



Universitetet  
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

## MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:  Bygg – Konstruksjonsteknikk og materialteknologi	Vårsemesteret, 2015  Åpen
Forfatter: Magnus Gade Skjeggerud	..... (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså Veileder(e): Knut O. Kjellsen	
Tittel på masteroppgaven: Luftinnføring i betong med Portland-flygeaske sementer Karboninnhold i- og behandling av flygeaske Engelsk tittel: Air entrainment of concrete with Portland-flyash cements Carbon content in- and treatment of flyash	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Luftinnføring i betong; Karbon i flygeaske; Air entrainment in concrete; carbon content in fly ash	Sidetall: 32  + vedlegg/annet: 46  Stavanger, 15.06.2015 dato/år

## **Forord**

Denne masteroppgaven er skrevet ved Universitetet i Stavanger (UiS) i samarbeid med Norcem Brevik. Alle forsøk og tester gjennomført i sammenheng med denne oppgaven ble utført ved Norcem Brevik sitt laboratorium. En stor takk til Norcem for godt samarbeid og for å stille med et slikt godt miljø for læring og utvikling. Takk også for mengden materialer som ble stilt til min disposisjon.

Takk til min veileder ved Norcem Brevik, Forskningssjef Dr. Ing. Knut O. Kjellsen. Han kom med denne spennende problemstillingen og har bidratt masse underveis.

Takk til min veileder ved Universitetet i Stavanger, Kjell Tore Fosså, for veiledning og gode samtaler underveis.

Takk til Kjell Skjeggerud og Tor-Magnus Zachariassen for å stille opp, høre på meg og hjelpe meg videre da jeg stod fast.

Takk til Dr. Ing. Ketil Svinning for stort engasjement og god veiledning og hjelp til litteraturstudiet og behandling av data.

En stor takk også til Marius Lykke Amundsen som har vært en uvurderlig hjelp på laboratoriet og en god støttespiller gjennom det hele.

En takk til alle på lab'en som gjorde dette til en god opplevelse i et artig miljø.

### Presentasjon av oppgaven

Ved produksjon av betong for utvendige værutsatte konstruksjoner er frostbestandighet viktig. For å oppnå frostbestandig betong tilsettes luftinnførende stoffer ved betongblanding. Dette gir betongen et finfordelt luftporesystem. I statens vegvesens prosesskode 2 [1] står det:

”Dersom betongens frostbestandighet ikke dokumenteres på annen måte akseptert av byggherren, skal doseringen av luftinnførende tilsetningsstoff være slik at luftporevolumet målt i den ferske betongen umiddelbart før utstøping (etter eventuell pumping) er:

5,0 ± 1,5 % for spesifiserte fasthetsklasser til og med B 45,

3,5 ± 1,5 % for spesifiserte fasthetsklasser over B 45.”

Å oppnå kravene til luftinnhold er ikke alltid så enkelt bl.a. fordi luftinnføring kan være følsomt overfor selv små variasjoner i egenskaper til delmaterialene i betong. Det kan også være et stort antall faktorer som påvirker luftinnføringen. Norcem Brevik har tidligere hatt kontakt med kunder som med en gitt betongresept og dosering av L-stoff har fått luftinnhold i fersk betong godt innenfor kravene den ene dagen, mens neste dag er den langt utenfor kravene. [2]

Med utgangspunkt i en MF40 resept har jeg støpt betong med målsetning om å kunne utrede hvordan noen av betongens mindre åpenbare variabler vil påvirke luftinnføringen.

### **Sammendrag**

Ved produksjon av betong for utvendige værutsatte konstruksjoner er frostbestandighet viktig. Å oppnå kravene til frostbestandig luftinnhold er ikke alltid så enkelt bl.a. fordi luftinnføring kan være følsomt overfor selv små variasjoner i egenskaper til delmaterialene i betong. Det er tidligere blitt gjort arbeid som indikerer at karboninnholdet i sementen vil påvirke L-stoffets evne til luftinnføring.

Det er i denne oppgaven tatt utgangspunkt i en MF40 betong. Oppnådd luftinnhold ved henholdsvis 0, 30 og 60 minutter er målt i ferskbetong ved forskjellige karboninnhold i flygeasken.

Økt karboninnhold i FA vil gi et behov for mer L-stoff i betongen. Basert på flygeaske med karboninnhold som ligger ved ytterkantene av normal variasjonsbredde for flygeaske levert til Norcem Brevik, vil behovet for L-stoff for å oppnå 4 % luft variere fra 0,30 % til 0,45 % av bindemiddelsvekten.

Konsistensnivået vil ha en stor betydning for oppnådd luftinnhold og luftstabilitet. Det er i oppgaven gjort observasjoner som tyder på at det finnes et optimalt konsistensnivå der betongen har mest stabilt høyt luftnivå.

## Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b> .....	<b>2</b>
<b>PRESENTASJON AV OPPGAVEN</b> .....	<b>3</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>4</b>
<b>FORKORTELSER OG TERMINOLOGI ORDBOK</b> .....	<b>6</b>
<b>INTRODUKSJON</b> .....	<b>6</b>
<b>BAKGRUNN</b> .....	<b>7</b>
<b>LITTERATURSTUDIE</b> .....	<b>8</b>
HVORDAN VIRKER LUFTSTOFF? .....	8
HVA HAR ANDRE GJORT? .....	9
HVORFOR/HVORDAN VIL KARBONINNHOLD PÅVIRKE LUFTINNFØRINGEN? .....	10
<b>PRAKTISK UTFØRELSE I LAB</b> .....	<b>11</b>
FREM GANGSMÅTE OG BESKRIVELSE AV UTFØRT LABORATORIEARBEID .....	11
MATERIALER .....	12
KOMMENTARER TIL EKSPERIMENTET .....	12
METODEBESKRIVELSER.....	12
<i>Blandeprosedyre</i> .....	12
<i>Konsistenstest</i> .....	12
<i>Lufttest</i> .....	12
<i>Romvekt</i> .....	13
<i>Støp av klosser 10x10cm</i> .....	13
<i>Test av fasthet</i> .....	13
<i>Maling av FA i kulemølle</i> .....	13
<i>Skummetest (Foam Index)</i> .....	13
<b>RESULTATER</b> .....	<b>14</b>
<b>RESULTAT - DEL 1 – FLYGEASKE MED FORSKJELLIG KARBONINNHOLD</b> .....	<b>14</b>
<b>RESULTAT - DEL 2 – FLYGEASKE MALT I KULEMØLLE</b> .....	<b>21</b>
<b>RESULTAT - DEL 3 – KONSISTENSENS BETYDNING FOR LUFTINNFØRING</b> .....	<b>24</b>
<b>RESULTAT – DEL 4 – MULTIVARIAT DATAANALYSE</b> .....	<b>27</b>
<b>HOVEDKONKLUSJONER OG KOMMENTARER</b> .....	<b>29</b>
<b>FORSLAG TIL VIDERE ARBEID</b> .....	<b>31</b>
<b>REFERANSER</b> .....	<b>32</b>
<b>VEDLEGG</b> .....	<b>33</b>
RESULTATER .....	33
FASTHETSTAP OBSERVERT I BETONGEN VED Å INNFØRE LUFT .....	34
BOMSTØP – TIDLIG OBSERVASJON AV KONSISTENSENS PÅVIRKNING PÅ LUFTINNHOLD .....	34
KJEMISK ANALYSE STD SEMENT BP-06-14 .....	35
KJEMISK ANALYSE FA LN-15-14.....	36
KJEMISK ANALYSE FA LN-16-14.....	37
KJEMISK ANALYSE FA LN-17-14.....	38
KJEMISK ANALYSE FA LN-09-15.....	39
DATABLAD L-STOFF .....	40
DATABLAD SP-STOFF .....	43
METODEBESKRIVELSE MULTIVARIAT DATAANALYSE.....	46

## **Forkortelser og terminologi ordbok**

L-stoff – Luftinnførende stoff

SP-stoff – Superplastiserende stoff

FA – Flygeaske

STD sement – Standard sement

Bigbag – Sementsekk som rommer 1250kg sement

FI – Foam index

## **Introduksjon**

For å oppnå en tilstrekkelig frostsikkerhet må betong inneholde luft med tilstrekkelig god porestruktur med størrelse 0,02mm til 0,3mm og avstandsfaktor under 0,15mm (fryse/tine resistent) [13]. Dette oppnås ved å tilsette et L-stoff. Doseringen av L-stoff som må til for å oppnå tilfredsstillende mengde luft har vist seg å være relativt uforutsigbar.

Det er tidligere blitt gjort arbeid som indikerer at karboninnholdet i sementen vil påvirke L-stoffets evne til luftinnføring[5][7][9][10][11]. Det er imidlertid gjort lite utdypende arbeid på dette med utstøping i betong. Målsetningen for oppgaven er derfor å undersøke og dokumentere effekten av karboninnholdet i sementen på ferskbetongens luftinnhold. Det antas at porestrukturen er tilfredsstillende god for luft innført ved bruk av L-stoff. Det er derfor i denne oppgaven ikke blitt gjort undersøkelser av porestruktur, men kun av ferskbetongens luftinnhold.

Sementens karboninnhold kommer i hovedsak fra FA. FA er et biprodukt fra kullfyrte kraftverk og karbonet i FA er ubrent kull. FA tilsettes sementen fordi det blant annet gjør betongen enklere å komprimere, senker varmeutvikling under hydratisering, øker herdet betongstyrke, gir mindre kryp, gir bedre porefordeling og en mer miljøvennlig betong. [7][9] Betongen blir mer miljøvennlig fordi under produksjonen av sement dannes det store mengder CO<sub>2</sub>, 60 % dannes i forbindelse med kalsinering av kalkstein og de resterende 40 % dannes av forbrenningsprosessen i ovnen. En enkel måte å redusere mengden CO<sub>2</sub> per tonn sement er å erstatte en del klinker i sementen med for eksempel FA. [21]

I betong kan karbon også komme fra silikastøv. Silikastøvet inneholder også en liten rest uforbrent kull. For å begrense antall parametere som kunne variere ble ikke silikastøv benyttet eller undersøkt i dette forsøket. [23]

I Norcem sin nye STDFFA sement vil også noe av karboninnholdet komme fra karbon i kalkmelet som tilsettes, men dette karbonet er bundet opp slik at dette ikke vil reagere med L-stoffet.[12]

### **Bakgrunn**

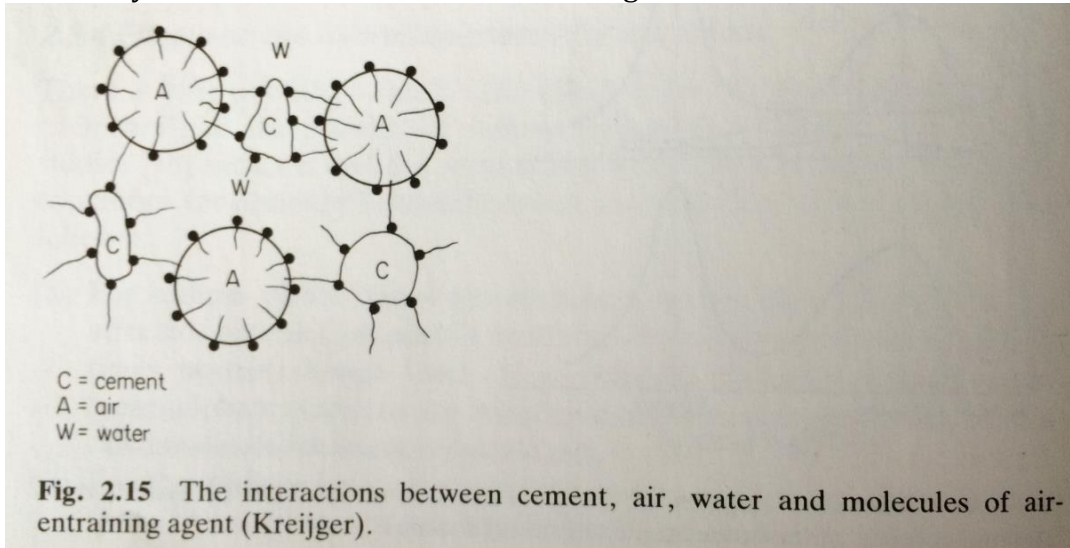
Bakgrunn for oppgaven vil være et ønske om å få bedre oversikt over hvordan luftinnføringen i betong blir påvirket av variasjoner i sementen. Dette vil gjøre at:

- Det vil være enklere å forstå hvorfor oppnådd luft varierer selv om resept og doseringer er holdt konstante.
- Sementprodusenten vil lettere kunne assistere betongprodusentene på spørsmål og klager rettet mot luftinnføring. Det vil også bli enklere å bestemme om problemet ligger i sementen eller i produksjon av betong.
- Økt kunnskap på området er nødvendig og vil gjøre betongprodusentenes hverdag litt enklere.

## Litteraturstudie

### Hvordan virker luftstoff?

I *Chemical Admixtures for Concrete* [3] står det at luftstoffer i hovedsak er anioniske tensider. Det vil si at de er overflateaktive stoffer, bygd opp av en hydrofob (vannavstøtende) hydrokarbonrest og en hydrofil (vanntiltrekkende) del[4]. Ved tilsetning til sementpastaen vil noe av L-stoffet adsorbere på sementpartiklene med sin hydrofile ende mot sementpartiklene. Under miksing av betongen vil det dannes små luftbobler. Disse vil stabilisere seg som mikroskopiske sfærer ved å feste seg til L-stoffets hydrofobe ende. Dette er illustrert i figuren under.



Figur 1 - Kilde: [3] *Chemical Admixtures for Concrete*, second edition (1986), M.R. Rixom and N.P. Mailvaganam

Samtidig som det står hvordan L-stoffet fungerer så står det også at de følgende parametrene vil påvirke luftinnføringen:

- Dosering av L-stoff.  
I alle blandinger vil en større dosering L-stoff føre til mer innført luft.
- Blandeteknikker.  
Hvor lenge man blander, og i hvor stor grad man utnytter betongblanderens maksimum blandevolum har vist seg å ha en effekt på luftinnholdet i betongen. Etter å ha blandet betongen en viss tid vil den ha oppnådd sitt maksimum nivå av innført luft. Hvor lenge dette er har vist seg å avhenge av mengden sement i betongblandingen. Videre blanding etter maksimum innført luft er oppnådd vil redusere mengden innført luft.
- Sement egenskaper.
  - o Finhet  
Endring i finhet kan ha stor innvirkning på doseringen L-stoff som må til for å oppnå tilfredsstillende mengde luft. Finere sement krever mer L-stoff.
  - o Sement mengde  
Mengden innført luft avtar med økende mengde sement.
- Konsistens.  
Desto høyere slump, desto mer luft vil bli innført, gitt at doseringen L-stoff blir holdt konstant. Dette er det motsatte av hva som er blitt observert og diskutert i del 3 av denne oppgaven.



- Tilslagstype og mengde.
  - Grovt tilslag  
Maskinknust tilslag kan inneholde en så stor mengde støv at det vil påvirke kurven til det fine tilslaget. Ellers ingen effekt.
  - Fint tilslag  
Økt mengde sand og økt mengde finstoff i sanden i betongen vil føre til økt mengde innført luft.
- Fillerer og pozzolaner.  
Tilsetning av flygeaske vil øke doseringsbehovet for L-stoff for å oppnå tilfredsstillende mengde luft.
- Temperatur.  
Høyere temperatur gir lavere mengde innført luft.
- Tilsetningsstoffer som reduserer vannbehov.  
Bruk av vannreducerende tilsetningsstoffer vil endre betongens konsistens og dermed påvirke behovet for L-stoff slik som kommentert på konsistens over.

### Hva har andre gjort?

Det er enighet om at karboninnholdet i FA er en parameter som påvirker behovet for L-stoff. [2][5][7][9][10][11]

Karbonet adsorberer en del av L-stoffet og reduserer derfor den allerede lave konsentrasjonen av L-stoff i blandingen. Dette resulterer i at betongen ikke vil oppnå den ønskede mengden luft. Å øke dosen L-stoff vil motvirke denne effekten.[7]

Ikke bare mengden, men også typen karbon har noe å si:

“There are three distinct carbon types in fly ash, inertinite, isotropic cock, and anisotropic cock. Inertinite is the oxidized form of carbon; the other two are non-oxidized forms. The non-oxidized form of carbon has a non-polar surface similar to the activated carbon surface and can physically adsorb hydrophobic compounds.” [8]

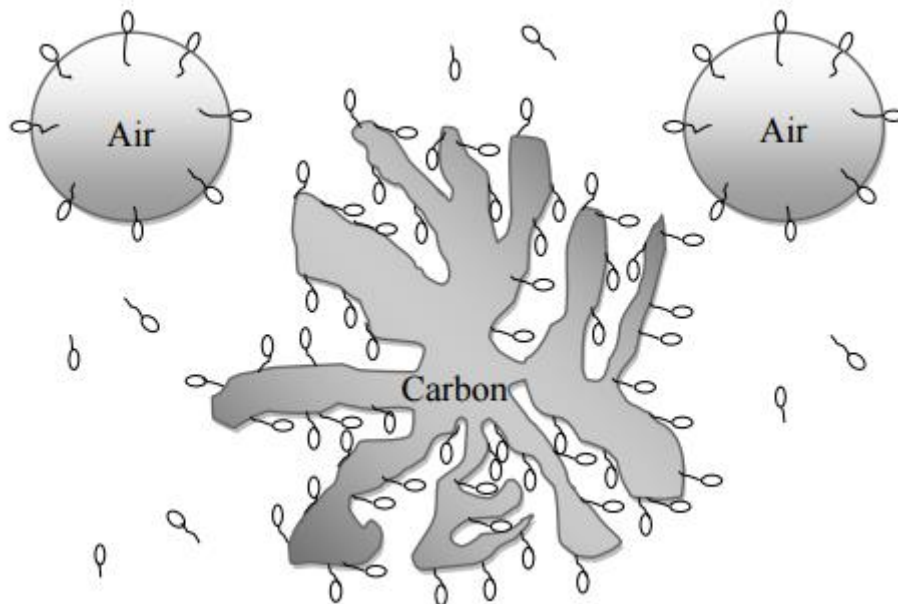
Effekten på L-stoff behov pga. FA er større ved å senke «median partikkelstørrelse» på FA. De fineste kullpartiklene bidrar i større grad enn de større. Fordi karbonet er mer tilgjengelig for å reagere med L-stoff.[9]

Ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) er det gjennomført en studie på Foam Index, målet var å finne ut hvordan forskjellige typer L-stoff og forskjellig karboninnhold i FA påvirket foam indexen. Konklusjonen ble at FA med høyt karboninnhold har høyere FI enn FA med lavt karboninnhold. Dette ble observert for alle L-stoffene som ble undersøkt. [5]

Foam index testen gir en god indikasjon på innvirkningen FA vil ha på luftinnføringen. Testen er allikevel ikke veldig nøyaktig fordi den er basert på subjektive observasjoner og ikke basert på likevekt.[7]

### Hvorfor/hvordan vil karboninnhold påvirke luftinnføringen?

Hypotesen er at karbonet binder seg til L-stoffets hydrofobe ende (halen) og dermed reduserer mengden L-stoff som vil kunne holde på luftboblene.



Figur 2 - Illustrasjon som viser hvordan L-stoff adsorberer til karbonet i FA. Kilde: [7] Ahmed, Zeyad Tareq 2012

Ikke polare overflater på karbonet i FA gir aktive plasser der L-stoff kan adsorberes. Dette reduserer mengden L-stoff som blir igjen og som kan lage luftbobler i den flytende blandingen. Det er to grunner til at L-stoff som er adsorbent på karbonets aktive plasser ikke vil bidra til å lage luftbobler:

- Den hydrofobe delen av L-stoffet er adsorbent på karbonet og kommer derfor ikke i kontakt med vann og luft.
- L-stoffet kan trenge inn i porer i karbonpartiklene og dermed bli skjermet fra vann og luft.

## Praktisk utførelse i lab

### Fremgangsmåte og beskrivelse av utført laboratoriearbeid

For å minimere antallet faktorer som ville påvirke resultatene ble det satt opp en betongresept som ble brukt i alle forsøkene. De eneste variablene var:

- Typen FA som ble tilsatt sementen.
- SP-stoff doseringen.
- L-stoff doseringen.

Betongresepten anvendt:

Sement	399,5
Fritt vann	159,8
Absorbent vann	2,9
Sand 0/8	969,6
Grus 8/16	862,4
RMC 420M	
Sika AER S (1:9)	

Tabell 1 - Betongresepten. SP-stoff og L-stoff variert fra blanding til blanding. Tallene er oppgitt i kg/m<sup>3</sup>. Mengden sement oppgitt i tabellen er totalen av sement+FA(80%+20%).

Blandeprosedyren ble strengt fulgt og det ble derfor ikke etter-dosert SP-stoff. Grunnen til variasjonen i SP-stoff dosering var den varierende finheten til flygeasken. Høyere finhet på sement+FA blanding skal i teorien øke vannbehovet.

Det ble gjennom hele forsøket kun benyttet STD-sement fra en enkelt bigbag for å holde sementens egenskaper like. Innholdet i bigbagen er sett på som homogent og sementen er derfor sett på som lik gjennom hele forsøket.

Tilslaget, sand og grus, er også sett på som konstant, da leverandør av disse ikke endret seg i løpet av forsøket.

Blandingsforholdet til bindemiddelet har blitt holdt til 80 % STD sement + 20 % FA. Disse ble veid opp separat for hver enkelt blanding, deretter ble flygeasken tilsatt sementen på laboratoriet og lett blandet inn med en spade.

Ønsket synk var i intervallet 210+/-15 millimeter. I ettertid har det vist seg at betong med synk 195-200 kanskje var litt for stivt, dette diskuteres i forsøksdel 3.

Med en gang etter blanderen ble stoppet ble stoppeklokken resatt og en konsistenstest etterfulgt av en luftinnholdsmåling utført. Betongen brukt til konsistenstest ble dumpet tilbake i blanderen og luftbøttebetongen kastet.

Da den resatte stoppeklokken viste 30- og 60 minutter ble betongen remikset i 30 sekunder før påfølgende konsistens- og lufttest.

## Materialer

I denne oppgaven er flygeasken betegnet i forhold til sin relative karboninnhold verdi:

- [LN16-14](#) med Karboninnhold 2,81% betegnet Høy
- [LN17-14](#) med Karboninnhold 1,17% betegnet Lav
- [LN15-14](#) med Karboninnhold 1,98% betegnet Mid
- [LN09-15](#) med Karboninnhold 4,56% betegnet Ehøy (Flyveaske fra Eminerals)

Sementen anvendt i forsøket var Norcem STD-sement, [BP06-14](#).

Sp stoffet benyttet var Sika RMC420M.

L-stoffet benyttet var Sika AER S(1:9).

Alle doseringer L-stoff er oppgitt % av sementvekt basert på ferdig uttynnet L-stoff 1:9.

Kjemisk analyse av FA og sement finnes i vedlegg.

## Kommentarer til eksperimentet

Alle blandinger og målinger ble utført som beskrevet i Metodebeskrivelsene.

Det ble observert at vannet i SP stoffet ikke var blitt tatt høyde for ved innveining. Dette førte til at betongen har fått ca. 160 g for mye vann, noe som ikke har en større påvirkning av V/C-tallet (opp fra 0,400 til 0,409), men er verdt å nevne. Dette ble observert etter blanding av DB044, feilen ble deretter gjort bevisst for å holde reseptene like og for å opprettholde sammenlignbarhet.

## Metodebeskrivelser

### Blandeprosedyre

Ved betongblanding ble følgende blandeprosedyre anvendt:

Blanderen ble kontrollert om den var tilstrekkelig rengjort, deretter ble overflatene og "roterbladene" fuktet med svamp.

Tilsatte først 8-16mm tilslag(grus), deretter sement og så 0-8mm tilslag(sand).

Blanderen ble startet sammen med stoppeklokken.

- Ved 1 minutt ble vann med eventuelt L-stoff tilsatt uten å stoppe blanderen.
- Ved 2 minutter ble SP-stoff tilsatt.
- Ved 3 minutter ble blanderen stoppet.
- Ved 5 minutter ble blanderen startet igjen.
- Ved 7 minutter ble blanderen stoppet.

### Konsistenstest

Synkkjeglen ble fylt opp i 3 omganger og staket 25 ganger med stålstav etter hver fylling.

Stakingen var så dyp at den gikk gjennom hele "laget" uten å treffe det underliggende laget. Overflaten ble rettet av og kjeglen ble trukket opp sakte(ca. 10 sekunder).

Synk ble målt ved betongslumpens høyeste punkt. Det ble samtidig målt utbredelse.

[15][16]

### Lufttest

Luftbøtta ble fylt i 3 omganger. Det ble staket 25 ganger med stålstav og lett banket 10 ganger rundt kantene av bøtta mellom hver fylling. Stakingen var så dyp at den gikk

gjennom hele "laget" uten å treffe det underliggende laget. Ved spesielt stiv betong måtte bøtta bankes mer enn 10 ganger for å bli kvitt stakehullene fra stakingen. Lokket ble lagt på, overflatehulrommet fylt med vann, ventilene stengt, trykkammer pumpet opp til merket, testventilen sluppet opp og betongens luftinnhold ble lest av direkte på manometeret. [17]

### Romvekt

Luftbøtta har kjent egenvekt og volum. I sammenheng med lufttest ble bøtten med betong, uten lokk, veid. Romvekten av fersk betong ble funnet ved å ta registrert vekt, trekke fra egenvekt av luftbøtta og dele på volumet av bøtta.

### Støp av klosser 10x10cm

Støpeformen ble fylt full, og deretter staket 25 ganger med stålstav. «Pusset» langs sidene med en sparkel for å få glatte og fine overflater på terningene uten tilslag langs sidene. Rettet av og pusset toppen. Ga et par lette slag per side med hammer før formen ble satt i vannbad som holdt 20 grader celsius for herding. [18][19]

### Test av fasthet

La betongklossen inn i betongpressen med den røe overflaten ut og «nuppene» til siden. Noterte trykk ved første brudd. [20]

### Maling av FA i kulemåle

Kulemåle ble fylt med 9000g FA. Den ble startet og hadde timer satt til 7 eller 30 minutter. Etter henholdsvis 7 eller 30 minutter endret man fra solid lokk til lokk med «rist» og kjørte 2 minutter for å tømme ut innholdet.

### Skummetest (Foam Index)

Skummetesten utføres som følger:

1. Tilsett 20g sement i et glass med lokk.
2. Tilsett 50g vann og rist skikkelig i 1 minutt.
3. Tilsett fortynnet luftstoff i små doser, 1 til 5 dråper. Rist i 15 sekunder.
4. Observer om det er oppnådd stabilt skum. Stabilt skum er oppnådd når hele overflaten er dekket av bobler i 45 sekunder etter risting.
5. Om stabilt skum ikke er oppnådd gjenta fra steg 3.

Når stabilt skum er oppnådd vil Foam Indexen(FI) til sementblandingen være mengde luftstoff tilsatt (ml) delt på mengden sement (kg). [14]

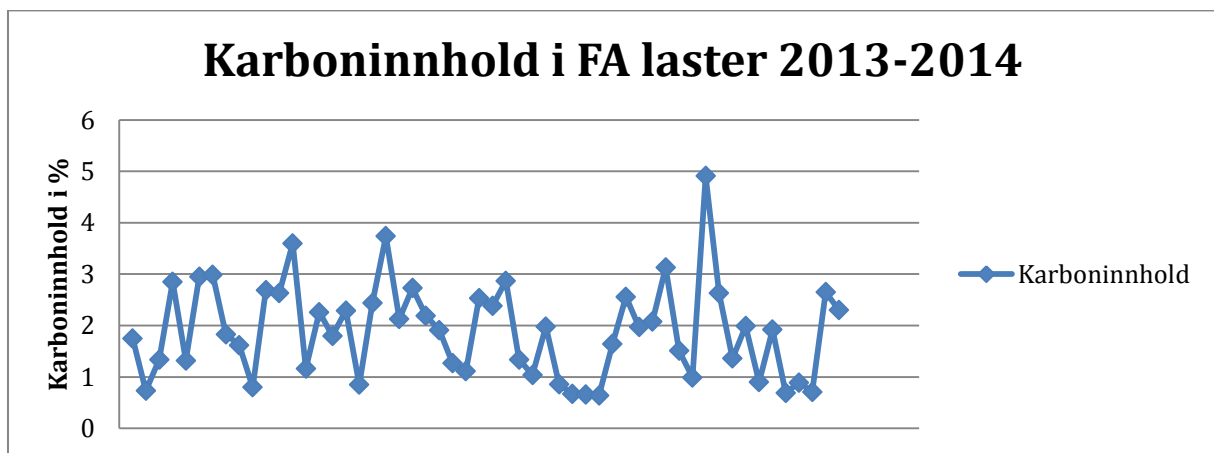
## Resultater

Alle enkeltresultater fra betongblandingene er gitt i [tabell](#) i vedlegg.

Figur i [vedlegg](#) illustrerer fasthetstapet man observerer i betong ved å innføre luft og at betongen støpt i dette forsøket har generelt god og forventet fasthet innenfor variasjonene man kan forvente av betong.

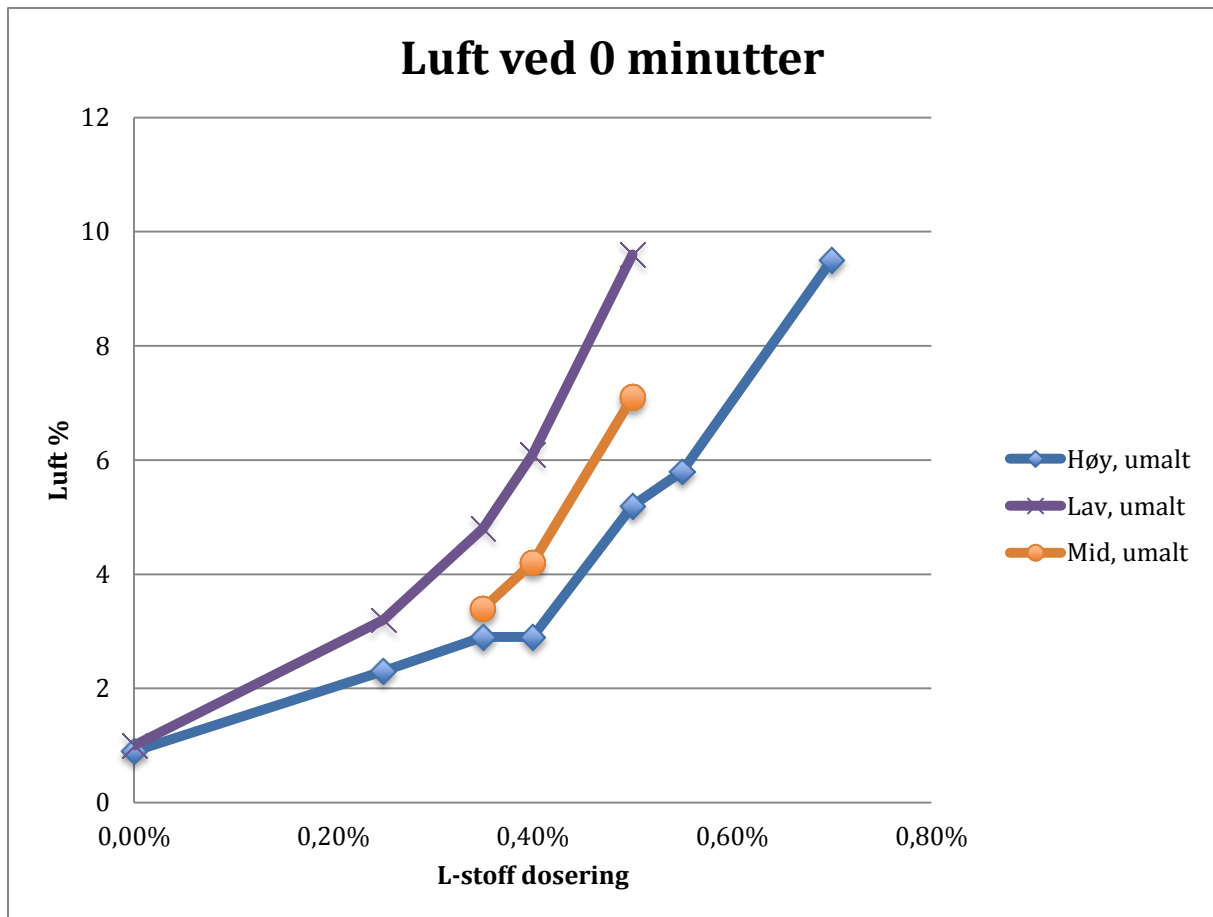
### Resultat - Del 1 – Flygeaske med forskjellig karboninnhold

Hensikten med forsøksdel 1 var å kartlegge om flygeaskens karboninnhold ville ha en innvirkning på oppnådd luft i fersk betong både umiddelbart etter blanding og over tid. Støpte derfor betong ved forskjellige L-stoff doseringer med de utvalgte flygeaskene. Flygeaskene ble plukket ut fra et utvalg av flygeaske-prøver tatt ut ved leveranse til Norcem Brevik høsten 2014. Valgte flygeasker basert på karboninnhold, plukket ut den høyeste(2,81 %), den laveste(1,17 %) og en midt imellom(1,98 %).



Figur 3 - Karboninnhold i FA laster levert til Norcem Brevik fra januar 2013 til november 2014.

Som figur 3 viser vil intervallet som er undersøkt godt representere det som faktisk er blitt levert. Det er noen utstikkere som havner på utsiden av det undersøkte intervallet, men disse er sjeldne. Siden desember 2014 har Norcem Brevik byttet til å få FA levert fra nye kullkraftverk i Tyskland og Nederland, disse leverer FA med mye mer stabilt og lavt karboninnhold[6]. De tre utvalgte flygeaskene vil gi et godt bilde for spredningen i karboninnhold som forventes i flygeaskeleveranser i årene fremover. [22]



Figur 4 - Oppnådd luft etter 0 minutter ved gitte L-stoff doseringer for forskjellig FA. L-stoff doseringen er gitt som % av sementvekt. (Høy - 2,81 % Karbon, Mid - 1,98 % Karbon, Lav - 1,17 % Karbon)

Figur 4 illustrer at det er en sammenheng mellom karboninnhold og oppnådd luft. FA med høyt karboninnhold vil gi en betong som krever mer L-stoff for å oppnå en gitt mengde luft enn det FA med lavt karboninnhold vil gi. FA Mid har lagt seg midt mellom høy og lav, noe som kan tyde på en ganske lineær sammenheng mellom karboninnhold og oppnådd luft.

Det er også blitt gjort en skummetest som viser mye av det samme som man ser i figur 4. Mengden L-stoff som må til for å etablere stabilt skum er høyere for FA med høyt karboninnhold.

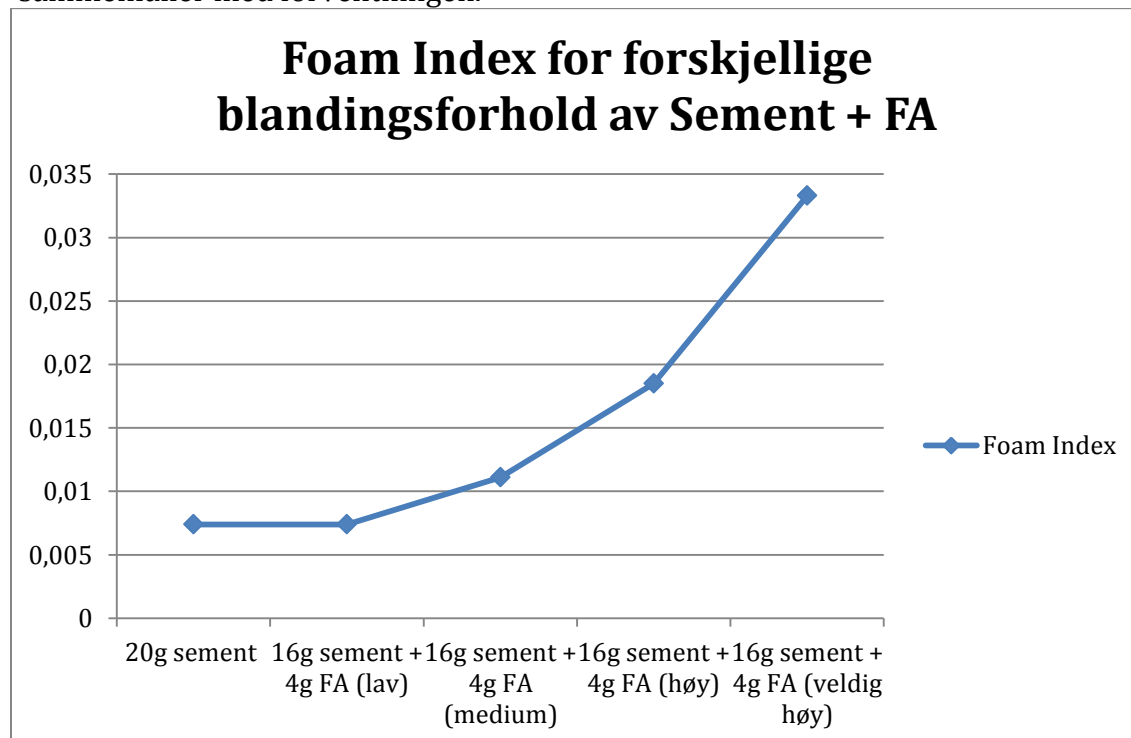
<b>Foam Index</b>				
<b>Prøvenr.</b>	<b>Sammensetning bindemiddel</b>	<b>Antall dråper</b>	<b>Mengde L-stoff (mL)</b>	<b>FOAM INDEX (mL/kg)</b>
1	20g sement	2	0,0074	0,37
2	16g sement + 4g FA (lav)	2	0,0074	0,37
3	16g sement + 4g FA (medium)	3	0,0111	0,555
4	16g sement + 4g FA (høy)	5	0,0185	0,925
5	16g sement + 4g FA (veldig høy)	9	0,0333	1,665
6	20g FA (lav)	9	0,0333	1,665
7	20g FA (medium)	20	0,074	3,7
8	20g FA (høy)	32	0,1184	5,92
9	20g FA (veldig høy)	75	0,2775	13,875

Tabell 2 – Resultat av skummetest. Foam index er mL – L-stoff per kg bindemiddel.

Foam indexen oppnådd i dette forsøket ligger ikke innenfor samme intervall som det funnet i [5]. Grunner til at foam index ikke er lik kan være:

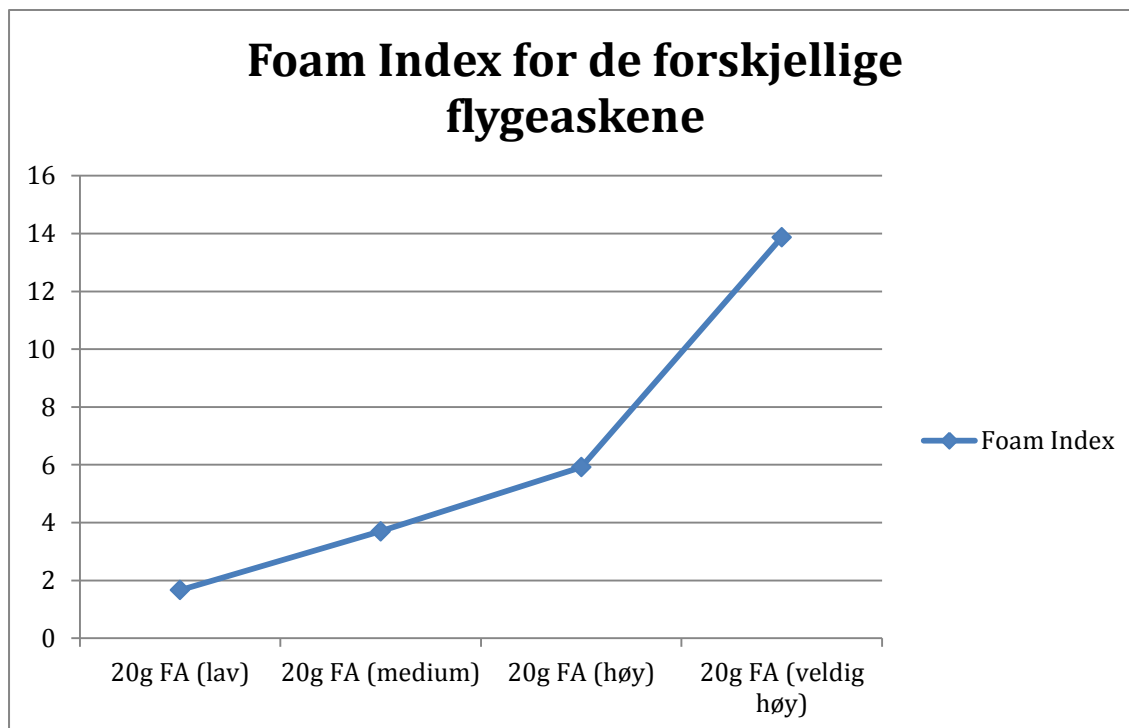
- Glasset som ble benyttet, diameter av glass.
- Typen L-stoff anvendt.
- Ristem metode.
- Basert på subjektive observasjoner av hver enkelt operatør.

Innad i dette forsøket vil likevel sammenlignbarhet være ivaretatt. Resultatene sammenfaller med forventningen.



Figur 5 – Foam Index for de forskjellige sement + FA blandningene.

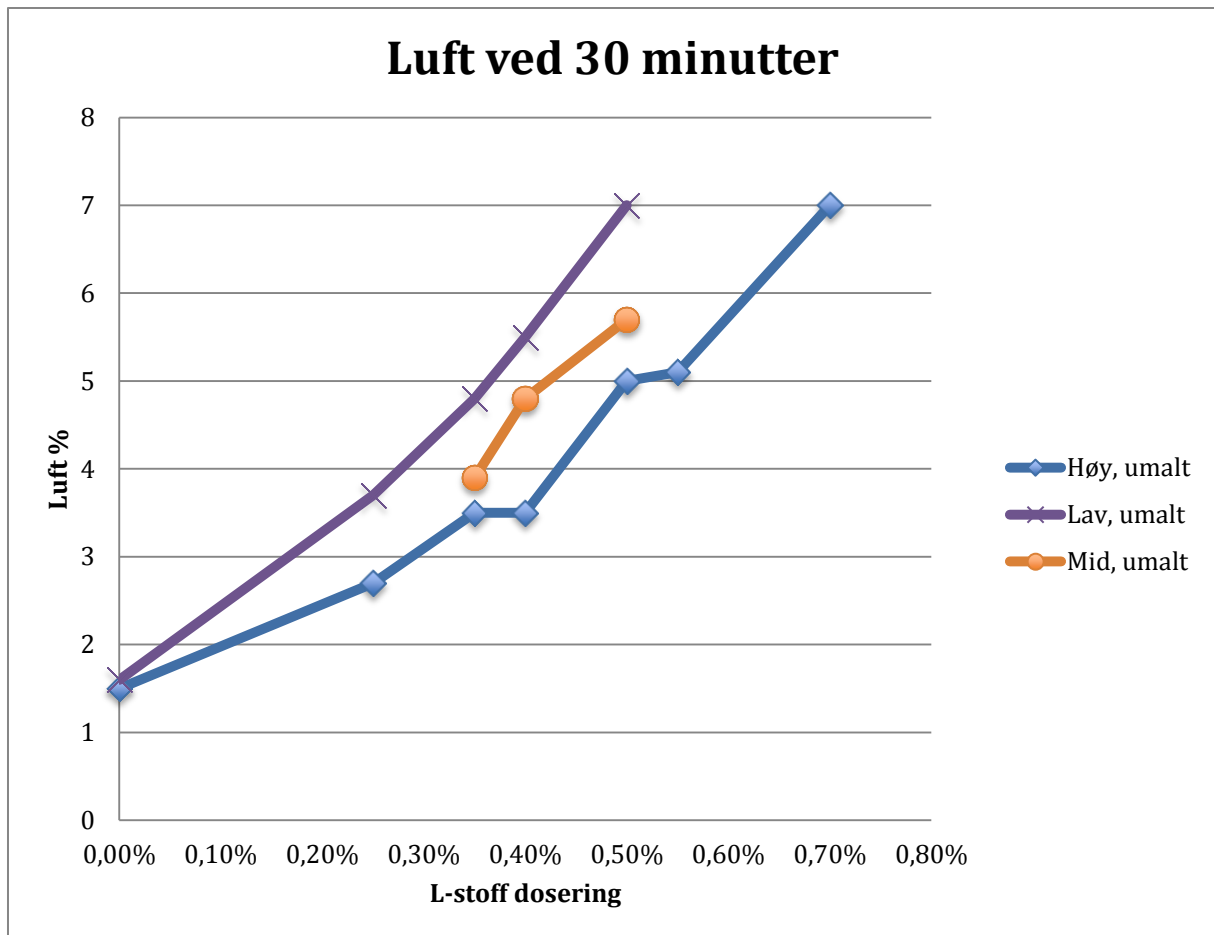




Figur 6 – Foam Index for de forskjellige flygeaskene.

Det kommer helt klart frem av resultatene fra skummetesten at mengden karbon i flygeasken vil ha en effekt. Økning av karboninnhold i FA gir en klar økning av mengde L-stoff som må til for å danne stabilt skum. Resultatene fra denne testen sett sammen med figur 4 viser godt at- og i hvor stor grad karboninnholdet påvirker luftinnføringen i betong.

Dette sammenfaller bra med konklusjonen til Stefan Jacobsen, Margrethe Ollendorff, Mette R. Geiker, NTNU. [5]



Figur 7 - Oppnådd luft etter 30 minutter ved gitte L-stoff doseringer for forskjellig FA. L-stoff doseringen er gitt som % av sementvekt. (Høy - 2,81 % Karbon, Mid - 1,98 % Karbon, Lav - 1,17 % Karbon)

Selv om kurven har endret form noe etter 30 minutter kan man se mange av de samme tendensene. Desto høyere karboninnhold i FA, desto høyere L-stoffdosering må til. Fortsatt ser det ut til en lineær sammenheng mellom karboninnhold i FA og oppnådd luft.

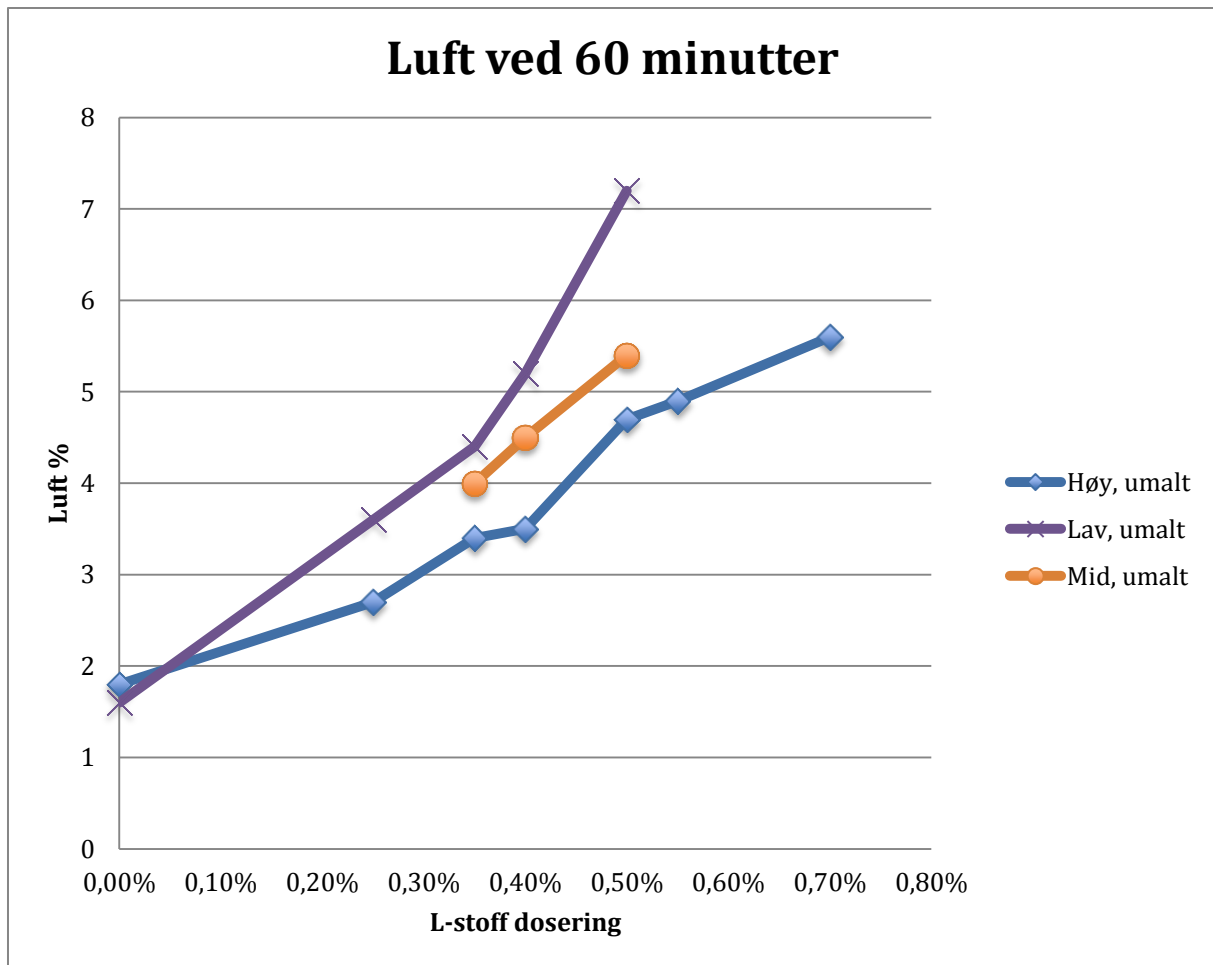


Fig 8 - Oppnådd luft etter 60 minutter ved gitte L-stoff doseringer for forskjellig FA. L-stoff doseringen er gitt som % av sementvekt. (Høy – 2,81 % Karbon, Mid – 1,98 % Karbon, Lav – 1,17 % Karbon)

Selv om kurven igjen har endret form noe etter 60 minutter kan man se mange av de samme tendensene. Desto høyere karboninnhold i FA, desto høyere L-stoffdosering må til. Fortsatt ser det ut til en lineær sammenheng mellom karboninnhold i FA og oppnådd luft.

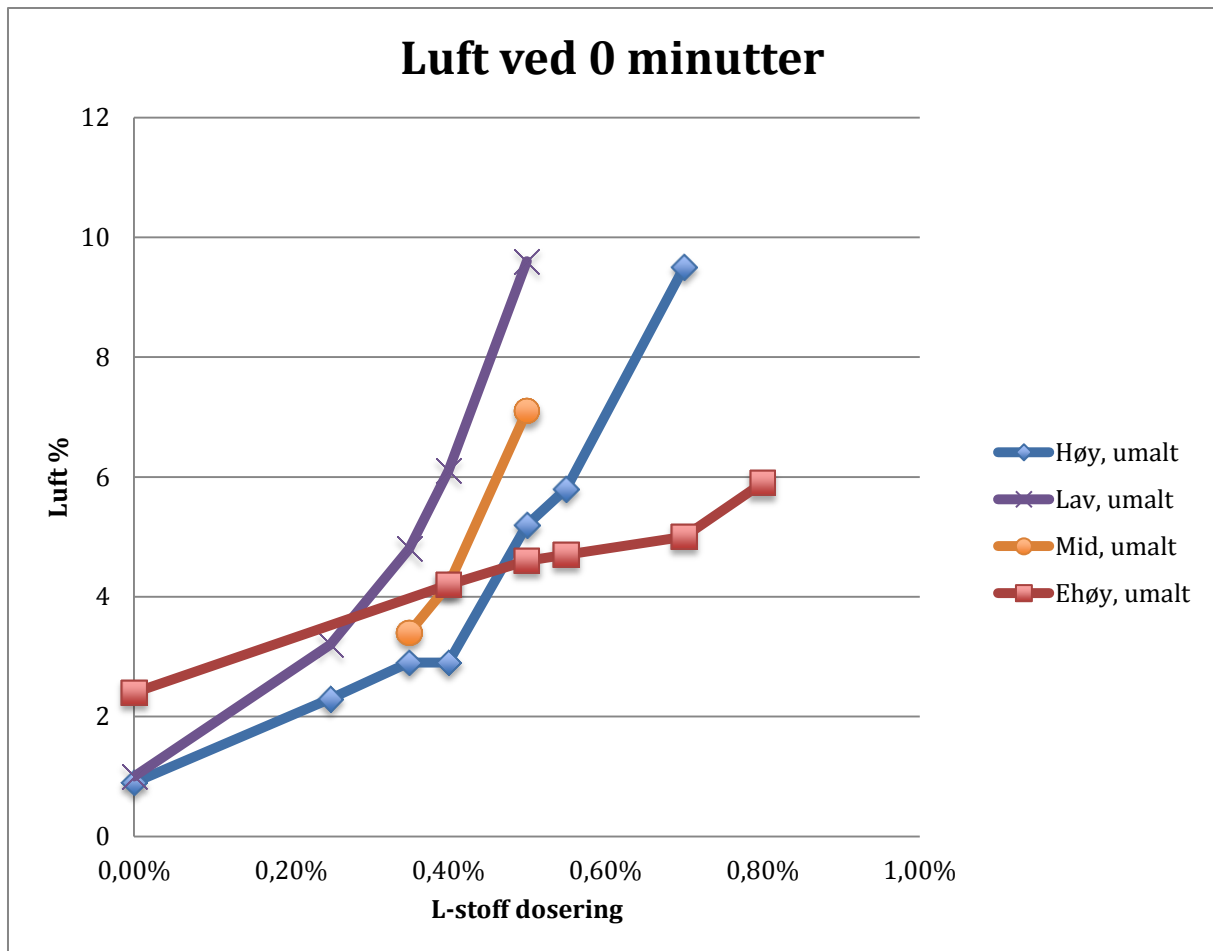


Fig 9 - Figuren illustrerer FA med ekstra høyt karboninnhold sin respons til L-stoff sammenlignet med de tre andre. (Ehøy – 4,56 % Karbon, Høy – 2,81 % Karbon, Mid – 1,98% Karbon, Lav – 1,17 % Karbon)

Etter utstøping var gjennomført med de tre først utvalgte flygeaskene ble det skaffet en fjerde flygeaske som hadde et veldig høyt karboninnhold. Høyere karboninnhold enn det som er vanlig for flygeaskeleveranser til Norcem i nyere tid (se Fig 3). Denne flygeasken ble levert av Eminerals og hadde et karboninnhold på 4,56 %. Som figuren over viser ble ikke oppnådd luft som forventet for betong støpt med denne flygeasken. Selv uten tilsatt luftinnførende stoff oppnår betongen 2,4 % luft og virker lite responsiv til tilsetningen av mer L-stoff i et stort intervall.

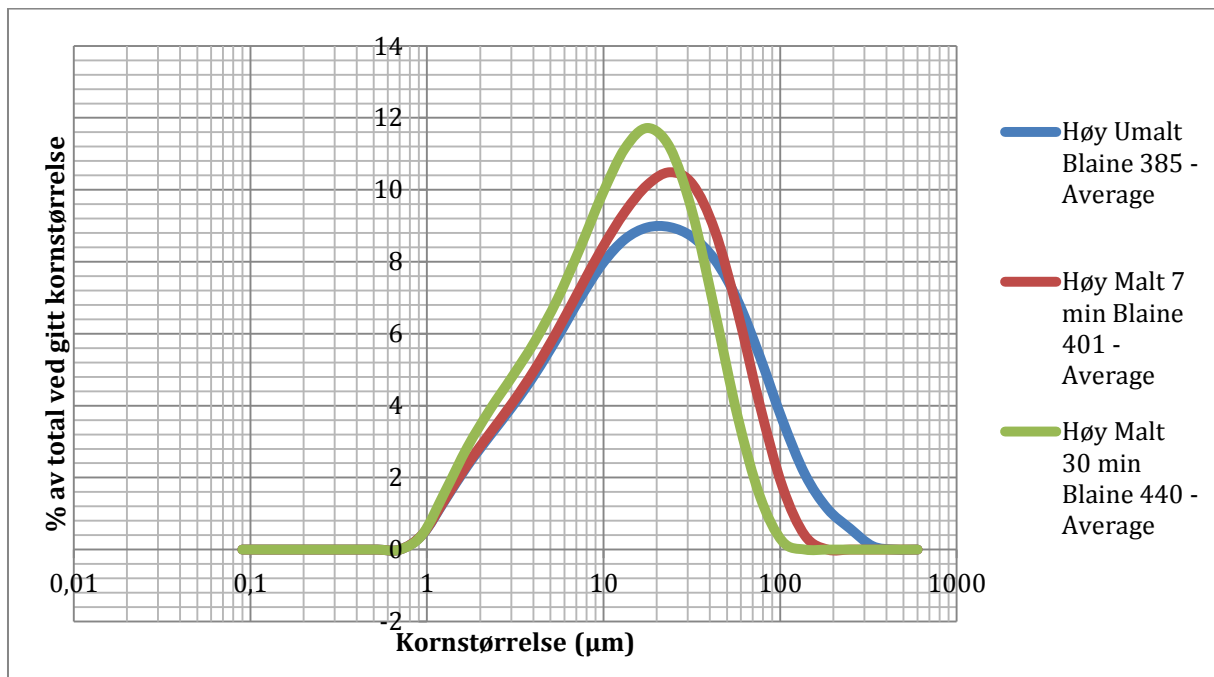
Det var forventet at denne flygeasken skulle være lite responsiv til doseringen av L-stoff. Dersom man tar seg friheten å flytte kurven, Ehøy, ned 1,4 % hele veien for å gjøre opp for at den får uventet mye luft uten tilsatt L-stoff, vil den legge seg fint i forhold til de tre andre kurvene. Det ser også ut til at den ville «tatt av» og fått samme form som de andre kurvene, bare forskjøvet til høyre akkurat som høy er forskjøvet i forhold til lav. Denne tendensen bekreftes delvis også av foam index testen. Velger allikevel å se bort ifra denne flygeasken fordi betong støpt med denne flygeasken:

- Oppnår unormalt mye luft uten tilsatt L-stoff.
- Ligger utenfor normalen for flygeasker levert til Norcem Brevik.
- Vil virke misvisende på figurer pga. den høye mengden luft uten l-stoff.

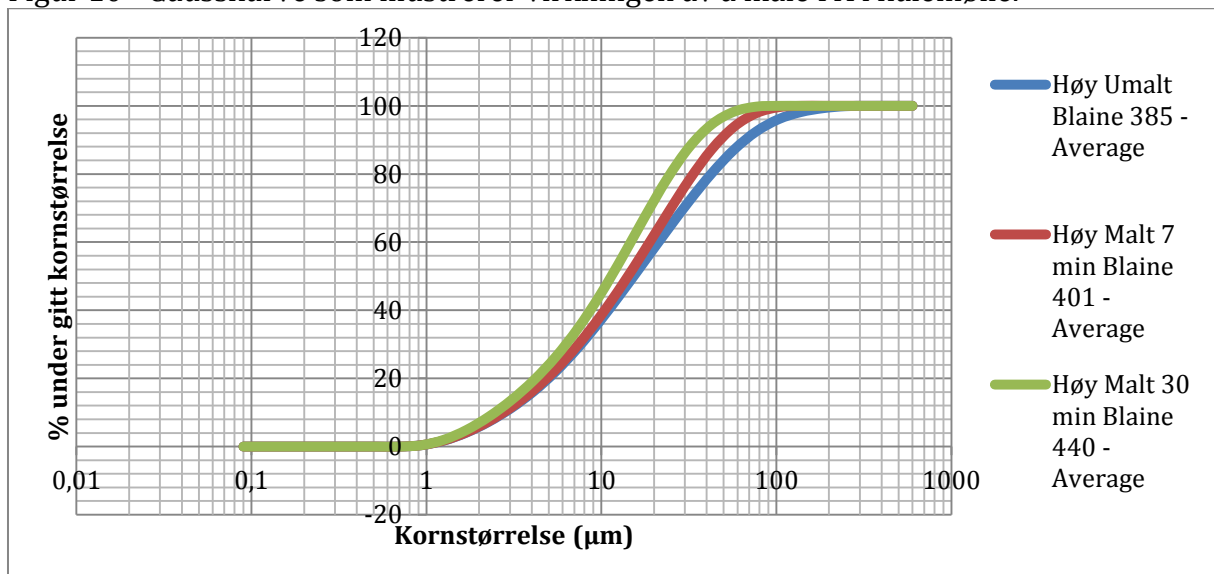
### Resultat - Del 2 – Flygeaske malt i kulemølle

Hensikten med forsøksdel 2 var å kartlegge om det å male FA ville ha innvirkning på dens påvirkning på luftinnføring. Mulige grunner til at maling av FA skal påvirke luftinnføring:

- Høyere finhet er gjennom litteraturstudie funnet som en parameter som påvirker luftinnføring.
- Dersom flygeasken pakker seg rundt det ubrente karbonet ved nedkjøling vil maling av FA frigjøre mer karbon. Dette karbonet som da ellers ville vært «pakket inn» kan nå reagere med L-stoff.
- Maling av FA vil også male karbonpartiklene til flere mindre partikler. Dette kan føre til at de kan reagere mer med L-stoffet.

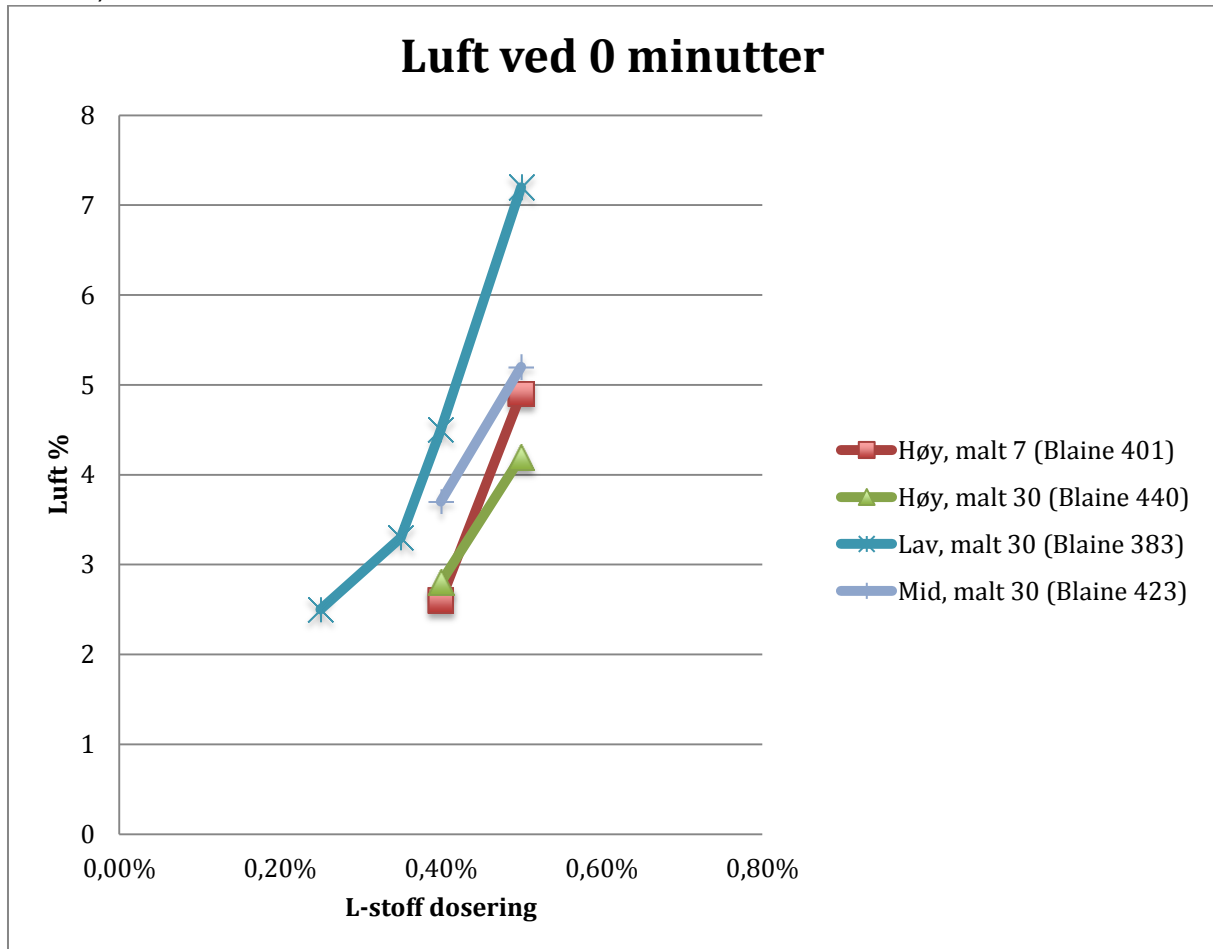


Figur 10 - Gausskurve som illustrerer virkningen av å male FA i kulemølle.



Figur 11 - Siktekurver som illustrerer virkningen av å male FA i kulemølle.

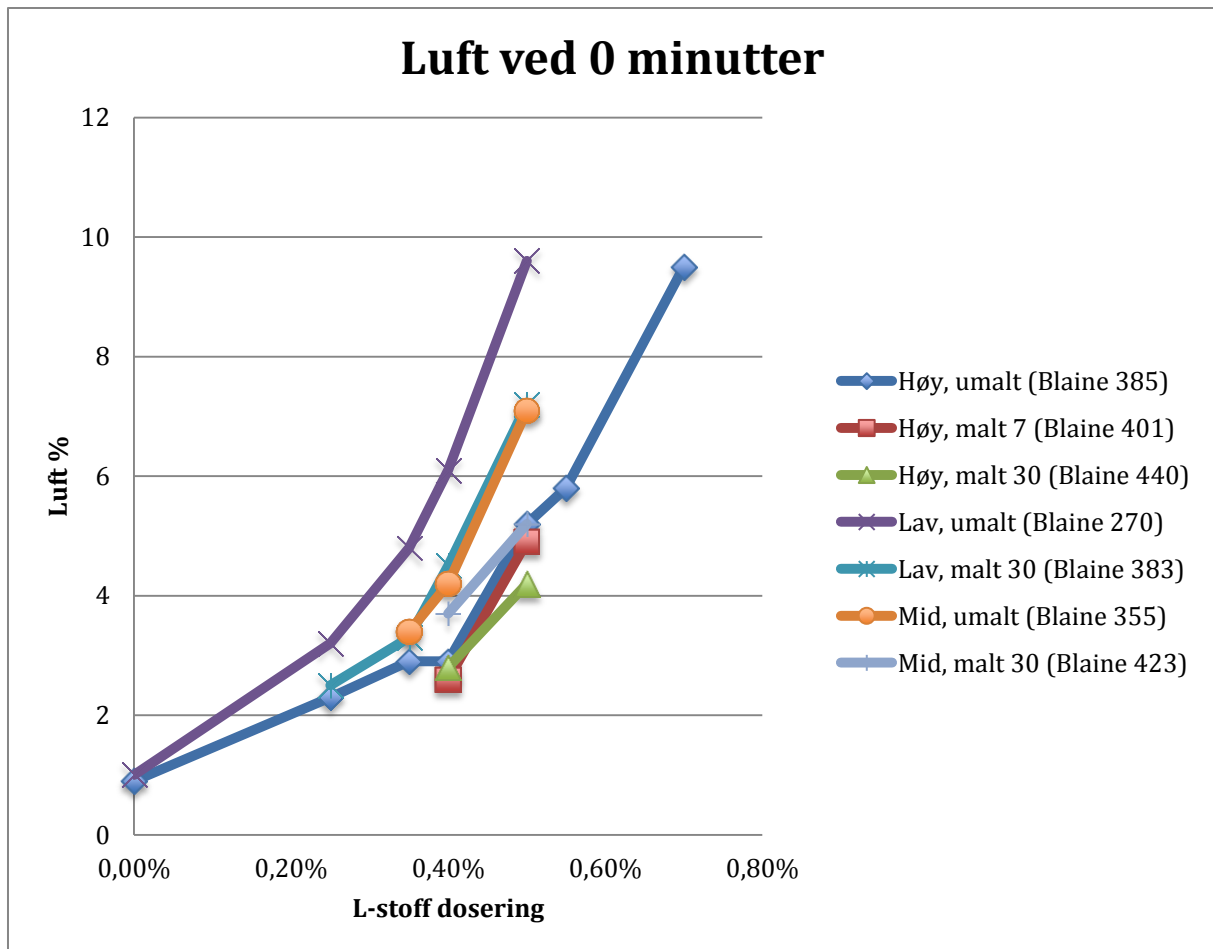
Figur 10 og 11 viser virkningen av å male flygeasken. Disse kurvene er fremstilt ved å analysere kornfordelingen av flygeasken ved bruk av Mastersizer 2000, dette er gjort ved og av Norcem Breviks kjemiske laboratorium. Etter 7 minutter maling er det stort sett de største partiklene som er blitt knust, kornfordelingen fra ca. 10 µm og nedover er tilnærmet uendret. Etter 30 minutter maling ser man at det fortsatt er størst endring ved de største kornstørrelsene, men her har kurven flyttet seg en del også ved de mindre kornstørrelsene.



Figur 12 - Malt FA, oppnådd luft i betong ved forskjellig L-stoff dosering.

Som figur 12 illustrerer ser man at også betong med malt FA vil ha en sammenheng mellom oppnådd luft og karboninnhold, veldig lik den som ble observert i del 1. Å male FA i 30 minutter vil ha en større påvirkning på innført luft enn det å male i 7 minutter har.

Det at kurvene for de betongene med høy, malt FA ikke nødvendigvis legger seg helt som forventet kan være fordi disse hadde relativt stor forskjell i konsistens, varierende fra 200 til 230. Sett i sammenheng med diskusjonen for konsistens i del 3, vil disse resultatene se bedre ut.



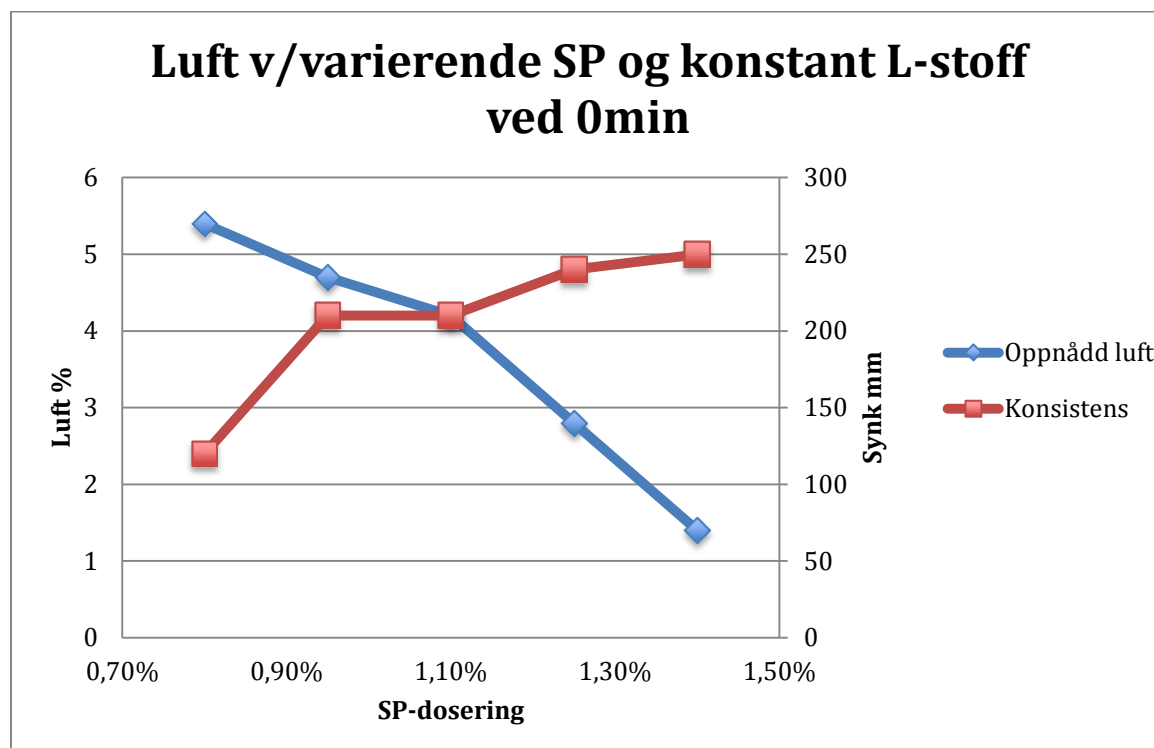
Figur 13 - Oppnådd luft i betong, malt FA sammenlignet med umalt FA.

I figur 13 over er figur 4 og 12 slått sammen for å sammenligne malt FA mot umalt FA. Det man ser er at lav malt FA oppnår luft nesten identisk som mid umalt FA. Den samme sammenhengen ser man ved mid malt FA mot høy umalt FA. Det vil si at å male flygeasken i 30 minutter i kulemølle vil ha en innvirkning på luftinnføringen tilsvarende å bruke en FA med 0,8 % mer karbon. Observasjonene i dette forsøket kan ikke si om dette skyldes høyere finhet på flygeasken og dermed høyere finhet på bindemiddelet, flere frie karbonoverflater gjort tilgjengelige eller høyere finhet på karbonpartiklene. For å finne ut av årsaken til den observerte effekten av å male flygeasken må det sees nærmere på flygeasken og dens karboninnhold med eventuelt et elektronmikroskop. Om det er mulig å observere hvor karbonet ligger i flygeasken og å gjøre en analyse av karbonets overflateareal vil man kunne si mer om hvorfor malingen av flygeasken har den effekten observert i dette forsøket.

### Resultat - Del 3 – Konsistensens betydning for luftinnføring

Under støping ble det gjort observasjoner som tydet på at konsistensen på den ferske betongen ville ha stor innvirkning på mengde luft oppnådd i betong (se [vedlegg](#)). At konsistensen ville ha en betydning kom også frem igjennom litteraturstudiet, men da motsatt av det som ble observert i dette forsøket. Det ble derfor gjort noen ekstra støpinger for å kartlegge innvirkningen av dette.

L-stoffdosering ble derfor holdt konstant og konsistensen ble justert ved å variere doseringen av SP-stoff.

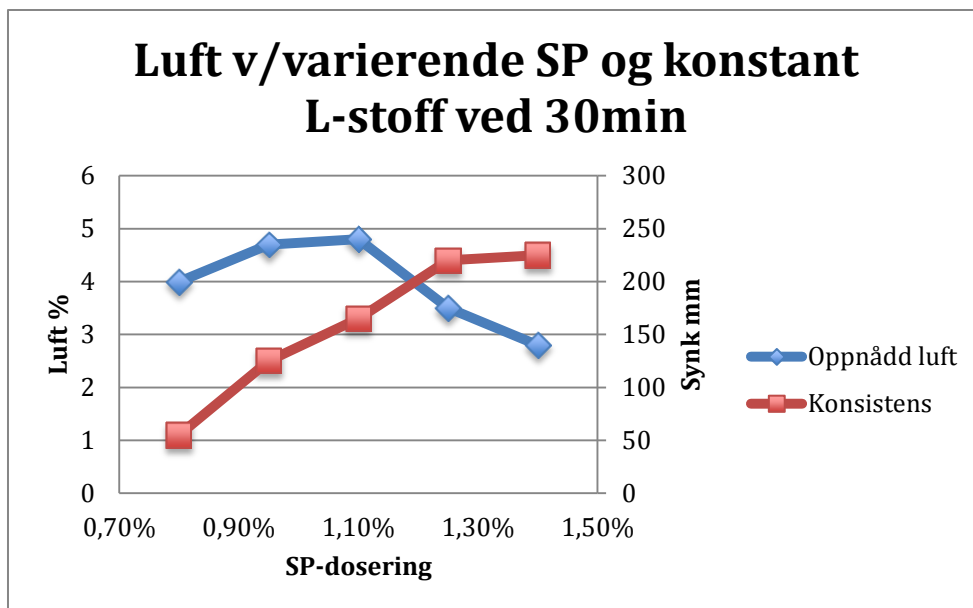


Figur 14 - Sammenheng mellom konsistens og oppnådd luft ved 0 minutter. SP-stoff doseringen er gitt som % av sementvekt.

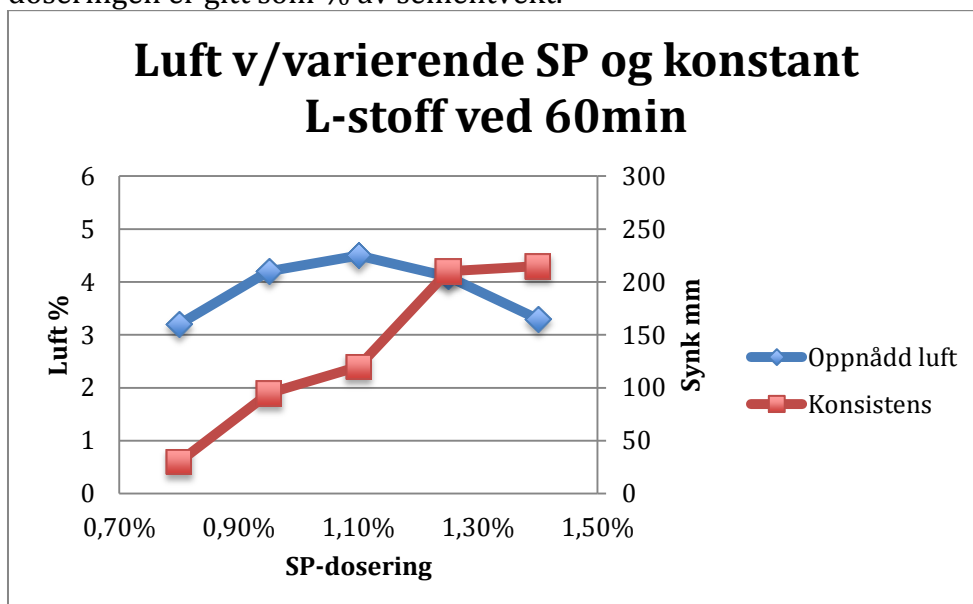
Det som ble observert og forsøkt vist i figur 14 er at en betong som er for bløt ikke vil klare å holde på luften som blir «pisket inn» under miksing.

Ved 0 minutter vil betong med synk i intervallet 120 til 250 mm ha et avtagende luftinnhold ved økende synk. Dette er motsatt av hva som ble funnet i litteraturstudiet.





Figur 15 - Sammenheng mellom konsistens og oppnådd luft ved 30 minutter. SP-stoff doseringen er gitt som % av sementvekt.

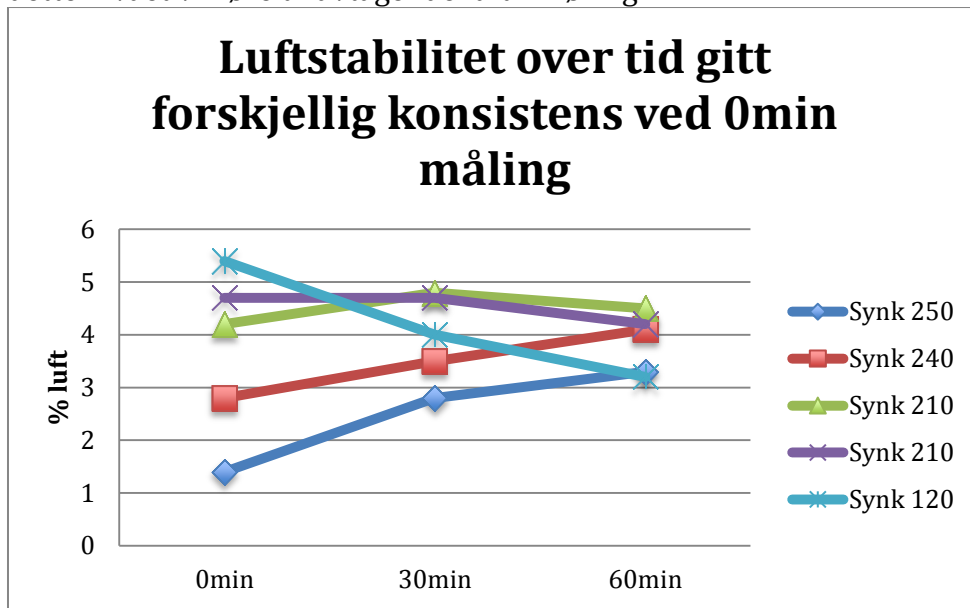


Figur 16 - Sammenheng mellom konsistens og oppnådd luft ved 60 minutter. SP-stoff doseringen er gitt som % av sementvekt.

Figur 15 og 16 viser at betongen vil bli en del stivere etter 30- og 60 minutter. Etter remiksing vil den betongen som til å begynne med var for bløt nå ha blitt stiv nok til å holde på luften som piskes inn. Den betongen som var stiv i utgangspunktet vil ha blitt for stiv og luft bankes derfor i stedet ut. Det er interessant å se at selv om luftinnholdet til å begynne med varierte fra 1,4 % til 5,4 % for de forskjellige konsistensene, vil luftinnholdet ligge mellom 3,2 % og 4,5 % etter 60 minutter for alle konsistensene.

Etter 30 minutter vil betongen med synk i intervallet 55 til 165 mm ha økende luftinnhold ved økende synk. Tilsvarende observeres ved 60 minutter. Dette er det samme som litteraturstudiet sa. Dette kan tyde på at litteraturstudiets data er basert på en betong som i utgangspunktet var mye stivere enn betongen i dette forsøket. Det

synes å være et optimalt konsistensnivå for betongen. Økende eller avtagende synk fra dette nivået vil føre til avtagende luftinnføring.



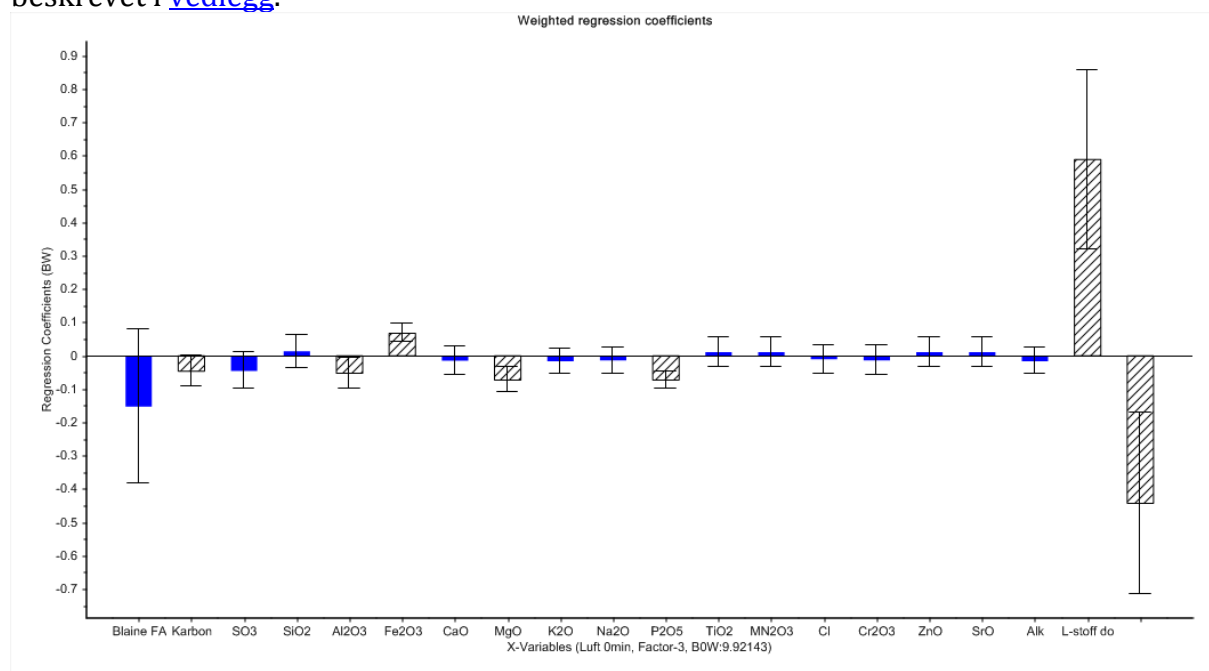
Figur 17 – Luftstabilitet over tid, gitt forskjellig synk ved 0 måling.

Som man kan se av fig 17 vil betongen som startet med mest luft ved 0 minutter målingen tapt en god del luft over tid og ender faktisk opp som betongen med minst luft etter 60 minutter. Betongen som startet ut veldig bløt og med i overkant av 1 % luft har fått opparbeidet mye av potensiale til luftinnføring ved remiksen ved 30 og 60 minutter. Betongene hadde en stor spredning i registrert luft på ca. 4 % ved 0 målingen, ved 60 målingen er spredningen minket til i overkant av 1 %.

Figur 17 viser at betongen som av figur 15 og 16 ser ut til å ha det optimale konsistensnivået også er den betongen med mest stabil luft over tid.

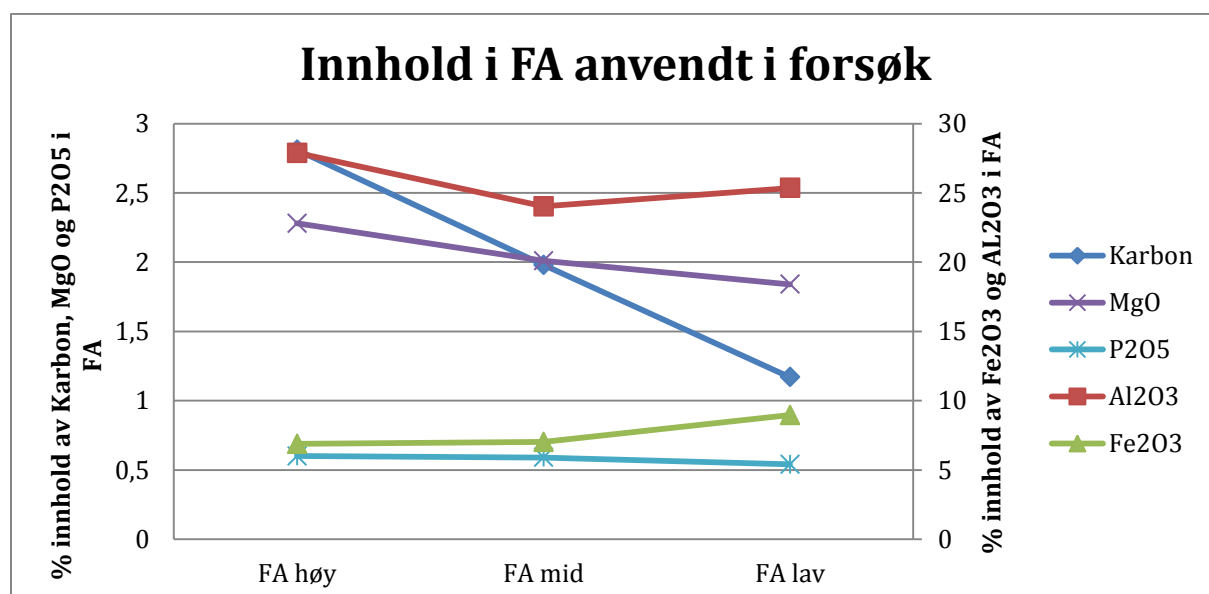
## Resultat – Del 4 – Multivariat dataanalyse

I samarbeid med Ketil Svinning er det gjort en multivariat dataanalyse. Metoden er beskrevet i [vedlegg](#).



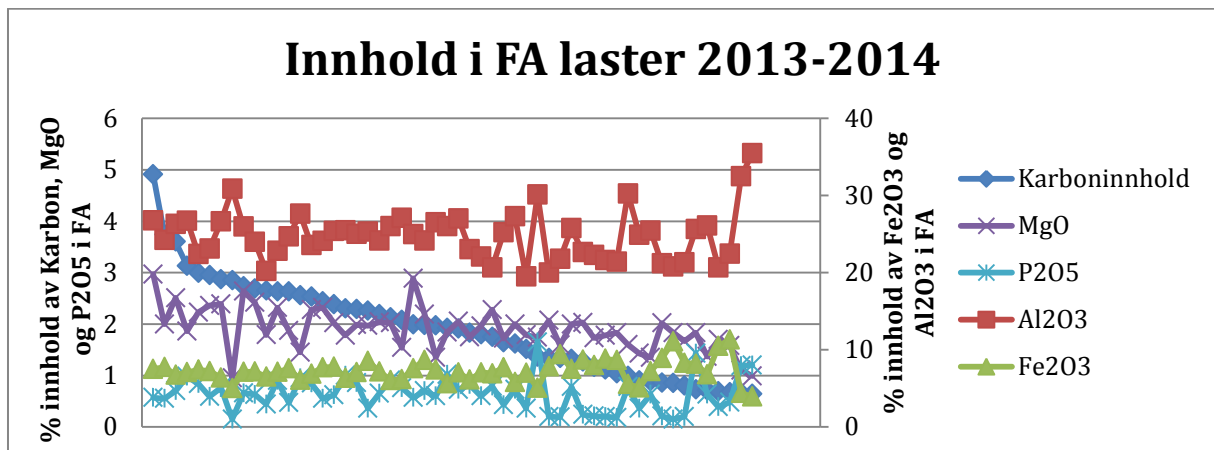
Figur 18 – Multivariat dataanalyse av datasettet, skraverde x-variabler er av programmet Unscrambler sett på som signifikante.

Det figur 18 illustrerer er at basert på støpedata fra dette forsøket kan man ikke med sikkerhet si at det kun er karbonet i flygeasken som vil ha en innvirkning på oppnådd luft, men at karbonet er en av de variablene som har en innvirkning. Størrelsen på stolpene ved de forskjellige variablene forteller også i hvilken grad oppnådd luft vil bli påvirket av variabelen. L-stoff doseringen og SP-stoff doseringen som relativt store stolper vil ha en mye større innvirkning på oppnådd luft enn det karbon har.



Figur 19 - Figuren illustrerer innholdet av de forskjellige parameterne i flygeasken som ble anvendt i dataanalysen.

Som man kan se av figur 19 kan det se ut til at det er en viss sammenheng mellom innholdet av karbon og de andre variablene som unscrambler har beregnet til signifikante. For flygeaskene anvendt i forsøket har innholdet av magnesiumoksyd, fosfor pentoksyd og aluminiumoksyd avtatt ettersom innholdet karbon har avtatt. Og innholdet av jernoksyd har økt ettersom innholdet av karbon har avtatt. Siden innholdet av disse følger karboninnholdet på denne måten, vil det være en naturlig forklaring på hvorfor unscrambler har beregnet alle disse som signifikante parametere med innvirkning på luftinnføringen.

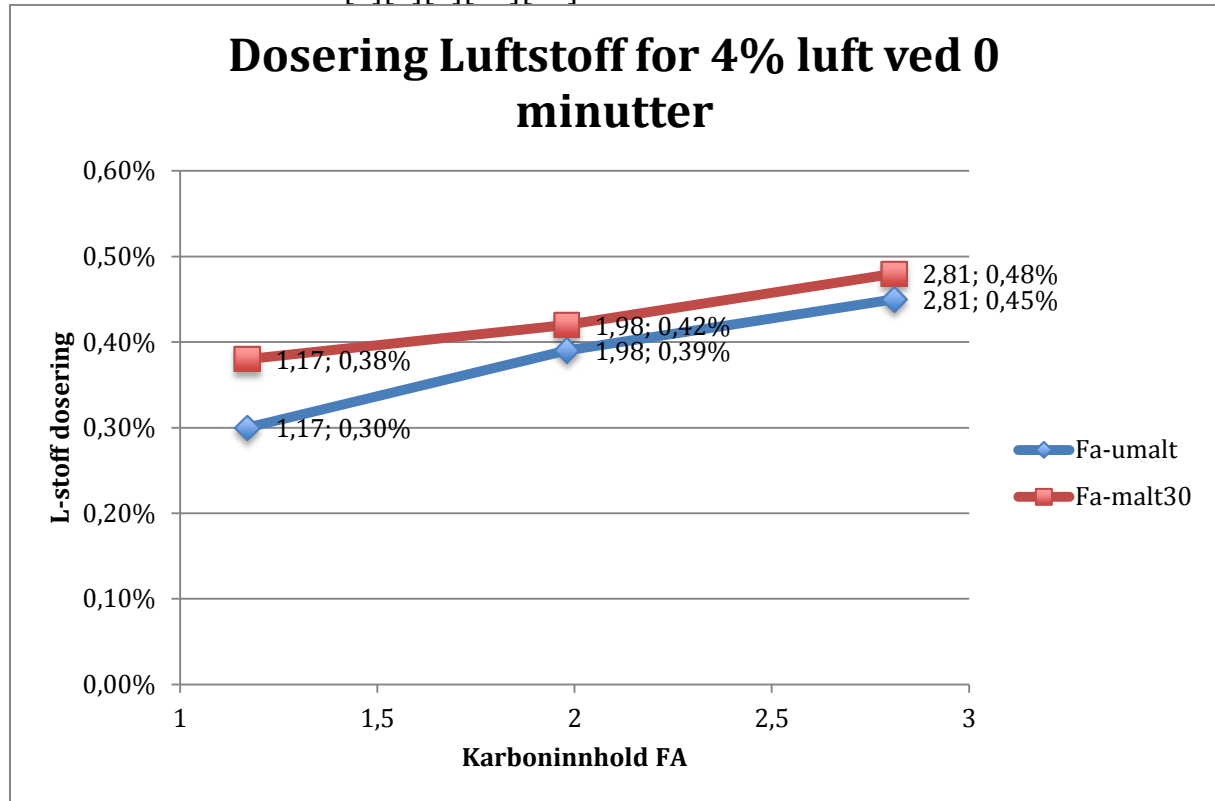


Figur 20 - Figuren illustrerer innholdet av de forskjellige parameterne i flygeaske levert til Norcem Brevik jan.2013-nov.2014. Fe2O3 og Al2O3 vist med verdier på sekundæraksen pga. størrelse.

Figur 20 viser ikke like entydig de samme sammenhengene som figur 19. For å fastslå om innholdet av magnesiumoksyd, fosfor pentoksyd, jernoksyd og aluminiumoksyd faktisk vil ha en innvirkning på luftinnføringen i betong uavhengig av karboninnhold er det behov for mer arbeid.

### Hovedkonklusjoner og kommentarer

Resultatene i denne oppgaven viser at det er flere faktorer som påvirker luftinnføringen. Som forventet er det L-stoff doseringen som vil ha størst effekt (se figur 18). Konsistensen (SP-stoff dosering) vil også være en faktor med stor effekt (se fig 14). Fra figur 4, 5, 6, 7 og 8 viser at karboninnholdet i FA også vil ha en effekt. Økt karboninnhold i FA vil gi et behov for mer L-stoff i betongen. Dette sammenfaller bra med hva som ble funnet i litteraturstudiet [5][7][9][10][11].



Figur 21 - Figuren illustrerer sammenhengen mellom L-stoff dosering og karboninnhold i FA for å oppnå 4% luft i betongen ved 0 minuttets måling.

For å oppnå 4% luft er det en tilnærmet lineær sammenheng mellom L-stoff dosering og karboninnhold i FA. Både for malt FA og umalt FA. Fig 17 viser at forskjellen i doseringsbehov mellom malt og umalt FA er størst for betong med FA som har lavt karboninnhold.

Med utgangspunkt FA mid vil L-stoffdoseringen for å oppnå 4% luft i betongen variere, både for malt og umalt, i intervallet 0,39% +/-0,09%. Dette utgjør en forskjell på +/-23% fra middelvei, eller en økning i L-stoff dosering på 60% fra laveste til høyeste. Dette er selvfølgelig også resultater oppnådd i lab uten andre variasjoner. I praksis vil det vær flere variabler som ikke nødvendigvis lar seg styre på samme måte som i et laboratorium. Dette må betraktes som ytterpunkter, i praksis vil variasjon i doseringsbehovet for L-stoff være betydelig mindre fordi flygeasken normalt vil ha mindre variasjon i karboninnhold enn det som er testet her.

Som det er diskutert og vist i resultatdel 3 ser det ut til at betongen har et optimalt konsistensnivå der innført luft og luftstabilitet vil være høyest og best. Økende eller avtagende synk fra dette nivået vil føre til avtagende luftinnhold og mindre stabil luft. Dette tyder på at litteraturstudiet var observasjoner av økende synk opp til optimum og

observasjonene gjort ved tidlig bomstøp (se [vedlegg](#)) var observasjoner av økende synk ut over optimum. Disse som i utgangspunktet var motsigelser tyder på å være observasjoner på hver sin side av optimal konsistens. Optimal konsistens er ikke nødvendigvis den samme for alle betongresepter.

### **Forslag til videre arbeid**

Det bør undersøkes nærmere om betong med andre tilsetningsstoffkombinasjoner får tilsvarende sammenheng mellom karbon i flygeaske og luft i fersk betong.

Det er i denne oppgaven funnet indikasjoner på et optimalt konsistensnivå på betongen. Det er behov for nærmere undersøkelse av dette.

Undersøke hvilke mekanismer som gjør at maling av flygeaske påvirker luftinnholdet i fersk betong som vist i denne oppgaven.

## Referanser

- [1] Håndbok R762 Prosesskode 2 Standard beskrivelsestekster for bruer og kaier Utgitt 2012
- [2] Innledende samtaler med- og oppgavetekst gitt av Knut Kjellsen
- [3] Chemical Admixtures for Concrete, second edition (1986), M.R. Rixom and N.P. Mailvaganam
- [4] <https://snl.no/tensider> 02.06.2015
- [5] Nordic workshop, 15-16 februar 2012, Predicting air entrainment and frost durability in fly ash concrete, Stefan Jacobsen, Margrethe Ollendorff, Mette R. Geiker, Dept of Structural Engineering, NTNU.
- [6] Samtale med Knut Kjellsen 29.05.2015
- [7] Ahmed, Zeyad Tareq, "THE QUANTIFICATION OF THE FLY ASH ADSORPTION CAPACITY FOR THE PURPOSE OF CHARACTERIZATION AND USE IN CONCRETE", Dissertation, Michigan Technological University, 2012.  
<http://digitalcommons.mtu.edu/etds/789>
- [8] Maroto-Valer, M., Taulbee, D., and Hower, J., "Characterization of differing forms of unburned carbon present in fly ash separated by density gradient centrifugation," Fuel, V. 80, 2001, 795-800.
- [9] Namazirad, MohammadAmin, Investigation into properties of unburned carbon in coal combustion fly ash, Master of Engineering – Research thesis, School of Civil, Mining and Environmental Engineering, University of Wollongong, 2012.  
<http://ro.uow.edu.au/theses/4001>
- [10] Coch, F., Fix carbon i FA. Effekt for dosering luftinnførende middel i betong, intern rapport Norcem Brevik nr 26/89 Norcem FOU, 1989
- [11] Coch, F., STD-FA, luft i betong. MF40 betonger med «normalt» og høyt karboninnhold i STD-FA, Intern rapport Norcem FOU Brevik, nr. 9D4/R04045, 2004
- [12] Samtale med Sigrun Kjær Bremseth
- [13] <http://www.sika.com/en/concrete-redirect/concrete-additives/concrete-handbook-2013/concrete-types/thaw-resistant-concrete.html> 04.06.2015
- [14] <https://grace.com/construction/en-ca/Documents/T%20B%20-%20FIT.pdf>
- [15] NS-EN 12350:2009 - Prøving av fersk betong – Del 2 (hele)
- [16] NS-EN 12350:2009 - Prøving av fersk betong – Del 5, uten fallbord
- [17] NS-EN 12350-7:2009 - Prøving av fersk betong – Del 7 etter manometer apparat metoden med manuell komprimering av betongen med stålstav. (5.1.2- 7)
- [18] NS-EN 12390-1- 1.utgave februar 2001 - Prøving av herdnet betong: Del 1: Form, mål og andre krav til prøvelegemer og former for terningformede prøvelegemer.
- [19] NS-EN 12390-2:2009 - Prøving av herdnet betong: Del 2: Støpning og herdning av prøvelegemer for fasthetsprøving gjort med manuell komprimering av betongen med stålstav.
- [20] NS-EN 12390-3:2009 - Prøving av herdnet betong: Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet for terningformede prøvelegemer.
- [21] Klaartje De Weerd Blended Cement with Reduced CO2 Emissions – Utilizing the Fly Ash-Limestone Synergy: Abstract (ISBN 978-82-471-2584-7)
- [22] Email fra Knut Kjellsen 08.06.2015
- [23] Email fra Knut Kjellsen 12.06.2015

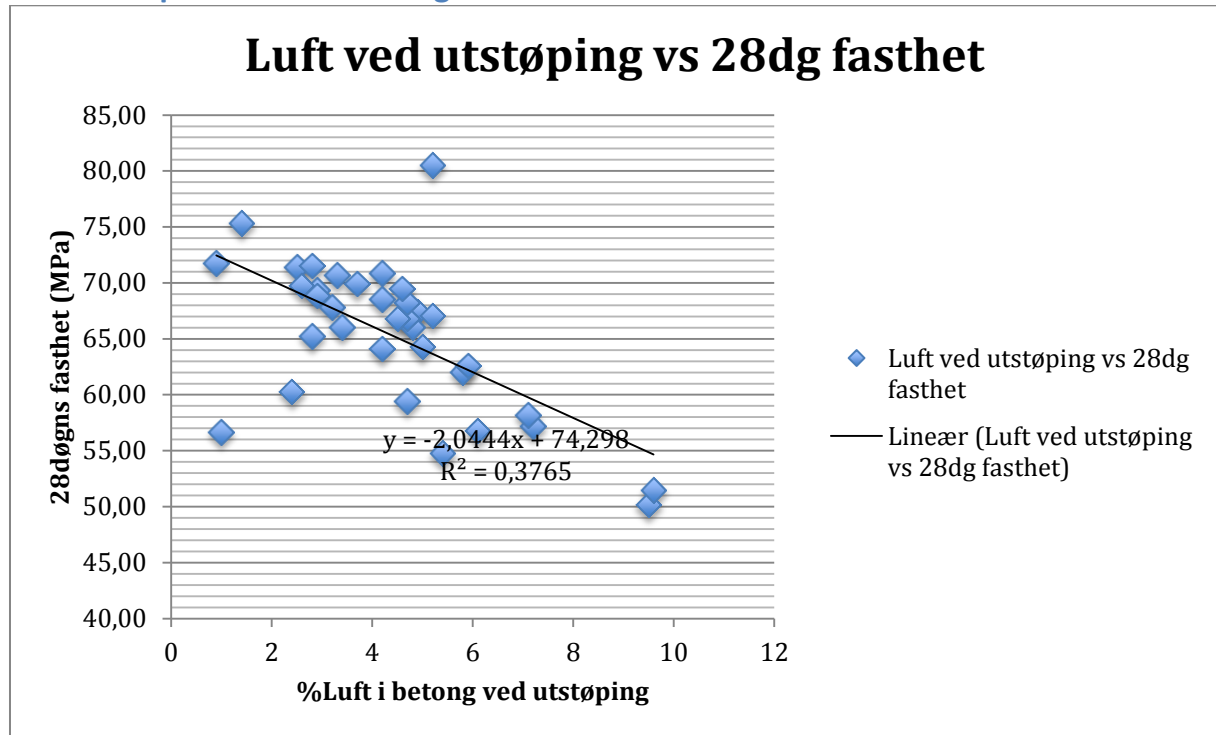


## Vedlegg

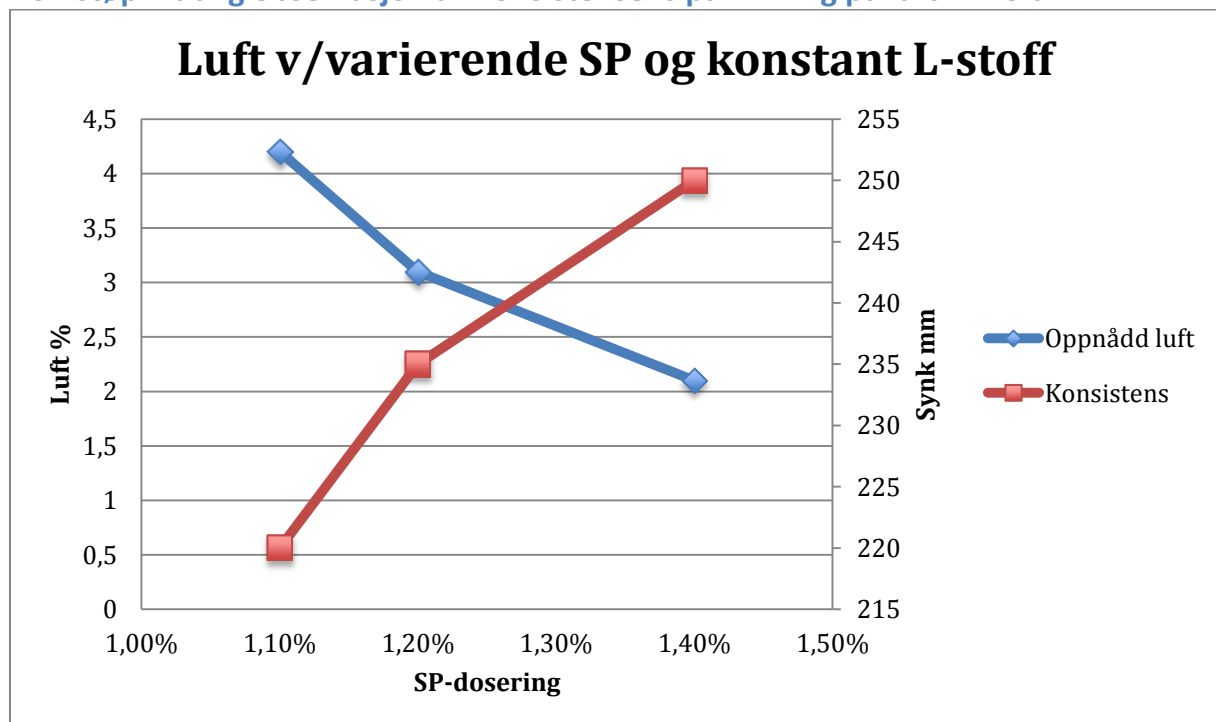
### Resultater

DB navn	Blaine FA	FA, C-nivå	L-stoff dos	SP-stoff dos	Luft	Synk	Utbredelse	Vekt luftbørte	Romvekt	Fasthet	NPa											
			Omin	30min	%	Omin	30min	Omin	30min	Idøgn	28døgn											
DB039	385 Høy, urnait		0,50 %	1,10 %	5,2	5	4,2	225	180	170	420	330	270	23,25	23,35	23,45	2325,77	30min	2338,30	2350,83	22,40	80,50
DB041	401 Høy, malt 7min		0,50 %	1,10 %	4,9	4,7	4,3	200	170	140	360	310	260	23,3	23,45	23,55	2332,04	30min	2350,83	2363,36	23,73	67,40
DB040	385 Høy, urnait		0,25 %	1,10 %	2,3	2,7	2,7	215	130	100	345	250	230	23,9	23,85	23,85	2407,22	30min	2400,95	2400,95	26,50	x
	440 Høy, malt 30min		0,50 %	1,40 %	2,1 x	x		250 x	x		640 x	x		23,8 x	x		2394,69	#VERDI!	#VERDI!	#VERDI!	x	x
DB042	440 Høy, malt 30min		0,50 %	1,20 %	3,1 x	x		235 x	x		445 x	x		23,8 x	x		2394,69	#VERDI!	#VERDI!	#VERDI!	x	x
DB043	385 Høy, urnait		0,35 %	1,10 %	4,2	4,2	4,2	220	170	130	375	280	260	23,6	23,55	23,65	2369,63	30min	2363,36	2375,89	24,63	70,83
DB044	385 Høy, urnait		0,70 %	0,92 %	2,9	3,5	3,4	210	140	125	360	265	260	23,8	23,6	23,6	2394,69	30min	2369,63	2369,63	25,20	69,37
DB045	385 Høy, urnait		0,55 %	1,10 %	9,5	7	5,6	200	120	70	365	260	21,5	22,25	22,95	23,25	2200,48	30min	2288,18	2325,77	20,20	50,17
DB047	270 Lav, urnait		0,50 %	1,10 %	5,8	5,1	4,9	225	160	140	420	285	250	23,15	23,35	23,3	2313,24	30min	2338,30	2332,04	23,50	62,00
DB048	270 Lav, urnait		0,25 %	1,10 %	9,6	7,2	7,2	225	195	170	415	320	320	22,3	22,9	23	2206,74	30min	2281,92	2294,45	19,95	51,47
DB051	270 Lav, urnait		0,35 %	1,10 %	3,2	3,7	3,6	215	160	125	360	280	245	23,7	23,6	23,6	2382,16	30min	2369,63	2369,63	25,05	67,83
DB056	383 Lav, malt 30min		0,35 %	1,10 %	4,8	4,8	4,4	210	150	95	380	300	230	23,35	23,4	23,45	2338,30	30min	2344,57	2350,83	24,47	66,03
DB057	383 Lav, malt 30min		0,50 %	1,10 %	4,7	4,4	4,1	180	135	60	320	175	210	23,4	23,55	23,55	2344,57	30min	2363,36	2363,36	25,47	66,80
DB058	372 Lav, malt 30min		0,25 %	1,20 %	7,2	6,7	5,8	200	140	90	380	265	220	22,9	23	23,25	2281,92	30min	2294,45	2325,77	22,07	57,17
DB059	270 Lav, urnait		0,40 %	1,10 %	2,5	3,2	3,5	210	145	115	390	270	240	23,95	23,8	23,75	2413,48	30min	2394,69	2388,42	25,60	71,40
DB061	372 Lav, malt 30min		0,40 %	1,20 %	6,1	5,5	5,2	220	175	135	430	315	270	23,1	23,2	23,25	2306,98	30min	2319,51	2325,77	21,10	56,77
DB062	385 Høy, urnait		0,40 %	1,10 %	4,5	3,6	3,6	210	170	125	400	295	270	23,45	23,7	23,7	2350,83	30min	2382,16	2382,16	23,03	66,77
DB066	401 Høy, malt 7min		0,40 %	1,20 %	2,9	3,5	3,5	220	145	90	370	255	235	23,75	23,65	23,6	2388,42	30min	2375,89	2369,63	24,83	68,83
DB067	440 Høy, malt 30min		0,40 %	1,10 %	2,6	3,1	3	230	190	170	460	315	285	23,8	23,75	23,75	2394,69	30min	2388,42	2388,42	24,63	69,77
DB068	354 Lav, malt 30min		0,35 %	1,20 %	2,8	3,3	3,3	215	160	110	375	255	225	23,7	23,7	23,7	2382,16	30min	2382,16	2382,16	25,10	71,53
	354 Lav, malt 30min		0,40 %	1,20 %	3,3	3,8	3,7	220	160	120	410	280	240	23,65	23,65	23,65	2375,89	30min	2375,89	2375,89	23,53	70,70
			0,40 %	1,20 %	5	5,6 x	4,5	250	195 x		510	350 x	260	23,25	23,25 x	23,45	2325,77	30min	2325,77	#VERDI!	x	x
DB085	355 Mid, urnait		0,40 %	1,10 %	4,2	4,8	4,5	210	165	120	390	280	260	23,45	23,4	23,45	2350,83	30min	2344,57	2350,83	23,63	64,10
DB086	355 Mid, urnait		0,50 %	1,10 %	7,1	5,7	5,4	225	185	150	415	295	285	22,9	23,25	23,2	2281,92	30min	2325,77	2319,51	20,93	58,17
DB092	423 Mid, malt 30		0,40 %	1,10 %	3,7	3,8	3,3	200	140	60	345	250	230	23,75	23,5	23,6	2388,42	30min	2357,10	2394,69	25,40	69,93
DB093	423 Mid, malt 30		0,50 %	1,10 %	5,2	4,7	4,4	220	150	110	380	260	230	23,35	23,45	23,65	2338,30	30min	2350,83	2375,89	23,57	67,07
DB094	453 EHVØY, Urnait		0,55 %	1,10 %	4,7	4,6	4,4	205	160	90	360	290	235	23,35	23,45	23,45	2338,30	30min	2350,83	2350,83	23,67	68,20
DB095	453 EHVØY, Urnait		0,50 %	1,15 %	4,6	4,6	4,5	220	180	130	395	280	230	23,45	23,45	23,45	2350,83	30min	2350,83	2350,83 x	22,93	69,47
DB096	453 EHVØY, Urnait		0,70 %	1,10 %	5	5,4	5,1	220	155	130	410	290	245	23,3	23,15	23,3	2332,04	30min	2313,24	2332,04	22,93	64,00
DB097	355 Mid, urnait		0,35 %	1,10 %	3,4	3,9	4	220	170	140	440	295	260	23,55	23,55	23,55	2363,36	30min	2363,36	2363,36	24,80	66,30
DB098	453 EHVØY, Urnait		0,40 %	1,15 %	4,2	4,4	4,3	220	165	115	395	260	240	23,45	23,35	23,4	2350,83	30min	2338,30	2344,57	24,83	68,53
DB099	453 EHVØY, Urnait		0,80 %	1,05 %	5,9	5,3	4,5	210	160	105	370	270	225	23,1	23,2	23,35	2306,98	30min	2319,51	2338,30	23,30	62,57
DB100	355 Mid, urnait		0,40 %	0,80 %	5,4	4,7	4,2	120	55	30	240	205	200	23,25	23,5	23,7	2325,77	30min	2363,36	2382,16	24,60	64,00
DB101	355 Mid, urnait		0,40 %	0,95 %	4,7	4,7	4,2	210	125	95	360	250	230	23,35	23,4	23,5	2338,30	30min	2344,57	2357,10	23,80	59,43
DB104	355 Mid, urnait		0,40 %	1,25 %	2,8	3,5	4,1	240	220	210	570	410	365	23,55	23,65	23,45	2363,36	30min	2375,89	2350,83	25,33	65,20
DB105	355 Mid, urnait		0,40 %	1,40 %	1,4	2,8	3,3	250	225	215	660	470	385	23,9	23,75	23,7	2407,22	30min	2388,42	2382,16	26,03	75,30
DB102	453 EHVØY, Urnait		0,00 %	1,20 %	2,4	3,4	3,6	210	175	135	420	295	245	23,85	23,55	23,6	2400,95	30min	2363,36	2369,63	26,73	60,27
DB103	270 Lav, urnait		0,00 %	1,20 %	1	1,6	1,6	225	175	145	450	290	270	24,1	24	23,95	2432,28	30min	2419,75	2413,48	27,27	56,63
DB106	385 Høy, urnait		0,00 %	1,20 %	0,9	1,5	1,8	225	190	145	465	305	260	24,1	24,05	24	2432,28	30min	2426,01	2419,75	27,27	71,77

### Fasthetstap observert i betongen ved å innføre luft



### Bomstøp – tidlig observasjon av konsistensens påvirkning på luftinnhold



## Kjemisk analyse STD sement BP-06-14



### REPORT ON QUALITY TEST

Customer: Sigrun Kjær Brømseth  
 Date received: 29.10.2014  
 Sample Marked: Standard Labsement  
 Big Bag nr.1

Your ref.: 101-14  
 Our ref.: BP-2014-0006

Parameter:		Results:		Method:
<b>CHEMICAL COMPOSITION</b>				
<b>Chemical Parameters</b>				
Free Lime		1.59	%	PD0468
Loss On Ignition	LOI	2.14	%	EN196-2
Carbon	C	0.23	%	PD1752
Limestone Content		2.2	%	PD1752
Total Chloride	Cl	0.044	%	EN196-2
Water soluble Chromium	Cr(VI)	0.00	mg/kg	EN196-10
Insoluble Residue	I.R	0.51	%	EN196-2
<b>XRF Analysis</b>				
Silica Oxide-XRF	SiO <sub>2</sub>	20.44	%	EN196-2
Aluminum Oxide-XRF	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.77	%	EN196-2
Ferric Oxide-XRF	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.43	%	EN196-2
Calcium Oxide-XRF	CaO	61.71	%	EN196-2
Potassium Oxide-XRF	K <sub>2</sub> O	0.92	%	EN196-2
Sodium Oxide-XRF	Na <sub>2</sub> O	0.51	%	EN196-2
Magnesium Oxide-XRF	MgO	2.19	%	EN196-2
Titanium Dioxide-XRF	TiO <sub>2</sub>	0.30	%	EN196-2
Phosphorus Pentoxide-XRF	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	%	EN196-2
Manganic Oxide-XRF	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	%	EN196-2
Sodium Oxide Equivalent	Na <sub>2</sub> O Eq.	1.12	%	EN196-2
<b>TECHNICAL PARAMETERS</b>				
<b>Compressive Strength</b>				
1 day		22.8	MPa	EN196-1
2 days		32.9	MPa	EN196-1
7 days		43.8	MPa	EN196-1
28 days		53.2	MPa	EN196-1
<b>Fineness</b>				
Specific surface, Blaine		420	m <sup>2</sup> /kg	EN196-6
<b>Particle Size Distribution</b>				
Sieve passing	24 µm	70.9	%	PD1749
Sieve Passing	30 µm	80.2	%	PD1749
Sieve Residue	64 µm	1.4	%	PD1749
Sieve Residue	90 µm	0.0	%	PD1749
<b>Other Technical Parameters</b>				
False Set		0	MIN	PD1793
<b>Time of Setting</b>				
Initial		123	min	EN196-3
<b>Soundness</b>				
Le Chatelier		1.0	mm	EN196-3
<b>Normal Consistency</b>				
Temperate climate 20°C		29.2	%	EN196-3

Norcem A.S Brevik, Cement and Concrete Laboratory,

29.05.2015

\_\_\_\_\_  
 Laboratory Manager

NORCEM AS

Address:  
 Seterveien 2  
 P.O. Box 38  
 N-3991 Brevik

Phone:  
 Telefax:  
 E-mail:  
 Bank Account:

+47-35-57 20 00  
 +47-35-57 04 00  
 NO 934 949145 VAT  
 6003 06 12488

Head Office:  
 Lilleakerveien 2b  
 P.O. Box 143 Lilleaker  
 0216 Oslo

## Kjemisk analyse FA LN-15-14

# PRØVNINGSRAPPORT

Oppdragsgiver: TMZ  
 Prøven merket: Flyveaske  
 Uttesting av luft i betong ved varierende karboninnhold  
 Prøve kode: LN-2014-0015 Ref: 55-14

### KJEMISK ANALYSE EN 196-2

Glødetap		2.62 %
Karbon		1.98 %
Svovel trioksyd	(SO <sub>3</sub> )	0.66 %
Silika	(SiO <sub>2</sub> )	56.98 %
Aluminiumoksyd	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	24.02 %
Jernoksyd	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7.02 %
Kalsiumoksyd	(CaO)	5.68 %
Magnesiumoksyd	(MgO)	2.01 %
Fosfor pentoksyd	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.59 %
Kaliumoksyd	(K <sub>2</sub> O)	2.21 %
Natriumoksyd	(Na <sub>2</sub> O)	0.91 %
Alkali		2.36 %
Partikkelanalyse	+90my	3.5 %
" "	+64my	8.5 %
" "	-24my	65.2 %
" "	-30 my	72.0 %
Blaine		355 m <sup>2</sup> /kg
Spesifikk vekt		2.42 g/cm <sup>3</sup>

Norcem A.S Brevik, Sement- og betonglaboratoriet, 1. juni 2015

ae.

  
 Laboratoriesjef

## Kjemisk analyse FA LN-16-14

# PRØVNINGSRAPPORT

Oppdragsgiver: TMZ  
Prøven merket: Flyveaske  
Uttesting av luft i betong ved varierende karboninnhold  
Prøve kode: LN-2014-0016 Ref: 55-14

### KJEMISK ANALYSE EN 196-2

Glødetap		3.51 %
Karbon		2.81 %
Svovel trioksyd	(SO <sub>3</sub> )	0.79 %
Silika	(SiO <sub>2</sub> )	52.87 %
Aluminiumoksyd	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	27.88 %
Jernoksyd	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6.88 %
Kalsiumoksyd	(CaO)	5.65 %
Magnesiumoksyd	(MgO)	2.28 %
Fosfor pentoksyd	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.60 %
Kaliumoksyd	(K <sub>2</sub> O)	1.80 %
Natriumoksyd	(Na <sub>2</sub> O)	0.75 %
Alkali		1.93 %
Partikkelanalyse	+90my	5.1 %
" "	+64my	11.2 %
" "	-24my	61.6 %
" "	-30 my	68.4 %
Blaine		385 m <sup>2</sup> /kg
Spesifikk vekt		2.42 g/cm <sup>3</sup>

Norcem A.S Brevik, Sement- og betonglaboratoriet, 1. juni 2015

ae.

*Kirsti Cath Sæter*  
Laboratoriesjef

## Kjemisk analyse FA LN-17-14

# PRØVNINGSRAPPORT

Oppdragsgiver: TMZ  
Prøven merket: Flyveaske  
Uttesting av luft i betong ved varierende karboninnhold  
Prøve kode: LN-2014-0017 | Ref: 55-14

### KJEMISK ANALYSE EN 196-2

Glødetap		1.37 %
Karbon		1.17 %
Svovel trioksyd	(SO <sub>3</sub> )	0.70 %
Silika	(SiO <sub>2</sub> )	53.00 %
Aluminiumoksyd	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	25.35 %
Jernoksyd	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	8.96 %
Kalsiumoksyd	(CaO)	5.55 %
Magnesiumoksyd	(MgO)	1.84 %
Fosfor pentoksyd	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.54 %
Kaliumoksyd	(K <sub>2</sub> O)	1.60 %
Natriumoksyd	(Na <sub>2</sub> O)	0.69 %
Alkali		1.74 %
Partikkelanalyse	+90my	4.3 %
" "	+64my	10 %
" "	-24my	62.3 %
" "	-30 my	69.8 %
Blaine		270 m <sup>2</sup> /kg
Spesifikk vekt		2.36 g/cm <sup>3</sup>

Norcem A.S Brevik, Sement- og betonglaboratoriet, 1. juni 2015

ae.

for Kirsti Cath Sæter  
Laboratoriesjef

## Kjemisk analyse FA LN-09-15



### REPORT ON QUALITY TEST

Customer: Dalen fabrikker  
 Date received: 23.03.2015  
 Sample Marked: Analyse av Flyveaske for Master student  
 Flyveaske fra Eminent

Your ref.:  
 Our ref.: LN-2015-0009

Parameter:		Results:	Method:
<b>CHEMICAL COMPOSITION</b>			
<b>Chemical Parameters</b>			
Sulfur Trioxide-IR	SO3	0.85 %	PD1752
Carbon	C	4.56 %	PD1752
Loss On Ignition	LOI	5.59 %	EN196-2
<b>XRF Analysis</b>			
Silica Oxide	SiO2	55.13 %	EN196-2
Aluminum Oxide	Al2O3	21.62 %	EN196-2
Ferric Oxide	Fe2O3	7.18 %	EN196-2
Calcium Oxide	CaO	2.88 %	EN196-2
Potassium Oxide	K2O	2.10 %	EN196-2
Sodium Oxide	Na2O	0.81 %	EN196-2
Magnesium Oxide	MgO	1.70 %	EN196-2
Titanium Dioxide	TiO2	0.91 %	EN196-2
Phosphorous Pentoxide	P2O5	0.55 %	EN196-2
Manganic Oxide	Mn2O3	0.07 %	EN196-2
Sodium Oxide Equivalent	Na2O Eq.	2.19 %	EN196-2
<b>TECHNICAL PARAMETERS</b>			
<b>Fineness</b>			
Specific Weight		2.38 g/cm3	PD1777
Specific surface, Blaine		453 m2/kg	EN196-6
<b>Particle Size Distribution</b>			
Sieve Passing	<24 µm	66.5 %	PD1749
Sieve Passing	<30 µm	71.8 %	PD1749
Sieve Residue	>64 µm	10.2 %	PD1749
Sieve Residue	>90 µm	4.7 %	PD1749

Norcem A.S Brevik, Cement and Concrete Laboratory,

29.05.2015

\_\_\_\_\_  
 Laboratory Manager

NORCEM AS

Address:  
 Setevålen 2  
 P.O. Box 38  
 N-3901 Brevik

Phone: +47-35-57 20 00  
 Telefax: +47-35-57 04 00  
 Ent.no.: NO 934 949145 VAT  
 Bank Account: 6003 06 12488

Head Office:  
 Lilleakerveien 2b  
 P.O. Box 143 Lilleaker  
 0216 Oslo

Produktdatablad  
Dato: 06/2006  
SikaAer® -S

## SikaAer® -S

### Luftinnførende tilsetningsstoff for betong og mørtel


<b>Produktbeskrivelse</b>	SikaAer®-S er et luftinnførende tilsetningsstoff basert på syntetisk tensider. SikaAer®-S danner et finfordelt luftporesystem i betongens sementpasta. Luftporene fungerer som ekspansjonskammer når fukten/vannet i den herdne betongen utvider seg ved frysing. Luftporene vil også gjøre betongen mer lettarbeidelig og smidig.
<b>Anvendelsesområder</b>	SikaAer®-S anvendes i betong for å øke frostbestandigheten i konstruksjoner som er utsatt for frysing/tining i nedfuktet tilstand. SikaAer®-S kan også anvendes for å forbedre betongens støpelighet eller betongens stabilitet og dermed redusere faren for bleeding og separasjon.
<b>Produktegenskaper</b>	SikaAer®-S forbedrer betongens egenskaper som følger: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Forbedret bearbeidelighet</li> <li>■ Økt frostbestandighet</li> <li>■ Økt vannetthet</li> <li>■ Gir mulighet for å styre luftinnføring i betong.</li> <li>■ Gir stabilt luftinnhold i betong, også egnet til betong med fyveaske eller fyveaskeement</li> <li>■ God stabilitet i varmbetong.</li> </ul>

### Produktdata

<b>Tekniske data</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>Type:</b> Væske på basis av syntetisk tensider</li> <li>■ <b>Farge:</b> Gul</li> <li>■ <b>Densitet:</b> 1,02 ± 0,01 kg/l</li> <li>■ <b>Viskositet:</b> Lettflytende</li> <li>■ <b>Tørrestoff:</b> 9,0 ± 1 %</li> <li>■ <b>pH:</b> 7 ± 1 %</li> <li>■ <b>Kloridinnhold (Cl-):</b> &lt; 0,10 % (vekt)</li> <li>■ <b>Alkaliinnhold (Na2O ekv.):</b> &lt; 0,10 % (vekt)</li> <li>■ <b>Normaldosering:</b> 0,01 – 0,08 % av sementvekt</li> </ul> <p>For å oppnå mer nøyaktig dosering anbefales at SikaAer®-S fortynnes med vann for eksempel i forholdene 1:9, 1:19 eller lignende avhengig av doseringsbehov og vektkapasitet. Tilsett først vannet, deretter SikaAer®-S (konsentrat).</p> <p>Nødvendig dosering for å oppnå spesifisert luftinnhold avhenger av sementtype, blandertype, tilslagets gradering, innholdet av fint materiale (&lt; 0,25 millimeter), betongens konsistens og temperatur. Innenfor temperaturområdet +10 °C - +30 °C avtar effekten noe med økende temperatur. For optimal dosering anbefales forsøk.</p>
<b>Doseringstidspunkt</b>	SikaAer®-S tilsettes sammen med blandedvannet. SikaAer®-S kan også tilsettes i automikser. Beregn minimum 5 minutter blandetid på full hastighet.





<b>Kombinasjoner</b>	<p>SikaAer®-S kan kombineres med andre produkter fra Sika som følger:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Plastiment® BV-40</li> <li>■ SP-stoff i Sikament eller ViscoCrete-serien</li> <li>■ Sika Stabilizer</li> <li>■ Sika® Pump</li> <li>■ Sika® Rapid 2 og 3</li> <li>■ Sika® Retarder</li> <li>■ Sika® Ferrogard 901</li> </ul>
<b>Bivirkninger</b>	Overdosering reduseres betongens trykkfasthet.
<b>Godkjenninger</b>	<p>SikaAer®-S er omfattet av samsvarserklæring 1257-CPD-701 og er CE-merket som angitt nedenfor. SikaAer®-S er tildelt miljømerket EQ-Seal av den Europeiske tilsetningsstoffforeningen EFCA. Miljømerket tildeles produkter som ikke har negative effekter på menneske og miljø.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="628 539 836 860" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">CE</p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">1274</p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;"><b>Sika Sverige AB</b> Veddestavägen 18:20 S-175 06 Järfälla, Sverige</p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">04 1274-CPD-701 <b>Sika Aer-S</b></p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">Luftinfrerende blådningsgitt for betong EN 934-2:2001-15</p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;"><b>Maks. kløstørrelse: &lt; 0,1 %</b> <b>Maks. alkalitet: &lt; 0,1 % Na<sub>2</sub>O-ekv.</b></p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">Produkt er markertilførende, se tilhørende HMS-datablad</p> </div> <div data-bbox="975 539 1289 860" style="text-align: center;">  </div> </div>
<b>Emballasje</b>	SikaAer®-S leveres i kanner à 5, 10 og 25 liter, fat à 200 liter, container à 1000 liter eller med tankbil.
<b>Oppbevaring, holdbarhet og avfallshåndtering</b>	<p>Ved <u>frostfri</u> lagring i uåpnet emballasje, er holdbarheten min. 9 måneder fra produksjonsdato.</p> <p>Produktet er ikke klassifisert som spesialavfall.</p> <p>For avfallshåndtering, se tilhørende HMS-datablad.</p> <p>Sika Norge AS er med på Materialreturordningen, og betaler gebyr for all produkt- og forsendelsesemballasje. Vi anbefaler at all tomemballasje leveres til gjenvinning.</p>
<b>Helse, Miljø og Sikkerhet</b>	<p>Se tilhørende HMS-datablad.</p> <p>Produktet er produsert i en bedrift som er sertifisert i henhold til ISO 9001:2000 og ISO 14001.</p> <p>Ønskes ytterligere opplysninger, står våre konsulenter samt vår kundeservice til din disposisjon.</p> <p>Forespørsel om HMS-datablad kan rettes til vår HMS-ansvarlig, eller gå inn på våre nettsider: <a href="http://www.sika.no">www.sika.no</a></p>

## Produktansvar

Denne informasjonen og i særdeleshet anbefalingene i forbindelse med anvendelse av Sika-produkter er gitt i god tro, basert på Sikas inneværende kunnskap og erfaring med produktene når de er riktig lagret, behandlet og anvendt under normale forhold.

I praksis vil forskjellene i materialer, underlag og lokale forhold være av en slik karakter at verken denne informasjonen, andre skriftlige anbefalinger eller noen annen form for råd kan innebære noen garanti med hensyn til det bearbejdede produktets omsetningspotensial eller egnethet for et bestemt formål, ei heller noen annen form for juridisk ansvar.

Tredjeparts eiendomsrett må respekteres.

Enhver ordre aksepteres i henhold til Sikas gjeldende salgs- og leveringsbetingelser. Brukere skal alltid forholde seg til sist oppdaterte versjon av produktdatablad og HMS-datablad for det aktuelle produktet. Kopier av gjeldende versjoner finnes på Sika Norges internettsider: [www.sika.no](http://www.sika.no).



Sika Norge AS  
Industriveien 22  
Postboks 76  
1483 SIKYTTA  
Norge

Tel. 67 06 79 00  
Fax 67 06 15 12  
[www.sika.no](http://www.sika.no)

Produktdatablad  
 Dato: 06-2012  
 Revnr.: 1, gr 5  
 Sika ViscoCrete® RMC-420M

## Sika ViscoCrete® RMC-420M

### Superplastiserende tilsetningsstoff for betong og mørtel

Produktbeskrivelse	ViscoCrete® RMC-420M er et tredje generasjons superplastiserende tilsetningsstoff beregnet for bruk i plastisk betong/flytbetong. Effekten avhenger av doseringsmengden. ViscoCrete® RMC-420M er aktiv selv ved lave doseringer.
Anvendelsesområder	ViscoCrete® RMC-420M er spesialutviklet for å kombinere høy vannreduksjon, utmerkede flyteegenskaper og økt viskositet i betongmassen. Egenskapene gjør produktet velegnet som all-round SP-stoff til ferdigbetongproduksjon.
Produktegenskaper	<p>ViscoCrete® RMC-420M virker gjennom flere mekanismer. Ved overflateabsorpsjon og sterisk dispergering av sementpartiklene parallelt med hydrasjonsprosessen oppnås en betong med økt viskositet og lavere flyteskjærspenning. Dette gir bedre egenskaper som følger:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Høy vannreducerende effekt</li> <li>■ Kort innblandingstid før full plastiserende effekt oppnås</li> <li>■ Gode konsistensbevarende egenskaper sikrer betongen akseptabel brukstid</li> <li>■ Gir en robust betong med god mobilitet</li> <li>■ Moderat avbindingstid og tidligfasthet</li> </ul>

#### Produktdata

Tekniske data	Type	Væske på basis av modifiserte polykarboksylater
	Farge	Gråhvit væske
	Densitet	1,04 kg/liter ± 0,02 kg/liter
	Viskositet	Lettflytende
	Tørstoff	18 % ± 1 %
	pH	4,0 ± 1
	Kloridinnhold (Cl)	< 0,01 % (vekt)
	Alkaliinnhold (Na <sub>2</sub> O ekv.)	< 0,7 % (vekt)
	Normaldosering:	0,2 – 2,0 % av sementvekt For optimal dosering anbefales for-forsøk.

Doseringstidspunkt	Sika ViscoCrete® RMC-420M tilsettes forsinket eller sammen med siste del av blande vannet. For optimal utnyttelse av vannreduksjonen anbefaler vi minimum 60 sekunder blandetid etter at produktet er tilsatt. Nødvendig blandetid er avhengig av resept og blandertype og bør bestemmes ved forhåndsprøving. Produktet kan etterdoseres i automikser. Beregn minimum 1 minutt blandetid pr m <sup>3</sup> eller minimum 5 minutter blandetid på full hastighet.
--------------------	--



**Kombinasjoner** ViscoCrete® RMC-420M kan kombineres med andre produkter fra Sika som følger:

- SikaAer®-S
- Plastiment® BV-40
- Sika® Pump
- Andre SP-stoffer i Sikament®- eller ViscoCrete®-serien
- Sika® Rapid 2 og Sika® Rapid 3
- Sika® Retarder og SikaTard® 930
- Sika PerFin®-1
- Sika Stabilizer® 4R
- Sika Stabilizer® CB-1

**Bivirkninger** Overdosering medfører separasjon i betongmassen og retardasjon av herdeforløpet.

**Godkjenninger** Sika ViscoCrete® RMC-420M er omfattet av samsvarserklæring 1111-CPD-002 og er CE-merket som angitt nedenfor. Sika ViscoCrete® RMC-420M vil bli fremlagt for tildeling av miljømerket EQ-Seal fra den europeiske tilsetningsstoff-foreningen EFCA. Miljømerket tildeles produkter som ikke har negative effekter på menneske og miljø.



**Emballasje** ViscoCrete® RMC-420M kan leveres i kanner å 10 eller 25 liter, fat å 200 liter, IBC-container å 1000 liter eller med tankbil.

**Oppbevaring, holdbarhet og avfallshåndtering** Ved frostfri lagring i uåpnet emballasje, er holdbarheten min. 9 måneder fra produksjonsdato.

Dersom produktet er frosset kan det fremdeles benyttes etter optining og grundig omrøring.

Produktet er ikke klassifisert som spesialavfall.

For avfallshåndtering se tilhørende HMS-datablad.

Sika Norge AS er med på Materialreturordningen, og betaler gebyr for all produkt og forsendelsesemballasje. Vi anbefaler at all tomemballasje leveres til gjenvinning.

**Helse, Miljø og Sikkerhet** Se tilhørende HMS-datablad.

Produktet er produsert i en bedrift som er sertifisert i henhold til ISO 9001:2000 og ISO 14001.

Ønskes ytterligere opplysninger, står våre konsulenter, samt vår kundeservice til Deres disposisjon.

Forespørsel om HMS-datablad kan rettes til vår HMS-ansvarlig, eller gå inn på våre internettsider: [www.sika.no](http://www.sika.no)

## Produktansvar

Denne informasjonen og i særdeleshet anbefalingene i forbindelse med anvendelse av Sikaprodukter er gitt i god tro, basert på Sikas inneværende kunnskap og erfaring med produktene når de er riktig lagret, behandlet og anvendt under normale forhold.

I praksis vil forskjellene i materialer, underlag og lokale forhold være av en slik karakter at hverken denne informasjonen, andre skriftlige anbefalinger eller noen annen form for råd kan innebære noen garanti med hensyn til det bearbejdede produktets omsetningspotensial eller egnethet for et bestemt formål, ei heller noen annen form for juridisk ansvar.

Tredjeparts eiendomsrett må respekteres.

Enhver ordre aksepteres i henhold til Sikas gjeldende salgs- og leveringsbetingelser.

Brukere skal alltid forholde seg til sist oppdaterte versjon av teknisk datablad og HMS - datablad for det aktuelle produktet. Kopier av sist oppdaterte versjon finnes på Sika Norges internettsider: [www.sika.no](http://www.sika.no).



Sika Norge AS  
Industriveien 22  
Postboks 76  
1483 SKYTSTA  
Norge

Tel. 67 06 79 00  
Fax 67 06 15 12  
[www.sika.no](http://www.sika.no)

## Metodebeskrivelse multivariat dataanalyse

### Statistisk undersøkelser av sammenheng mellom responsvariablen luft, $y$ , og materialvariabler, $x$

Multivariat dataanalyse som ble benyttet i de statistiske undersøkelsene besto i dette arbeidet av (1) Etablering og evaluering av prediksjonsmodell, (2) Sensitivitetsanalyse og optimalisering.

I tilfelle av et stort antall variabler i forhold til antall observasjoner kan de originale  $x$ -variablene uttrykkes ved færre latente variabler. Ved hjelp av partiell minste kvadraters metode (engelsk forkortelse: PLS) kan latente variabler beregnes og antall latente variabler optimaliseres mht å oppnå maks forklart varians i  $y$ -variabelen. I tillegg blir regresjonskoeffisienter beregnet for prediksjon av  $y$  for nye verdier  $x$ . Metoden er mer detaljert beskrevet i Martens og Næs [1] og anvendt av blant annet Svinning et al [2] [3]. Programvare anvendt var Unscrambler versjon 9.7. Før PLS ble  $x_{i,k}$  sentrert og skalert på følgende måte:

$$x_{i,k,w} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{s(x_k)} \quad (1)$$

Ved sensitivitetsanalyse kan innflytelse fra de forskjellige  $x$ -variablene på  $y$  undersøkes. Følgende to metoder kan anvendes:

1. Sammenlikne verdier og konfidensintervall av respektive, vektete regresjonskoeffisienter (én pr variabel)
2. Prediksjon av  $y$  ut fra simulerte variasjoner i en eller flere  $x$ -variabler eller latente variabler. Signifikant innflytelse bedømmes ut fra konfidensintervall i  $\hat{y}$  i forhold til den totale variasjon i  $\hat{y}$ .

I dette arbeidet ble sistnevnte type av sensitivitetsanalyse benyttet. Optimalisering av  $y$  baserer seg på lineær programmering der regresjonsformelen for prediksjon av  $y$  optimaliseres, dvs minimering eller maksimering av  $y$ , der beskrankningene er gitt av de latente variablene og generelle øvre og nedre grenser for  $x$ . Programvare benyttet, var OptPilot [4].

#### REFERANSER

1. Martens, H., Næs, T., Multivariate calibration, 2<sup>nd</sup> edition, *Chichester: Wiley* 1989
2. Svinning, K., Justnes, H., Viggh, E., Bremseth, S. K. and Johansson, S.-E. Examination of clinkers from four Scandinavian Plants with respect to microstructure and cement properties, *Proceedings of 22<sup>nd</sup> international conference on cement microscopy*, Montreal 2000, pp. 137-153
3. Svinning, K., Høskuldsson, A., Justnes, H., Prediction of potential compressive strength of Portland clinker from its mineralogy, *Cement and concrete composites* 30 (2008) 138-151
4. Svinning K., Høskuldsson, A., Design and manufacture of Portland cement – application of sensitivity analysis in exploration and optimisation, Part II. Optimisation, *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 84 (2006) 188-194