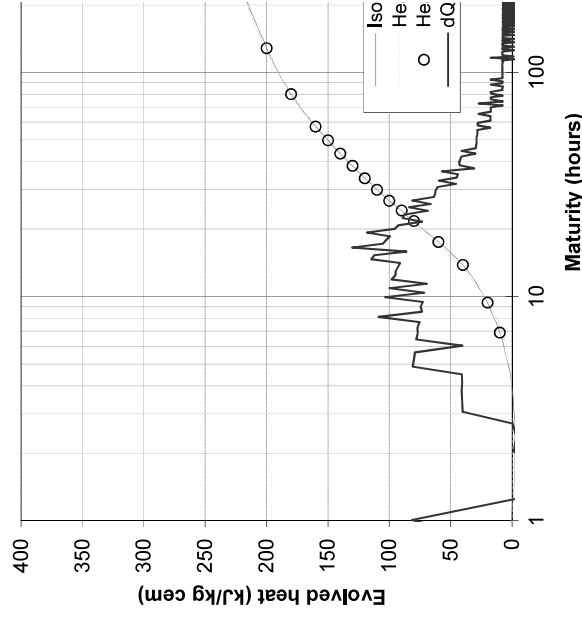
m-limit	300
Q <sub>∞</sub>	246
τ	24,37
α	0,97
R <sup>2</sup>	0,9986
ΣΔ <sub>0</sub>	495

## Heat polygon

Reference heat [kJ/kg cem]	Corresp. maturity [h]
0	-0,2
10	6,9
20	9,4
40	13,8
60	17,5
80	21,7
90	24,2
100	26,8
110	29,9
120	33,7
130	38,3
140	43,4
150	49,7
160	57,3
180	79,9
200	128,3
220	234,6
225	273,6
230	321,4
235	392,7



$$\bar{Q} = \bar{Q}_{\infty} \cdot e^{\left(-\frac{\tau}{M}\right)^{\alpha}}$$



## Project

Name	Herdekasse, masteroppgave
Test id	Resept 7
Perf. by	Fredrik Hanserud



	Resept 1				Resept 2							
	Avforming		Prøving		Avforming		Prøving					
	Vekt i luft	Vekt i vann	Densitet	Vekt i luft	Densitet	Vekt i luft	Vekt i vann	Densitet	Vekt i luft	Vekt i vann		
1	2347,3	1356,7	2,369574	2347,3	2,369574	2344,5	1349,3	2,355808	2344,5	2,355808	2440,7	1437,5
2	2345,4	1352,8	2,362885	2345,4	2,362885	2340,5	1340,1	2,339564	2340,5	2,339564	2438,4	1437,0
3	2339,2	1351,9	2,36929	2339,2	2,36929	2328,2	1334,3	2,342489	2328,2	2,342489	2425,8	1424,6
4	2347,4	1351,9	2,358011	2347,4	2,358011	2364,8	1362,9	2,360315	2364,8	2,360315	2446,3	1439,2
5	2375,2	1375,7	2,376388	2375,2	2,376388	2347,3	1348,2	2,349414	2347,3	2,349414	2446,9	1438,8
6	2363,1	1367,1	2,37259	2363,1	2,37259	2378,8	1372,4	2,363672	2378,8	2,363672	2449,8	1444,2
7	2329,3	1333,5	2,339124	2329,3	2,339124	2347,5	1351,7	2,357401	2350,7	2,351877	2439,7	1442,0
8	2339,9	1347,7	2,358295	2339,9	2,358295	2346,1	1348,0	2,350566	2351,7	2,351222	2418,9	1422,3
9	2346,3	1361,2	2,381789	2355,3	2,368714	2378,7	1370,9	2,36029	2353,6	2,353165	2429,8	1429,6
10	2370,2	1372,9	2,376617	2358,0	2,368618	2353,0	1354,7	2,357007	2362,4	2,366423	2428,2	1431,6
11	2366,0	1368,7	2,372405	2379,6	2,386042	2349,6	1348,1	2,346081	2358,1	2,354568	2433,1	1435,3
12	2376,2	1373,5	2,369802	2375,7	2,369303	2321,5	1334,7	2,352554	2330,0	2,361167	2440,2	1433,0
13	2355,2	1357,9	2,361576	2386,1	2,39256	2348,4	1347,6	2,346523	2359,1	2,357214	2450,8	1447,6
14	2336,6	1345,5	2,357582	2362,2	2,383412	2360,6	1354,5	2,346288	2371,0	2,356625	2428,4	1428,0
15	2327,0	1335,8	2,347659	2347,0	2,367837	2344,5	1340,4	2,334927	2355,0	2,345384	2447,0	1441,5
16	2400,4	1397,1	2,392505	2338,4	2,330709	2354,9	1355,8	2,357021	2353,0	2,353927	2484,3	1469,6
17	2399,8	1399,4	2,39884	2357,9	2,369496	2340,2	1342,6	2,34583	2353,6	2,353802	2445,6	1437,3
18	2373,0	1373,4	2,37395	2358,6	2,369491	2356,4	1357,3	2,358523	2354,5	2,354751	2396,5	1408,1
			2,368827		2,369496			2,351349		2,353966		

Resept 3	Resept 4				Resept 5									
	Prøving		Avforming		Prøving		Avforming							
	Vekt i luft	Densitet	Vekt i luft	Densitet	Vekt i luft	Densitet	Vekt i luft	Densitet						
2,432915	2440,7	2,432915	2431,4	1425,7	2,41762	1437,5	2,4314	1395,8	2,400281	2392,6	2,400281	2392,6	2,400281	2434,4
2,434991	2438,4	2,434991	2427,3	1423,6	2,418352	1437,0	2,4273	1385,8	2,403342	2373,3	2,403342	2373,3	2,403342	2444,7
2,422893	2425,8	2,422893	2432,8	1426,3	2,417089	1424,6	2,4328	1386,2	2,401193	2375,5	2,401193	2375,5	2,401193	2455,9
2,429054	2446,3	2,429054	2465,1	1458,8	2,449667	1439,2	2,4651	1373,3	2,387172	2363,3	2,387172	2363,3	2,387172	2412,5
2,427239	2446,9	2,427239	2462,2	1452,2	2,437822	1438,8	2,4622	1357,6	2,369653	2348,8	2,369653	2348,8	2,369653	2435,5
2,436158	2449,8	2,436158	2446,0	1444,6	2,44258	1444,2	2,446	1360,2	2,378674	2346,8	2,378674	2346,8	2,378674	2428,0
2,445324	2449,8	2,455448	2420,6	1423,7	2,428127	2432,4	2,439964	1380,8	2,390674	2373,7	2,390674	2384,1	2,401148	2392,9
2,427152	2428,5	2,436785	2423,6	1422,8	2,421663	2434,9	2,432954	1382,7	2,382977	2382,5	2,382977	2392,8	2,393279	2412,9
2,429314	2439,6	2,439112	2419,2	1420,2	2,421622	2430,2	2,432633	1378,7	2,395022	2367,0	2,395022	2377,4	2,405545	2391,8
2,436484	2438,1	2,446418	2437,4	1436,9	2,436182	2450,1	2,448876	1381,1	2,3928	2372,7	2,3928	2372,7	2,393365	2405,8
2,438465	2442,8	2,448186	2436,2	1437,5	2,439371	2448,1	2,451287	1386,5	2,390393	2383,7	2,390393	2370,5	2,392597	2396,8
2,422756	2451,0	2,433479	2442,9	1441,2	2,438754	2454,8	2,450634	1382,8	2,384739	2381,4	2,384739	2370,2	2,391403	2387,2
2,442982	2463,8	2,455941	2453,6	1450,0	2,444799	2468,8	2,459944	1386,5	2,405331	2373,1	2,405331	2383,6	2,415974	2441,0
2,427429	2441,0	2,440024	2467,7	1457,8	2,443509	2483,4	2,459055	1390,9	2,397187	2386,4	2,397187	2396,8	2,407634	2459,6
2,433615	2461,4	2,447936	2472,4	1460,8	2,444049	2488,4	2,459866	1373,1	2,388232	2362,2	2,388232	2373,7	2,399858	2464,0
2,44831	2444,3	2,439105	2432,3	1428,3	2,42261	2047,5	2,446667	1395,6	2,39351	2397,1	2,39351	2374,8	2,396074	2409,7
2,425469	2444,5	2,439518	2413,4	1418,1	2,424797	2088,2	2,447685	1407,5	2,397716	2414,5	2,397716	2373,6	2,395794	2429,6
2,424626	2444,9	2,43982	2424,2	1421,6	2,417913	2131,6	2,449044	1408,7	2,405608	2410,9	2,405608	2373,6	2,395291	2410,7
2,43251		2,439168			2,431474		2,446856		2,392472		2,392472		2,396015	



Resept 6			Resept 7				
Avforming		Prøving		Avforming		Prøving	
Vekt i vanr	Densitet	Vekt i luft	Densitet	Vekt i vanr	Densitet	Vekt i luft	Densitet
1426,7	2,415798	2434,4	2,415798	1405,6	2,416364	2398,0	2,416364
1433,5	2,417623	2444,7	2,417623	1398,9	2,411132	2390,1	2,411132
1442,9	2,424383	2455,9	2,424383	1384,6	2,407543	2368,3	2,407543
1415,2	2,419031	2412,5	2,419031	1399,2	2,405101	2395,0	2,405101
1431,2	2,425072	2435,5	2,425072	1404,8	2,411717	2399,9	2,411717
1431,3	2,436039	2428,0	2,436039	1388,0	2,404716	2376,1	2,404716
1405,5	2,423435	2406,0	2,436702	1424,0	2,422435	2437,1	2,434422
1416,0	2,420403	2426,1	2,433644	1417,8	2,416101	2430,7	2,427787
1400,0	2,411575	2405,2	2,425086	1411,6	2,40822	2426,1	2,420291
1409,1	2,413765	2418,6	2,426608	1396,7	2,416388	2396,4	2,430179
1396,8	2,3968	2409,5	2,4095	1392,3	2,413933	2389,2	2,426323
1392,6	2,400161	2400,1	2,413131	1382,8	2,400304	2383,5	2,413671
1348,0	2,233303	2423,0	2,423551	1395,5	2,405904	2399,2	2,417453
1443,8	2,421343	2422,1	2,424198	1395,7	2,398077	2399,3	2,417544
1448,0	2,425197	2420,2	2,424745	1401,1	2,41183	2400,1	2,418062
1409,6	2,409459	2417,2	2,424776	1387,2	2,396838	2402,7	2,418939
1425,7	2,420161	2417,6	2,425254	1386,1	2,402367	2403,4	2,420092
1413,1	2,4165	2416,1	2,42527	1397,7	2,413961	2403,6	2,42079
	2,407225		2,423912		2,409062		2,417906

# Testresultater aktiveringsenergi

Resept 4	Resept 6			T	Resept 6		
	5	20	38		5	20	38
19	1,153	1,721	38	14	4,531	1,929	
19	1,329	1,666		14	4,93	1,852	
24	4,541	4,041		19	10,18	4,34	
24	4,854	4,145		19	8,982	4,15	
48	10,156	11,051	8,723	24	10,881	7,442	
48	10,444	11,436	8,926	24	11,955	6,897	
72	13,857	14,839	11,874	48	22,449	17,785	10,243
72	13,947	14,06	11,951	48	22,759	17,627	10,092
168	19,474	23,707	28,97	72	31,792	26,263	25,321
168	19,267	23,813	26,145	72	31,278	26,898	23,715
168		29,224		168	45,471	41,143	41,143
				168	46,479	40,292	40,292

# Tilpasning av aktiveringsenergi



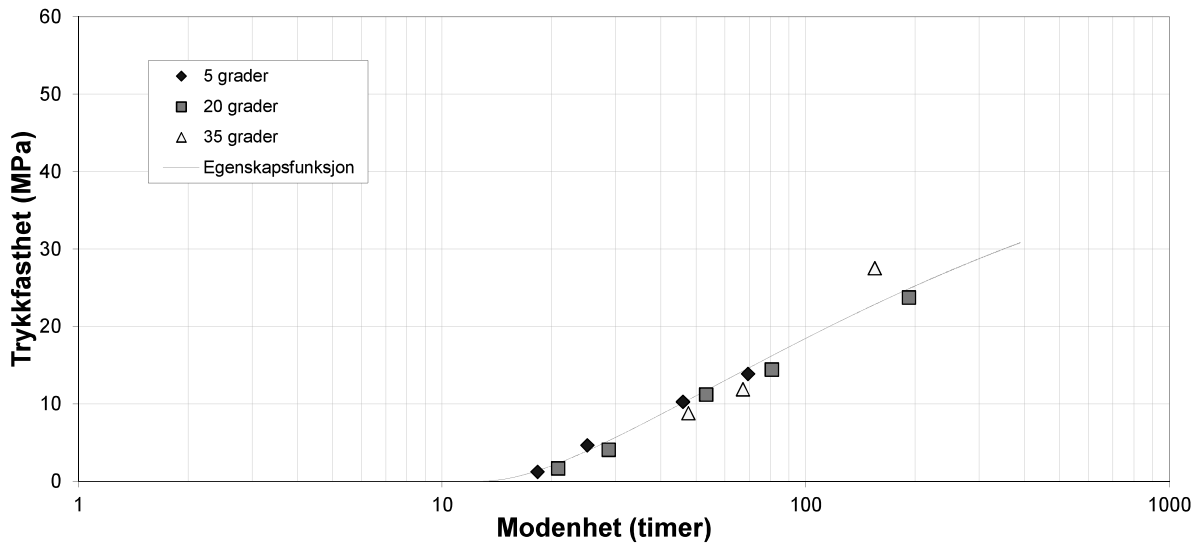
Prosjekt:	Masteroppgave
Forsøksid.:	Resept 4
Dato:	09.07.1905
Ansvarlig:	Fredrik Hanserud

Konstanter	
A	35224
B	586

Tilpass: ctrl+t

Egenskapsfunksjon	
$f_{c28}$	34,8
s	0,4
$t_0$	11,5

Kvadratsumsavvik	
5 grader	1,1
20 grader	6,3
35 grader	30,5



$$H(T) = e^{\frac{E(T)}{R} \left( \frac{1}{273} - \frac{1}{293 - T} \right)}$$

$$E(T) = A + B(20 - T), T < 20^\circ\text{C}$$

$$E(T) = A, T > 20^\circ\text{C}$$

$$M = \sum H(T) \cdot \Delta t$$

$$f_c(M) = f_{c28} \cdot e^{\left[ s \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{672}{M - t_0}} \right) \right]}$$

# Tilpasning av aktiveringsenergi



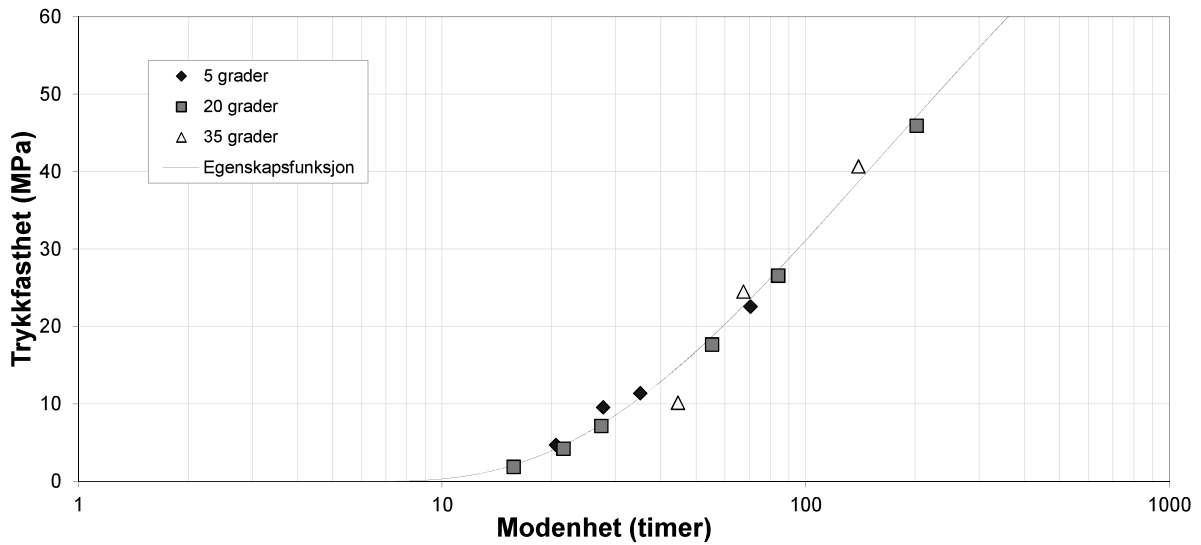
Prosjekt:	Masteroppgave
Forsøksid.:	Resept 6
Dato:	09.07.1905
Ansvarlig:	Fredrik Hanserud

Konstanter	
A	47920
B	308

Tilpass: ctrl+t

Egenskapsfunksjon	
$f_{c28}$	72,7
s	0,5
$t_0$	5,0

Kvadratsumsavvik	
5 grader	6,6
20 grader	3,0
35 grader	28,4



$$H(T) = e^{\frac{E(T)}{R} \left( \frac{1}{273} - \frac{1}{293 - T} \right)}$$

$$E(T) = A + B(20 - T), T < 20^\circ\text{C}$$

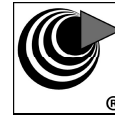
$$E(T) = A, T > 20^\circ\text{C}$$

$$M = \sum H(T) \cdot \Delta t$$

$$f_c(M) = f_{c28} \cdot e^{\left[ s \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{672}{M - t_0}} \right) \right]}$$

**ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION**

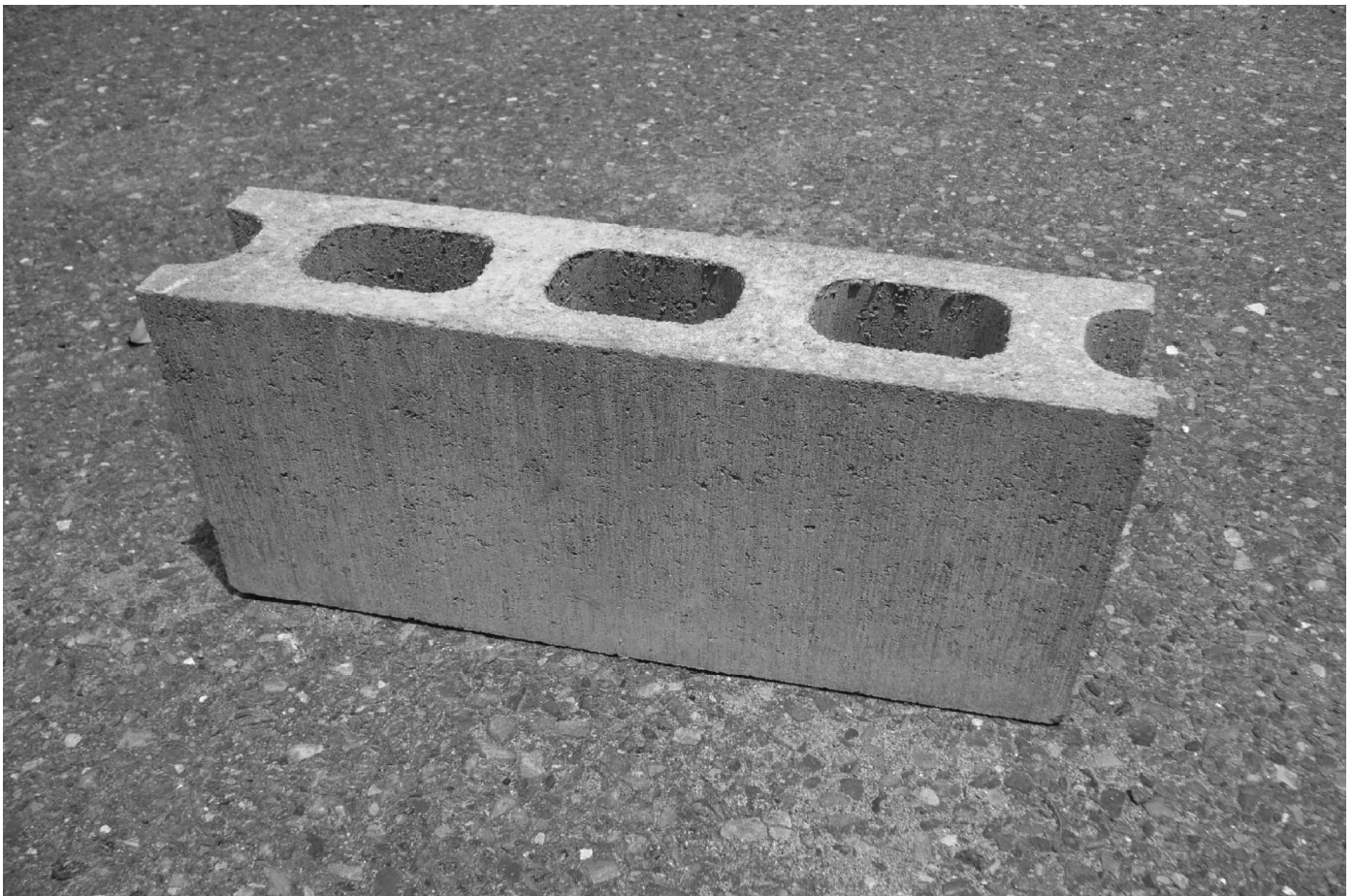
ISO 14025 ISO 21930 EN 15804

**epd-norge.no**  
The Norwegian EPD Foundation

Eier av deklarasjonen	Norcem AS
Program operatør	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgiver	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklarasjonens nummer	NEPD-1218-383-NO
Godkjent dato	10.01.2014
Gyldig til	10.01.2019

**CEM I, Industrisement**

Produkt

Norcem AS  
Produsent**NORCEM**  
**HEIDELBERGCEMENT**Group

## Generell informasjon

### CEM I, Industrisement

Produkt

#### Program operatør:

Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner

Postboks 5250 Majorstuen, 0303 Oslo

Tlf: +4723088000

e-post: [post@epd-norge.no](mailto:post@epd-norge.no)

#### Deklarasjon nummer:

NEP-1218-383-NO

#### Deklarasjonen er basert på PCR:

CEN Standard EN 15804 er brukt som kjerne PCR, i tillegg til Requirements on an Environmental Product Declaration (EPD) for Cement, Bau-Umwelt

#### Deklarert enhet:


1 tonn sement fra råvareuttak til port

#### Deklarert enhet med opsjon:

#### Funksjonell enhet:

#### Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:

Mie Vold



#### Verifikasjon:

Uavhengig verifikasjon av data og annen miljøinformasjon er foretatt etter ISO 14025, 8.1.3.

eksternt  sign      internt

Seniorforsker, Cecilia Askhem  
(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

### Norcem AS

Produsent

#### Eier av deklarasjon:

Norcem AS

Kontakt person: Anne Sigrid Solheim

Tlf: +47 75 78 50 90 /

+47 906 22 877

e-post: [asolh@norcem.no](mailto:asolh@norcem.no)

#### Produksjonssted:

Kjøpsvik

#### Kvalitet/Miljøsystem:

Miljøstyringssystem: ISO 14001-sertifisert (S-007)

Kvalitetsstyringssystemet ISO 9001-sertifisert (S-006)

#### Org. no.:

No-973 142 909 MVA

#### Godkjent dato:

10.01.2014

#### Gyldig til:

10.01.2019

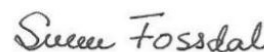
#### Sammenlignbarhet:

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

#### Årstell for studien:

2013

Godkjent i tråd med ISO 14025, 8.1.4



Dr. ing Sverre Fossdal  
(Verifikasjonsleder i EPD-Norge)

Deklarert enhet:

1 tonn sement fra råvareuttak til port

Nøkkelindikatorer	Enhet	Vugge til port A1 - A3	Transport A4 <sub>1</sub>
Global oppvarming	kg CO <sub>2</sub> -ekv	859	3
Energibruk	MJ	5 559	37
Farlige stoffer	*		

\* Produktet inneholder ingen stoffer fra REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten

A4<sub>1</sub> Transport fra Produksjonssted til sentrallager i Norge

## Produkt

### Produktbeskrivelse:

Grå portlandsement

### Produktspesifikasjon

Kalkstein fra eget dagbrudd er viktigste råvare i tillegg til gips. Råvaresammensetningen i Industrisement er som følger:

Materialer	Kg	%
Klinker	915	91,5
Flyveaske		
Kalkmel		
Gips	83	8,3
Annet	2	0,2

### Tekniske data:

Industrisement (EN 197-1, CEM I 52,5 R)

Ytterligere informasjon finnes her:

[www.norcem.no](http://www.norcem.no)

### Markedsområde:

Norge

### Levetid:

Avhenger av bruksområde

## LCA: Beregningsregler

### Deklarert enhet:

1 tonn sement fra råvareuttak til port

Produksjonsfasen for produktet

- Hovedprosessene ved Norcem Kjøpsvik er uttak av kalkstein fra eget dagbrudd i nærheten av bedriften.
- Kalksteinen tilsettes korreksjonsmaterialer, som kvarts og jernkilde, og males og brennes ved høye temperaturer (1450°C) til klinker.
- Klinkeren finmales til sement. I maleprosessen tilsettes mindre mengder gips og jernsulfat.

### Systemgrenser:

Fra råvareuttak til fabrikkport

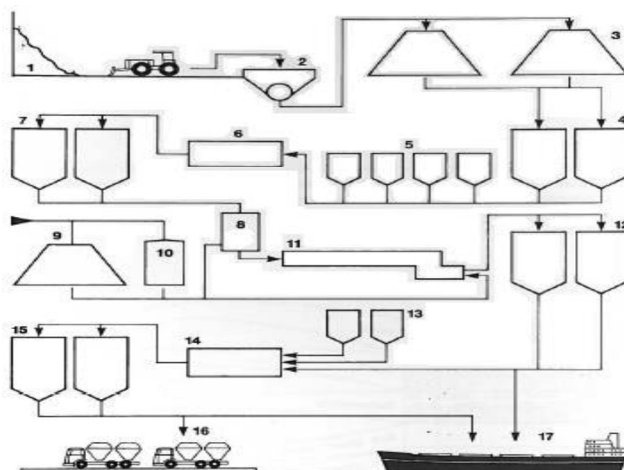


Fig. 2.

1. Steinbrudd.
2. Steinknuseri.
3. Steinlager.
4. Siloer for stein.
5. Siloer for tilslagsmaterialer.  
- kvarts  
- jernkilde
6. Råmellemølle.
7. Råmelssiloer.
8. Forvarmer og forkalsinator.
9. Kull.
10. Olje.
11. Klinkerovn.
12. Klinkersiloer.
13. Gips + flyveaske evt. slagg.
14. Sementmølle.
15. Sementmølle.
16. Bulkbil.
17. Bulkbåt.

Råvaregruppe	Datakvalitet	Kilde	Alder for data
Klinker	Spesifikke data	Norcems egne tall	2011
Flyveaske	Ikke relevant		-
Kalkmel	Ikke relevant		-
Gips	Databasedata	EcoInvent	2006
Annet	Under Cut-off		

Spesifikke data er brukt for de materialer som er utgjør vesentlige bidrag til miljøpåvirkning.

### Allokering:

For produksjonen hos Norcem er totalt forbruk for 2011 er registrert og fordelt på produserte produkter på vektbasis. I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjonen.

Alternativ brensel anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokeret til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokeret 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 produktet er allokeret til råvarene og derved produktet i neste omgang.

### Cut-off kriterier

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialer og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (<1%) er ikke inkludert. Alle farlig materialer og stoffer skal inkluderes.

## LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

**Tilleggsinformasjon** Scenario for transport til marked 50\* km  
Transport skjer med båt

\* 50 km i hht retningslenger fra EPD-Norge

### Annen teknisk informasjon

Ikke relevant

## LCA: Resultater

Analysen inkluderer den deklarete enheten fra råvareuttak til fabrikk port .

I modul A1 inngår produksjon av råvarer fra uttak av ressurser. A2 inkluderer transport av råvarer til produksjonen hos Norcem, A3 inkluderer produksjonsprosessen hos Norcem.

Systemgrenser (X = inkludert, MID = modul ikke deklart, MIR = modul ikke relevant)

Produktfase			Konstruksjon installasjon fase		Bruksfase							Slutfase				Etter endt levetid	
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjon installasjon fase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til deponi	Gjenbruk-gjenvinning- resirkulering-potensiale	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
x	x	x	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID

### Miljøpåvirkning

Parameter	A1	A2	A3	A1-A3					
GWP	5,91	1,25	852,31	859,47					
ODP	1,07E-06	1,44E-07	1,19E-05	1,31E-05					
OPF	4,43E-03	2,06E-03	8,71E-02	9,36E-02					
EP	3,87E-03	2,35E-03	0,45	0,46					
AP	0,04	0,03	1,17	1,24					
ADPM	1,15E-05	3,26E-06	2,02E-04	2,17E-04					
ADPE	123,18	16,74	4 034,97	4 174,90					

**GWP** Globalt oppvarmingspotensial (kg CO<sub>2</sub>-ekv.); **ODP** Potensial for nedbryting av stratosfærisk ozon (kg CFC<sub>11</sub>-ekv.); **POCP** Potensial for fotokjemisk oksidantdannning (kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-ekv.); **AP** Forsurningspotensial for kilder på land og vann (kg SO<sub>2</sub>-ekv.); **EP** Overgjødslingspotensial (kg PO<sub>4</sub>-3-ekv.); **ADPM** Abiotisk uttømmingspotensial for ikke-fossile ressurser (kg Sb -ekv.); **ADPE** Abiotisk uttømmingspotensial for fossile ressurser (MJ)

Leseeksempel: 9,0 E -03 = 9,0 \* 10<sup>-3</sup>

### Ressursbruk

Parameter	A1	A2	A3	A1-A3					
FPEE	23,61	0,39	678,80	702,80					
FPEM	0,00	-	-	0,00					
TFE	23,61	0,39	678,80	702,80					
IFPE	126,31	17,19	4 119,79	4 263,29					
IFPM	-	-	-	-					
TIFE	126,31	17,19	4 119,79	4 263,29					
SM	14,10	-	0,00	14,10					
FSB	-	-	-	-					
IFSB	0,00	-	592,82	592,82					
V	44,11	1,92	1 062,08	1 108,10					

**FPEE** Fornybar primærenergi brukt som energibærer (MJ); **FPEM** Fornybar primærenergi brukt som råmateriale (MJ); **TFE** Total bruk av fornybar primærenergi (MJ); **IFPE** Ikke fornybar primærenergi brukt som energibærer (MJ); **IFPM** Ikke fornybar primærenergi brukt som råmateriale (MJ); **TIFE** Total bruk av ikke fornybar primærenergi (MJ); **SM** Bruk av sekundært materialer (kg); **FSB** Bruk av fornybart sekundært brensel (MJ); **IFSB** Bruk av ikke fornybart sekundært brensel (MJ); **V** Netto bruk av drikkevann (m<sup>3</sup>)



## Livsløpets slutt - Avfall

Parameter	A1	A2	A3	A1-A3					
FA	8,94E-05	1,25E-05	8,10E-04	9,11E-04					
IFA	3,32E-01	6,58E-02	104,70	105,10					
RA	Er ikke deklartert pga manglende data								

**FA** Avhendet farlig avfall (kg); **IFA** Avhendet ikke-farlig avfall (kg), **RA** Avhendet radioaktivt avfall (kg)

## Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer

Parameter	A1	A2	A3	A1-A3					
KG									
MR			4,96E-01	4,96E-01					
MEG			1,24E-01	1,24E-01					
EEE									
ETE									

**KG** Komponenter for gjenbruk (kg); **MR** Materialer for resikulering (kg); **MEG** Materialer for energigjenvinning (kg); **EEE** Eksportert elektrisk energi (MJ); **ETE** Eksporteret termisk energi (MJ)

## Spesifikke norske krav

### Elektrisitet

Nordisk produksjonsmix

El-miks 0,0458 kg CO<sub>2</sub> ekv/MJ

### Farlige stoffer

Produktet er ikke tilført stoffer fra REACH kandidatliste (pr.10.1.2014) over stoffer av svært stor bekymring, stoffer på den norske Prioritetslisten (pr.10.1.2014) og stoffer som fører til at produktet blir klassifisert som farlig avfall. Det kjemiske innholdet i produktet er i samsvar med den norske produktforskriften.

### Transport



Scenario for transport til marked 50\* km

### Inneklima

Produktet har ingen relevant påvirkning på inneklima

## Bibliografi

- NS-EN ISO 14025:2006 *Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.*
- NS-EN ISO 14044:2006 *Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer*
- NS-EN 15804:2012 *Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer*
- ISO 21930:2007 *Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products*
- Vold [2013] *Oppdaterte EPDer med 2011-tall for Norcem Kjøpsvik, Bakgrunnsrapport for verifisering , Mie Vold, Østfoldforskning, Fredrikstad, Mai 2013*
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (2012-1) *Requirements on an Environmental Product Declaration (EPD) for Cement.*
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (2012-2) *Calculation Rules for the Life Cycle Assessment and Requirements on the Background Report, www.bau-umwelt.com*

 <b>epd-norge.no</b> The Norwegian EPD Foundation	<b>Utgiver</b> Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Postboks 5250 Majorstuen, 0303 Oslo Norge	Tlf: +4723088000  e-post: <a href="mailto:post@epd-norge.no">post@epd-norge.no</a> web: <a href="http://www.epd-norge.no">www.epd-norge.no</a>
 <b>epd-norge.no</b> The Norwegian EPD Foundation	<b>Program operatør</b> Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Postboks 5250 Majorstuen, 0303 Oslo Norge	Tlf: +4723088000  e-post: <a href="mailto:post@epd-norge.no">post@epd-norge.no</a> web: <a href="http://www.epd-norge.no">www.epd-norge.no</a>
	<b>Eier av deklarasjonen</b> Norcem AS Postboks 143 Lilleaker 0216 Oslo	Tlf: 47 22 87 84 00 Fax: +47 22 87 84 01 e-post: <a href="mailto:firmapost@norcem.no">firmapost@norcem.no</a> web: <a href="http://www.heidelbergcement.com/no">www.heidelbergcement.com/no</a>
	<b>Forfatter av Livsløpsrapporten</b> Mie Vold Østfoldforskning as Gamle Beddingvei 26, 1671 Kråkerøy	Tlf: 414 69 800 Fax: 69 34 24 94 e-post: <a href="mailto:mie@ostfoldforskning.no">mie@ostfoldforskning.no</a> web: <a href="http://www.ostfoldforskning.no">www.ostfoldforskning.no</a>



## ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Eier av deklarasjonen:  
Program operatør:  
Utgiver:  
Deklarasjon nummer:

Norcem AS Kjøpsvik  
Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner  
Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner  
NEPD-1195-357-NO

Godkjent dato:  
Gyldig til:

14.11.2016  
14.11.2021

### CEM II, Standardsement FA (CEM II/B-M)

Norcem AS Kjøpsvik

[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)

# NORCEM

HEIDELBERGCEMENT Group



## Generell informasjon

### Produkt:

CEM II, Standardsement FA (CEM II/B-M)

### Programoperatør:

Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner  
Postboks 5250 Majorstuen, 0303 Oslo  
Tlf: +47 23 08 82 92  
e-post: [post@epd-norge.no](mailto:post@epd-norge.no)

### Deklarasjonsnummer:

NEPD-1195-357-NO

### ECO Platform registreringsnummer:

-

### Deklarasjonen er basert på PCR:

CEN Standard EN 15804 fungerer som kjerne-PCR

### Ansvarserklæring:

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

### Deklarert enhet:

1 tonn sement i bulk fra råvareuttak til fabrikkport (A1-A4)

### Deklarert enhet med opsjon:

### Funksjonell enhet:

### Verifikasjon:

Uavhengig verifikasjon av deklarasjonen og data, i henhold til ISO 14025:2010

internt  eksternt

Tredjeparts verifikator:



Cecilia Askham, Seniorforsker  
(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

### Eier av deklarasjonen:

Norcem AS Kjøpsvik  
Kontaktperson: Anne Sigrid Solheim  
Tlf: +47 75 78 50 90 / +47 906 22 877  
E-post: [asolh@norcem.no](mailto:asolh@norcem.no)

### Produsent:

Norcem AS Kjøpsvik  
Behrens vei 15,  
8590 Kjøpsvik

### Produksjonssted:

Norcem AS Kjøpsvik

### Kvalitets-/miljøsystem:

ISO 14001-serfifisert (S-007)  
ISO 9001-serfifisert (S-006)

### Org. no.:

NO-934949145

### Godkjent dato:

14.11.2016

### Gyldig til:

14.11.2021

### Årstall for studien:

2016

### Sammenlignbarhet:

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

### Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:

Mie Vold



 Østfoldforskning  
SUSTAINABLE INNOVATION

Godkjent

  
Håkon Hauan  
Daglig leder av EPD-Norge

## Produkt

### Produktbeskrivelse:

Portland - blandingssement (Standardsement FA)

### Tekniske data:

Standardsement FA (EN 197-1, CEM II/B-M 42,5 R)

Ytterligere informasjon finnes på:

<http://norcem.no/no>

### Markedsområde:

Norge

### Levetid:

Avhenger av bruksområde

### Produktspesifikasjon:

Materialer	kg	%
Std klinker	720	72
Kalkmel	40	4
Flyveaske	184,6	18,4
Gips	52	5,2
Jernsulfat	2,4	0,24
Malehjelpemiddel	1	0,1

## LCA: Beregningsregler

### Deklarert enhet:

1 tonn sement fra råvareuttak til port (A1-A3)

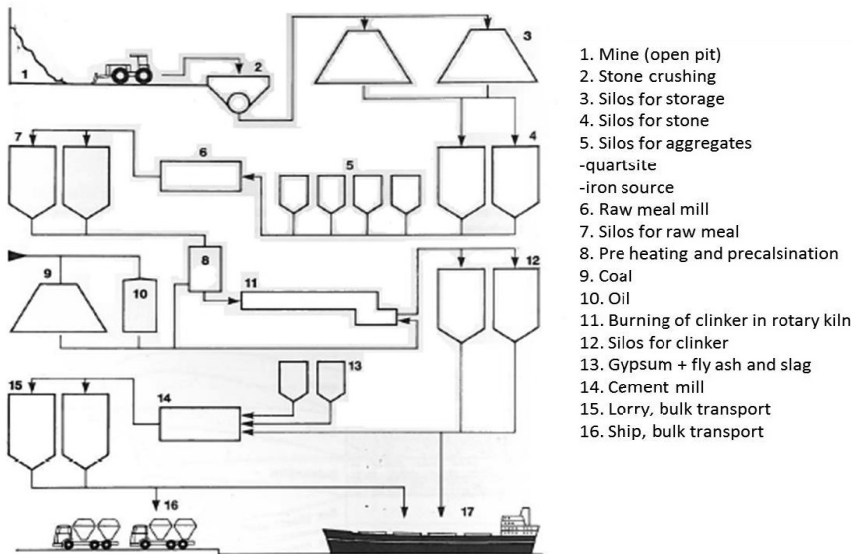
### Systemgrenser:

Fra råvareuttak til fabrikkport. I tillegg er det lagt inn en transport til tenkt lager 50 km.

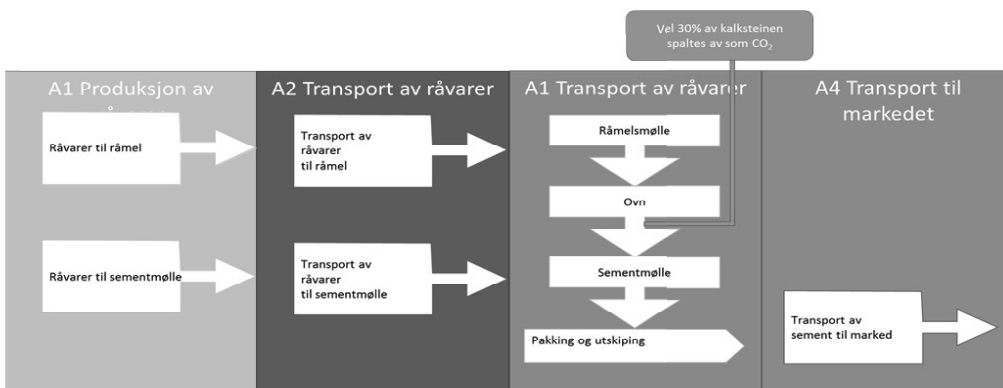
Produksjonsfasen for produktet

- Hovedprosessene ved Norcem Kjøpsvik er uttak av kalkstein fra eget dagbrudd i nærheten av bedriften.
- Kalksteinen tilsettes korreksjonsmaterialer, som kvarts og jernkilde, og males og brennes ved høye temperaturer (1450°C) til klinker.
- Klinkeren finmales til sement. I maleprosessen tilsettes flyveaske og mindre mengder gips, kalkstein og jernsulfat.

Figur 1 viser prosessene som inngår i produksjonen hos Norcem. Figur 2 viser alle prosesser som inngår i EPDen, fordelt på moduler



Figur 1: Skisse over produksjonsprosessen hos Norcem



Figur 2: Flytskjema for prosesser fordelt på moduler i EPDen

**Datakvalitet**

Råvaregruppe	Datakvalitet	Kilde	Alder for data
Klinker	Spesifikke data. Utslippstall fra ovnen (inkl. CO2) er målte og beregnede myndighetsrapporterte tall	Norcems egne tall	2015
Flygeaske	EPD	eMinerals AS	2013
Kalkmel	Spesifikke data	Norcems egne tall	2011
Gips	Databasedata	EcoInvent 3.2	Fremskrevne fra 2000 i 2014
Annet	Under cut-off		
Transport	Databasedata	EcoInvent 3.2	Fremskrevne fra 2000 i 2014

**Allokering**

Allokering følger regler gitt i EN 15804. For produksjonen hos Norcem er totalt forbruk registrert og fordelt på produserte produkter på vektbasis.

I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres forhold knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjonen.

**Cut off-kriterier**

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (<1%) er ikke inkludert.

**Andre antagelser/forutsetninger som er viktige for resultatene i EPDen**

Det er store variasjoner i data for energi som går med til å utvinne kull i forskjellige deler av verden. I analysen er det Norcems faktiske mottak av kull fra ulike steder som er brukt.

**LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon**

Deklarasjonene er basert på en "vugge til port"-analyse. Det er utviklet et scenario for transport til et fiktivt sentrallager i Norge.

**Transport fra produksjonssted til bruker**

Type	Kapasitetsutnyttelse, inkl retur [%]	Kjøretøygruppe	Distanse km*	Brennstoff/ energiforbruk	Verdi [l/t]
Bil				l/tkm	
Jernbane				kWh/tkm	
Båt	Full en vei > 50%	Norcems egen båt	50	0,74 l/tkm	37

\* 50 km iht. retningslinjer fra EPD-Norge

## LCA: Resultater

I modul A1 inngår produksjon av råvarer fra uttak av ressurser. A2 inkluderer transport av råvarer til produksjonen hos Norcem, A3 inkluderer produksjonsprosessen hos Norcem. I tillegg er transport til et representativt marked i en avstand 50 km inkludert for å synliggjøre det bidraget transport fra fabrikk har.

### Systemgrenser (X = inkludert, MID = modul ikke deklartert, MIR = modul ikke relevant)

Produktfase				Konstruksjons-/installasjonsfase	Bruksfase							Sluttfase				Etter endt levetid
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons-/installasjonsfase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk-gjenvinning-resirkulering-potensiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
x	x	x	x	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID	MID

### Miljøpåvirkning

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A1- A3	A4			
GWP	kg CO <sub>2</sub> -ekv	5,5	1,7	618	625	2,7			
ODP	kg CFC11-ekv	8,6E-07	3,1E-07	2,2E-06	3,4E-06	3,5E-07			
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekv	1,5E-03	1,3E-03	7,6E-02	7,9E-02	8,2E-04			
AP	kg SO <sub>2</sub> -ekv	0,04	0,04	1,4	1,4	0,02			
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -ekv	3,9E-03	3,6E-03	3,5E-01	3,6E-01	1,3E-03			
ADPM	kg Sb-ekv	3,2E-07	4,0E-09	5,9E-05	6,0E-05	4,0E-09			
ADPE	MJ	113	26	2646	2785	40			

GWP Globalt oppvarmingspotensial; ODP Potensial for nedbryting av stratosfærisk ozon; POCP Potensial for fotokjemisk oksidantdannning; AP Forsurningspotensial for kilder på land og vann; EP Overgjødslingspotensial; ADPM Abiotisk uttømmingspotensial for ikke-fossile ressurser; ADPE Abiotisk uttømmingspotensial for fossile ressurser

Leseeksempel:  $9,0 \text{ E-03} = 9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

### Ressursbruk

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A1-A3	A4			
RPEE	MJ	22	0,1	641	663	0,1			
RPEM	MJ	-	-	-	-	-			
TPE	MJ	21,9	0,1	641	663	0,08			
NRPE	MJ	120	24	2680	2824	37			
NRPM	MJ	5,13E-07	-	-	5,13E-07	-			
TRPE	MJ	120	24	2680	2824	37			
SM	kg	189	-	-	189	-			
RSF	MJ	-	-	80	80	-			
NRSF	MJ	8,13E-04	-	682	682	-			
W	m <sup>3</sup>	0,06	1,82E-03	0,2	0,3	0,003			

RPEE Fornybar primærenergi brukt som energibærer; RPEM Fornybar primærenergi brukt som råmateriale; TPE Total bruk av fornybar primærenergi; NRPE Ikke fornybar primærenergi brukt som energibærer; NRPM Ikke fornybar primærenergi brukt som råmateriale; TRPE Total bruk av ikke fornybar primærenergi; SM Bruk av sekundære materialer; RSF Bruk av fornybart sekundære brensel; NRSF Bruk av ikke fornybart sekundære brensel; W Netto bruk av ferskvann

Leseeksempel:  $9,0 \text{ E-03} = 9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

Livsløpets slutt - Avfall		
Parameter	Unit	A1-A3
HW	kg	2,26E-04
NHW	kg	90
RW	kg	IIV

HW Avhendet farlig avfall; NHW Avhendet ikke-farlig avfall; RW Avhendet radioaktivt avfall, IIV Indikator ikke vurdert

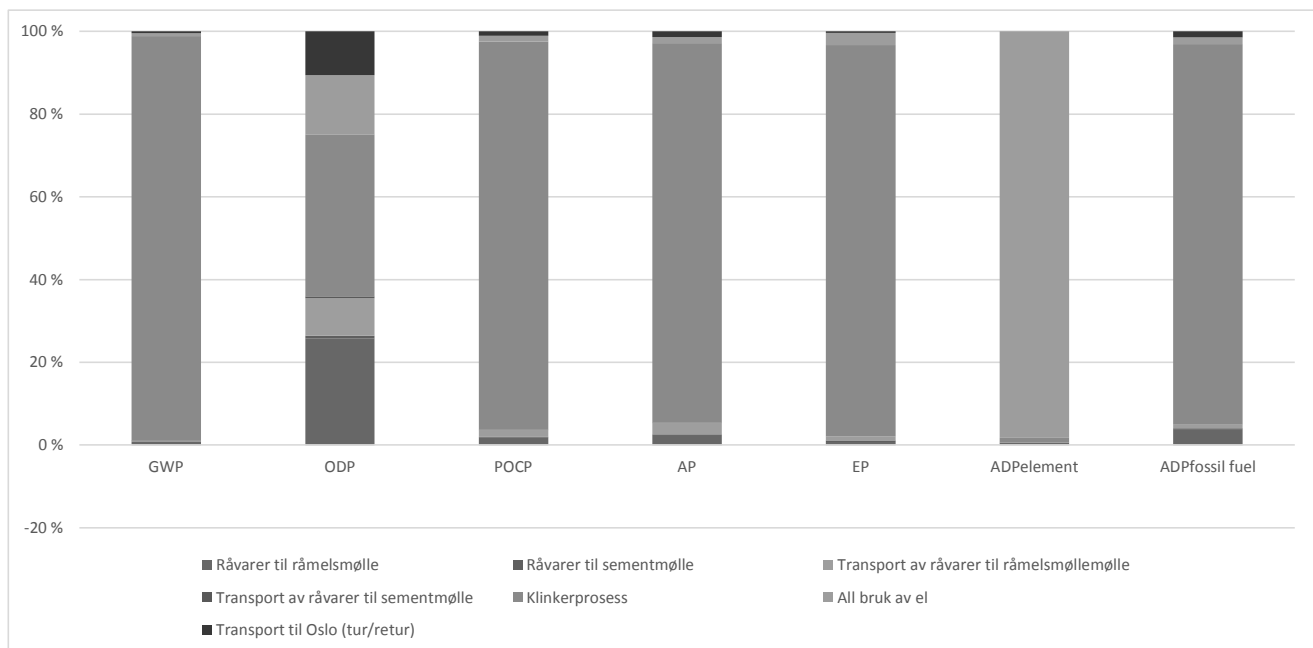
Leseeksempel:  $9,0 \text{ E-}03 = 9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

### Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer

Parameter	Unit
CR	kg
MR	kg
MER	kg
EEE	MJ
ETE	MJ

Disse parametrene er ikke deklarerert siden EPDen ikke deklarerer "end of life" for sementbaserte produkter

CR-komponenter for gjenbruk, MR Materialer for resirkulering, MER Materialer for energigjenvinning, EEE Eksportert elektrisk energi; ETE Eksportert termisk energi



**Figur 3 Utslipp av klimagasser fordelt på kilder for framstilling av Standard FA-sement fra Norcem Kjøpsvik**

Figur 3 viser hvordan klimagassutslippene fordeler seg på ulike livsløpsfaser. En ser av figuren at det er utslipp fra klinkerproduksjonen som har størst påvirkning på de fleste miljøkategoriene. Det er særlig klinkerovnen som bidrar (98 % for GWP). Der spaltes CO<sub>2</sub> fra kalksteinen. I tillegg brukes mye fossilt brensel for å oppnå rett temperatur i ovnen. Produksjon av elektrisitet er viktigst i ADPM. Hovedsakelig er dette knyttet til uttak av uran til el importert fra Sverige. Transport gir også et visst bidrag til ODP.



## Norske tilleggskrav

### Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen

Nasjonal produksjonsmiks inkl import, lavspenning (produksjon av overføringslinjer, i tillegg til direkte tap i nettet) av anvendt elektrisitet for produksjonprosessen (A3).

Datakilde	Mengde	Enhet
Ecoinvent v3.2 (2016)	36	g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh

### Farlige stoffer

- Produktet inneholder ingen stoffer fra REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten
- Produktet inneholder stoffer som er under 0,1 vekt% på REACH Kandidatliste
- Produktet inneholder stoffer fra REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten, se tabell under Spesifikke norske krav.
- Produktet inneholder ingen stoffer på REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten. Produktet kan karakteriseres som farlig avfall (etter Avfallsforsikten, Vedlegg III), se tabell under Spesifikke norske krav.

Navn	CAS no.	Mengde

### Transport

Transport fra produksjonssted til et fiktivt sentrallager i Norge: 50 km

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl. retur (%)	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/ Energiforbruk	Verdi (l/t)
Bil					
Jernbane					
Båt	Full en vei > 50%	Norcems egen båt	50	0,74 l/tkm	37,00
<Annen transport>					

### Inneklima

Det er ikke gjennomført tester på produktet med henblikk på inneklima - Ikke relevant

### Klimadeklarasjon

Det er ikke utarbeidet klimadeklarasjon for produktet.

## Bibliografi

NS-EN ISO 14025:2010	<i>Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.</i>
NS-EN ISO 14044:2006	<i>Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer</i>
NS-EN 15804:2012+A1:2013	<i>Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer</i>
ISO 21930:2007	<i>Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products</i>
Vold Mie, 2016	<i>Oppdatert EPD for Standard FA-sement fra Norcem Kjøpsvik, Bakgrunnsrapport for verifisering, OR 11.16, Østfoldforskning, Fredrikstad, august 2016</i>

<p><b>epd-norge.no</b> The Norwegian EPD Foundation</p>	<b>Program operatør og utgiver</b> Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Postboks 5250 Majorstuen, 0303 Oslo Norge	Tlf: +47 23 08 82 92  e-post: <a href="mailto:post@epd-norge.no">post@epd-norge.no</a> web: <a href="http://www.epd-norge.no">www.epd-norge.no</a>
		<b>Eier av deklarasjonen</b> Norcem AS Kjøpsvik Miljødeklarasjonen er utarbeidet av: Mie Vold
<p><b>Østfoldforskning</b> SUSTAINABLE INNOVATION</p>	<b>Forfatter av livsløpsrapporten</b> Mie Vold Ostfoldforskning AS Stadion 4, 1671 Kråkerøy	Tlf: +47 414 69 800 Fax +47 69 34 24 94 e-post: <a href="mailto:mie@ostfoldforskning.no">mie@ostfoldforskning.no</a> web: <a href="http://www.ostfoldforskning.no">www.ostfoldforskning.no</a>

# MRPI®-verklaring ENCI B.V. voor CEM III/B 42,5 N

## CEM III/B 42,5 N

Deze MRPI-verklaring is opgesteld zoals is voorgeschreven in de NEN 8006, de Bepalingmethode Milieuprestaties Gebouwen en GWW-Werken versie 1 november 2011 en het aanpassingsblad sept. 2013 en het MRPI-toetsingsprotocol, versie 2.0 mei 2011. De achterliggende gegevens zijn vastgelegd in SGS INTRON-rapport: A873490/R20140152a van 5 sept. 2014: LCA of cement produced by HeidelbergCement Benelux for the Netherlands - MRPI update - Final report after review. De data van deze MRPI zijn gebaseerd op informatie van 2012.

## Product eenheid

1.000 kg onverpakt cement (één ton)

## Product beschrijving

- Hoogovencement, klinkergehalte tussen de 20 en 34%
- Hoogovenslakgehalte tussen de 66 en 80%

## Milieuprofiel voor één ton cement

Milieueffecten	Eenheid (equivalenten)	Productie
Abiotische uitputting, non fuel	kg Sb eq	7,54E-04
Abiotische uitputting, fuel	kg Sb eq	7,38E-01
Klimaatverandering	kg CO <sub>2</sub> eq	2,64E+02
Aantasting van de ozonlaag	kg CFC-11 eq	3,71E-06
Fotochemische oxidantvorming	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	4,62E-02
Verzuring	kg SO <sub>2</sub> eq	5,61E-01
Vermesting	kg PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> eq	1,08E-01
Humane toxiciteit	kg 1,4-DB eq	2,18E+01
Ecotoxiciteit, zoet water	kg 1,4-DB eq	5,05E-01
Ecotoxiciteit, zout water	kg 1,4-DB eq	5,21E+03
Ecotoxiciteit, terrestrisch	kg 1,4-DB eq	9,07E-01
Milieu Kosten Indicator (MKI)	euro	19,20
Milieumaten		
Energie, primair – totaal	MJ	2,23E+03
Energie, primair – hernieuwbaar	MJ	4,11E+02
Energie, primair – niet hernieuwbaar	MJ	1,82E+03
Gevaarlijk afval	kg	2,55E+02
Niet-gevaarlijk afval	kg	5,97E+00
Waterverbruik	m <sup>3</sup>	5,41E+01

### ENCI Technische Voorlichting

tel: +31 (0)73 640 12 20

e-mail: tv@enci.nl

### ENCI B.V.

Postbus 3233

5203 DE 's-HERTOGENBOSCH

Nederland

tel : +31 (0) 73 640 12 20

www.enci.nl



### **Opmerkingen**

ENCI is gecertificeerd volgens ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001. De cementen worden geleverd conform NEN EN 197-1, voorzien van een CE-markering en KOMO-certificaat. De MKI (Milieu Kosten Indicator) betreft het productiedeel cradle-to-gate.

LET OP: MRPI verklaringen hebben een beperkte houdbaarheidsduur, informeer daarover bij ENCI B.V.

Het milieuprofiel van dit cement is een gewogen gemiddelde van verschillende productielocaties. Voor sommige scores zijn er afwijkingen tussen individuele locaties en het gewogen gemiddelde die groter zijn dan 20%, ten opzichte van het gewogen gemiddelde.

### **Levenscyclusfasen**

De volgende levenscyclusfasen zijn bij de studie inbegrepen:

- Winning van grondstoffen;
- Productie van cement.

De volgende levenscyclusfasen zijn niet inbegrepen:

- Transport naar de productielokatie of de bouwplaats;
- Processen op de bouwplaats;
- Gebruik, onderhoud en vervangingen;
- Sloop;
- Afvalverwerking aan het einde van de levenscyclus.

### **Verklaring van IVAM, mevr. L. van der Noort, 19 augustus 2014:**

This report is reviewed according to the MRPI review scheme. We concluded that the Life Cycle Assessment is conducted according to the MRPI rules, and that the Intron SGS report and the MRPI declarations (EPD's) are complete and clear. Details of the review are listed in Appendix B.

### **Disclaimer**

*ENCI B.V. heeft haar data voor de productie van cementen zo zorgvuldig mogelijk verzameld en gecontroleerd en die vervolgens overhandigd aan LCA-deskundigen van Intron SGS voor het opstellen van MRPI verklaringen. De toetsing is uitgevoerd door IVAM conform de procedurele regels die gelden voor MRPI. ENCI B.V. wijst elke aansprakelijkheid af vanwege fouten die zich zouden kunnen voordoen in de verstrekte MRPI-verklaringen.*

## Transporttillegg

	km Båt	km Bil	E båt	E bil	SUM
CEM III	394	869	291,56	1122,808	1414,368
FA	280	520	207,2	671,8759	879,0759
Silika	0	500	0	646,0345	646,0345
Std FA	722	11	534,28	14,21276	548,4928
Industri	722	11	534,28	14,21276	548,4928