



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Betong tilsatt kalsinert mergel  
Concrete added calcined marl

**Sverre Magnus Haakonsen**  
**Daniel May Instanes**

*Bachelor ingeniørfag*

*Institutt for byggfag*

*Veileder: Ørjan Fyllingen*

*23.05.2018*

*Vi bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.*

## Forord

Denne oppgaven er skrevet i samarbeid med SKANSKA som en avsluttende del av bachelorgraden i byggingeniør ved Høgskulen på Vestlandet, HVL. Oppgaven tar for seg bruk av kalsinert leire i betong, for å gjøre betongen mer miljøvennlig.

Dette er et tema som forskes på i skrivende stund, blant annet hos SINTEF som vi har hatt kontakt med via sjefforsker Harald Justnes. Store deler av bakgrunnsteorien er basert på denne forskningen og har vært svært nyttig med tanke på utforming av oppgaven.

Samtidig har vi gjort egne forsøk på skolens laboratorium, for å kunne si noe om praktisk bruk av betong med kalsinert leire. Her vil vi rette en stor takk til Geir Norden i Saint Gobain Weber for anskaffelse av kalsinert leire til bruk i forsøkene og gode råd.

Vi vil også rette en takk til Preben Hammersland i Skanska for oppfølging og veiledning samt Harald Justnes for all kunnskap han velvillig har delt med oss. En stor takk rettes også til alle som har hjulpet oss på laboratoriet. Til slutt vil vi takke veileder Ørjan Fyllingen ved HVL.

## Sammendrag

Betong står for store miljøutslipp hvert år. Og omtrent 90 % av utslippene er knyttet til produksjon og bearbeiding av sement. Samlet utgjør dette omkring 5 % av verdens samlede CO<sub>2</sub>-utslipp. I en byggebransje som streber etter en grønnere profil, utvikles det stadig nye løsninger for å redusere klimagassutslippene. En løsning det forskes mye på er bruk av kalsinert mergel som erstatning for deler av sementen i betong.

Mergel er en leiresort som av leireindustrien forblir ubenyttet grunnet et høyt innhold av kalk. Den lar seg kalsinere ved mye lavere temperaturer enn sement, samtidig som den ikke slipper ut CO<sub>2</sub> i prosessen. Det er også stor grunn til å tro at kalsinert mergel vil være et minst like økonomisk som sement.

Tidligere forsøk gjort ved SINTEF viser at en beholder både fasthet og bestandighet i betong hvor opptil 35 % sement er erstattet med kalsinert mergel. Forsøkene sier likevel lite om hvordan betongens støpbarhet påvirkes. Med dette som utgangspunkt er det gjort egne forsøk på lab der målet har vært å lage betong der opptil 35 % av sementen er erstattet av kalsinert leire, uten at dette går på bekostning av støpbarheten til betongen og praktisk bruk.

Resultatene fra egne forsøk viser at støpbarheten kan komme opp på tilfredsstillende nivå ved bruk av superplastiserende tilsetningsstoff, samtidig som fastheten tilfredsstillende gjeldende krav til trykkfasthet. Dette gir gode forutsetninger for kommersiell bruk.

Det er til slutt sett på miljøgevinsten for en slik betong sammenlignet med konvensjonelle blandinger. Dette er gjort ved å se på en miljødeklarasjon, EPD (Environmental Product Declaration), for sement og sammenlignet denne med kalsinert mergel. Resultatene her er lovende sett fra et miljøperspektiv.

## Abstract

Concrete is one of the biggest sources of pollution regarding carbon dioxide, and 90 % of the emissions stem from the production of cement. This equals to approximately 5 % of the total emission output worldwide. The construction business is constantly looking for a “greener” image and is therefore interested in reducing their emissions. One possible solution that is currently being put through a lot of testing nowadays is to replace some of the cement in the mixture with calcined clay.

The clay in question is *marl*. Today this type of clay remains unused by the clay-industries because of the high content of calcium carbonate. It is calcined at a lower temperature than cement while it does not emit carbon dioxide during the process. Additionally, there is reason to believe that the cost of calcined marl should not exceed that of cement.

Previous studies at SINTEF show that both the strength and durability improve or remain unaltered with a replacement of up to 35 % calcined marl. What they do not mention, however, is how the concrete behaves in terms of casting. As such, we have done some research and experimenting of our own where up to – but not surpassing – 35 % of the cement has been switched out with calcined clay, without this having any effect on the clay’s malleability and practical usage.

Results from our own research show that the malleability can attain a satisfactory level with the usage of super plasticiser, while the solidity, in terms of current demands on compressive strength, also achieves pleasing results. The results from these studies thus shows the possibility of casting concrete with calcined marl when added super plasticizer. All in all, this makes for commercialising this specific type of concrete made this way more realistic.

Finally, the environmental impact from conventional concrete and the one in which was added calcined clay is compared and discussed using an Environmental Product Declaration (EPD), culminating in promising results for calcined clay as an eco-friendly pozzolan.

## Innholdsliste

1. Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn .....	2
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Oppgavebeskrivelse .....	3
2. Betongteknologi.....	4
2.1 Tilslag .....	4
2.2 Sement .....	5
2.3 Tilsetningsstoffer .....	7
2.4 Pozzolaner .....	8
2.4.1 Silikastøv (SF) .....	9
2.4.2 Flyveaske .....	9
3. Mergel .....	10
3.1 Om mergel .....	10
3.2 Forsøk med kalsinert mergel.....	11
3.2.1 Fasthet .....	11
3.2.2 Karbonatisering .....	12
3.2.3 Elektrisk resistans .....	13
3.2.4 Kloridinntrengning og sulfatangrep .....	14
3.2.5 Konklusjon av rapport .....	15
4. Utstøping og anvendelse.....	16
4.1 Partikkel-matriks modellen .....	16
4.2 Tilsetningsstoffer for økt støpbarhet.....	16
4.3 Kalsinert mergels støpbarhet .....	17
5. Forsøk på lab .....	18
5.1 Innledning .....	18
5.2 Materialer og metode .....	18
5.2.1 Synkmål.....	21
5.2.2 Trykkfasthet.....	23
5.3 Resultater .....	24
5.3.1 Synkmål.....	24
5.3.2 Trykkfasthet.....	26
5.4 Diskusjon .....	27
5.4.1 Synkmål.....	27

5.4.2 Trykkfasthet .....	29
6. Praktisk bruk og miljø .....	33
6.1 EPD - Miljødeklarasjon .....	34
7. Konklusjon og forslag til videre arbeid .....	37
Referanseliste.....	38
Referanseliste bilder .....	41
Vedlegg.....	43

# 1. Innledning

Menneskeskapte klimagassutslipp er kanskje den største trusselen verdenssamfunnet går i møte i årene som kommer. En kan allerede i dag se konturene av hyppigere tilfeller av ekstremvær, økte temperaturer og andre klimatiske endringer som vil gjøre deler av jorden ubeboelig. For å bremse, og om mulig stoppe denne utviklingen kreves det en omstilling i hele samfunnet. Et grønt skifte. Regjeringen, industrien og privatpersoner må alle bidra for å senke sine respektive klimagassutslipp slik at generasjonene som kommer også kan nyte de samme godene.

Denne målsetningen gjenspeiles i Parisavtalen [1], som er en internasjonal avtale der medlemslandene forplikter seg til en rekke krav for å ikke øke jordens temperatur med mer enn 2 grader celsius innen år 2100. På sikt skal alle land også bli klimanøytrale. På Regjeringens sine hjemmesider kan en lese at Norge skal redusere sine klimagassutslipp med 40 % innen 2030 [2]. Dette er dessuten lovfestet i Lov om klimamål § 3 [3].

Med dette i bakhodet velger vi derfor i denne oppgaven å se på hvilke muligheter og tiltak byggebransjen kan bidra med. Betong er det mest brukte materialet i byggebransjen, og betongproduksjon alene står for ca. 5 % av verdens CO<sub>2</sub>-utslipp [4]. Til tross for at det stadig kommer nye alternative byggematerialer, som massivtre, er sannsynligheten stor for at betong fortsatt kommer til å utgjøre en vesentlig del av bygningsmassene i årene som kommer. For oss er det derfor nærliggende å se på muligheten for å redusere utslipp fra selve betongproduksjonen i denne oppgaven.

## 1.1 Bakgrunn

I produksjonen av betong står sementen for ca. 90 % av de totale utslippene [5]. Det totale utslippet fra sementproduksjonen ble i 2006 beregnet til 866 kg CO<sub>2</sub> per tonn produsert sement [6]. Den mest vanlige sementtypen, Portlandsement, fremstilles i hovedsak ved at kalkstein og blant annet kvarts pulveriseres, blandes og brennes ved ca. 1450 grader celsius, før en tilsetter gips og eventuelt andre stoffer som f.eks. flyveaske og silika.

Utslippene av klimagasser skyldes i stor grad den kjemiske prosessen kalsinering, som skjer under produksjonen ved ca. 1450 grader celsius. Ved denne temperaturen frigjøres CO<sub>2</sub> ettersom den organiske massen i kalksteinen brennes bort. Omkring 70 % av CO<sub>2</sub> utslippene under sementproduksjonen kommer herfra. I tillegg kommer også utslipp fra oppvarmingen der kalksteinen brennes. Hvor mye dette utgjør avhenger i stor grad av hvilke brenselskilder man bruker i prosessen. I Norge er kull primærkilden, med noe bruk av spillolje og organisk spesialavfall [7].

For å redusere utslippene har bransjen de siste årene sett på bruk av f.eks. flyveaske, silika, slagg og vulkanske materialer som tilsetning i betong. Dette er løsninger som har vist seg effektive. For at nye løsninger skall kunne brukes i stor skala må det være tilgjengelig i stort volum, samt være minst like billig som kalkstein. Derfor har forskere nylig sett på kalsinert mergel som et alternativt erstatningsmateriale i sement [8]. Mergel er en leiresort som er forurenset av kalkstein. Resultatene fra forsøkene som er gjort tyder på at dette er noe som kan erstatte deler av sementen uten at det reduserer betongkvaliteten.

## 1.2 Problemstilling

Vi skal undersøke om det lønner seg å erstatte deler av sementen i betong med kalsinert mergel. Primært med tanke på miljø, men også økonomisk bør det være hensiktsmessig for at det skal fremstå som en fullverdig løsning. Vi har derfor kommet frem til følgende problemstilling:

***Er kalsinert mergel et egnet pozzolan til bruk i fremtidens betong som et steg mot en mer miljøvennlig retning i betongindustrien?***



### 1.3 Oppgavebeskrivelse

I denne oppgaven undersøkes muligheten for bruk av kalsinert mergel i betongresepter. Deretter hvilken betydning dette kan ha for reduksjon av klimagassutslipp. Oppgaven begynner med å gjennomgå eksisterende teori innen fagfeltet, før egne forsøk på lab presenteres. Her ser en på praktisk bruk av betong, og hvordan den er å arbeide med, samt at fastheten er tilstrekkelig. Avslutningsvis sammenlignes klimagassutslipp fra betong tilsatt kalsinert mergel med konvensjonell betong, og gjennomførbarheten diskuteres.

## 2. Betongteknologi

Siden oldtiden har betong blitt brukt som byggemateriale over store deler av verden. Opprinnelig brente grekere og romere kalk til fremstilling av mørtel som herdet ved tilsetning av vann. Dette ble brukt i alt fra bygninger til vannledningssystemer. Det kanskje mest kjente eksempelet på romersk betongteknologi er kuppelen på Pantheon som ble reist så tidlig som ca. 120 e.Kr. [9]. Siden den gang har bruken av betong eksplodert, og det bygges stadig flere konstruksjoner av betong. Særlig den økonomiske veksten i Kina, har de siste tiårene stått for produksjon av enorme mengder betong. I følge SINTEF produseres det hvert år betongkonstruksjoner tilsvarende ett Mount Everest i volum [10].

Dagens betong bygger på de samme prinsippene som den oldtidens grekere laget. De viktigste materialene i betong er vann, sement og tilslag. Utover dette kan man påvirke egenskapene til betongen ved bruk av ulike tilsetningsstoffer og pozzolaner som stadig utvikles i en voksende bransje.

### 2.1 Tilslag

Sand- og steinmaterialet i betong utgjør tilslaget i betongen. Vanlig betong består av mellom 60 og 70 % tilslag. Tilslagets kvalitet og egenskaper bestemmes av geologisk opprinnelse, produksjon og behandling.

Tilslaget graderes etter kornstørrelse, der sand har kornstørrelse fra 0-8 mm og stein fra 8 mm og større, men ikke større enn 32 mm. Det er ønskelig med en jevn korngradering, da dette fører til at kornene komprimeres bedre og det blir mindre hulrom i betongen. På denne måten oppnår man både bedre fasthet og bestandighet ved en tettere betong. I fersk fase påvirker korngraderingen betongens støpbarhet, vannbehov og stabilitet. Tilslagets kornform påvirker også disse egenskapene.

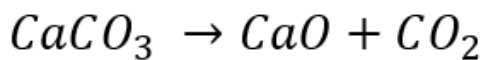
Vannabsorpsjon er en viktig egenskap ved tilslaget, som påvirker det effektive vanninnholdet og dermed også v/b-tallet. Dersom vannabsorpsjonen er stor, øker vannbehovet. Vannbehovet øker også med mengden finstoff i tilslaget.

Betongens termiske egenskaper bestemmes først og fremst av tilslaget. Lav termisk utvidelseskoeffisient er gunstig med tanke på riss i herdefasen og ved ellers høye temperaturer. Tilslagets varmeledningsevne og varmekapasitet påvirker temperaturfordeling og den maksimale

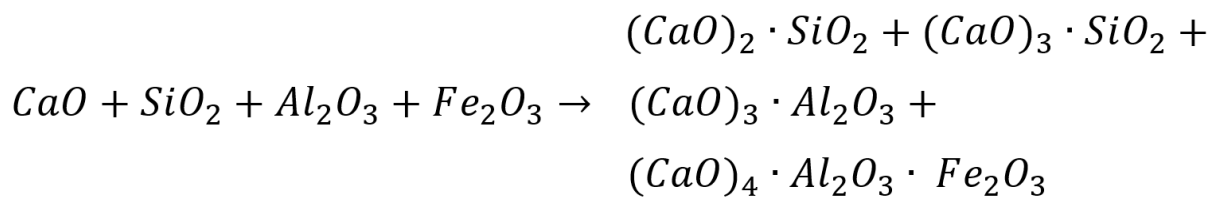
temperaturen under herding. Høy varmeledningsevne fører til jevnere temperatur, og dermed lavere spenningsforskjeller i betongen [11].

## 2.2 Sement

Sementen kan sees på som limet i betongen som fyller hulrommet mellom tilslaget, og holder det sammen. Råmaterialene som brukes for å produsere sement er i hovedsak kalkstein, som utgjør ca. 90 %. Resten er blant annet sandstein, feltspat og kvarts. Råmaterialene knuses og males til det sementprodusentene kaller råmel, før det kalsineres og sintres i en roterovn [12]. Ved kalsinering omdannes kalsiumkarbonat fra kalkstein til kalsiumoksid og karbondioksid som vist i ligning 1. Sintring er en prosess der råmelet blir utsatt for så høy temperatur at det delvis smelter og partiklene vokser sammen [13]. Dette skjer når temperaturen når 1350-1450 grader celsius og en ender opp med de fire klinkermineralene i sementen som illustrert i tabell 2-1. Den kjemiske prosessen ved sintring er vist i ligning 2.



*Ligning 1: Kjemisk reaksjonsligning for kalsinering av kalkstein*



*Ligning 2: Kjemisk reaksjonsligning for sintringsprosessen av råmel*

Ut av roterovnen får en etter sintringsprosessen små kuler i størrelsen 3-20 mm, kalt portlandklinker, se figur 2-1. Portlandklinkeren males så vanligvis sammen med gips og jernsulfat til pulverform, og en får portlandsement. Gipsen tilsettes for påvirke herdingen ved å forsinke den hurtige reaksjonen mellom trikalsiumaluminat og vann. I roterovnen oksideres krom til kromat, som er skadelig for mennesker. For å motvirke dette tilsettes jernsulfat. Da omdannes kromat til ufarlig krom, som er en naturlig del av jordskorpen og derfor finnes i de fleste råmaterialer.



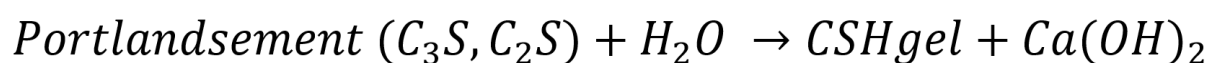
*Figur 2-1: Portlandklinker [49]*

De fire hovedmineralene i sement er trikalsiumsilikat ( $C_3S$ ), dikalsiumsilikat ( $C_2S$ ), trikalsiumaluminat ( $C_3A$ ) og tetrakalsiumaluminatferritt ( $C_4AF$ ). Forholdet mellom de ulike mengdene av disse vil være med på å bidra til ulik varmeutvikling og hastighet på herdingen. Disse fire mineralene utgjør vanligvis omkring 90-95 % av mineralene i sementen. En illustrasjon av dette er gitt i tabell 2-1.

Tabell 2-1: Klinkermineraler i sement

Mineral	Formel	Mengde [% i vekt]
Trikalsiumsilikat	$C_3S$	45-65
Dikalsiumsilikat	$C_2S$	15-30
Trikalsiumaluminat	$C_3A$	1-8
Tetrakalsiumaluminatferritt	$C_4AF$	8-15

Når sement blandes med vann oppstår det en kjemisk reaksjon kalt hydratisering. Her reagerer sementen med vann, og det dannes en nålformet reaksjonsmasse ut fra sementkornene, også kjent som sementgel. Den kjemiske reaksjonsligningen for sementhydratiseringen er vist i ligning 3. Sementgelen består av kalsiumhydroksid, fastkrystaller av kalsium-silisium-hydrat-forbindelser og porer fylt med vann. Det er fastkrystallene som gir betongen styrke, og disse betegnes ofte bare som CSH-gel. Kalsiumhydroksid fra hydratiseringen er det som gir betongen den høye pH-verdien på ca. 13. I tillegg reagerer kalsiumhydroksid også med pozzolaner, som gir en ytterligere fasthetsøkning. Disse reaksjonene danner grunnlaget for betongens fasthetsutvikling. Denne deles inn i en størkningsfase og en herdefase.

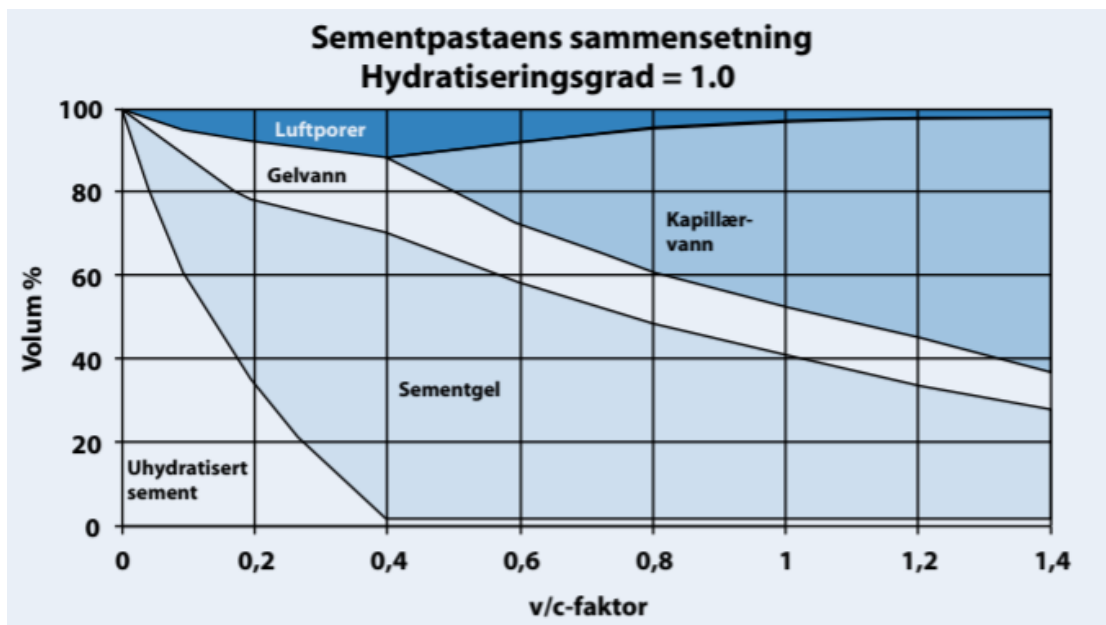


Ligning 3: Kjemisk reaksjonsligning for hydratisering av portlandsement

Størkningsfasen regnes som den fasen der betongen oppnår sin første fasthet, og det ikke lenger er mulig å forme den. Størkningsfasen varer vanligvis i 8 til 10 timer, avhengig av sementtype og temperatur. De nåleformede reaksjonsproduktene vokser i størrelse og vil etter hvert vikle seg inn i hverandre. Da starter herdefasen.

Herdefasen starter når krystallene i CSH-gelen er blitt så store at de vikler seg inn i hverandre. I løpet av herdefasen oppnår betongen mesteparten av sine egenskaper. Normalt oppnår betongen full fasthet etter 28 døgn [14].

For å oppnå hundre prosent hydratisering kreves det et v/c-tall på minst 0,4. Dette er skyldes at vann blir kjemisk bundet og inngår i CSH-gelen, samt fysisk bundet som gelvann i gelporene til overflaten av reaksjonsproduktene. Dersom v/c-tallet er større en 0,4, vil resten av vannet fordele seg i sementpastaen. Dette vannet kan fordampe under herdeprosessen på grunn av varmeutvikling, ettersom reaksjonen mellom vann og sement er eksoterm. Når vannet fordampes dannes det kapillærporer. Desto flere og større kapillærporer som dannes, jo lettere blir det for fukt og klorider å trenge inn i betongen, noe som fører til at bestandigheten reduseres. Sementpastaens sammensetning og hvordan den påvirkes av v/c-tallet er vist i figur 2-2.



Figur 2-2: Sementpastaens sammensetning, hentet fra NORCEM [50]

### 2.3 Tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoffer brukes for å endre betongens egenskaper i fersk og/eller i herdet fase. I moderne betong er tilsetningsstoffer et viktig og nødvendig element for å oppnå ønskede egenskaper. Tilsetningsstoffer skal per definisjon ikke overskride 5 % av sementmengden i betongen og skal tilsettes under blanding [15]. Det er vanlig å skille mellom plastiserende/superplastiserende, luftinnførende, akselererende, retarderende, injeksjonsstoffer og andre tilsetningsstoffer.

Plastiserende og superplastiserende er det mest brukte tilsetningsstoffet i moderne betong. Kort sagt tilsettes dette for å redusere betongens vannbehov, dette blir videre diskutert i kapittel 4.2.

Luftinnførende stoffer fører til et jevnt fordelt poresystem med små porer. Dette gjør betongen mer bestandig mot gjentatte frysninger. I tillegg vil støpbarheten bli bedre da luftboblene vil fungere som kulelagre i blandingen. En ulempe er at fastheten reduseres ettersom luftinnholdet i betongen øker.

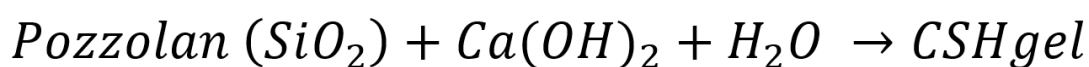
For å påvirke betongens størknings- og herdeforløp kan en bruke akselererende eller retarderende tilsetningsstoffer. Akselererende stoffer gir raskere størkning eller herding. Størkningsakseleratorer gir hurtigere størkning, men gir også lavere slutfasthet. Ved bruk av herdningsakseleratorer oppnår en høyere tidligfasthet, samtidig som slutfastheten beholdes. Retarderende stoffer brukes for å forsinke størkningen, noe som kan være nyttig når betongen fraktes i bil fra produksjonslokalene til stedet den skal støpes.

Injeksjonsstoffer brukes først og fremst der det er viktig at betongen fyller godt ut, fordi den får ekspanderende egenskaper. Samtidig økes evnen til å flyte ut og separasjonen reduseres [16].

Andre tilsetningsstoffer er stoffer som blant annet korrosjonshindrende som reduserer korrosjonshastighet, antistoff som senker frysepunktet til betongen og svinnreducerende som reduserer svinn ved tørking. Videre har en fargepigmenter samt antiutvaskningsstoff som muliggjør støpning under vann.

## 2.4 Pozzolaner

En måte å redusere bruken av sement i betongblandinger er ved å tilsette pozzolaner. Dette er en fellesbetegnelse på en gruppe stoffer som danner bindestoffer ved reaksjon med kalsiumhydroksid, og bidrar dermed til økt fasthet og styrke i sluttproduktet. Den økte fastheten skyldes blant annet at det dannes mer CSH-gel som vist i ligning 4. Pozzolaner består hovedsakelig av silisiumforbindelser og forekommer naturlig i bergarter av vulkansk opprinnelse, eller kunstig fremstilt ved brenning av leirematerialer eller flyveaske fra kullkraftverk. I dag er silikastøv og flyveaske de to mest brukte pozzolanene i Norge [17].



*Ligning 4: Kjemisk reaksjonsligning for pozzolaner*

### 2.4.1 Silikastøv (SF)

Silikastøv er et biprodukt fra produksjon av ferrosilisium og silikon-metall. De finkornede partiklene er reaktive med kalsiumhydroksid, og produserer CSH-gel raskere enn for eksempel flyveaske. De små partiklene er ca. 100 ganger mindre enn sementkorn og fyller tomrommet som oppstår i sementblandingen. I den ferske betongen vil silikastøv øke kohesjonen, og betongen vil bli stivere og seigere. Dette gjør den mer krevende å støpe ut. Vannbehovet øker også, og det brukes derfor plastiserende stoffer i betongresepter som inneholder silikastøv.

I den herdede betongen skaper silikastøv et finere og mer jevnt fordelt porevolum. Dette fører til redusert permeabilitet for gasser og væsker, og dermed økt bestandighet. De grove porene, kapillærporene, erstattes dessuten med en sterkere reaksjonsmasse slik at bestandigheten øker betraktelig. Også den elektriske resistansen øker, slik at korrosjonshastigheten av armering senkes, til tross for en lavere pH verdi i SF betong [18, s.34].

### 2.4.2 Flyveaske

Flyveaske er et avfallsprodukt som stammer fra forbrenning av kull. Dette fanges opp i filtre i kullfyrte kraftverk, og kan siden brukes som pozzolan i betong. Flyveaskens sammensetning avhenger av kulletts komponenter, men flyveaske inneholder anselige mengder silisiumoksid og kalsiumoksid som danner CSH-gel sammen med sementen. I tillegg finnes det aluminater som kan danne produkter med bindemiddelegenskaper. I den ferske betongen bidrar den sfæriske partikkelformen til å redusere indre spenninger, slik at betongen lettere kan støpes ut [18, s.35].

Mye av industrisementen som produseres i dag inneholder flyveaske ettersom de pozzolanske reaksjonene bruker lengre tid enn sementhydratiseringen, og ikke er komplette før etter flere uker. Dette gir en lavere total temperaturøkning, og betongens egenskaper over lang tid forbedres dersom tilstrekkelig mengde vann er tilgjengelig. Norcem standard FA sement inneholder for eksempel 20 % flyveaske. Da flyveaske som nevnt er et biprodukt av kullindustrien, som det jobbes hardt for å avvikle, vil flyveaske etter hvert bli mangelvare som pozzolan i takt med færre kullkraftverk. Dette gjør det nødvendig å se etter andre billige og lett tilgjengelige pozzolaner.

## 3. Mergel

### 3.1 Om mergel

Mergel er en leire som finnes i store forekomster, og er en hittil ubrukt naturressurs. Leirens høye innhold av kalsiumkarbonat gjør den uegnet til tradisjonelle leireprodukter, som teglstein og keramikkprodukter.

Ved byggeprosjekter må leiren i grunnen ofte graves bort da den er ustabil og lite egnet som fundament for tunge konstruksjoner. Derfor ender leiren ofte opp som deponeringsmateriale. Dersom kalsinert mergel kan brukes til betongproduksjon, får en brukt dette deponeringsmaterialet til nyttige formål. Ved nedlagte teglverk finnes det dessuten ofte store mengder ubenyttet leire, som gjør at en kan ta i bruk allerede eksisterende industriplasser for å hente ut og bearbeide leiren. Her ligger det altså store mengder potensielt billig og effektivt pozzolan tilgjengelig for industrielle formål [19].

For at mergel skal reagere med sement og gi betongen fasthet og styrke, må den kalsineres. Kalsineringen er nødvendig for å gjøre leirmineralene reaktive, slik at de kan reagere med kalsiumhydroksid fra sementhydratiseringen, og bidra til en ytterligere fasthetsutvikling. Dette bygger på samme prinsippet som andre pozzolaner, der silikater reagerer med kalsiumhydroksid, og danner mer CSH-gel i betongen.

I mergel er det smektitt som utgjør leirmineralene som aktiveres. Dette er en gruppe vannsvellende sjiktsilikater [20]. I tillegg er innholdet av kalsiumkarbonat i mergel relativt høyt, vanligvis 25-75 %. Dette bidrar til en bevaring av pH-verdien i betongen, da kalsiumkarbonat selv er basisk.

I motsetning til kalkstein, danner ikke mergel CO<sub>2</sub> når den brennes. Mergel har dessuten en mye lavere kalsineringstemperatur enn sement. Den optimale temperaturen for kalsinering av mergel er mellom 700- og 800 grader celsius. Til sammenligning krever kalkstein som nevnt ca. 1450 grader celsius. Etersom temperaturbehovet er relativt lavt for kalsineringen av mergel, vil det være mulig å bruke biobrensel, som bidrar til en ytterligere reduksjon av utslipp av CO<sub>2</sub> og andre miljøskadelige stoffer [21].



## 3.2 Forsøk med kalsinert mergel

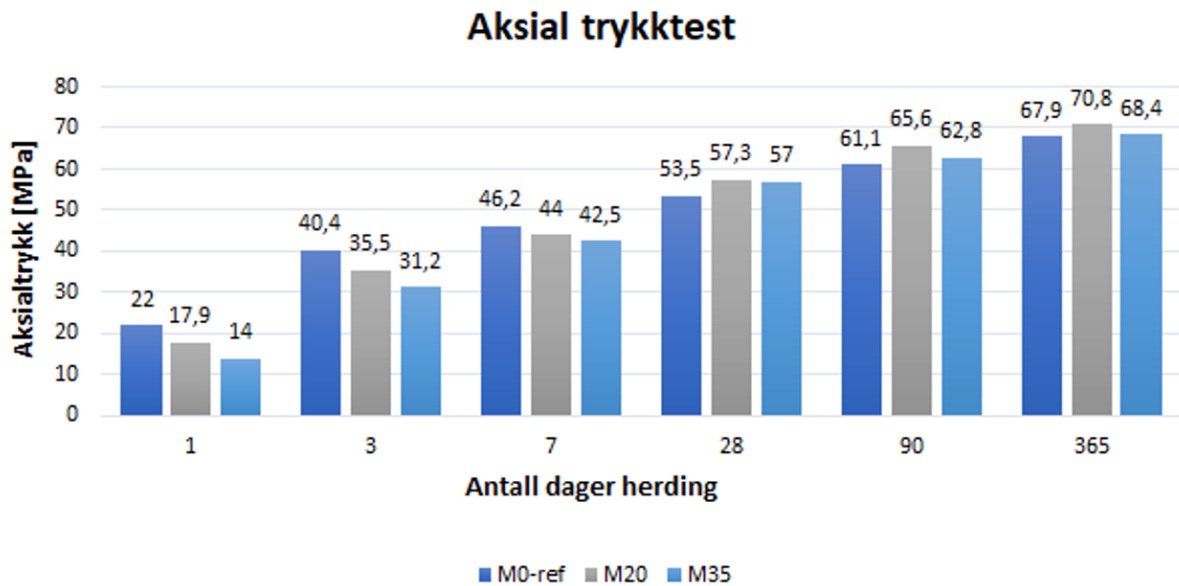
I undersøkelsen av om kalsinert mergel er egnet som pozzolan, er mye av teorien hovedsakelig basert på rapporten "*Durability of mortar with calcined marl as pozzolan*" [22] av Tone Østnor og Harald Justnes fra SINTEF. Rapporten tar for seg hvordan kalsinert leire påvirker fasthet og bestandighet for betong. Videre følger en oppsummering av de viktigste resultatene før det sees på praktiske aspekter ved produksjon av betong med kalsinert mergel.

Basert på resultatene fra denne rapporten tar egne forsøk senere utgangspunkt i blandinger der henholdsvis 20- og 35 % sement er erstattet med kalsinert leire. Bakgrunnen for dette valget er at blandinger med høyere andel leire enn dette får redusert fasthet og bestandighetsproblemer som korrosjon av armering oppstår. Den reduserte fastheten skyldes sannsynligvis at det ikke er nok kalsiumhydroksid for den kalsinerte leire å reagere med og danne CSH-gel, dette er mest tydelig ved 65 % erstatning.

I forsøket til Østnor og Justnes er det brukt mørtel bestående av vanlig portlandsement, vann, knust granitt (0-8 mm) og superplastiserende tilsetningsstoffer. I de fleste blandinger er deler av sementen erstattet med kalsinert mergel, med en kornstørrelse på 7 µm. Referansemørtelen som ikke er tilsatt leire er kalt M0-ref. Videre er blandingen med 20 % og 35 % leire kalt henholdsvis M20 og M35.

### 3.2.1 Fasthet

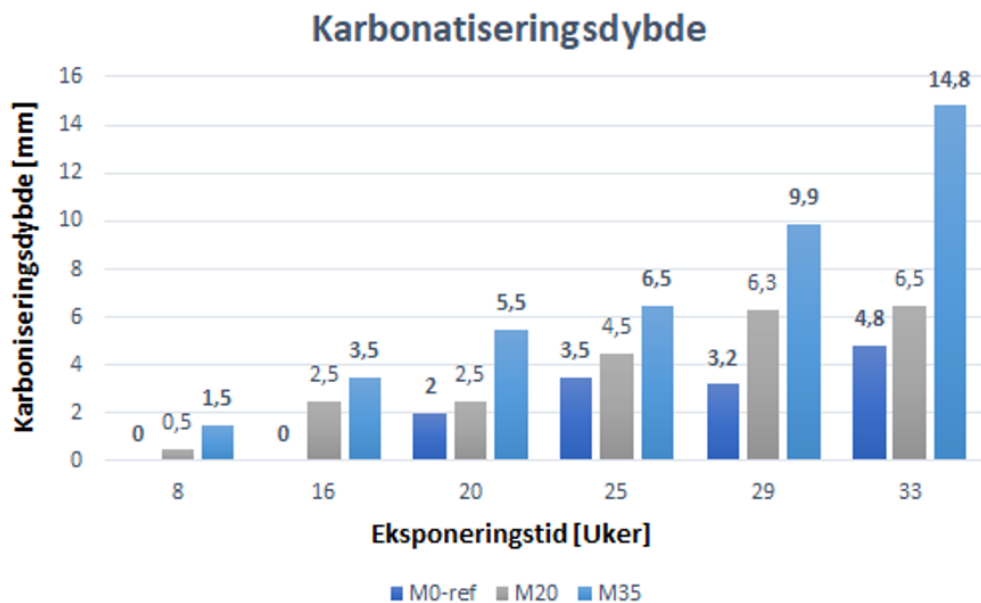
Betong blir som oftest brukt i bærende konstruksjoner, dette gjør fastheten til en av de viktigste egenskapene. Mørtel med kalsinert leire må derfor gi tilstrekkelig fasthet. Forsøkene er gjort etter NS-EN 196-1. Resultatene viser at mørtel der sement er erstattet av kalsinert leire med en andel på opptil 35 %, oppnår minst like god fasthet som konvensjonell mørtel etter 28 dager herding. Diagrammet i figur 3-1 viser at både M20 og M35 blandinger har en tregere fasthetsutvikling enn M0-ref. Spesielt etter 1 døgns herding er forskjellen så stor at det er viktig å ta hensyn til ved for eksempel belastning av konstruksjonen. Dette jevner seg gradvis ut, og etter 28 døgner har M20 og M35 blandinger oppnådd en høyere fasthet enn referanseblandingen. Forholdet mellom disse holder seg stabilt videre frem til slutttesten på 365 dager.



Figur 3-1: Aksial trykktest av M0-ref, M20 og M35 mørtel [51]

### 3.2.2 Karbonatisering

Undersøkelsen av karbonatisering er der mørtel med leire skilte seg markant fra konvensjonell mørtel. Forsøket ble gjennomført ved at betongterningene ble overflatebehandlet i 90 dager i 23 grader med 90 % relativ luftfuktighet før de ble eksponert for 1 % CO<sub>2</sub> i 33 uker. Resultatene er vist i figur 3-2 nedenfor.



Figur 3-2: Karboniseringsdybde av M0-ref, M20 og M35 [51]

Som figur 3-2 viser øker inntrengingen av CO<sub>2</sub> betraktelig for både M20 og M35 blandingene. Spesielt for M35, der inntrengningsdybden over tre ganger så stor etter 33 uker, sammenlignet med M0-ref. Her forventer man normalt en lineær kurve når inntrengningsdybden settes mot roten av eksponeringstiden, mens det for kalsinert leire ser ut til å være eksponentielt. Dette virker å være den eneste ulempen ved bruk av leire i mørtelen, men det påpekes at det ikke bør trekkes for bastante konklusjoner da testen ble utført i omgivelser med 1 % CO<sub>2</sub>, mens det i atmosfæren ikke er mer enn ca. 0,04 %.

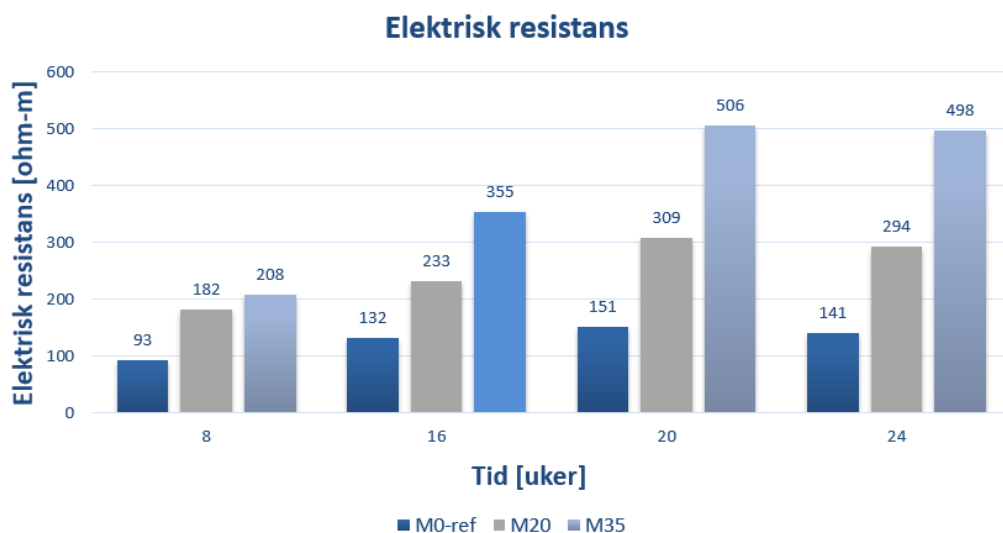
Karbonatiseringen av slik mørtel er undersøkt nærmere av en annen forskningsgruppe ved universitetet i Toulouse. Raphaël Bucher, Martin Cyr og Gilles Escadeillas har gitt ut en publikasjon der det er utredet en modell som ser på hvordan kaolinleire, som deler mange egenskaper med kalsinert mergel, påvirker karbonatiseringen av betong i løpet av et livsløp på 50 år der betongen står i naturlige omgivelser [23]. Resultatene fra dette forsøket viser en økt karbonatisering på ca. 14 mm med 25 % kalsinert leire, sammenlignet med standard sement. Dette kan virke mye, men det påpekes at denne dybden fortsatt er innenfor samme størrelsesorden som annen betong tilsatt pozzolaner som en finner i dagens industrisement, og dermed er akseptert i dag.

Ulempen med raskere karbonatisering er risikoen for raskere korrosjon av armeringsjernet i betongen, ettersom det basiske miljøet brytes ned. Dette er viktig å ta med i betraktningen når en skal bruke leire i betong. Samtidig må også miljøet betongen står i, samt bestandighetskravene være en del av denne betraktningen.

Det er forøvrig verdt å nevne at økt karbonatisering bidrar til at betongen raskere tar opp CO<sub>2</sub> fra omgivelsen. Dette kan bidra positivt på betongens totale CO<sub>2</sub>-regnskap, men dette vil ikke utdypes nærmere i oppgaven.

### 3.2.3 Elektrisk resistans

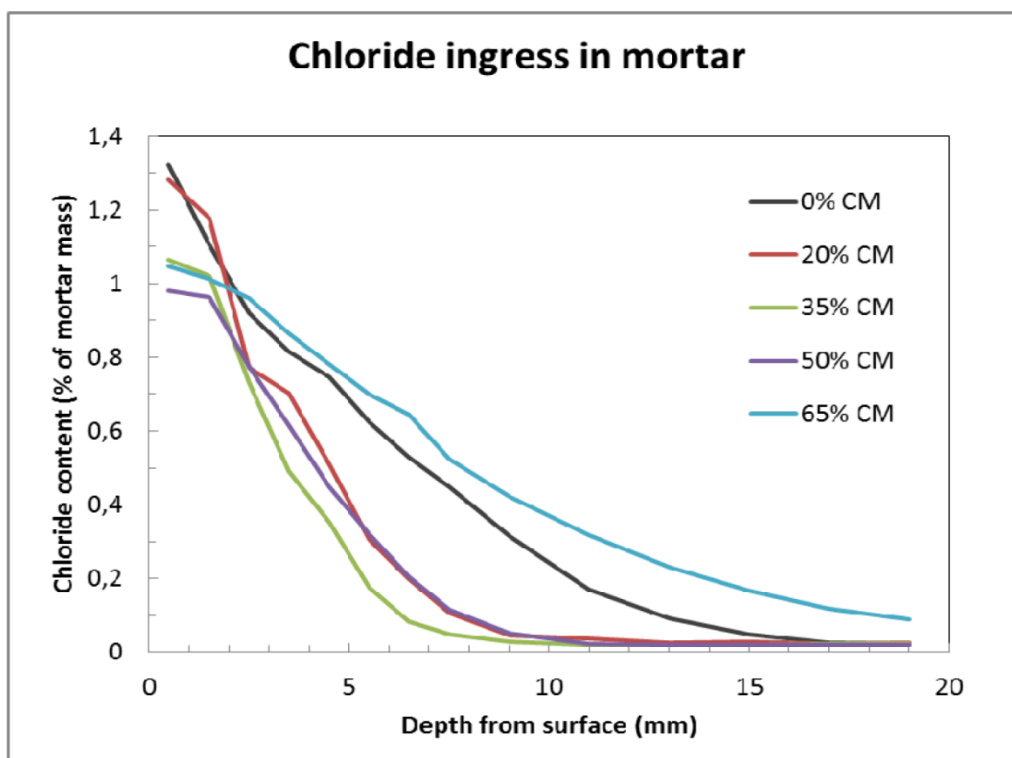
Elektrisk resistans er motstanden et materiale har mot transport av elektriske ladninger, eller en strøm. Høy elektrisk resistans er gunstig for betongen, da dette bidrar til økt beskyttelse mot korrosjon av armeringen. Elektrisk resistans regnes som den viktigste faktoren for å hindre korrosjon i tørre omgivelser. Resultatene er gjengitt i figur 3-3 og viser at M20 og M35 blandingene har en økt elektrisk resistans i forhold til M0-ref gjennom hele tidsforløpet, noe som medfører lavere kloridinntrenging. Dette er gunstig da klorider bryter ned armeringens korrosjonsbeskyttende film og dermed akselererer korrosjonsprosessen.



Figur 3-3: Elektrisk resistans for M0-ref, M20 og M35 mørtel [51]

### 3.2.4 Kloridinntrengning og sulfatangrep

Forsøkene viser en økning i motstand mot kloridinntrengning for både mørtel med 20, 35 og 50 % erstatning av kalsinert mergel, se grafene i figur 3-4. En av grunnene til dette kan være et finere porennettverk i mørtel med leire. For at klorider skal trenge inn i betongen er det avgjørende at det er vann tilgjengelig i betongen. Det fine porennettverket bidrar til å motvirke diffusjon av vannet, og betongen blir dermed mer motstandsdyktig mot kloridinntrengning.



Figur 3-4: Kloridinntrengning for M0-ref, M20 og M35 mørtel, vist med henholdsvis svart, rød og grønn graf [51]

Også for sulfatangrep viser resultatene for blandinger med kalsinert mergel tendenser til å være mindre utsatt for ekspansjon. Standardavvikene er likevel for store i forhold til målingene til å trekke noen konklusjoner.

### 3.2.5 Konklusjon av rapport

Resultatene fra rapporten til Østnor og Justnes indikerer at kalsinert mergel er godt egnet til å erstatte både silikastøv og flyveaske som et pozzolant tilsetningsstoff med hensyn til bestandighet og fasthet. Mørtel med kalsinert mergel oppnår en tilfredsstillende fasthet sammenlignet med referansemørtelen. Rapporten viser også at silika og kalsinert mergel begge vil bidra til en finere porestruktur og økt elektrisk resistans, som igjen vil øke betongens bestandighet. Med unntak av hurtigere karbonatisering, viser forsøkene den er en velegnet erstatning for andre pozzolaner.

## 4. Utstøping og anvendelse

For at en betong skal kunne brukes i konstruksjoner er det avgjørende at det er mulig å støpe den ut til ønsket fasong. Betongens støpbarhet påvirkes blant annet av tilslaget, sementen, vannmengden og forholdet mellom disse. En måte å forklare dette på er ved hjelp av “*partikkel-matriks modellen*” [24]. Her er materialene i den ferske betongen delt opp i to grupper: matriksfasen og partikkelfasen.

### 4.1 Partikkel-matriks modellen

*Matriksfasen* betraktes som en tungtflytende væske, og består av fritt vann, tilsetningsstoffer og faste stoffer med en partikkelstørrelse mindre enn 0,125 mm. Den resterende delen av blandingen, tilslag som er større 0,125 mm, danner *partikkelfasen* sammen med vann som er absorbert i denne. De to fasenes egenskaper, sammen med volumforholdet mellom dem avgjør betongens støpbarhet.

Matriksfasen karakteriseres av sine strømningsegenskaper, og måles ved et apparat kalt FlowCyl. En ideell væske har en flytemotstand på 0,0, der 1,0 er maks, mens matriksen i betong gjerne er på mellom 0,3-0,6. Til sammenligning har vann omtrent 0,1. Det er i denne fasen mergelens egenskaper vil påvirke betongens støpbarhet.

I partikkelfasen er kornform og gradering det som dominerer egenskapene. Oppgaven til matriksen er primært å fylle hulrommet til partikkelfasen, som ofte utgjør ca. 25 % av det totale volumet. Partikkelsystemer med store hulrom, vil kreve mer matriks, som igjen vil føre til bedre støpbarhet. Det er dog viktig å være oppmerksom på at separasjon og vannutskillelse kan bli et problem ved store mengder matriks [24, s.41].

Forholdet mellom matriks- og partikkelfasen bestemmes av de kravene som stilles til betongens fasthet og bestandighet, og dermed hvilken konsistens den ferske betongen får. Kravene bestemmes på grunnlag av miljøet betongen eksponeres for, laster og økonomiske hensyn.

### 4.2 Tilsetningsstoffer for økt støpbarhet

For å oppnå bedre støpbarhet uten at fasthetsklassen til betongen påvirkes, brukes plastiserende og superplastiserende stoffer. Plastiserende stoffer er vannreducerende, det vil si at betongen får et lavere vannbehov. På denne måten kan en oppnå bedre støpbarhet med mindre vann og lave masseforhold. De plastiserende stoffene fungerer som en slags olje som smører sementpartiklene, og dermed reduserer friksjonen og overflatekreftene mellom disse. Ettersom vannbehovet blir mindre, reduseres også v/c-tallet, som igjen gjør at fastheten øker. Dersom en kun ønsker å påvirke

støpbarheten i en betong kan en tilsette mer plastiserende, men beholde fastheten ved å bruke konstant vannmengde [25].

Det finnes samtidig ulemper ved bruk av plastiserende stoffer. Store mengder plastiserende stoffer retarderer størkningen, spesielt ved lave temperaturer øker denne virkningen kraftig. Denne virkningen har blitt redusert for nyere superplastiserende stoffer, men kan fortsatt være et problem [26]. Separasjon er også et problem som kan oppstå ved for stor bruk av plastiserende. Da risikerer man vannutskillelse, som fører til dårligere herding og redusert fasthet. Det er derfor satt en anbefalt maksimalgrense for mengde plastiserende på 2 % av sementvekten eller tørrstoffet [27].

### 4.3 Kalsinert mergels støpbarhet

Som vist i kapittel 3 egner kalsinert mergel seg godt som et alternativt pozzolan. Det er likevel viktig å også ta hensyn til egenskapene til betongen ved utstøping, enten det er prefabrikkerte elementer eller plasstøpt. Mange av disse egenskapene kan styres av tilsetningsstoffer i betongen, som kan virke som alt fra plastiserende til retarderende. En viktig faktor for at betong med kalsinert mergel kan anvendes i praksis vil være støpbarheten. Dersom det ikke er mulig å få til en god utstøping på byggeplass eller i fabrikk vil ikke kalsinert mergel bli tatt i bruk som et miljøvennlig alternativ.

Det mest fremtredende ved bruk av kalsinert mergel er hvor stor vannmengde leiren krever, noe som reduserer støpbarheten til betongen drastisk. Uten bruk av plastiserende tilsetningsstoffer vil det ikke være mulig å oppnå tilstrekkelig støpbarhet slik at betongen kan brukes i bygningskonstruksjoner. Løsningen vil da være tilsetning av plastiserende stoffer, eller en blanding med andre pozzolaner som flyveaske, som gir bedre støpbarhet til betongen.

## 5. Forsøk på lab

For å finne ut om kalsinert mergel er egnet til byggeprosjekter er det gjort prøvestøpninger på lab. Som gjennomgått tidligere i oppgaven er det vist at bestandigheten til en slik betong er av tilstrekkelig kvalitet, formålet med forsøkene er derfor å finne ut av om den kan gjøres anvendbar.

### 5.1 Innledning

Opgaven ser opprinnelig på kalsinert mergel som et aktuelt pozzolan, men ettersom dette ikke er et kommersielt tilgjengelig produkt enda, er det svært vanskelig å anskaffe. Etter å ha forhørt oss med flere aktører, ordnet Weber Saint-Gobain, ved Geir Norden kalsinert kaolin-blandingsleire (metakaolin) som det beste tilgjengelig alternativet med tidsrammen som er satt for oppgaven. Denne inneholder ca. 40 % kaolin, 30 % kvarts og 30 % feltspat.

Kaolinleire er en leire som ved kalsinering danner metakaolin, og sammen med kalsinert mergel er sett på som gode pozzolaner. Etter kalsinering inneholder den store mengder av leirmineralene silisiumdioksid og aluminiumoksid, se tabell 5-1. Disse leirmineralene kan reagere med biproduktet kalsiumhydroksid fra sementhydratiseringen, og dermed danne mer CSH-gel. Noe som bidrar til en videre fasthetsutvikling.

*Tabell 5-1: Kjemisk sammensetning av metakaolin [52]*

Mineraler	Andel [%]
SiO <sub>2</sub>	51-53
AlO <sub>3</sub>	42-44
FeO <sub>3</sub>	< 2.2
Annet	< 5

Ulempen med kaolinleire er at den allerede brukes i alt fra porselensprodukter til kosmetikk. Til tross for store forekomster flere steder i verden, vil etterspørselen fra andre bransjer sannsynligvis gjøre den dyrere og mindre tilgjengelig enn konkurrerende pozzolaner som flyveaske som allerede importeres fra utlandet.

### 5.2 Materialer og metode

Forsøkene skal undersøke støpbarhet og trykkfasthet for betong med kalsinert mergel som pozzolan, men grunnet manglende tilgang på dette brukes det portugisisk blandings kaolinleire. I utgangspunktet er dette to leirer med ulike kjemiske forbindelser, og dermed noe ulike egenskaper.



Ved å tilsette kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) i blandings kaolinleire oppnås det en sammensetning tilnærmet lik kalsinert mergel. Dette vil være tilstrekkelig for de forsøkene som skal gjøres og en vil kunne si noe om kalsinert mergel og dens egenskaper som pozzolan. Ytterligere materialer og utstyr er gitt i tabell 5-2.

Tabell 5-2: Materialer til forsøk

Material	Kommentar
Sand	0 - 8 mm
Stein	8 - 16 mm
Sement	Ultipro standard sement
Kalsinert kaolin	Kalsinert kaolin blandingsleire ca. 7-10 $\mu\text{m}$
Kalsiumkarbonat	Ren form
Tilsetningsstoff	Superplastiserende: Mapei Rescon SF 2
Vann	

For å gjennomføre forsøket ble det dimensjonert en betongresept for en B30 betong. Dette tilsvarer en karakteristisk terningfasthet på 37 Mpa [28]. I tillegg tas det også høyde for en sikkerhetsmargin på 5 Mpa for å ta hensyn til undermålere, etter anbefaling i NS-EN 197-1 [29]. Dette gir krav til karakteristisk terningfasthet på 42 Mpa for B30 betong.

B30 er valgt på bakgrunn av forventningene til leirens oppførsel basert på tidligere forsøk, der en har sett at betongens vannbehov øker betraktelig når det er kalsinert leire til stede. Derfor kan sterkere betonger med lavere v/b-tall, og dermed mindre vann, gjøre betongen ustøpelig. B30 er videre en betongklasse som kan brukes i store mengder prosjekter, noe som gjør det relevant å se på denne.

Det ble støpt syv prøveblandinger over to forskjellige dager, vist i tabell 5-4. Første dagen ble det støpt én standard B30, en blanding der 20 % av sementen var erstattet med kaolinleire tilsatt 8 %  $\text{CaCO}_3$ . Og en med 35 % erstatning kaolinleire tilsatt 8 %  $\text{CaCO}_3$ . Og til slutt en med 35 % kaolinleire uten  $\text{CaCO}_3$ . Dag to ble det støpt tre nye blandinger. Her inneholdt leiren 20 %  $\text{CaCO}_3$ . Samme resept ble brukt, og det ble støpt en standard B30, en blanding med 20 % erstatning og en med 35 % erstatning. Alle blandingene tar utgangspunkt i resepten for B30 referansebetongen, som er laget med ett v/b forhold på 0,55 med tilslag mellom 0 og 16 mm. V/b-tallet er valgt på bakgrunn av Norcems anbefalinger for B30 betong [30]. Reseptene ble holdt konstant, med unntak av andel leire og superplastiserende, for å redusere mulige feilkilder. Det ble blandet 11 liter av hver resept slik at det kunne støpes flere terninger til trykktesting.

Videre antas det en steinandel på 45 % og sandmengde på 55 % for lavest mulig hulromsverdi etter Kap. 8.3 i Betongkompendium. Basert på Fig 8.8 i samme kompendium kan matriksvolumet leses av

til 310 l/m<sup>3</sup> for resepten [31, s.47]. Luftinnholdet antas å være 2 %. Vanninnholdet i sanden settes til 0 %. Det ble også tilsatt 0,8% superplastiserende av sementvekt. Dette ga en referanseressept (Ref1.B30) som gitt i tabell 5-4. Fullstendige beregninger finnes i vedlegg A.

Tabell 5-3 viser en oversikt over reseptenes fordeling av bindemiddel. Ettersom det var nødvendig med to støpedager ble det støpt en referansebetong per dag, navngitt Ref1.B30 og Ref2.B30. Videre er reseptene som inneholder leire og kalsiumkarbonat navngitt med L for leireinnhold og K for kalsiumkarbonatinnhold. For eksempel inneholder L20K8 20 % leire som erstatning for sement, samtidig som leiren på sin side inneholder 8 % kalsiumkarbonat.

Tabell 5-3: Innhold av bindemiddel oppgitt i %

Material	Ref1.B30	L20K8	L35K8	L35	Ref2.B30	L20K20	L35K20
Sement	100	80	65	65	100	80	65
Kalsinert kaolin	-	18,4	32,2	35	-	16	28
Kalsiumkarbonat	-	1,6	2,8	-	-	4	7
Sum	100	100	100	100	100	100	100

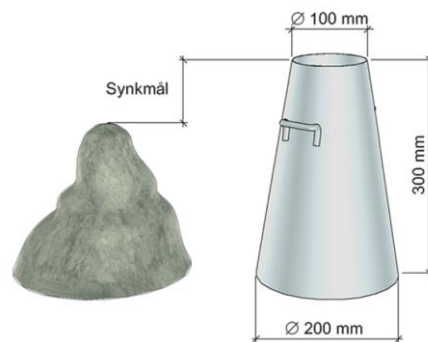
Det er viktige å nevne at det ble hentet ny stein til støpedag nummer to. Denne hadde et fuktinnhold på 1,8 %, mens den som ble brukt første dagen var helt tørr. Dette påvirker effektivt v/b tall. Resultatene fra de to ulike dagene kan derfor ikke sammenlignes direkte. Ettersom det er forholdstallet mellom referansebetongen og blandingene med leire som er viktigst, vil ikke dette påvirke formålet med undersøkelsene. En oversikt over alle reseptene som ble brukt i forsøket er gitt i tabell 5-4.

Tabell 5-4: Betongresepter

Navn	Blandinger 26.03				Blandinger 09.04		
	Ref1.B30	L20K8	L35K8	L35	Ref2.B30	L20K20	L35K20
Sand [kg]	11,65	11,65	11,65	11,65	11,65	11,65	11,65
Stein [kg]	9,15	9,15	9,15	9,15	9,15	9,15	9,15
Sement [kg]	3,39	2,71	2,21	2,21	3,39	2,71	2,21
Kalsinert kaolin blandingsleire [kg]	0	0,63	1,09	1,18	0	0,54	0,94
Kalsiumkarbonat [kg]	0	0,05	0,09	0	0	0,14	0,24
Vann [kg]	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
SP [kg]	0,0275	0,0375	0,069	0,069	0,0275	0,051	0,0351
(%)	-0,80 %	-1,10 %	-2,00 %	-2,00 %	-0,80 %	-1,50 %	-1,00 %

### 5.2.1 Synkmål

For å måle støpbarheten til fersk betong finnes det tre ulike metoder. Disse er synkmål, utbredningsmål med fallbord og synkutbedrelesprøving. Til dette forsøket er synkmål etter NS-EN 12350-2 valgt. Synkmål ble først og fremst foretrukket fordi det egner seg for stivere betonger, noe som forventes i forsøket. Denne metoden kan benyttes for betonger med synkmål mellom 10 mm og 210 mm. Det er dessuten den mest vanlige metoden for å undersøke betongens støpbarhet. De to andre testmetodene er bedre egnet til bløtere og selvkompimerende betong [32].



Figur 5-1: Synkkjegle [53]

Betongens synkmål defineres som avstanden fra topp synkkjegle til betongens høyeste punkt etter at kjeglen er løftet av og satt ved siden av, se figur 5-1. Synkmålet gir en god indikasjon på betongens støpbarhet. Forsøket kan dessuten utføres enkelt både på byggeplass og i dette tilfellet på laboratorium. Høyt synkmål gir god støpbarhet og en flytende betong, noe som gjerne er ønskelig der det ligger tett med armering eller i tynne vegger. Det er likevel viktig å presisere at synkmålet sier lite eller ingenting om kvaliteten på betongen med tanke på separasjon. Dette må vurderes uavhengig av resultatene herfra [33].

For å gjennomføre kontroll av synkmål brukes en synkkjegle som vist i figur 5-1. Denne plasseres på et jevnt, og ikke-vannsugende underlag. Kjeglen fylles i tre omganger, og komprimeres godt mellom hver fylling. Toppen av kjeglen avrettes deretter, slik at ingen overflødig betong kommer med. Når dette er gjort løftes kjeglen opp med en jevn bevegelse (ca. 2-5 sek) og settes ved siden av betongen. Synkmålet måles deretter fra toppen av kjeglen og vertikalt ned til toppen av betongen.

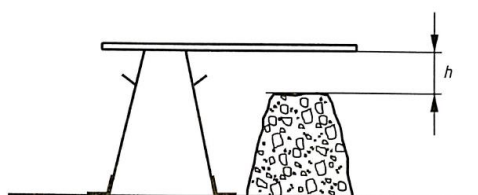
Det settes ulike krav til synkmålet avhengig av hvilket formål betongen skal brukes til. En betong til for eksempel dekker, fundamenter og prefabrikkerte elementer trenger nødvendigvis ikke et like stort synkmål som betong som skal ned i smale vegger eller pumpes fra en betongbil. Veiledende retningslinjer for nødvendig synkmål til ulikt bruk finnes blant annet hos nettstedet CivilRead. Verdiene for veiledende synkmål er gitt i figur 5.5 [34].

Tabell 5-5: Veiledende synkmål for bruk i diverse konstruksjoner

Konstruksjon	Synkområde
Søyler og vegger	75-150 mm
Bjelker og dekker	50-100 mm
Pumpebetong	100-150 mm

På de fleste byggeplasser i Norge der det brukes plasstøpt betong, brukes det betongbiler med pumper for å utføre dette. For at betongen skal kunne pumpes fra betongbilene kreves det som regel et synkmål på mellom 100 og 150 mm. Kan dette synkmålet oppnås i forsøkene, er det mulig å bruke betong tilsatt kalsinert mergel i praksis for de fleste formål.

Standardene angir også ulike former for synk, som illustrert i figur 5-2. Skjærdeformert synkmål kan skyldes manglende kohesjon, dette kan ofte skje med harde blandinger. Det er ønskelig å oppnå sant synkmål, altså at betongen beholder en kjegleaktig form. Dersom en får skjærsynk, skal metoden prøves igjen for å se om en får samme resultat. Hvis prøven bare flyter ut, kan det tyde på en for våt blanding, men også en svært støpbar betong. Synkmålet skal likevel ikke overstige 210 mm som tidligere nevnt [35].



Figur 1 – Synkmåling



(a) Sant synkmål

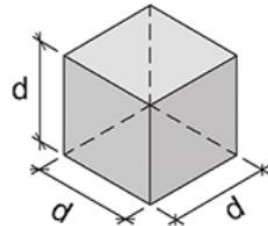
(b) Skjærdeformert synkmål

Figur 2 – Former av synkmål

Figur 5-2: Synkmål og prinsipp for måling [54]

## 5.2.2 Trykkfasthet

Trykkfastheten til betongen testes etter NS-EN 12390-3 ved hjelp av terninger eller sylindre i en trykkprøvemaskin [36]. Til forsøkene i oppgaven er det valgt terninger, da det er lettest tilgjengelig, og krever minst mengde betong.



Figur 5-3: Prøveterning [55]

Det støpes terninger med dimensjoner 100x100x100mm. Her stilles det krav i NS-EN 12390-1 [37] at største tilslag ikke skal overstige  $d/3,5$ , der  $d$  er vist i figur 5-3. Ved bruk av 100x100x100mm terninger betyr det at største tilslag ikke kan være større enn 28 mm. Tilslaget som er brukt i forsøkene har størrelse 0 - 16 mm og ligger derfor godt innenfor kravet.

Ved støpning smøres formene med olje, og fylles så i to omganger. Det er viktig å komprimere mellom hver fylling, for å få bort uønskede hulrom i terningene som kan føre til redusert målt fasthet. Toppflaten avrettes så med stålstang og jevnes ut med en støpeskje. Etter 1 døgns herding tas forskalingen av, og terningene legges i vannbad ved 20 grader celsius for videre herding før trykktest etter 14 og 28 dager. Trykkfastheten testes etter 14 dager for en indikasjon på hvordan leiren påvirker fasthetsutviklingen under herdeprosessen, og dermed en pekepinn på når en kan fjerne forskalingen på konstruksjoner. Etter 28 dager regnes herdingen som fullført. Trykkprøvemaskinen som er brukt i forsøkene er vist i figur 5-4.

Før terningene testes for trykk måles dimensjonene, og kontrolleres for avvik. Her kan målene på terningene ikke avvike mer enn 1 %, noe som tilsvarer  $\pm 1$  mm for terningene gitt i NS-EN 12390-1 punkt 6.1.

Densiteten på betongen beregnes etter NS-EN 12390-7, der massen av vannmettet betong divideres på det ytre volumet og gis i  $\text{kg/m}^3$  [38].

Selve trykktesten gjøres ved å plassere terningene sentrisk i en trykkprøvemaskin, som tilfredsstillere kravene gitt i NS-EN 12390-4. Trykkraften påføres med 0,6 Mpa/sek  $\pm$  0,2 MPa/sek vinkelrett på påfyllingsretningen av støpeformen.

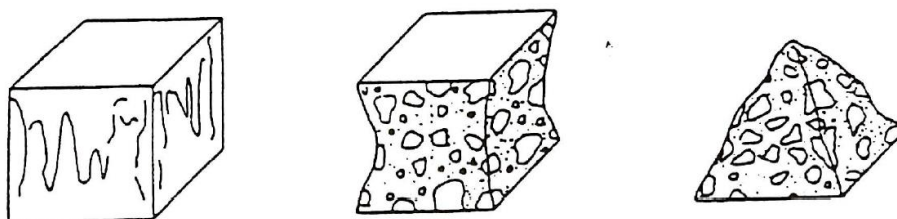


Figur 5-4: Laboratoriets trykkprøvemaskin

Det er viktig med lav kraftøkning for å unngå en fullstendig kollaps og for at bruddet skal rekke å utvikle seg. Etter 14 og 28 dager ble det gjort flere trykktester i henhold til NS-EN 12390-3 av hver blanding, i tillegg ble det gjort en trykktest der tøyningen også ble målt.

Resultatene fra testene ble målt opp mot gitte kriterier der gjennomsnittet av målingene skal ligge minimum 5 MPa over karakteristisk terningfasthet, som for B30 er 37 MPa. Samtidig skal ingen av målingene ligge under 5 MPa av karakteristisk terningfasthet. I tillegg regnes prøvene som ugyldige dersom avviket mellom høyeste og laveste verdi av trykktestene er mer enn 15 % [39].

Etter NS-EN 12390-3 kapittel 6.3 skal også bruddformen på terningene vurderes for å vise at prøvene er tilfredsstillende gjennomført, dette er vist i figur 5-5.



Eksplodivt brudd

**MERKNAD** Alle de fire eksponerte flatene har omtrent tilsvarende brudd, vanligvis med liten skade på flatene som er i kontakt med trykkplatene.

### Figur 1 – Tilfredsstillende bruddform for terningformede prøvelegemer

Figur 5-5: Tilfredsstillende brudd form etter NS-EN 12390-3 [56]

## 5.3 Resultater

### 5.3.1 Synkmål

Resultatene fra den første dagen ga referansebetongen et synkmål på 170 mm, 70 mm høyere enn de beregnede 100 mm som resepten tok utgangspunkt i.

Av figur 5-6 ser en at blandingen Ref1.B30 gir sant synkmål.

Dette var et gjennomgående resultat for alle blandingene denne dagen.

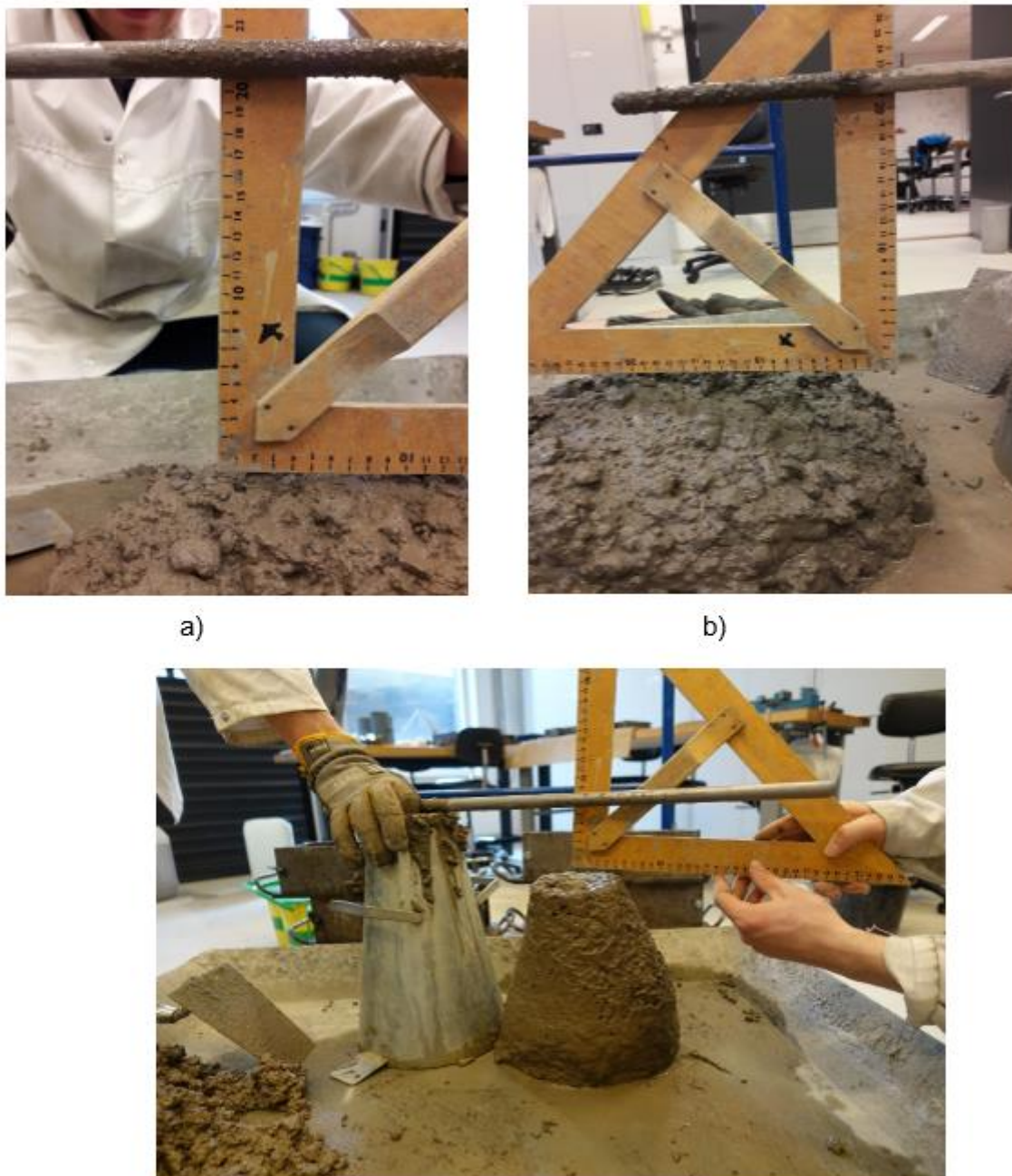


Figur 5-6: Synkmål for Ref1.B30

I blanding L20K8 ble mengden superplastiserende økt med 10 gram til 1,1 % for å oppnå et synkmål som kunne måles. Videre ble det tilsatt maksimal tillatt mengde på 2 % av bindemiddelvekt i blanding L35K8 for å kunne oppnå målbare resultater, dette tilsvarer 68 gram.

Dag to med prøvestøping ble det støpt tre nye betongblandinger med leire tilsatt 20 % kalsiumkarbonat. Ref2.B30 blandingen hadde et synkmål på 210 mm sammen med L20K8. Som figur 5-7 viser, ser en tendens til stor flyt under synkprøvene av Ref2.B30 og L20K20. Samtlige resultater fra synktestene er gjengitt i tabell 5-6.

Av figur 5-7 kan en se at blandingene hadde svært ulike synkfigurer.



Figur 5-7: Synkmål for: a) L20K20, b) Ref2.B30 & c) L35K8

Alle målingene var som en kan se av tabell 5-6 innenfor det anbefalte området fra 10 mm til 210 mm gitt av standarden for bruk av synkmål.

Tabell 5-6: Resultat synkmål

Blanding	Synkmål [mm]
Ref1.B30	170
L20K8	80
L35K8	85
L35	50
Ref2.B30	210
L20K20	210
L35K20	140

### 5.3.2 Trykkfasthet

Tabell 5-7 viser gjennomsnittlig trykkfasthet etter 14 og 28 dager, målingene er lagt ved i vedlegg B. Alle målingene ligger innenfor kravet som tidligere nevnt angir at forskjellen mellom høyeste og laveste måling ikke skal overstige 15 %. L20K8 hadde det største avviket, på 11,1 %, resten av blandningene hadde et avvik på mellom 2,2 % og 6,2 %. Dette gjelder ikke L35K20 terningene da de ikke var mulig å trykkteste grunnet brudd ved mindre enn 5 Mpa, blandingen er derfor heller ikke tatt med i tabell 5-7. Alle beregninger for avvik, samt gjennomsnittlig trykkfasthet ligger i vedlegg C.

Tabell 5-7: Resultat trykkfasthet

Blanding	14 dager		28 dager	
	Trykkfasthet [Mpa]	Avvik [%]	Trykkfasthet [Mpa]	Avvik [%]
Ref1.B30	46,4	2,6	54,3	5,1
L20K8	51,5	5,2	56,3	11,1
L35K8	50,7	5,7	60,3	4,8
L35	38,6	5,3	48,2	3,6
Ref2.B30	45,3	6,2	50,9	2,2
L20K20	46,3	2,9	50,5	3,2



Gjennomsnittlig tetthet etter 14 og 28 dager er gitt i tabell 5-8. Som tabellen viser, synker tettheten etter 28 dager. Dette skyldes kjemisk svinn. Alle blandingene ender opp med en tetthet på over 2400 kg/m<sup>3</sup>, som er antatt tyngdetetthet for betong.

Tabell 5-8: Resultat densitet

Blanding	Tetthet [kg/m <sup>3</sup> ]	
	14 dager	28 dager
Ref1.B30	2466	2452
L20K8	2436	2426
L35K8	2429	2424
L35	2459	2417
Ref2.B30	2453	2445
L20K20	2463	2451

## 5.4 Diskusjon

### 5.4.1 Synkmål

I utgangspunktet ble det anslått at referansebetongen skulle ha et synkmål på 100 mm. Forsøket viste imidlertid at Ref1.B30 og Ref2.B30 begge lå noe høyere, med synkmål på henholdsvis 170 mm og 210 mm. Her kan antagelsene gjort for hulrom og luftinnhold i dimensjoneringen av resepten være noe av forklaringen til økningen. Større hulrom enn antatt fører til større andel matriksfase, som igjen gir bedre støpbarhet. Tilslaget er også en variabel det er vanskelig å forutse med stor nøyaktighet. Kornform og størrelse på dette vil alltid variere da det er materialer fra naturen. Dette kan gi både positivt og negativt utslag for synkmålet. Dersom disse antagelsene er feil kan det være en mulig delforklaring på hvorfor synkmålene ble høyere enn beregnet.

En annen, og viktigere årsak til det økte synkmålet er en korrigeringsfeil av betongresepten som ble oppdaget etter første dag med støpning. Under utledningen av resepten tok en utgangspunkt i 0 % vanninnhold i sanden. På lab ble dette målt til 6,3 %, og tilsatt mengde vann ble korrigert for dette, slik at v/b-tallet forble uendret. Det som ikke ble tatt hensyn til før støpning var den reduserte mengden sand som senere ble tilsatt. Økt vannmengde i sanden tilsier mindre faktisk sand av den beregnede massen, noe som førte til at forholdet mellom matriks- og partikkelfasen ble endret, samt andelen stein og sand. Dette ga en økt mengde matriks, i forhold til de beregnede 31 % i resepten,

noe som fører til økt synkmål. Formålet med forsøkene ble nok likevel ikke påvirket av nevnte feilkilder, da dette rammet samtlige blandinger på lik linje.

Der referansebetongen hadde et synkmål på 170 mm med bare 0,8 % SP-stoff av sementvekten, var det nødvendig å tilsette 10 gram ekstra SP-stoff (1,1 %) for å nå et synkmål på 80 mm for L20K8 blandingen. Det ble altså et mye lavere synkmål, selv med høyere andel SP-stoff. Det samme var tilfelle for leireblandingene L35K8 og L35, som ble støpt samme dag. For disse to blandingene ble synkmålet henholdsvis 85 mm og 50 mm. Dette var med 2 % SP-stoff som er øvre anbefalte grense.

Fra resultatene var det tydelig at blandingene som inneholdt leire var svært mye mindre bearbeidelig enn referansebetongen før det ble tilsatt SP-stoff. SP-stoff var helt avgjørende for at det skulle være mulig å måle synk, og det måtte brukes i større grad for leireblandingene enn for referansebetongen. Leiren har større vannabsorpsjon enn sementen og det er sannsynligvis dette som er hovedårsaken til lavere synkmål for leireblandingene.

I tillegg viser resultatene at L35 blandingen som ikke inneholdt kalsiumkarbonat, hadde lavere synkmål enn L20K8 og L35K8 som inneholdt kalsiumkarbonat. Dette kan skyldes at blandingene der kalsiumkarbonat var blandet inn i leiren, får et noe lavere leireinnhold. Ettersom kalsiumkarbonat ikke er like vannabsorberende som leire vil leireblandingene med kalsiumkarbonat absorbere mindre vann og blandingen får et høyere synkmål, og bedre støpbarhet.

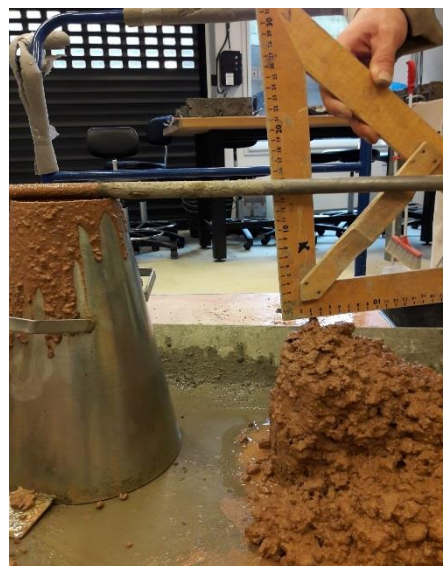
Synkmålene til samtlige blandinger på forsøksdag to, økte betraktelig sett mot første dagens resultater. Sammenligner man Ref1.B30 og Ref2.B30 ser man at synkmålet for Ref2.B30 er hele 40 mm større. Denne forskjellen kan skyldes økt vannmengde som følge av det ble brukt våt stein. Dette gir et økt effektivt v/c-tall på 0,59 mot 0,55 som var utgangspunktet. Da betong er et byggemateriale med veldig mange uforutsigbare variabler i resepten vil synkmålet for selv to identiske blandinger kunne variere noe. Den andre variabelen for blandingene dag to var tilsetning av 20 % kalsiumkarbonat i leiren. Dette er den mengden som ble anbefalt for å få en leire som er mest mulig lik den norske mergelen i kjemisk sammensetning.

Leireblandingen som etterligner mergel ser altså ut til å lettere la seg støpe enn ren kaolinleire. Spesielt virker blandingen L20K20 å kunne anvendes i betongproduksjon da denne oppnådde et synkmål på 210 mm, noe som kan ligne på selvkomprimerende betong. Et økt v/b-tall grunnet fukt i steinen, og en mengde superplastiserende på 1,5 % av bindemiddelvekt er selvsagt medvirkende

faktorer til det høye synkmålet. Det viser likevel tydelig at det er mulig å lage betongblandinger med leire som kan brukes til de fleste formål med hensyn på støpbarhet. En kan faktisk tilsette ytterligere mengder superplastiserende dersom som det skulle vise seg nødvendig.

Siste blandingen, L35K20 resulterte i en del utfordringer. Denne ble veldig luftig, og allerede etter tilsetning av 35 gram (1%) tilsetningsstoff viste blandingen tendenser til å være svært flytende. Det kunne også observeres store mengder luftbobler i blandingen. Målingen av synkmålet resulterte i skjærsynk som figur 5-8. viser. Blandingene viste også tegn til separasjon.

Da forskalingen til L35K20 skulle tas av etter ett døgn for å legge terningene i vannbad hadde den enda ikke oppnådd tilstrekkelig fasthet til utføre dette. Etter fire døgn var det mulig å ta forskalingen av, men de ble stående ytterligere ett døgn for å herde, før noen av terningene ble lagt i vannbad. Resten ble stående for å herde i luft.



Figur 5-8: Skjærsynk for L35K20

#### 5.4.2 Trykkfasthet

Med sikte på B30 og en trykkfasthet på 42 MPa, var resultatene fra lab gjennomgående bedre enn forventet. Blanding Ref1.B30 hadde en gjennomsnittlig trykkfasthet etter 28 dager på 54,3 Mpa, noe som tilsvarer en B40 betong. Dette kan skyldes det noe lave v/b-tallet på 0,55. For B30 betonger er 0,6 et mye brukt v/b-tall. Dette ville økt synkmålet ytterligere, og senket fastheten.

Videre viste blandingene L20K8 og L35K8 fra første støpedag allerede etter 14 dagers herding en raskere fasthetsutvikling enn Ref1.B30. I utgangspunktet forventes en tregere fasthetsutvikling for blandingene med leire. Da disse reagerer med kalsiumhydroksid, som sementen danner under sementhydratiseringen, på samme måte som silika og flyveaske. Funnene i forsøket kan tyde på at dette jevner seg ut før det er gått 14 dager, og at blandingene med kalsinert leire oppnår høyere fasthet etter dette, og frem til 28 dagers herding.

L35 blandingen, som er tilsatt kalsinert leire uten kalsiumkarbonat oppnådde lavere trykkfasthet etter både 14 og 28 dager. Ettersom leiren her ikke er tilsatt kalsiumkarbonat er det følgelig mer leire i blandingen som absorberer mye vann. En mulig forklaring er derfor at det ikke er nok vann tilgjengelig til sementhydratiseringen, og at fasthetsutviklingen dermed blir redusert. Leiren kan også

bruke lengre tid på hydratiseringen som nevnt i avsnittet ovenfor. Da burde den tatt innpå de andre blandningene etter 28 dager, noe den ikke har gjort. Det er lagt av terninger til å teste dette over en lengre periode, men inkluderes ikke i denne oppgaven grunnet tidsbegrensninger.

En annen forklaring på hvorfor L35 oppnådde lavere trykkfasthet kan være fraværet av kalsiumkarbonat i blandingen. Kalsiumkarbonat har mulighet for å kunne reagere med aluminater i sementen (ca. 5 %) og den kalsinerte leiren, og dermed bidra til økt fasthet [40, s.36]. Når en ser på resultatene er trykkfastheten rundt 20 % høyere for L20K8 og L35K8 sammenlignet med L35. Blandingene som inneholder kalsiumkarbonat ser altså ut til å bidra til en økning i trykkfastheten.

I blandingene fra andre støpedag hadde steinen som nevnt tidligere et vanninnhold på 1,8 %, noe som gjorde at v/b-tallet for disse blandningene lå rundt 0,59, mot 0,55 fra første dag. Resultatene etter 14-dagers trykktest for Ref2.B30 ligger likevel på omtrent samme nivå som Ref1.B30 til tross for et noe høyere vanninnhold. L20K20 ligger like over Ref2.B30 etter 14 dager, men ca. 5 MPa lavere enn L20K8 etter samme tid. L20K20 blandingen hadde et høyere innhold superplastiserende enn L20K8 blandingen, og dette kan ha bidratt til en retarderende effekt for herdingen. Det kan også være den økte mengden kalsiumkarbonat og mindre kalsinert leire ikke oppnår samme fasthet som L20K8.

Etter 28 dagers slutfasthet var L20K20 blandingen fortsatt omkring 5 Mpa lavere enn L20K8 blandingen, men begge de to blandningene ligger på samme trykkfasthet som den tilhørende referansebetongen. Det kan dermed se ut som det bare er forskjellen i v/b-tall som har påvirket slutfastheten her. Mengden kalsiumkarbonat ser dermed ikke ut til å ha påvirket de to blandningene med 20% erstatning av sement for leire annet enn støpbarheten.

L35K20 blandingen gav som ventet etter observasjoner da forskalingen ble tatt av, ingen fasthet av betydning etter 14 dager, og trykkprøvemaskinen målte ingen bruddkapasitet. Ved en påført kraft på 4-5 kN kollapset terningene, en av dem vist i figur 5-9, og gikk i oppløsning. Her ser det ut som hydratiseringen har vært fraværende både for terningene som har herdet i vannbad under ideelle forhold, men også de som sto i romtemperatur. Disse terningene viste lite tegn til hydratisering og smuldret opp selv etter 14 dagers herding.



Figur 5-9: En av de svært svake L35K20 terningen

Hva som har gått galt her høyst usikkert. Resepten og fremgangsmåten er gjennomgått, og det er ikke blitt avdekket feil ved utførelsen av forsøket. En menneskelig feil kan likevel ikke utelukkes, og forsøket for denne blandingen bør gjøres på nytt før en kan si noe sikkert.

Bruddformene til prøvelegemene tilfredstilte også kravene i standarden for samtlige prøver. Alle fire sideflatene hadde tegn til riss etter å ha gått til brudd. Og ved å slå vekk løse masser får en frem ønskede bruddformer som en epleskrott illustrert i fig 5-10. Dersom terningene hadde fått andre bruddformer er det et tegn på betong av dårlig kvalitet, gjerne med preg av separasjon. Unntaket for dette var L35K20 blandingen som ikke fikk en bruddfigur, men ble knust under prøving.



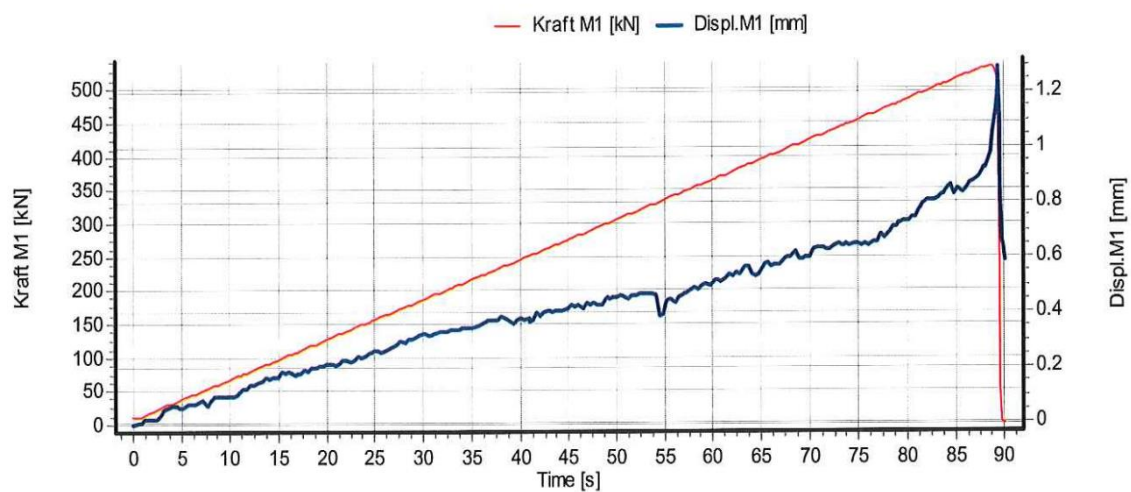
Figur 5-10: Bruddform som en epleskrott. Her en terning av Ref2.B30

Som et ekstra moment i oppgaven ble det målt tøyning på én av terningene til hver blanding. Både ved 14 og 28 dagers trykktesting. Tabell 5-9 viser deformasjon ved trykktesting etter 28 dagers herding. Tøyningsdiagrammet for Ref1.B30 ved 28 dagers herding er vist i figur 5-11. Dette har ikke spesiell relevans med hensyn på formålet i oppgaven, men kan gi et inntrykk av hvordan de ulike materialene oppfører seg når de utsettes for belastning. Det kan virke som blandingene tilsatt kalsinert leire har omtrent like stor deformasjon før de går til brudd som standard betong. Og at den varige plastiske deformasjonen er noe mindre for blandingene med kalsinert mergel. Dette kan være noe å se videre på da det i større konstruksjoner kan ha en påvirkning på hvordan bygget prosjekteres. Dette er som nevnt bare indikasjoner fra forsøkene og det må presiseres at det kun er brukt to terninger for hver blanding til disse målingene, en etter 14 dager og en etter 28 dager. En skal derfor være forsiktig med å trekke konklusjoner og det er lite hensiktsmessig å legge vekt på disse resultatene videre i oppgaven.

Tabell 5-9: Momentan og varig deformasjon ved trykktesting etter 28 dagers herding

Blanding	Momentan deformasjon [mm]	Varig deformasjon [mm]
Ref1.B30	1,29	0,56
L20K8	1,05	0,25
L35K8	0,95	0,12
L35	1,26	0,34
Ref2.B30	1,13	0,28
L20K20	1,33	0,49

## Sample 1



Figur 5-11: Tøyningsdiagram for Ref1.B30 etter 28 dagers herding, blå kurve viser deformasjon, mens rød kurve viser påført kraft

## 6. Praktisk bruk og miljø

Tidligere forsøk og de som er gjennomført i denne oppgaven underbygger muligheten til å erstatte deler av sementen i en betong med kalsinert mergel. Spesielt 20 % erstatning virker lovende. Før denne løsningen kan tas i bruk i industriell skala er det likevel en del arbeid som gjenstår.

Først og fremst er det pris som styrer hvorvidt dette er en løsning for fremtiden. Ingen bedrifter er interessert i å tape penger på produkter. Kalsinert mergel må derfor være minst like billig som sement. Alternativt må det stilles utslippskrav fra myndighetene om krav til utslipp fra betong. Uten å gå for detaljert i dette er det mye som tyder på at kalsinert mergel er konkurransedyktig med sement når det kommer til pris. Som nevnt i kapittel 3.1 finnes det store forekomster av mergel i Norge som per dags dato ikke brukes i leireindustri. Spesielt hvis muligheten for å ta i bruk leire som graves vekk under grunnarbeid i byggeprosjekter er til stede, kan dette gi gode økonomisk forutsetninger for å ta i bruk leire.

Kalsineringen av mergel krever også betydelig lavere temperaturer enn kalsinering av sement, 800 grader mot 1450 grader. Dette vil igjen redusere kostnader knyttet til oppvarming av ovner betraktelig. Hvis eksisterende utstyr for sementproduksjon også kan tas i bruk til kalsinering og kverning av mergel er det stor sannsynlighet for at kostnadene ikke vil øke, noe som styrker argumentene for å ta i bruk leiren.

Hovedpoenget ved å ta i bruk kalsinert mergel å redusere utslippet av klimagassutslipp. Her er det også nevnt tidligere at kalsinering av mergel ikke slipper ut CO<sub>2</sub>, noe sement gjør. Når en vet at dette står for ca. 70 % av utslippene ved sementproduksjonen, er det klart at utslippene vil bli betydelig redusert. Sammenlignet med flyveaske som er bransjestandard i mange industrisementer trenger kalsinert mergel heller ikke å importeres fra utlandet. Noe som gir reduserte kostnader og utslipp tilknyttet transport. Ser en i tillegg på utslippene fra oppvarmingsprosessen vil også disse reduseres, da lavere temperaturer krever mindre brensel. Harald Justnes fra SINTEF sier i et intervju til Forskning.no [41]: «Hvis biobrensel kan brukes har vi et CO<sub>2</sub>-regnskap som går i null på produksjonssiden av mergel». Forutsetningene for kalsinert mergel som et miljøvennlig pozzolan virker derfor lovende.

Avslutningsvis gjøres det et overslag og en illustrasjon over den mulige miljøgevinsten kalsinert mergel kan gi. For å gjennomføre dette tas det i bruk en miljødeklarasjon, EPD (Environmental Product Declaration), der konvensjonell betong sammenlignes med betong tilsatt kalsinert mergel.

## 6.1 EPD - Miljødeklarasjon

Det finnes mange ulike måter å vurdere miljøbelastningen for et byggemateriale. Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen (ISO) angir blant annet tre metoder gjennom ISO 14420-serien, delt inn i type I, II og III [42]. Type III (ISO 14425) er en miljødeklarasjon som baserer seg på en livsløpsanalyse (LCA) der standarden sikrer at informasjonen er sammenlignbar for lignende produkter, uavhengig av landegrenser. Informasjonen samles i et kortfattet dokument kalt EPD. For at en EPD skal være gyldig må den godkjennes av en sertifisert uavhengig tredjepart, for eksempel EPD-Norge [43].

EPD-er for betongprodukter skiller mellom fabrikkbetong og betongelementer, og disse kan ikke sammenlignes direkte. Oppgitte miljøbelastninger fra betongelementer inneholder også utslipp fra armeringen og andre produkter, der fabrikkbetongen utelukkende viser utslipp fra selve betongen. Betongen bør samtidig bare sammenlignes med tilsvarende fasthets- og bestandighetsklasser. Miljøprestasjonene til et produkt vurderes ut fra en livssyklusanalyse. Denne deles inn i faser fra A1-C4 som illustrert i figur 6-1 [44].

Produktfase				Konstr/ install.fase	Bruksfase					Slutfase			
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons og installasjon	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskifting	Renovering	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4

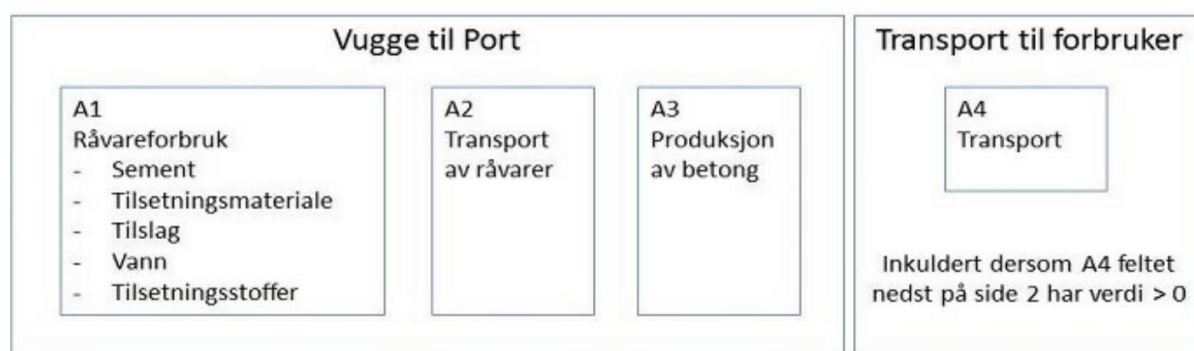
Figur 6-1: Kriteriene som legges til grunn for en livssyklusanalyse [57]

Hvilke av disse fasene som tas med i analysen avgjøres av kravet gitt i kravspesifikasjonene til en EPD. For fabrikkbetong er dette A1-A4 som ser på utslippene fra råmaterialene frem til transport til byggeplassen.

Miljøpåvirkningene for hver fase deles inn i syv kategorier, hvorav global oppvarming er den mest interessante for denne oppgaven. Her oppgis CO<sub>2</sub>-utslippet per ekvivalent, for betong er det per tonn. Også ressursbruken i form av fornybar og ikke-fornybar energi er en del av deklarasjonen.



Figur 6-2 viser hva som inngår i de ulike kategoriene som er gjeldene for fabrikkbetong. Som en forenkling kan en for betong tilsatt kalsinert mergel anta at fasene A2 og A4 som omhandler transport, er tilsvarende som for en konvensjonell B30 betong. I virkeligheten vil også A2 påvirkes da frakt av for eksempel flyveaske vil slå negativt ut for A2, ettersom den har lengre transportvei sammenlignet med leire fra Norge. Kategori A1 er altså der den største miljøgevinsten oppnås ved å erstatte deler av sementen med kalsinert mergel, og den posten denne oppgaven fokuserer videre på ved å se på en EPD for sement.



Figur 6-2: Illustrasjon av hva som inngår i de ulike kategoriene [58]

En EPD for standard industrisement fra Norcem viser klimagassutslippene for kategoriene A1-A3, dette er vist i figur 6-3 [45]. Her ser en at sementen har et utslipp på 758 kg CO<sub>2</sub>/tonn sement for kategoriene A1-A3. For sammenligning med kalsinert mergel antas det at A1 og A2 er identisk som for sementen, da dette omfatter transport og utvinning av råvarer. Ser en på kategori A3 er det her 98 % av utslippene stammer fra, hele 741 kg CO<sub>2</sub>/tonn sement. Som tidligere nevnt i oppgaven utgjør CO<sub>2</sub> utslipp under kalsineringsprosessen omtrent 70 % av disse utslippene, mens oppvarmingen av ovnene står for de resterende 30 %. Mergel slipper ikke ut CO<sub>2</sub> under kalsinering, og ved å fjerne 70 % av utslippene i A3 ender en opp med totalt 239,6 kg CO<sub>2</sub>/tonn kalsinert mergel for kategoriene A1-A3.

Miljøpåvirkning		CEM I Anlegg				CEM I Industri og Standard			
Parameter		A1	A2	A3	A1-A3	A1	A2	A3	A1-A3
GWP	kg CO2-ekv	1,51	15,78	741	758	1,33	6,03	740,54	747,90
ODP	kg CFC11-ekv	1,32E-07	1,91E-06	2,73E-06	4,76E-06	9,07E-08	6,92E-07	2,73E-06	3,51E-06
POCP	kg ethene-ekv	0,018	0,021	0,060	0,099	0,018	0,008	0,060	0,086
AP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -ekv	0,10	0,14	1,07	1,31	0,10	0,06	1,07	1,23
EP	kg SO2-ekv	0,025	0,023	0,32	0,37	0,02	0,01	0,32	0,36
ADPM	kg Sb eqv	3,01E-04	5,09E-06	1,66E-04	4,72E-04	3,93E-05	2,67E-06	1,66E-04	2,08E-04
ADPE	MJ	17,79	238	2 899	3 155	13,49	106,54	2 899,07	3 019,09

**GWP** Globalt oppvarmingspotensial (kg CO2-ekv.); **ODP** Potensial for nedbryting av stratosfærisk ozon (kg CFC11-ekv.); **POCP** Potensial for fotokjemisk oksidantdannning (kg C2H4-ekv.); **AP** Forsurningspotensial for kilder på land og vann (kg SO2-ekv.); **EP** Overgjødslingspotensial (kg PO4-3-ekv.); **ADPM** Abiotisk uttømmingspotensial for ikke-fossile ressurser (kg Sb -ekv.); **ADPE** Abiotisk uttømmingspotensial for fossile ressurser (MJ)

Figur 6-3 Miljøpåvirkning anleggssement fra Norcem [59]

Hvordan utslippene til betongen påvirkes av dette kan en se på i et eksempel der 20 % av sementen er erstattet av kalsinert mergel. Ren sement vil som illustrert i figur 6-3 ha et utslipp på 758 kg CO<sub>2</sub> per tonn produsert sement. Lages det en EPD for sement tilsatt 20 % kalsinert mergel og med hensyn på antagelsene gjort ovenfor blir utslippet fra denne 654 kg CO<sub>2</sub> per tonn. Dette tilsvarer en reduksjon på ca. 14 % utslipp i karbondioksid per tonn.

Betongreseptene som er brukt til forsøkene i oppgaven inneholder rundt 10 % sement. En kubikkmeter betong av denne resepten inneholder dermed ca. 300 kg sement gitt en tyngdetetthet på 3120 kg/m<sup>3</sup>. Her er anslagene gjort til sikker side, da utregningene inneholder en del antagelser. Dette fører til 227 kg CO<sub>2</sub> fra ren sement per kubikk betong. Erstattes denne med blandingen tilsatt 20 % kalsinert mergel er utslippet fra bindemiddelet redusert til 196 kg CO<sub>2</sub> per kubikk betong. Altså en besparelse på 31 kg CO<sub>2</sub> per kubikk betong utelukkende ved å bruke kalsinert mergel. Dersom en bruker betong med 35 % kalsinert mergel, blir besparelsen selvsagt større som en kan se i tabell 6-1. Dette er også beskjedne anslag da for eksempel energibruken for oppvarming ved kalsinering reduseres grunnet lavere temperaturer, samt muligheten som åpnes for bruk av biobrensel som nevnt ovenfor ikke er tatt i betraktning i eksempelet.

Tabell 6-1: CO<sub>2</sub> utslipp per kubikk betong

	B30 – normal	B30 – 20 % leire	B30 – 35 % leire
Sement	100	80	65
Kalsinert mergel	-	20	35
<b>CO<sub>2</sub> utslipp [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>227</b>	<b>196</b>	<b>172</b>

For å konkretisere hvor mye disse utslippene utgjør kan en se på mengden betong som brukes til å bygge det nye hovedbiblioteket i Oslo: Deichman Bjørvika. Her er det beregnet å bruke 15.000 kubikkmeter betong [46]. Forskjellen mellom betong med ren sement, og den tilsatt 20 % kalsinert mergel tilsvarer da 465 tonn CO<sub>2</sub> bare for dette prosjektet. Gjennomsnittlig utslipp av CO<sub>2</sub> per innbygger i Norge er på 8,6 tonn i 2016 [47]. Besparelsen tilsvarer da utslippene til 54 innbyggere i Norge for et år. Dette er medregnet blant annet mat, bolig og transport. Der sistnevnte er den desidert største utslippskilden. Når den årlige produksjonen av betong i Norge er på 4,4 millioner kubikk ferdig betong [48] er det altså store gevinster å hente. Gjøres det samme regnestykket her som for Deichman Bjørvika tilsvarer det et årlig utslipp til 15.860 nordmenn. Dette er konservative anslag der kun 20 % erstatning er brukt.

## 7. Konklusjon og forslag til videre arbeid

Eksisterende litteratur, samt forsøkene som er gjort i denne oppgaven styrker argumentene for å ta i bruk mergel som alternativt pozzolan. Forsøkene som er gjort i oppgaven viser at det er fullt mulig å oppnå synkmål helt opp til 210 mm ved en andel på 20 % mergel for sement i betongresepten. For konstruksjoner som kan bruke synkmål helt ned til 85 mm kan en erstatte hele 35 % av sementen med kalsinert mergel i sine resepter. Dette samtidig som trykkfastheten er på et tilstrekkelig nivå. Dette kan føre til store miljøgevinster, uten at det trenger å medføre økte kostnader for brukeren.

Før det kan trekkes bastante konklusjoner er det likevel en del som gjenstår. Forsøkene som er gjort i oppgaven bruker kalsinert blandings kaolinleire og ikke kalsinert mergel, som er det mest aktuelle pozzolanet. Første punkt for videre undersøkelse vil følgelig være å gjøre ytterligere undersøkelser der kalsinert mergel er det brukte pozzolanet, og støpe flere blandinger for et større utvalg enn det som er gjort i oppgaven. Resultatene vil da bli enda sikrere, og oversikten over naturlige feilkilder bedre. Videre kan det ses på kombinasjon av tilsetningsstoffer i blandingen. Maksimal mengde kalsinert mergel som kan tilsettes, og videre optimalisering av resepten til ulike formål vil også være naturlige steg videre før det tas i kommersiell bruk.

Det viktigste punktet som må gjennomføres før kalsinert mergel blir et allment tilgjengelig pozzolan på linje med silikastøv og flyveaske vil til slutt være investering i produksjonsutstyr. Uten dette vil en sitte fast på forsøksstadiet uten å komme noen vei. For å overtale investorer og bedrifter til å ta en bruk kalsinert mergel bør det gjøres en mulighetsstudie som ser på investeringskostnader, markedsanalyse og lønnsomheten til et slikt prosjekt. Dersom det ikke viser seg lønnsomt er det ingen som ønsker å iverksette et slikt prosjekt.

Overslaget og EPD-en som er gjort avslutningsvis indikerer fortsatt at dette er noe å satse på med økonomiske hensyn, men viktigst av alt miljømessig. Kalsinert mergel kan altså være et stort skritt i retning av en grønnere fremtid for betongproduksjonen.

## Referanseliste

1. FN. Parisavtalen. [Internett]. Oslo: FN; 2018 [hentet 2018-01-25]. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/Om-FN/Avtaler/Miljoe-og-klima/Parisavtalen>
2. Regjeringen [Internett]. Oslo: Klimaavdelingen; 2017 [hentet 2018-01-25]. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/slik-skal-norge-na-klimamalene-for-2030/id2557549/>
3. Klimaloven. 2017. Lov om klimamål m.v. av 2017-06-16 nr 60. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2017-06-16-60?q=klimalov>
4. Teknisk Ukeblad. Betongproduksjon. [Internett]. Oslo: Teknisk Ukeblad; 2016 [hentet 2018-01-25]. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/betong-star-for-5-prosent-av-verdens-co2-utslipp-slik-skal-forskerne-lage-en-sterkere-og-renere-variant/347625>
5. Spenncon Betong og miljø [Internett]. Oslo: Spenncon 2017 [Hentet 2018-02-01]. Tilgjengelig fra: <http://spenncon.no/spenncon/om-spencon/enok-losninger/betong-og-miljo/>
6. WBCSD. Cement Industry Energy and CO2 Performance “Getting the Numbers Right” [Internett] 29. Juni 2009 [hentet 2018-04-20] Tilgjengelig fra: <https://www.wbcd.org/Projects/Cement-Sustainability-Initiative/Resources/Getting-the-Numbers-Right>
7. Årtun, T. Nesse, N. Store norske leksikon: Sement [Internett]. Oslo: Store norske leksikon, [hentet 2018-01-25]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/semnt>
8. Gammelby, P. Spar på kridtet og pu ler i cementser [Internett] Universitet i Aarhus [hentet 2018-02-25]. Tilgjengelig fra: <http://scitech.au.dk/roemer/mar14/spar-paa-kridtet-og-put-ler-i-cementen/>
9. Delphin, Inger Lise. Betong - historie [Internett] Store Norske Leksikon [hentet 2018-03-06] Tilgjengelig fra: [https://snl.no/betong\\_-\\_historie](https://snl.no/betong_-_historie)
10. Benjaminsen, Christine. Uutnyttet ressurs blir miljøbetong [Internett] Forskning.no [hentet 2018-03-10]. Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/forurensning-bygningsmaterialer/2012/02/uutnyttet-ressurs-bli-miljobetong>
11. SINTEF Byggforsk. 572.115 Tilslagsmaterialer for betong [Internett]: Byggforsk: 2010 [hentet 2018-03-06]. Tilgjengelig fra: [https://byggforsk.no/dokument/588/tilslagsmaterialer\\_for\\_betong](https://byggforsk.no/dokument/588/tilslagsmaterialer_for_betong)
12. Myrdal, Roar. Betongkjemi [Internett] Normet: 2015 [hentet 2018-03-20] Tilgjengelig fra: [http://butikk.betong.net/wp-content/uploads/R\\_Myrdal\\_BETONGKJEMI\\_Stavanger\\_08.09.2015.pdf](http://butikk.betong.net/wp-content/uploads/R_Myrdal_BETONGKJEMI_Stavanger_08.09.2015.pdf)
13. Kolbeinsen, Leiv. Sintring [Internett]. Oslo: Store norske leksikon; 2017 [Hentet 2018-04-11]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/sintring>
14. SINTEF Byggforsk. 572.204 Sement. Typer, egenskaper og bruksområder [Internett]: Byggforsk:

- 2010 [hentet 2018-03-020]. Tilgjengelig fra: [https://byggforsk.no/dokument/589/sement\\_typer\\_egenskaper\\_og\\_bruksomraader](https://byggforsk.no/dokument/589/sement_typer_egenskaper_og_bruksomraader)
15. SINTEF Byggforsk. 572.207 Tilsetningsstoffer for betong [Internett]: Byggforsk: 2010 [hentet 2018-03-015]. Tilgjengelig fra: [https://byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer\\_for\\_betong](https://byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer_for_betong)
16. Unicon. Nyttig Ordlister. [Internett] Unicon 2018 [hentet 2018-04-14] Tilgjengelig fra: <http://www.unicon.no/radgivende-ingenior/betongtyper-og-losninger/nyttig-ordliste/>
17. Thue, Jan Vincent. Pozzolan - teknikk [Internett]. Oslo: Store norske leksikon 2009 [Hentet 2018-02-15]. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/pozzolan\\_-\\_teknikk](https://snl.no/pozzolan_-_teknikk)
18. Alvær, Ragnhild Marie. Kompendium Betongteknologi. Bergen: Høgskolen på Vestlandet 121 sider.
19. Forskning.no. Utnyttet ressurs blir miljøbetong [Internett]. Oslo: Forskning.no: 2012 [Hentet 2018-29-01]. Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/forurensning-bygningsmaterialer/2012/02/utnyttet-ressurs-blir-miljobetong>
20. Store norske leksikon. Mergel [Internett]. Oslo: Snl; 2015 [Hentet 2018-01-29]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/mergel>
21. Teknisk Ukeblad. Vanlig, norsk blåleire kan bli miljøvennlig sement. [Internett]. Oslo: Teknisk Ukeblad; 2016 [Hentet 2018-01-29]. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/forskning-vanlig-norsk-blaleire-kan-bli-til-miljovennlig-sement/277093>
22. Østnor, Tone. , Justnes, Harald. Durability of mortar with calcined marl as pozzolan. COIN project report no. 49. SINTEF 24 sider
23. Bucher, Raphael, Cyr, Martin, Escadeillas, G. Carbonation of blended binders containing Metakaolin. RILEM Bookseries 2015. 6 sider.
24. Alvær, Ragnhild Marie. Kompendium Betongteknologi. Bergen: Høgskolen på Vestlandet 121 sider
25. SINTEF Byggforsk. 572.207 Tilsetningsstoffer for betong [Internett]. Byggforsk: 2010 [Hentet: 2018-03-15] Tilgjengelig fra: [https://byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer\\_for\\_betong#i23](https://byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer_for_betong#i23)
26. NORCEM. Herdeteknologi: 2016 [Hentet 2018-03-14] Tilgjengelig fra: [https://www.norcem.no/no/system/files\\_force/assets/document/bb/11/herdeteknologi\\_lav.pdf?download=1](https://www.norcem.no/no/system/files_force/assets/document/bb/11/herdeteknologi_lav.pdf?download=1)
27. Blom, Peter. Justnes, Harald, Levy, Finn. Betong i bygninger - konsekvenser for inn klima. Byggforsk: 1996. 32 s. [https://www.sintefbok.no/book/index/315/betong\\_i\\_bygninger\\_konsekvenser\\_for\\_inneklima](https://www.sintefbok.no/book/index/315/betong_i_bygninger_konsekvenser_for_inneklima)
28. Standard Norge. Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1 Allmenne regler for bygninger. NS-EN 1992 1-1:2004

29. Standard Norge. Sement - Del 1: Sammensetning, krav samsvarskriterier for ordinære sementtyper. NS-EN 197-1:2011
30. Norcem. Produktinformasjon Standardsement FA [Internett] Norcem [hentet 2018-03-18] Tilgjengelig fra: [https://www.norcem.no/no/standardsement\\_FA](https://www.norcem.no/no/standardsement_FA)
31. Alvær, Ragnhild Marie. Kompendium Betongteknologi. Bergen: Høgskolen på Vestlandet 121 sider
32. SINTEF Byggforsk. 520.027 Kvalitetskontroll av fersk betong. [Internett]. Byggforsk: 2015 [Hentet 2018-03-16]. Tilgjengelig fra: [https://byggforsk.no/dokument/286/kvalitetskontroll\\_av\\_fersk\\_betong#i4](https://byggforsk.no/dokument/286/kvalitetskontroll_av_fersk_betong#i4)
33. Statens vegvesen. 14.622 Konsistens; synkmål, vebetall og utbredningsmål. [Internett]. Vegvesen: 2005 [Hentet 2018-03-16]. Tilgjengelig fra: [https://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Kvalitetsikrede%20filer/14\\_6\\_Betong\\_og\\_matr\\_til\\_betong/14\\_62\\_Undsok\\_av\\_fersk\\_betong/014\\_622\\_konsistens\\_apr\\_05.pdf](https://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Kvalitetsikrede%20filer/14_6_Betong_og_matr_til_betong/14_62_Undsok_av_fersk_betong/014_622_konsistens_apr_05.pdf)
34. Civilread. Concrete slump test procedure, applications, types, uses. [Internett]. Civilread: 2017 [Hentet 2018-03-22]. Tilgjengelig fra: <https://civilread.com/concrete-slump-test-procedure/>
35. Standard Norge. Prøving av fersk betong. Del 2: Synkmål. NS-EN12350-2:2009
36. Standard Norge. Prøving av herdnet betong. Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet. NS-EN 12390-3:2009
37. Standard Norge. Prøving av herdnet betong. Del 1: Form, mål og andre krav til prøvelegemer og former. NS-EN 12390-1:2012
38. Standard Norge. Prøving av herdnet betong. Del 7: Densitet av herdnet betong. NS-EN 12390-7:2009.
39. SINTEF Byggforsk. 520.031 Kvalitetskontroll av dokumentasjon for herdnet betong. Laboriemetoder. [Internett]. Byggforsk: 2015 [Hentet 2018-03-16]. Tilgjengelig fra: [https://byggforsk.no/dokument/289/kvalitetskontroll\\_og\\_dokumentasjon\\_av\\_herdnet\\_betong\\_laboriemetoder](https://byggforsk.no/dokument/289/kvalitetskontroll_og_dokumentasjon_av_herdnet_betong_laboriemetoder)
40. De Weerd, Klaartje. Blended cement with reduced CO2 emission -utilizing the fly ash-limestone synergy [doktoravhandling] Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet: 2011. 170 s.
41. Benjaminsen, Christina. Uutnyttet ressurs blir miljøbetong. [Internett] Forskning.no: 2012 [Hentet 2018-05-06] Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/forurensning-bygningsmaterialer/2012/02/uutnyttet-ressurs-blir-miljobetong>
42. SINTEF. Ødegaard, Karina. Skisse av et miljødeklarasjonssystem. [Internett]. Vegvesen: [Hentet 2018-04-24]. Tilgjengelig fra: [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/110339/binary/192226](https://www.vegvesen.no/_attachment/110339/binary/192226)
43. EPD-Norge. Hva er en EPD? [Internett]. EPD-Norge: [Hentet 2018-04-24]. Tilgjengelig fra: <http://epd-norge.no/hva-er-en-epd/>

44. EPD-Norge. Bruksanvisning for hvordan tolke EPD'er [Internett]. EPD-Norge: [Hentet 2018-04-24]. Tilgjengelig fra:

<http://epd-norge.no/getfile.php/Dokumenter/Bruksanvisninger%20tolke%20EPDer/Bruksanvisning%20for%20EPD%20-%20betongelementer%20og%20fabrikkbetong.pdf>

45. EPD-Norge. Norcem Anleggsement [Internett]. EPD-Norge: [Hentet 2018-05-04]. Tilgjengelig fra:

[http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Sement/NEPD-1217-383\\_CEM-I--Anleggsement--CEM-I-52-5N---Industrisement--52-5R--og-Standardsement--CEM-I-42-5R---Brevik.pdf](http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Sement/NEPD-1217-383_CEM-I--Anleggsement--CEM-I-52-5N---Industrisement--52-5R--og-Standardsement--CEM-I-42-5R---Brevik.pdf)

46. Bygg.no. Støper Deichman med miljøvennlig betong [Internett] Bygg.no [hentet 2018-05-04] Tilgjengelig fra:

<http://www.bygg.no/article/1310741>

47. Energi og klima. Utslippsfordelingen [Internett] Energi og klima [hentet 2018-05-04] Tilgjengelig fra:

<https://energiogklima.no/klimavakten/utslipp-per-innbygger/>

48. Norsk Betongforening. Visste du dette om betong og miljø? [Internett] Norsk Betongforening [hentet 2018-05-04] Tilgjengelig fra:

<http://butikk.betong.net/wp-content/uploads/17966-Visste-du-dette-om-betong-og-milj%C3%B8-WEB.pdf>

## Referanseliste bilder

49. Alibaba. Portland Cement Clinker [Internett]. Alibaba: [Hentet 2018-04.26]. Tilgjengelig fra:

[https://www.alibaba.com/product-detail/Portland-Cement-Clinker\\_50017006141.html?spm=a2700.7724857.main07.169.c08e75f6JxMMDS](https://www.alibaba.com/product-detail/Portland-Cement-Clinker_50017006141.html?spm=a2700.7724857.main07.169.c08e75f6JxMMDS)

50. Norcem. God betong er bestandig betong. Norcem HeidelbergCement group, side 6.

51. Østnor, Tone. , Justnes, Harald. Durability of mortar with calcined marl as pozzolan. COIN project report no. 49. SINTEF 24 sider

52. Sanjay N. Patil. , Anil K. Gupta. , Subhash S. Deshande. Metakaolin- Pozzolanic Material For Cement in High Strength Concrete. Second International Conference on Emerging Trends in Engineering (SICETE) 4 sider

53. SINTEF Byggforsk. 520.027 Kvalitetskontroll av fersk betong. [Internett]. Byggforsk: 2015 [Hentet 2018-03-16]. Tilgjengelig fra:

[https://byggforsk.no/dokument/286/kvalitetskontroll\\_av\\_fersk\\_betong#i4](https://byggforsk.no/dokument/286/kvalitetskontroll_av_fersk_betong#i4)

54. Standard Norge. Prøving av fersk betong. Del 2: Synkmål. NS-EN 12350-2:2009

55. SINTEF Byggforsk. 520.031 Kvalitetskontroll av dokumentasjon for herdnet betong. Laboratoriemetoder. [Internett]. Byggforsk: 2015 [Hentet 2018-03-16]. Tilgjengelig fra: [https://byggforsk.no/dokument/289/kvalitetskontroll\\_og\\_dokumentasjon\\_av\\_herdnet\\_betong\\_laboratoriemetoder](https://byggforsk.no/dokument/289/kvalitetskontroll_og_dokumentasjon_av_herdnet_betong_laboratoriemetoder)

56. Standard Norge. Prøving av herdnet betong. Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet. NS-EN 12390-3:2009

57. EPD-Norge. Bruksanvisning for hvordan tolke EPD'er [Internett]. EPD-Norge: [Hentet 2018-04-24]. Tilgjengelig fra: <http://epd-norge.no/getfile.php/Dokumenter/Bruksanvisninger%20tolke%20EPDer/Bruksanvisning%20for%20EPD%20-%20betongelementer%20og%20fabrikkbetong.pdf>

58 EPD-Norge. Norcem Anleggsement [Internett]. EPD-Norge: [Hentet 2018-05-04]. Tilgjengelig fra: [http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Sement/NEPD-1217-383\\_CEM-I--Anleggsement--CEM-I-52-5N---Industrisement--52-5R--og-Standardsement--CEM-I-42-5R---Brevik.pdf](http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Sement/NEPD-1217-383_CEM-I--Anleggsement--CEM-I-52-5N---Industrisement--52-5R--og-Standardsement--CEM-I-42-5R---Brevik.pdf)

59. EPD-Norge. Norcem Anleggsement [Internett]. EPD-Norge: [Hentet 2018-05-04]. Tilgjengelig fra: [http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Sement/NEPD-1217-383\\_CEM-I--Anleggsement--CEM-I-52-5N---Industrisement--52-5R--og-Standardsement--CEM-I-42-5R---Brevik.pdf](http://epd.nsp01cp.nhosp.no/getfile.php/EPDer/Byggevarer/Sement/NEPD-1217-383_CEM-I--Anleggsement--CEM-I-52-5N---Industrisement--52-5R--og-Standardsement--CEM-I-42-5R---Brevik.pdf)



## Vedlegg

Vedlegg A – Beregningsgrunnlag for betongresept B30

Vedlegg B – Resultater trykktest

Vedlegg C – Beregning av gjennomsnittlig trykkfasthet

Vedlegg D – Beregning av gjennomsnittlig tetthet

## Vedlegg A - Beregningsgrunnlag for betongresept B30

### Referansebetong v/b=0,55

Materiale	[kg/m <sup>3</sup> ]	[l/m <sup>3</sup> ]
Sement	308,1	98,8
Fritt vann	169,5	169,5
Filler	52,9	20,0
Tss	2,5	1,8
Luft	-	20,0
Tørr sand + filler	1058,6	399,5
Sand som må tilsettes	1058,6	399,5
Sand 0/8 mm (>0,125mm)	1005,7	379,5
Stein 8/16mm	416,1	155,3
Stein 16/24mm	416,1	155,3
TOT Stein	832,1	310,5
Differansefukt	10,9	10,9
Faktisk vann som må tilsettes	180,4	180,4
Tyngdetetthet betong	2381,7	
<b>Kontroll v/b-tall</b>	<b>0,55</b>	
Volum Matriks		310
Volum Partikkell		690
<b>TOT</b>		<b>1000</b>

#### Parametre:

Tyngdetetthet sand:	2650 kg/m <sup>3</sup>
Tyngdetetthet stein:	2680 kg/m <sup>3</sup>
Tyngdetetthet sement	3120 kg/m <sup>3</sup>
Tyngdetetthet tss	1380 kg/m <sup>3</sup>
Tyngdetetthet vann	1000 kg/m <sup>3</sup>
Vannabsorpsjon sand:	0,008
Vannabsorpsjon stein:	0,005
Vannmengde sand:	0 %
Vannmengde tss:	72 %
Luftmengde	2 %
Filler:	5 %
Matriksmengde:	310 l/m <sup>3</sup>
Partikkelmengde	690 l/m <sup>3</sup>
45% stein og 55% sand	
Tss av sement	0,8 %

# Test protocol

Order: 2

Series: 1

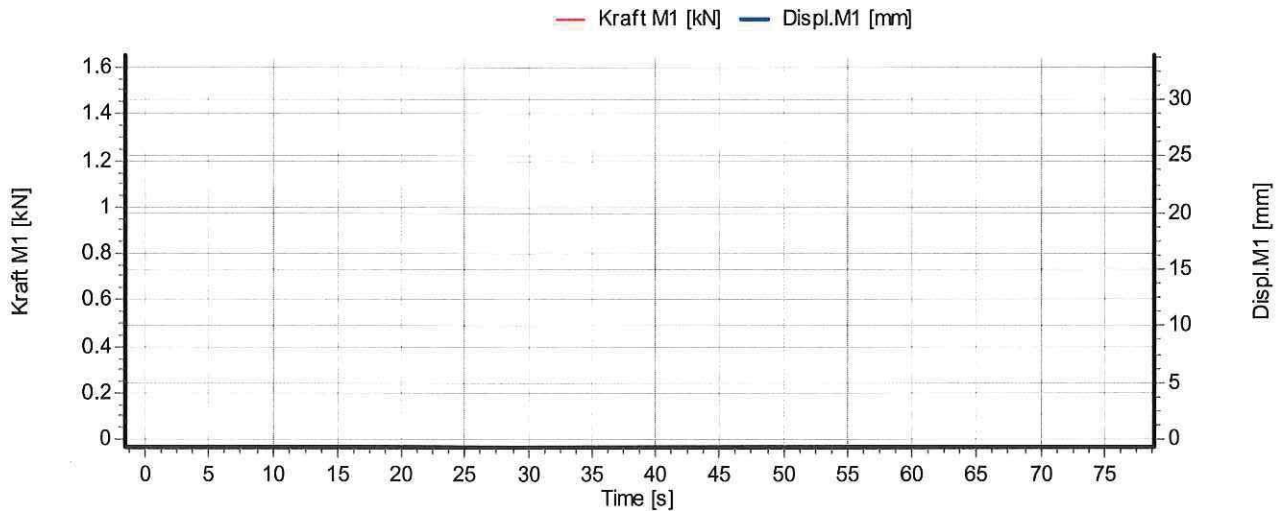
<b>Test:</b> Compression test	Production date	26/03/2018	10:48
<b>Standard:</b> EN 12390-3:2009	Sample age:	14	00:07
<b>Sample:</b> Cube 100x100x100	Test date:	09/04/2018	10:55
<b>Concrete class</b> C30/37	Tester:		

Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
B30	100	101	99	470.1	46.5
	Break type:				
B30	99	100	99	465.7	47.0
	Break type:				

Average	46.8
Std. dev	0.35

## Sample B30



# Test protocol

Order: 2

Series: 2

Test: Universal test

Production date: 26/03/2018 10:58

Standard: Without standard

Sample age: 14 00:04

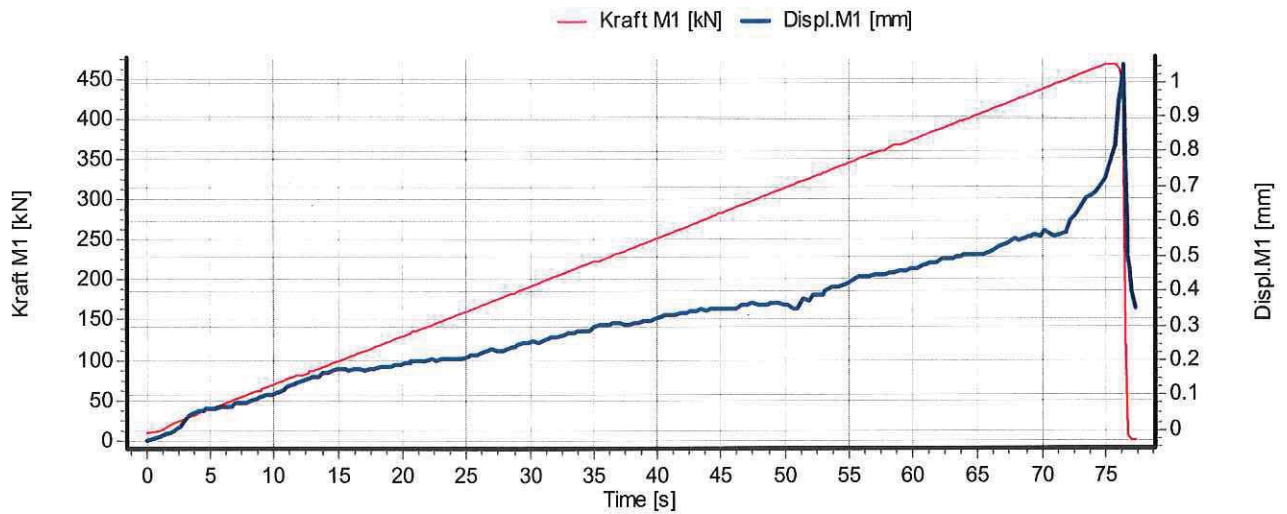
Sample: Cube 100x100x100

Test date: 09/04/2018 11:02

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum values of all channels	
B30 ST	101.0	101.0	100.0	2484.0	2435.1	Kraft.M1	466.9 kN
						Displ.M1	1.05 mm
Average					2435.1		
Std. dev					0.00		

## Sample B30 ST



# Test protocol

Order: 4

Series: B30 ST

Test: Compression test

Production date 26/03/2018 10:35

Standard: EN 12390-3:2009

Sample age: 28 00:09

Sample: Cube 100x100x100

Test date: 23/04/2018 10:44

Concrete class C30/37

Tester:

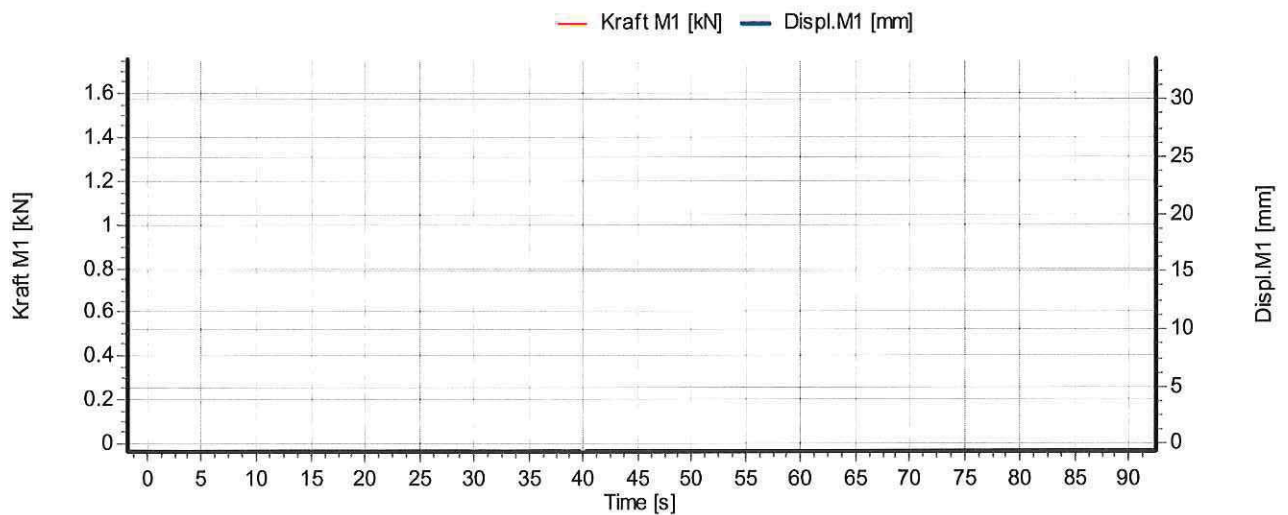
Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production: satisfied

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
1	99 Break type:	100	100	542.2	54.8
2	100 Break type:	100	100	530.1	53.0
3	99 Break type:	100	99	551.0	55.7

Average 54.5

Std. dev 1.35

## Sample 1



# Test protocol

Order: 4

Series: 1 B30 ST

Test: Universal test

Production date 26/03/2018 10:28

Standard: Without standard

Sample age: 28 00:05

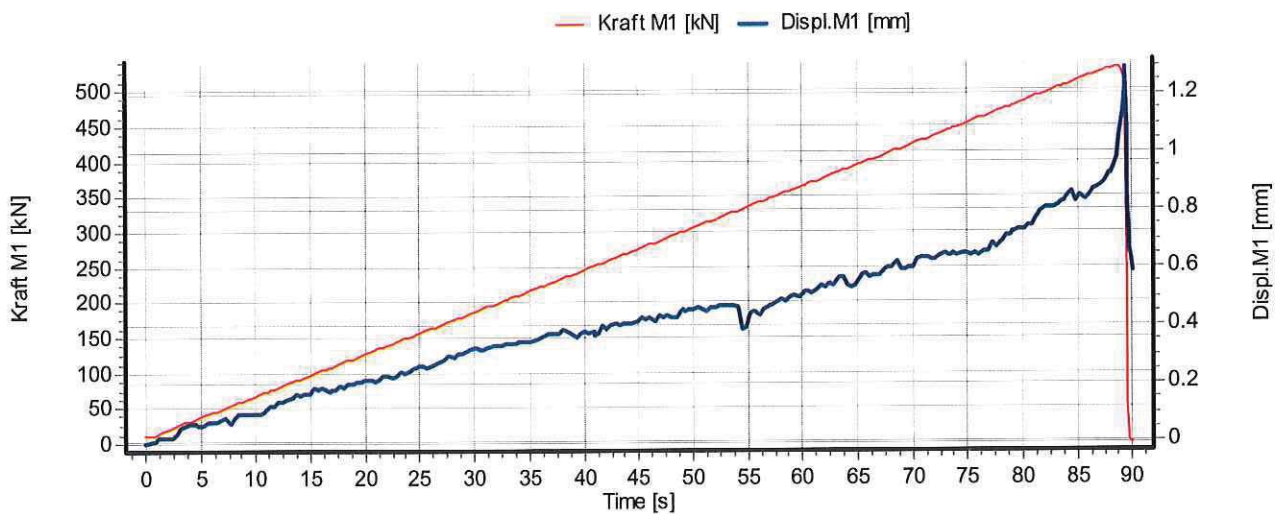
Sample: Cube 100x100x100

Test date: 23/04/2018 10:33

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum values of all channels
ST1	99.0	100.0	100.0	2414.0	2438.4	Kraft M1 532.4 kN Displ.M1 1.29 mm
Average					2438.4	
Std. dev					0.00	

## Sample 1



# Test protocol

Order: 2

Series: 3

Test: Compression test

Production date 26/03/2018 11:04

Standard: EN 12390-3:2009

Sample age: 14 00:09

Sample: Cube 100x100x100

Test date: 09/04/2018 11:13

Concrete class C30/37

Tester:

Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
B30 20%	100 Break type:	100	100	523.4	52.3
B30 20%	99 Break type:	100	100	518.4	52.4

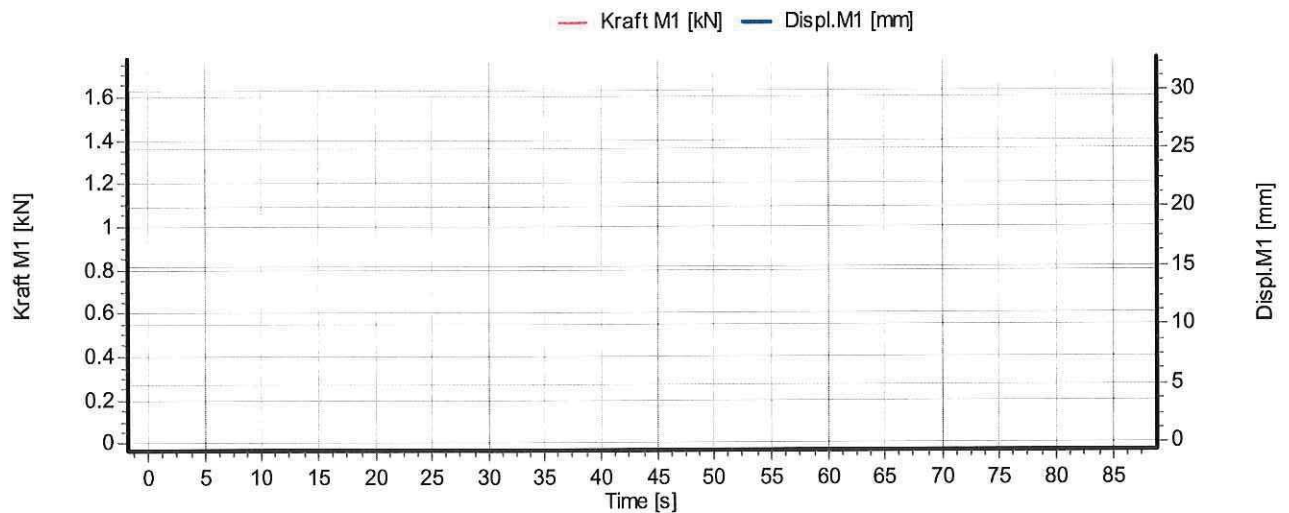
Average

52.4

Std. dev

0.02

## Sample B30 20%



# Test protocol

Order: 2

Series: 4

Test: Universal test

Production date: 26/03/2018 11:30

Standard: Without standard

Sample age: 14 00:04

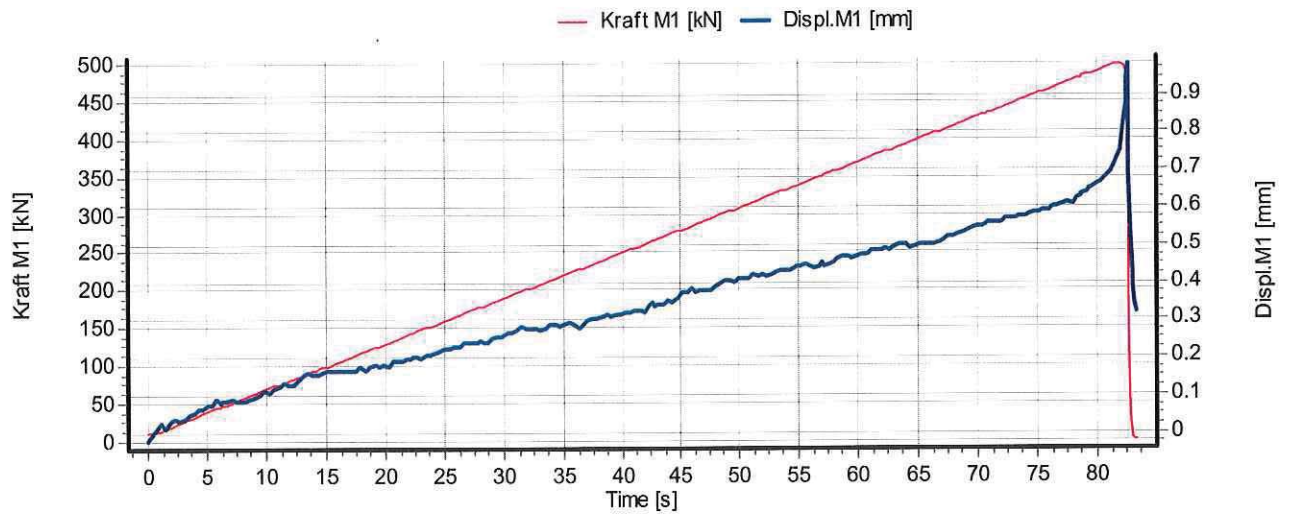
Sample: Cube 100x100x100

Test date: 09/04/2018 11:34

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum values of all channels	
B30 20%	100.0	100.0	100.0	2412.0	2412.0	Kraft.M1	497.9 kN
						Displ.M1	0.98 mm
Average					2412.0		
Std. dev					0.00		

## Sample B30 20%





# Test protocol

Order: 4

Series: B30 20%

Test: Compression test

Production date 26/03/2018 10:55

Standard: EN 12390-3:2009

Sample age: 28 00:19

Sample: Cube 100x100x100

Test date: 23/04/2018 11:14

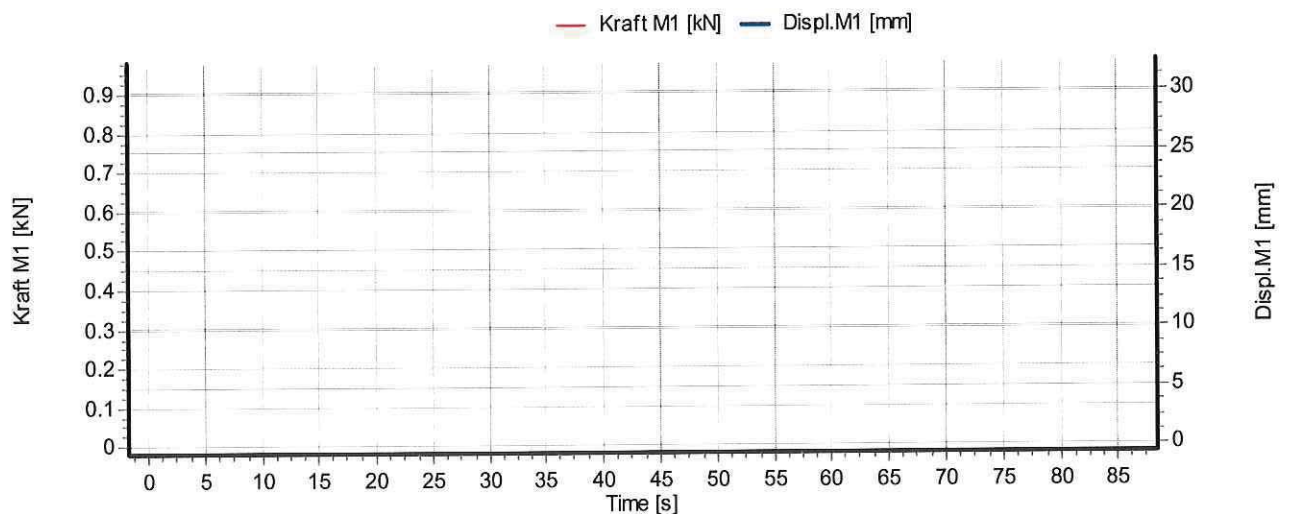
Concrete class C30/37

Tester:

Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production: satisfied

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
1	100 Break type:	100	100	524.0	52.4
2	99 Break type:	100	100	567.0	57.3
3	101 Break type:	101	100	582.6	57.1
Average					55.6
Std. dev					2.77

## Sample 1



L20K8

Phone:  
Fax:  
Mail:  
Website:

# Test protocol

Order: 4

Series: B30 20%

Test: Universal test

Production date 26/03/2018 10:45

Standard: Without standard

Sample age: 28 00:08

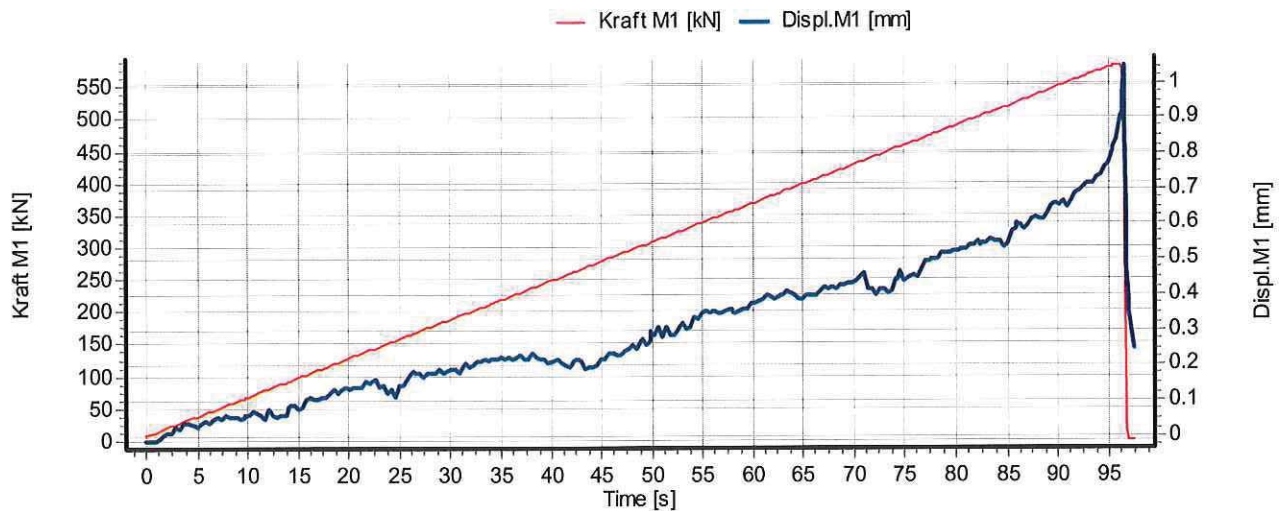
Sample: Cube 100x100x100

Test date: 23/04/2018 10:53

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum values of all channels	
1	100.0	100.0	100.0	2423.0	2423.0	Kraft M1	582.4 kN
						Displ.M1	1.05 mm
Average					2423.0		
Std. dev					0.00		

## Sample 1



# Test protocol

Order: 2

Series: 7

Test: Compression test

Production date 26/03/2018 11:51

Standard: EN 12390-3:2009

Sample age: 14 00:09

Sample: Cube 100x100x100

Test date: 09/04/2018 12:00

Concrete class C30/37

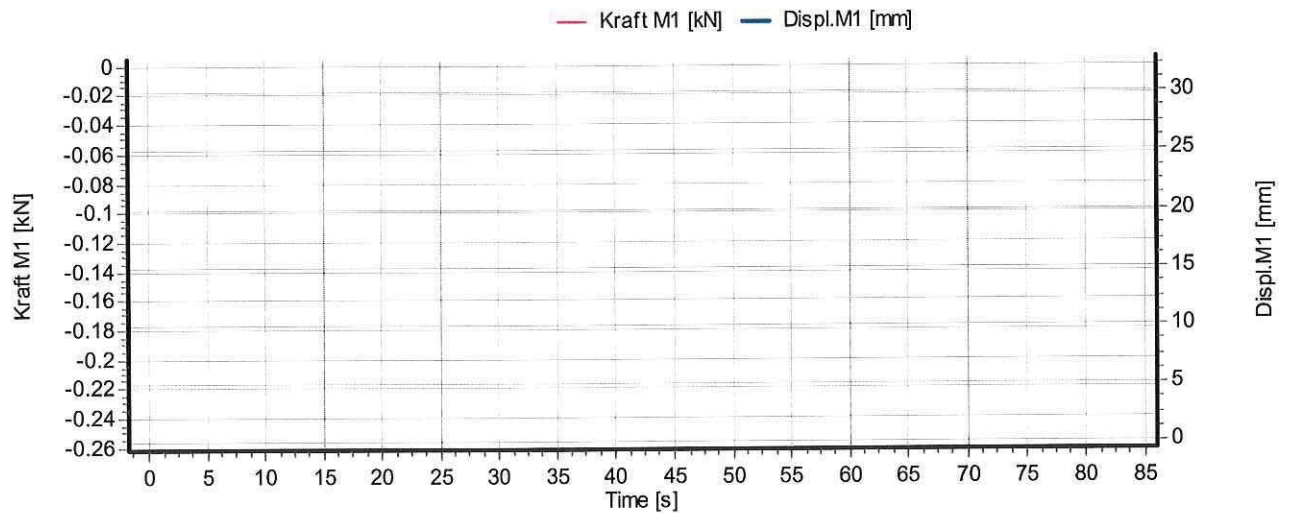
Tester:

Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
B30 35% K	100	100	100	492.1	49.2
	Break type:				
B30 35% K	100	99	100	504.6	51.0
	Break type:				

Average	50.1
Std. dev	1.24

## Sample B30 35% K



L35K8

Phone:  
Fax:  
Mail:  
Website:

# Test protocol

Order: 2

Series: 8

Test: Universal test

Production date 26/03/2018 12:00

Standard: Without standard

Sample age: 14 00:03

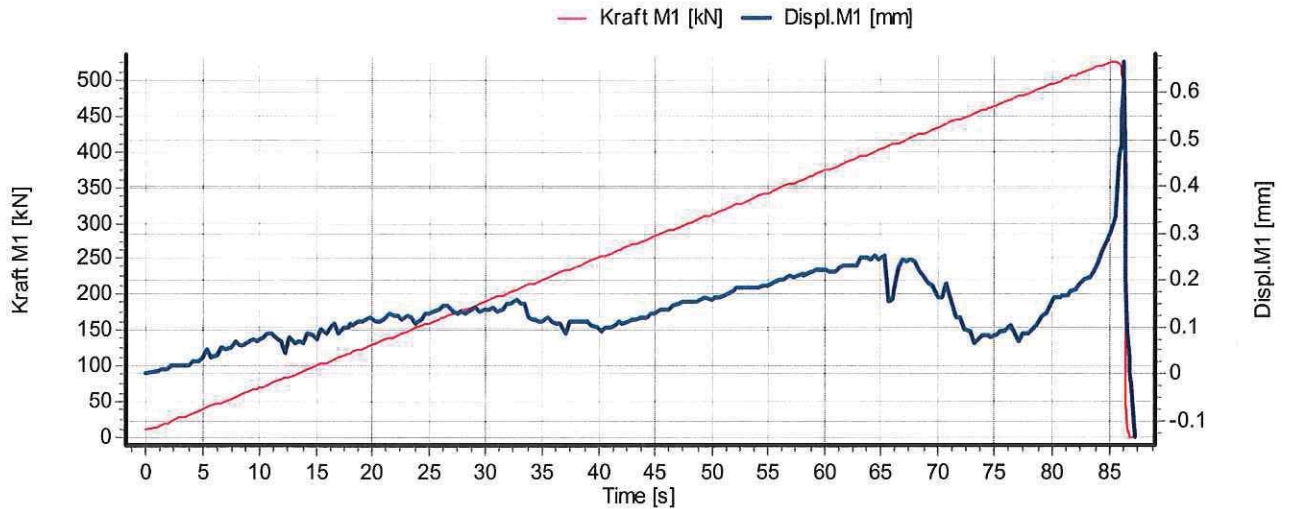
Sample: Cube 100x100x100

Test date: 09/04/2018 12:03

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum values of all channels	
B30 35% K	101.0	100.0	100.0	2450.0	2425.7	Kraft M1 Displ.M1	525.5 kN 0.67 mm
Average					2425.7		
Std. dev					0.00		

## Sample B30 35% K



# Test protocol

Order: 4

Series: B30 35% K

Test: Compression test

Production date 26/03/2018 11:33

Standard: EN 12390-3:2009

Sample age: 28 00:17

Sample: Cube 100x100x100

Test date: 23/04/2018 11:50

Concrete class C30/37

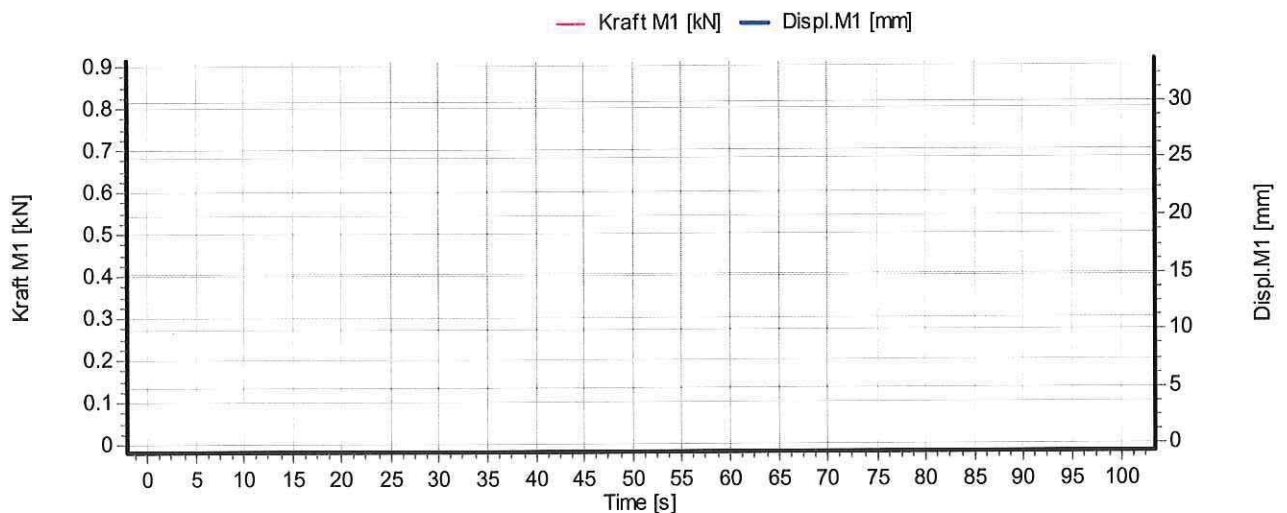
Tester:

Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production: satisfied

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
1	101 Break type:	100	100	619.6	61.3
2	100 Break type:	100	99	587.1	58.7
3	100 Break type:	100	100	601.1	60.1
4	100 Break type:	100	101	614.8	61.5
5	100 Break type:	101	101	614.4	60.8

Average	60.5
Std. dev	1.13

## Sample 1



L35K8

Phone:  
Fax:  
Mail:  
Website:

# Test protocol

Order: 4

Series: B30 35% K

Test: Universal test

Production date 26/03/2018 11:29

Standard: Without standard

Sample age: 28 00:03

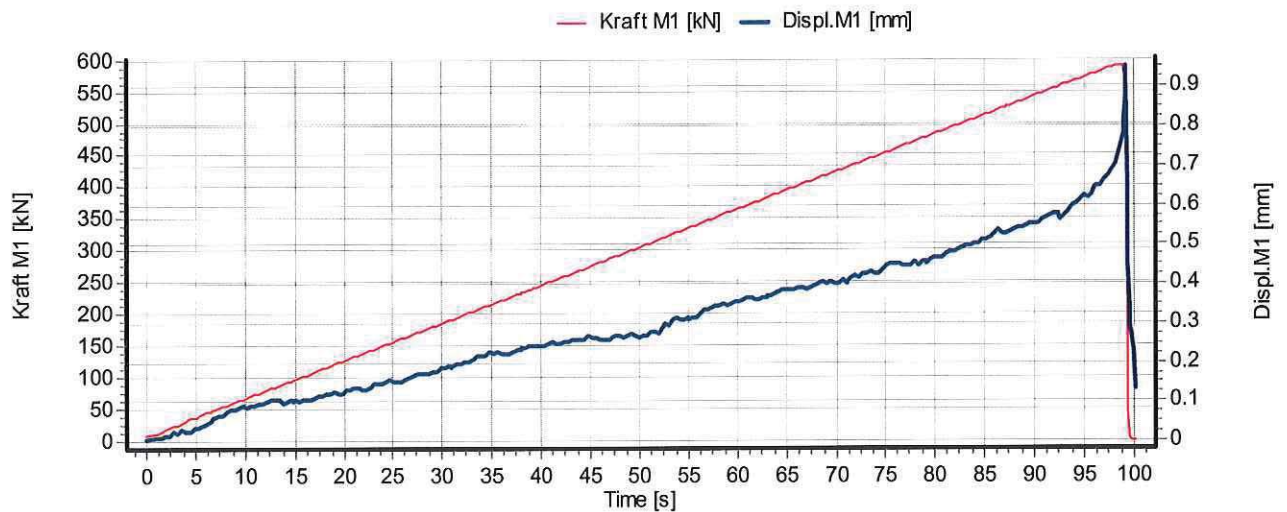
Sample: Cube 100x100x100

Test date: 23/04/2018 11:32

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum values of all channels	
1	99.0	100.0	100.0	2407.0	2431.3	Kraft M1 Displ.M1	590.3 kN 0.95 mm
Average					2431.3		
Std. dev					0.00		

## Sample 1



L35

Phone:  
Fax:  
Mail:  
Website:

# Test protocol

Order: 2

Series: 5

Test: Compression test

Production date 26/03/2018 11:36

Standard: EN 12390-3:2009

Sample age: 14 00:06

Sample: Cube 100x100x100

Test date: 09/04/2018 11:42

Concrete class C30/37

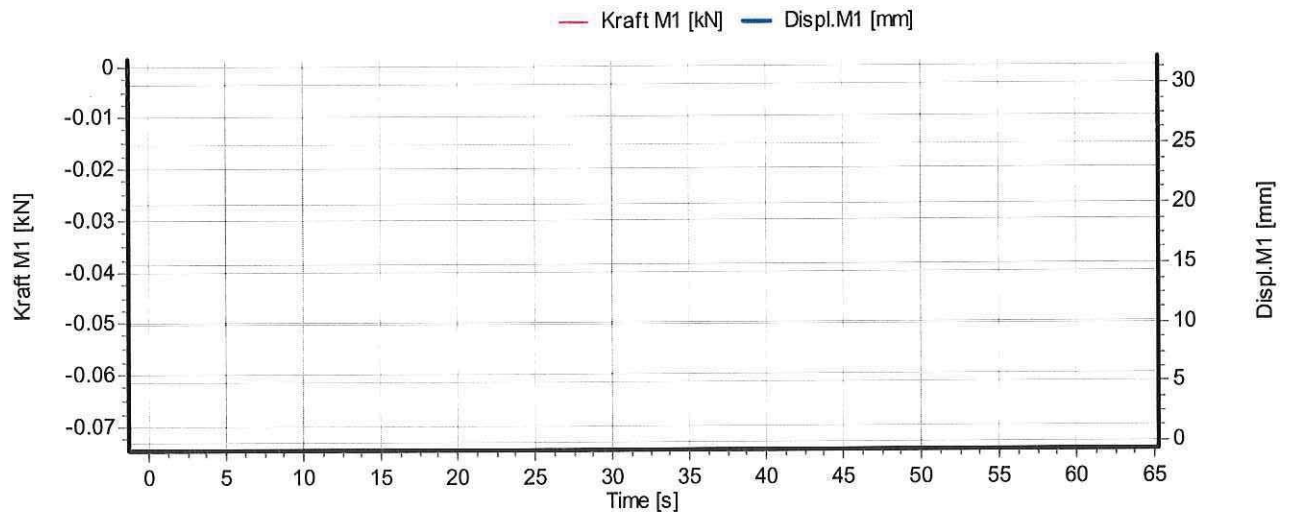
Tester:

Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
B30 35%	100 Break type:	99	100	390.9	39.5
B30 35%	99 Break type:	100	100	384.7	38.9

Average	39.2
Std. dev	0.44

## Sample B30 35%



# Test protocol

Order: 2

Series: 6

Test: Universal test

Production date 26/03/2018 11:45

Standard: Without standard

Sample age: 14 00:04

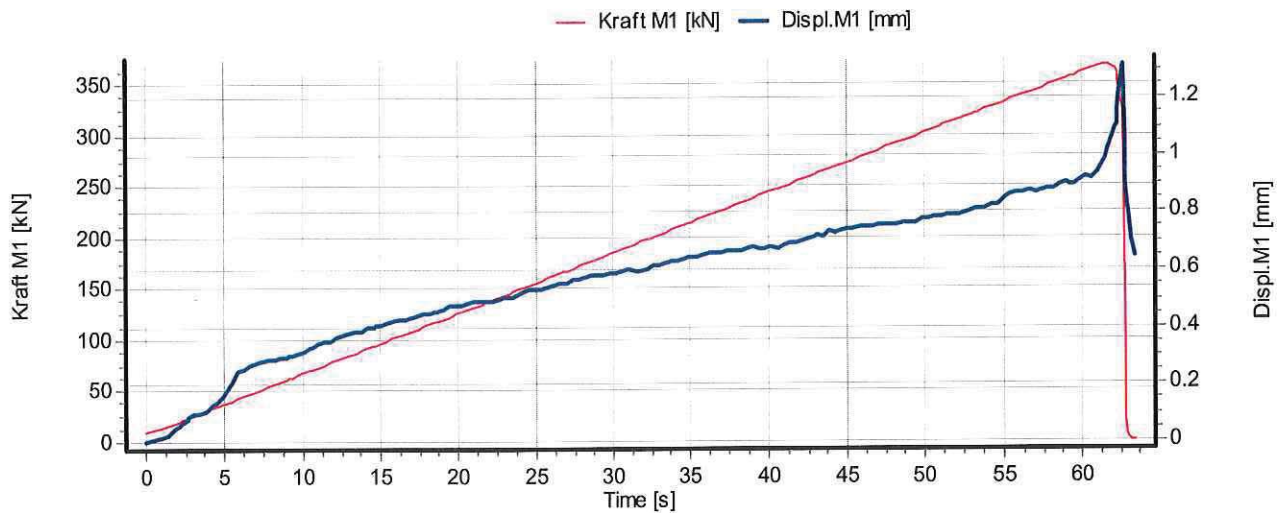
Sample: Cube 100x100x100

Test date: 09/04/2018 11:49

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum values of all channels	
B30 35%	99.0	99.0	100.0	2402.0	2450.8	Kraft M1	368.0 kN
						Displ.M1	1.31 mm
Average					2450.8		
Std. dev					0.00		

## Sample B30 35%





# Test protocol

Order: 4

Series: B30 35%

Test: Compression test

Production date 26/03/2018 11:22

Standard: EN 12390-3:2009

Sample age: 28 00:06

Sample: Cube 100x100x100

Test date: 23/04/2018 11:28

Concrete class:----

Tester:

Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production: not possible

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
1	100 Break type:	100	99	492.8	49.3
2	99 Break type:	100	100	471.2	47.6

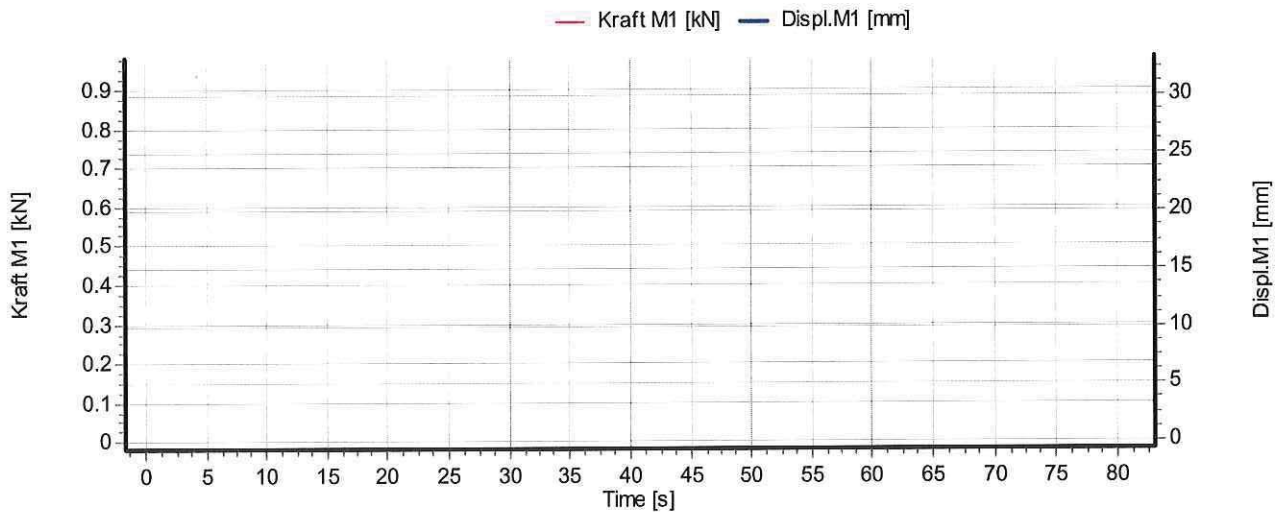
Average

48.4

Std. dev

1.19

## Sample 1



# Test protocol

Order: 4

Series: B30 35%

Test: Universal test

Production date 26/03/2018 11:14

Standard: Without standard

Sample age: 28 00:06

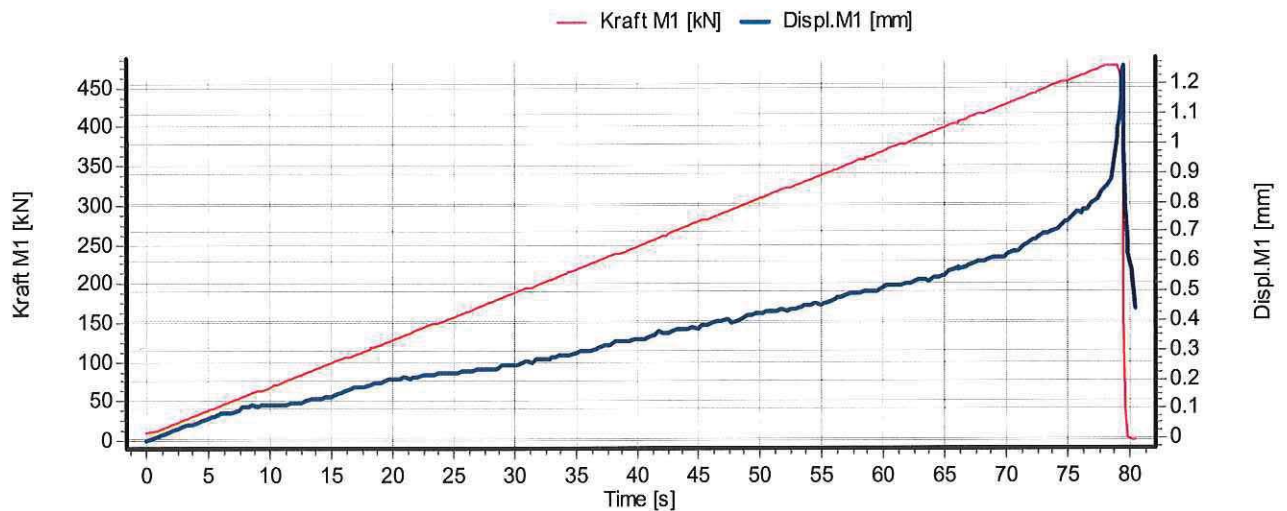
Sample: Cube 100x100x100

Test date: 23/04/2018 11:20

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum values of all channels	
1	100.0	100.0	101.0	2408.0	2384.2	Kraft M1 Displ.M1	478.1 kN 1.26 mm
Average					2384.2		
Std. dev					0.00		

## Sample 1



# Test protocol

Order: 5

Series: B30 ST2

Test: Compression test

Production date 09/04/2018 11:57

Standard: EN 12390-3:2009

Sample age: 14 00:07

Sample: Cube 100x100x100

Test date: 23/04/2018 12:04

Concrete class C30/37

Tester:

Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
1	100 Break type:	101	100	439.3	43.5
2	100 Break type:	99	100	457.2	46.2

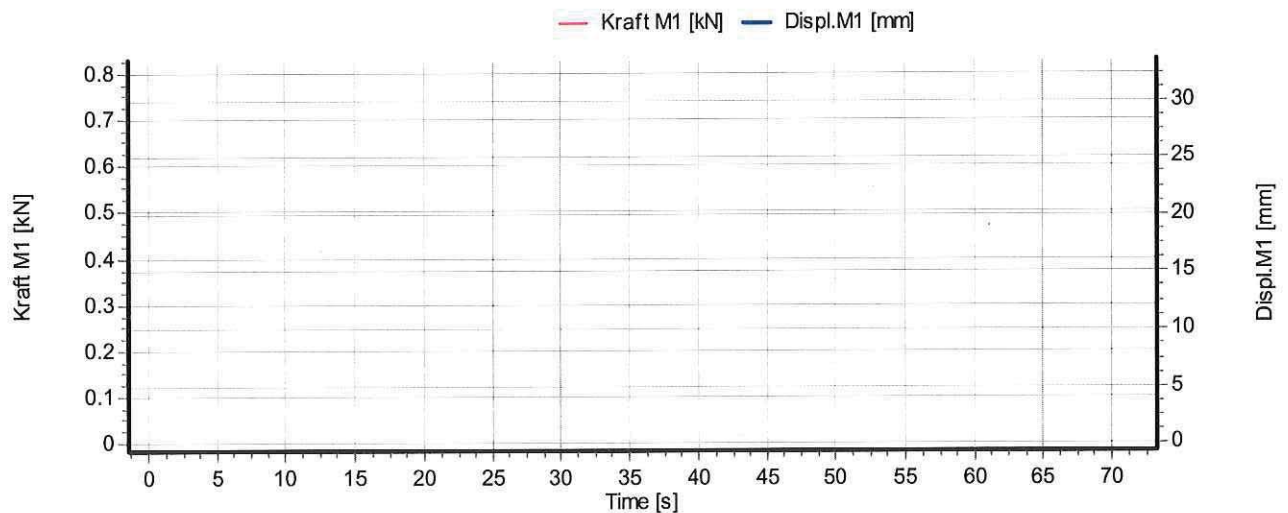
Average

44.8

Std. dev

1.90

## Sample 1



# Test protocol

Order: 5

Series: B30 ST2

Test: Universal test

Production date: 09/04/2018 11:52

Standard: Without standard

Sample age: 14 00:03

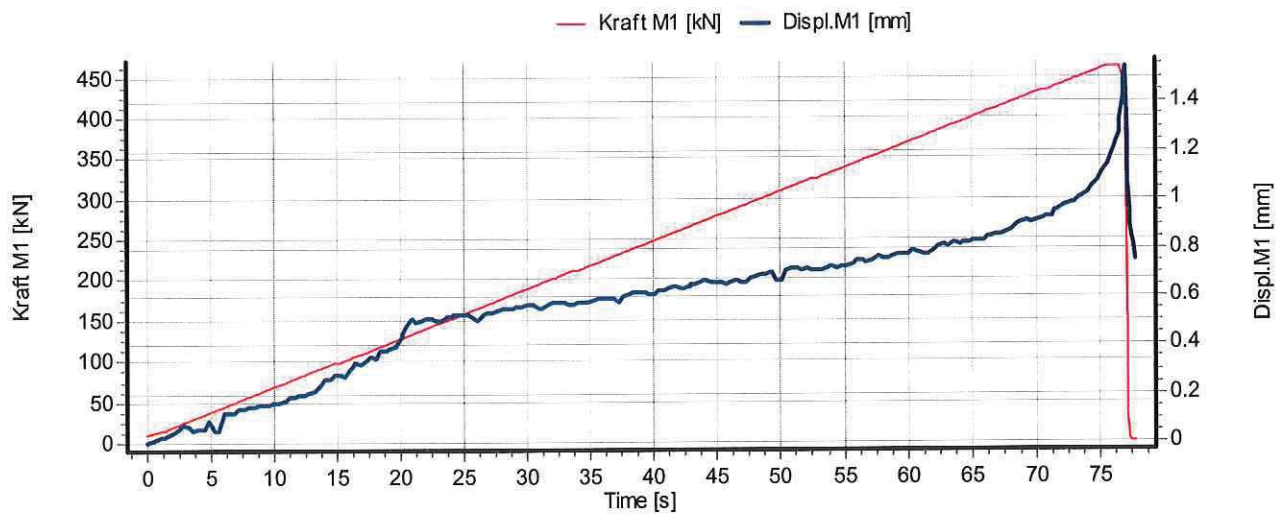
Sample: Cube 100x100x100

Test date: 23/04/2018 11:55

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m³]	Maximum values of all channels	
						Channel	Value
1	100.0	100.0	100.0	2449.0	2449.0	Kraft.M1	461.8 kN
						Displ.M1	1.54 mm
Average					2449.0		
Std. dev					0.00		

## Sample 1



# Test protocol

**Order:** 6

**Series:** 1

**Test:** Compression test

Production date 09/04/2018 10:22

**Standard:** EN 12390-3:2009

Sample age: 28 00:12

**Sample:** Cube 100x100x100

Test date: 07/05/2018 10:34

**Concrete class:** C30/37

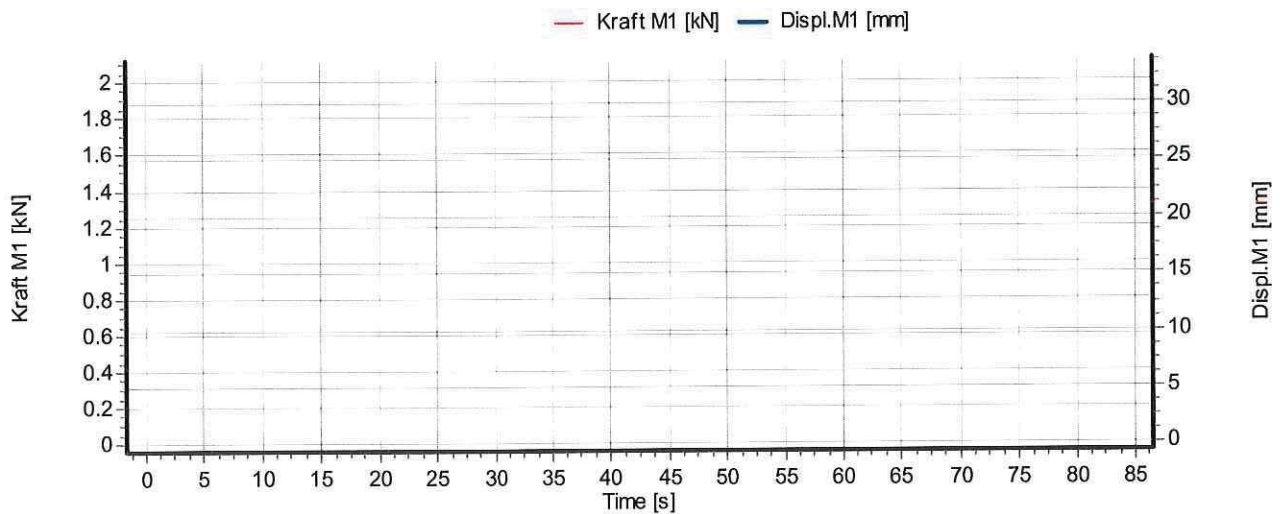
Tester:

**Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production:** satisfied

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
B30 ST2	99 Break type:	101	100	503.9	50.4
B30 ST2	100 Break type:	100	100	505.0	50.5
B30 ST2	100 Break type:	101	100	517.0	51.2

Average	50.7
Std. dev	0.43

## Sample B30 ST2



# Test protocol

Order: 6

Series: 3

Test: Universal test

Production date: 09/04/2018 10:56

Standard: Without standard

Sample age: 28 00:03

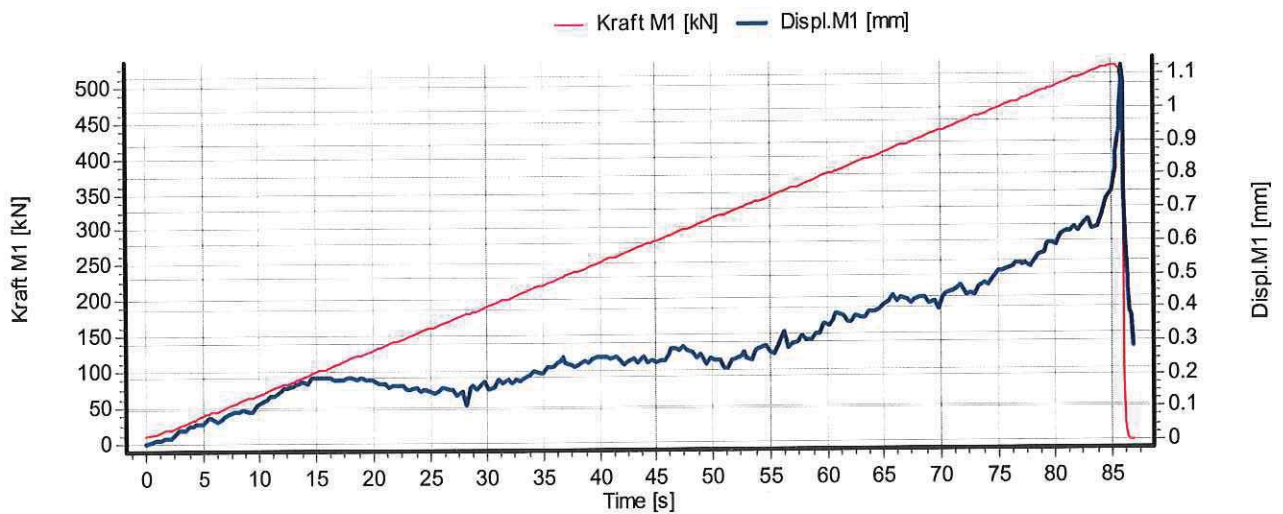
Sample: Cube 100x100x100

Test date: 07/05/2018 10:59

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum values of all channels	
						Channel	Value
B30 ST2	101.0	101.0	100.0	2469.0	2420.4	Kraft.M1	525.1 kN
						Displ.M1	1.13 mm
Average					2420.4		
Std. dev					0.00		

## Sample B30 ST2



# Test protocol

Order: 5

Series: B30 20% K 20

Test: Compression test

Standard: EN 12390-3:2009

Sample: Cube 100x100x100

Concrete class C30/37

Production date 09/04/2018 12:09

Sample age: 14 00:10

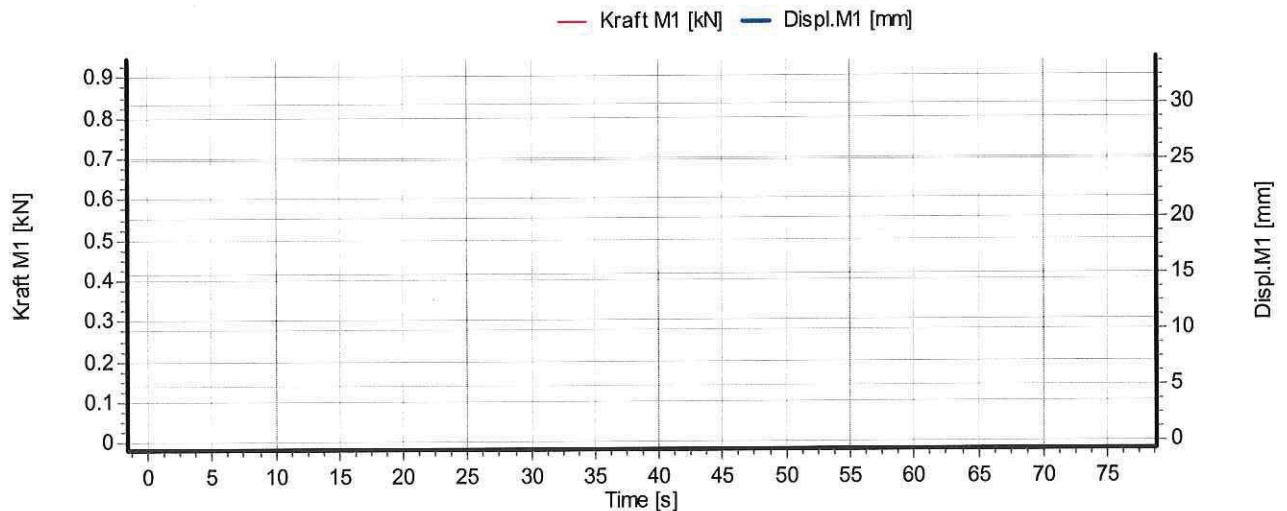
Test date: 23/04/2018 12:19

Tester:

Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
1	101	100	100	473.0	46.8
	Break type:				
2	100	101	99	459.7	45.5
	Break type:				
Average					46.2
Std. dev					0.93

## Sample 1



L20K20

Phone:  
Fax:  
Mail:  
Website:

# Test protocol

Order: 5

Series: B30 20% K 20

Test: Universal test

Standard: Without standard

Sample: Cube 100x100x100

Production date: 09/04/2018 12:04

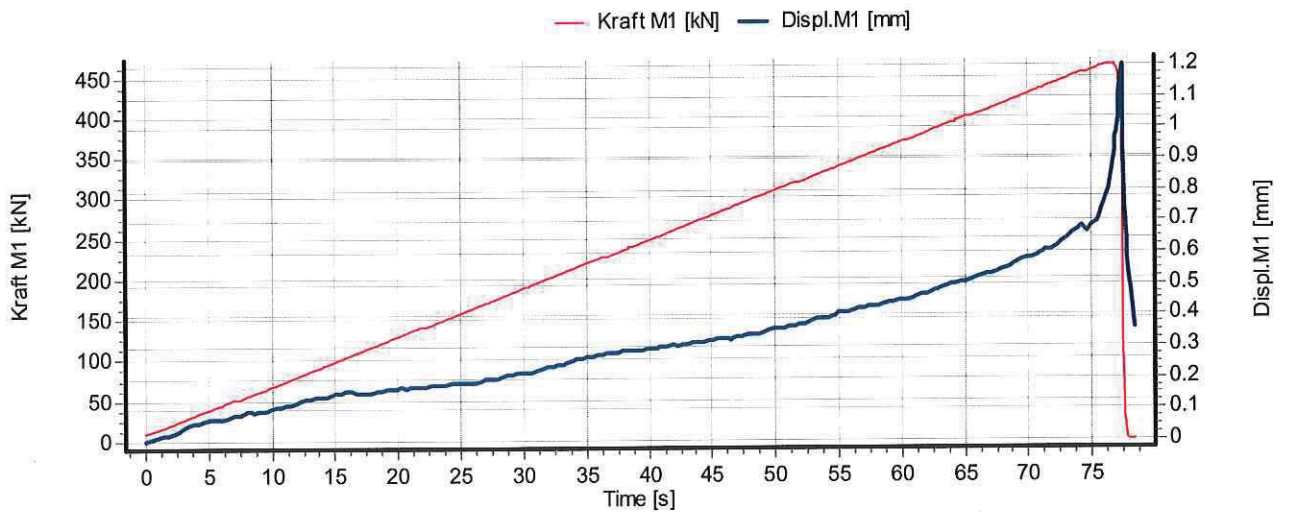
Sample age: 14 00:04

Test date: 23/04/2018 12:08

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum values of all channels	
						Channel	Value
1	100.0	100.0	99.0	2471.0	2496.0	Kraft M1	464.8 kN
						Displ.M1	1.20 mm
Average					2496.0		
Std. dev					0.00		

## Sample 1





L20K20

Phone:  
Fax:  
Mail:  
Website:

# Test protocol

Order: 6

Series: 2

Test: Compression test

Standard: EN 12390-3:2009

Sample: Cube 100x100x100

Concrete class C30/37

Production date 09/04/2018 10:38

Sample age: 28 00:17

Test date: 07/05/2018 10:55

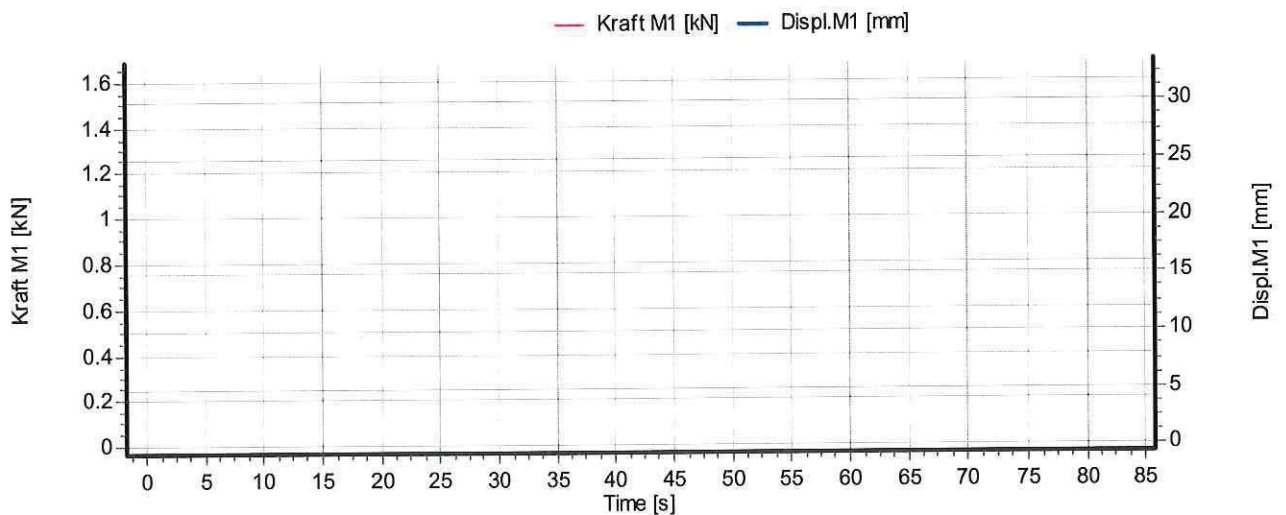
Tester:

Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production: satisfied

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
L20K20	100 Break type:	100	99	506.9	50.7
L20K20	99 Break type:	101	100	494.0	49.4
L20K20	99 Break type:	100	100	504.7	51.0

Average	50.4
Std. dev	0.84

## Sample L20K20



L20K20

Phone:  
Fax:  
Mail:  
Website:

# Test protocol

Order: 6

Series: L20K20

Test: Universal test

Production date: 09/04/2018 11:02

Standard: Without standard

Sample age: 28 00:04

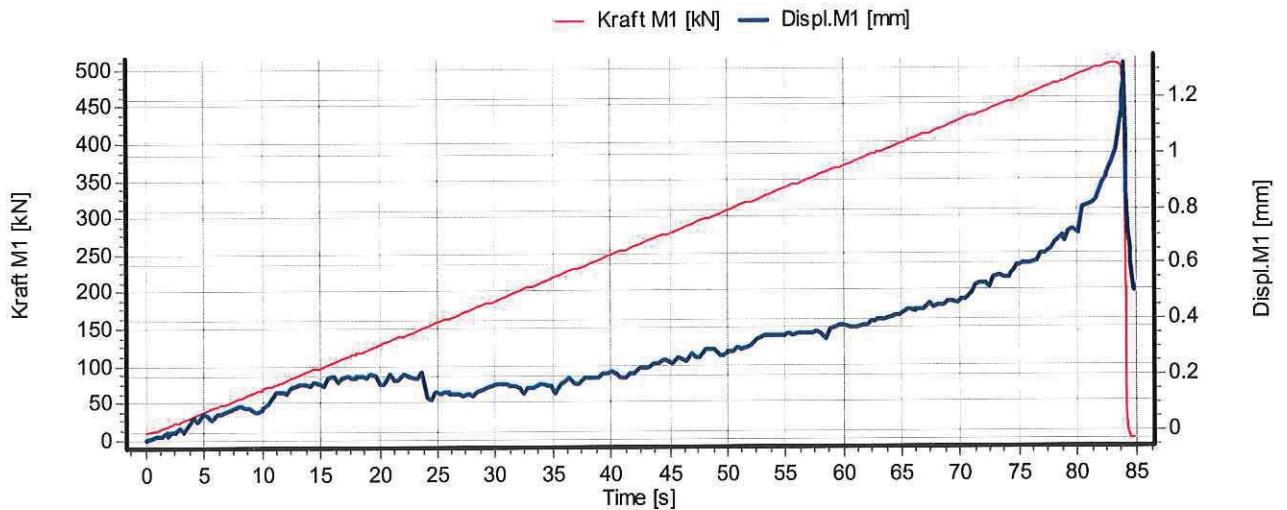
Sample: Cube 100x100x100

Test date: 07/05/2018 11:06

Tester:

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Weight [g]	Bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum values of all channels	
L20K20	100.0	100.0	100.0	2461.0	2461.0	Kraft M1 Displ.M1	505.6 kN 1.33 mm
Average					2461.0		
Std. dev					0.00		

## Sample L20K20



L35K20

Phone:  
Fax:  
Mail:  
Website:

# Test protocol

Order: 5

Series: B30 35% K20

Test: Compression test

Standard: EN 12390-3:2009

Sample: Cube 100x100x100

Concrete class:----

Production date: 09/04/2018 12:20

Sample age: 14 00:13

Test date: 23/04/2018 12:33

Tester:

Conformity criteria to EN 206-1:2000 for first production: not possible

Name	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Breakload [kN]	Strength [MPa]
1	100 Break type:	100	99	4.5	0.5
2	100 Break type:	100	100	4.9	0.5
Average					0.5
Std. dev					0.03

## Vedlegg C - Beregning av gjennomsnittlig trykkfasthet

Trykkfasthet 14 dager Mpa				Gjennomsnitt	Differanse høyeste//laveste	Avvik %
Ref.B30	46,5	47,0	45,8	46,4	1,2	2,6
L20K8	52,3	52,4	49,8	51,5	2,6	5,2
L35K8	49,2	51,0	52,0	50,7	2,8	5,7
L35	39,5	38,9	37,5	38,6	2,0	5,3
Ref2.B30	43,5	46,2	46,2	45,3	2,7	6,2
L20K20	46,8	45,5	46,5	46,3	1,3	2,9

Trykkfasthet 28 dager Mpa							Gjennomsnitt	Differanse høyeste//laveste	Avvik %
Ref.B30	54,8	53,0	55,7	53,8	-	-	54,3	2,7	5,1
L20K8	52,4	57,3	57,1	58,2	-	-	56,3	5,8	11,1
L35K8	61,3	58,7	60,1	61,5	60,8	59,6	60,3	2,8	4,8
L35	49,3	47,6	47,8	-	-	-	48,2	1,7	3,6
Ref2.B30	50,4	50,5	51,2	51,5	-	-	50,9	1,1	2,2
L20K20	50,7	49,4	51,0	50,7	-	-	50,5	1,6	3,2

## Vedlegg D - Beregning av gjennomsnittlig tetthet

14 dager						
Terning nr. Resept	Bredde [m]	Lengde [m]	Høyde [m]	Vekt [kg]	Tetthet [kg/m <sup>3</sup> ]	Gjennomsnitt [kg/m <sup>3</sup> ]
1	0,100	0,101	0,099	2,476	2476,2	2466
2 Ref.B30	0,099	0,100	0,099	2,437	2486,5	
3	0,101	0,101	0,100	2,484	2435,1	
1	0,100	0,100	0,100	2,446	2446,0	2436
2 L20K8	0,099	0,100	0,100	2,426	2450,5	
3	0,100	0,100	0,100	2,412	2412,0	
1	0,100	0,100	0,100	2,420	2420,0	2429
2 L35K8	0,100	0,099	0,100	2,416	2440,4	
3	0,101	0,100	0,100	2,450	2425,7	
1	0,100	0,099	0,100	2,457	2481,8	2459
2 L35	0,100	0,099	0,100	2,420	2444,4	
3	0,099	0,099	0,100	2,402	2450,8	
1	0,100	0,100	0,100	2,449	2449,0	2453
2 Ref2.B30	0,100	0,101	0,100	2,451	2426,7	
3	0,100	0,099	0,100	2,458	2482,8	
1	0,100	0,100	0,099	2,471	2496,0	2463
2 L20K20	0,101	0,100	0,100	2,454	2429,7	
3	0,100	0,101	0,099	2,462	2462,2	

28 dager						
Terning nr. Resept	Bredde [m]	Lengde [m]	Høyde [m]	Vekt [kg]	Tetthet [kg/m <sup>3</sup> ]	Gjennomsnitt [kg/m <sup>3</sup> ]
1	0,099	0,100	0,100	2,414	2438,4	2452
2	0,099	0,100	0,100	2,425	2449,5	
3	0,100	0,100	0,100	2,440	2440,0	
4	0,099	0,100	0,099	2,430	2479,3	
1	0,100	0,100	0,100	2,423	2423,0	2426
2	0,100	0,100	0,100	2,427	2427,0	
3	0,099	0,100	0,100	2,425	2449,5	
4	0,101	0,101	0,100	2,452	2403,7	
1	0,099	0,100	0,100	2,407	2431,3	2424
2	0,101	0,100	0,100	2,449	2424,8	
3	0,100	0,100	0,099	2,423	2447,5	
4	0,100	0,100	0,100	2,432	2432,0	
5	0,100	0,100	0,101	2,430	2405,9	
6	0,100	0,101	0,101	2,452	2403,7	
1	0,100	0,100	0,101	2,408	2384,2	2417
2	0,100	0,100	0,099	2,415	2439,4	
3	0,099	0,100	0,100	2,402	2426,3	
1	0,099	0,101	0,100	2,442	2442,2	2445
2	0,100	0,100	0,100	2,464	2464,0	
3	0,100	0,101	0,100	2,476	2451,5	
4	0,101	0,101	0,100	2,469	2420,4	
1	0,100	0,100	0,099	2,454	2478,8	2451
2	0,099	0,101	0,100	2,413	2413,2	
3	0,099	0,100	0,100	2,427	2451,5	
4	0,100	0,100	0,100	2,461	2461,0	