



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Bygg – Konstruksjonsteknikk og materialteknologi	Høstsemesteret, 2015 Åpen
Forfatter: Marius Lykke Amundsen (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså Veileder(e): Knut O. Kjellsen	
Tittel på masteroppgaven: Luftinnføring i betong med Portland-flygeaske sementer – innvirkning av sementegenskaper Engelsk tittel: Air entrainment in concrete with Portland-flyash cements - impact of cement properties	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Luftinnføring i betong; Sementegenskaper; Foam-index Air entrainment in concrete; Cement properties; Foam-index	Sidetall: 35 + vedlegg/annet: 8 Stavanger, 15.01.2016 dato/år

SAMMENDRAG

For å lage en frostbestandig betong tilsettes luftinnførende stoff. Dette danner et finfordelt luftporesystem som kan ta hånd om volumøkningen til vannet når det fryser. Å oppnå kravene til luftinnhold kan være krevende. Luftinnføringen kan være følsom for små variasjoner i delmaterialene i betong. Totalt 32 ulike FA-sementer har blitt analysert og testet ut i MF40-betong for å undersøke hvilke bestanddeler i flygeaskesement som påvirker luftinnføring i betong. I tillegg har foam-indexen til de ulike flygeaskesementene blitt undersøkt.

Det er påvist sammenheng mellom karboninnholdet i flygeaskesement og luftinnføring i betong. Det har og blitt påvist en sammenheng mellom karboninnholdet i flygeskesement og foam-index. Foam-index og luftinnholdet i betongene har en sammenheng. SP-stoff og mengden partikler mindre enn 24µm og 30µm har og en sammenheng med luftinnføring i betong.

INNHOOLD

SAMMENDRAG	2
FORORD	5
1. INTRODUKSJON	6
2. LITTERATURSTUDIE.....	8
2.1. FA-sementens påvirkning på dannelsen av luft	8
2.1.1. Karbon	8
2.1.2. Glødetap	8
2.1.3. Blaine og finhet.....	8
2.1.4. Alkalienivå	8
2.2. Andre variabler	8
2.2.1. Tilslag.....	9
2.2.2. Temperatur.....	9
2.2.3. Konsistens og synkmål.....	9
2.2.4. SP-stoff	10
3. Metode	11
3.1.1. Tester.....	11
3.1.2. Analyser	11
3.1.2.1. Flygeaske	11
3.1.2.2. Multivariat dataanalyse.....	11
3.1.2.3. Annet	12
4. Eksperimentelt	13
4.1 Generelt om testing og laboratoriearbeid	13
4.2. Tilsetningsstoffer generelt	13
4.3. Uttak av sement	13
4.4. Betongresept	13
4.5. Tilslag	13
4.6. Blandeprosedyre	14
4.7. Temperatur.....	14
4.8. Synk og utbredelse	14
4.9. Luft.....	14
4.10. Romvekt.....	14
4.11. Utstøping	14
4.12. Styrke.....	15
4.13. Foam-index.....	15
5. RESULTATER	16

5.1. Registrering av data.....	16
5.2. Betong	16
5.3. Foam-Index.....	19
5.4. Analyser av FA-sement.....	20
5.5. Mørtel.....	21
5.6. Multivariat analyse.....	22
6. DISKUSJON.....	24
6.1. Karbon	24
6.2. Blaine og partikkelfordeling	28
6.3. SP-stoff	28
6.4. Alkaliinnhold.....	29
6.5. Glødetap.....	29
6.6. P2O5	30
6.7. STDFA og ANLFA	31
7. KONKLUSJON.....	33
7.1. Videre arbeid	33
REFERANSER	34
VEDLEGG.....	36
Vedlegg 1: Foam-index.....	36
Vedlegg 2: Datablad SP-stoff RMC-420M.....	38
Vedlegg 3: Datablad L-stoff SikaAer-S.....	41

FORORD

Oppgaven er skrevet ved Universitetet i Stavanger (UIS) i samarbeid med Norcem Brevik. Alle forsøkene og analysene er utført ved Norcem Brevik.

Jeg vil gjerne takke Norcem Brevik for å stille utstyr, laboratorium og betydelige mengder materiale til min disposisjon.

En stor takk til alle ansatte ved Norcem Breviks fysikalske- og kjemiske laboratorium som har bidratt til resultatene i denne oppgaven. Uten deres hjelp ville ikke denne oppgaven vært mulig å gjennomføre.

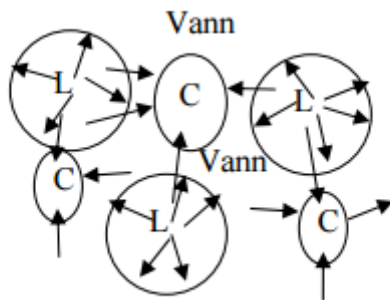
Takk til min veileder Dr. Ing. Knut O. Kjellsen ved Norcem Brevik for problemstillingen til denne oppgaven og mange gode diskusjoner.

I tillegg vil jeg takke forskningsansvarlig Kjell Skjeggerud i HeidelbergCement, prosjekttekniker Tor Magnus Zachariassen ved Norcem Brevik, Dr. Ing. Ketil Svinning ved Norcem Brevik, teknolog siv.ing. Magnus G. Skjeggerud ved Norbetong Region Vest-Norge, min veileder Knut Tore Fosså ved Universitet i Stavanger og senioringeniør Sigrun Kjær Bremseth ved Norcem for all hjelp med oppgaven og flotte diskusjoner.

En ekstra takk til Dr. Ing. Ketil Svinning ved Norcem Brevik for hans hjelp til behandling av data.

1. INTRODUKSJON

Stort sett all betong som står ubeskyttet er utsatt for frost. Vann fra regn, snøsmelting eller fra vannskvulp trekker inn i betongen for å oppnå fuktlikevekt. Når vannet så fryser og utvider seg kan det oppstå spenninger i- og skader på betongmassen. For å lage en frostbestandig betong tilsettes luftinnførende stoff (L-stoff). Dette danner et finfordelt luftporesystem som kan ta hånd om volumøkningen til vannet når det fryser. Figur 1 viser hvordan L-stoff danner luftbobler. L er luft, pilene er L-stoff, C er sement og det hele er omgitt av vann.



Figur 1: Illustrasjon av virkemåten til L-stoff (3).

L-stoff har en hydrofob del (pilens hale) og en hydrofil del (pilens spiss) og vil legge seg i fasen mellom luft og vann. I tillegg vil den hydrofile delen av L-stoffet trekkes mot sementpartiklene. Det dannes dermed små luftbobler rundt sementpartiklene som holder seg gjennom hydratiseringen (1)(3).

For å lage frostsikker betong opererer Statens vegvesen (2) med følgende krav: «Betong til konstruksjonsdeler som utsettes for frysing/tining i fuktig tilstand skal tilsettes luftinnførende tilsetningsstoff. Likeledes alle konstruksjonsdeler som utsettes for tinesalt eller saltsprut og saltføyke. 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:

- $4,5 \pm 1,5$ % for spesifiserte fasthetsklasser til og med B 45
- $3,5 \pm 1,5$ % for spesifiserte fasthetsklasser over B 45»

Å oppnå kravene til luftinnhold kan være krevende. Luftinnføringen kan være følsom for små variasjoner i delmaterialene i betong. I denne oppgaven skal det undersøkes hvordan ulike sementegenskaper påvirker luftinnføringen i betong fra sementprodusentens perspektiv. Det er i denne oppgaven snakk om sementer tilsatt flygeaske (FA). Det finnes flere studier som undersøker hvordan sement og flygeaske påvirker luftnivået. Denne oppgaven skiller seg ut ved å se på hvordan en sementprodusent som Norcem kan bruke sine eksisterende testmetoder for å sikre gode sementprodukter som ikke bidrar til ustabil luftinnføring i betong. I tillegg vil det bli undersøkt om manuell testing av foam-index er et nyttig verktøy for å vurdere sementers innflytelse på luftinnføring. Foam-index er beskrevet i vedlegg 1.

Siden juni 2014 og frem til september 2015 har Norcem Brevik tatt ut produksjonsprøver av standard flygeaskesementer (STDFA) og anlegg flygeaskesementer (ANLFA). Dette har resultert i 32 ulike flygeaskesementer. Av disse er det 11 STDFA med kalkmel, 9 STDFA uten kalkmel og 12 ANLFA uten kalkmel. Disse sementene danner grunnlaget for den eksperimentelle delen av masteroppgaven. Det

bør nevnes at det er ganske unikt å ha tilgang til så mange ulike produksjonsprøver fra en og samme sementprodusent. Dette er et grunnlag som beskriver Norcem Breviks produksjon over tid.

Aktuelle sementegenskaper å undersøke er finhet, kjemisk sammensetning, alkaliinnhold og klinkertype. I tillegg vil tilsatt FA, superplastifiserende stoff (SP-stoff) og L-stoff bli undersøkt.

2. LITTERATURSTUDIE

2.1. FA-sementens påvirkning på dannelsen av luft

2.1.1. Karbon

Flygeaske inneholder små mengder restkarbon. Dette har sammenheng med at en liten del av kullet som forbrukes ved varmekraftverk ikke forbrennes fullstendig. Dette vil følgeavgassene og blande seg med flygeaskepartiklene som vil dannes ved avkjøling av avgassene. Restkarbonet kan adsorbere den hydrofobe delen av L-stoffet eller L-stoffet kan bli liggende i porer i restkarbonet slik at det ikke kommer i kontakt med hverken luft eller vann. Dette fører til at hele eller deler av L-stoffet ikke får gjort sin tiltenkte oppgave og det må tilsettes mer L-stoff for å oppnå ønsket luftinnhold i en betong (5)(6).

At karbon i FA vanskeliggjør innføringen av luft i betong er godt kjent (7)(8). Sammenhengen mellom karbon i FA i analyser av foam-index er og påvist (9).

2.1.2. Glødetap

Det er påvist sammenheng mellom glødetapet til FA som er tilsatt i sement og mengden L-stoff som trengs for å danne stabilt skum i foam-indextester. Større glødetap i FA tyder på at skumdannelse vil bli vanskeligere (10).

2.1.3. Blaine og finhet

Finheten i sementen og FA påvirker dannelsen av luft i betong. Hvis sementen og flygeasken har samme finhet og finheten på sementen øker vil mengden luft gå ned. Det samme gjelder om man øker finheten på FA og sement holdes lik. Hvis forskjellen øker mye vil en mye finere FA ha større utslag på luftinnholdet enn en sement som er mye finere enn FA. Det samme gjelder for tester av foam-index (11).

Det finnes også studer som sier at finheten på FA vanskeliggjør innføringen av luft. Denne effekten blir sterkere jo finere FA blir. Det påstås at karbonet blir lettere tilgjengelig og lettere hindrer L-stoffet i å fungere som tiltenkt(12)(13). Det finnes også et studie som motsier at det finnes en sammenheng mellom finheten, mer tilgjengelig karbon og L-stoffdosering. (14) Å male flygeasken finere i en mølle for så å benytte den i en betong, vil gjøre det vanskeligere å føre inn luft. Ubrent karbon blir pakket inn av andre deler av flygeasken når avgassene fra varmekraftverket blir avkjølt. Ved maling vil det innpakke karbonet kunne bli tilgjengelig for L-stoffet (7).

2.1.4. Alkalienivå

Det har blitt påvist at vannløselige alkalier påvirker utfallet av foam-indextester. Øker nivået av vannløselige alkalier vil foam-indexen gå ned. Det vil si at mengden L-stoff som trengs for å danne stabilt skum går ned. Denne effekten påvirker ikke dannelsen av stabilt skum like mye som finheten til FA og sement og innholdet av karbon (11).

2.2. Andre variabler

I tillegg til sement finnes det en rekke variabler som kan påvirke luftinnholdet i betong. Selv om sementen og dens bestanddeler er hovedfokuset i denne oppgaven, er det viktig å vurdere de andre variablene som kan skape variasjoner i luftinnholdet i betongen. Alle andre variabler enn sementen bør holdes mest mulig konstante. Dette gir best mulig grunnlag for å vurdere ulike sementers påvirkning på luftinnholdet i betongen. Det vil derfor være fornuftig å vurdere i de andre parameterne og hvordan disse skal håndteres under forsøkene for å gi et best mulig sluttresultat. Dag Vollset fra Mapei AS har i «Luft i betong» (3) undersøkt hvordan de ulike komponentene i fersk

betong påvirker luftinnholdet. De punktene fra «Luft i betong» som er aktuelle (utenom sement) for denne oppgaven vil bli kommentert videre i denne delen av oppgaven.

2.2.1. Tilslag

Undersøkelser har vist at (3) fillere med økt andel av partikler under 125µm krever en økt dosering av L-stoff for å oppnå riktig mengde luft. Det fører og til at luften som kommer inn i betongen forholder seg mer stabil. Grus (8-16 mm) vil som regel inneholde noe finstoff og det er derfor viktig å være oppmerksom på at det over tid kan samle seg mye finstoff i bunn av en gruskontainer. Dette kan føre til at noen uttak av grus kan få større mengder finstoff enn andre og det kan oppstå en forskyvning i tilslagskurven.

Større partikler med flisete kornform vil føre til mer luft i betongen. I tillegg kan kornformen på tilslaget påvirke vannbehovet og hvor mye SP-stoff som trengs for å oppnå en viss synk. Det er derfor viktig å holde tilslaget mest mulig likt (3).

2.2.2. Temperatur

Noe av luften i fersk betong kan forsvinne dersom den blir varmet opp. Dette kan for eksempel skje om temperaturen øker utover dagen. Dette er ikke aktuelt i et laboratorium, da et laboratorium bør holde en jevn temperatur. Betongen får heller ikke tid til å bli varmet opp eller kjølt ned av omgivelsene hvis den blir brukt omgående til tester og utstøpt betong blir plassert dirkete i kontrollerte omgivelser (3).

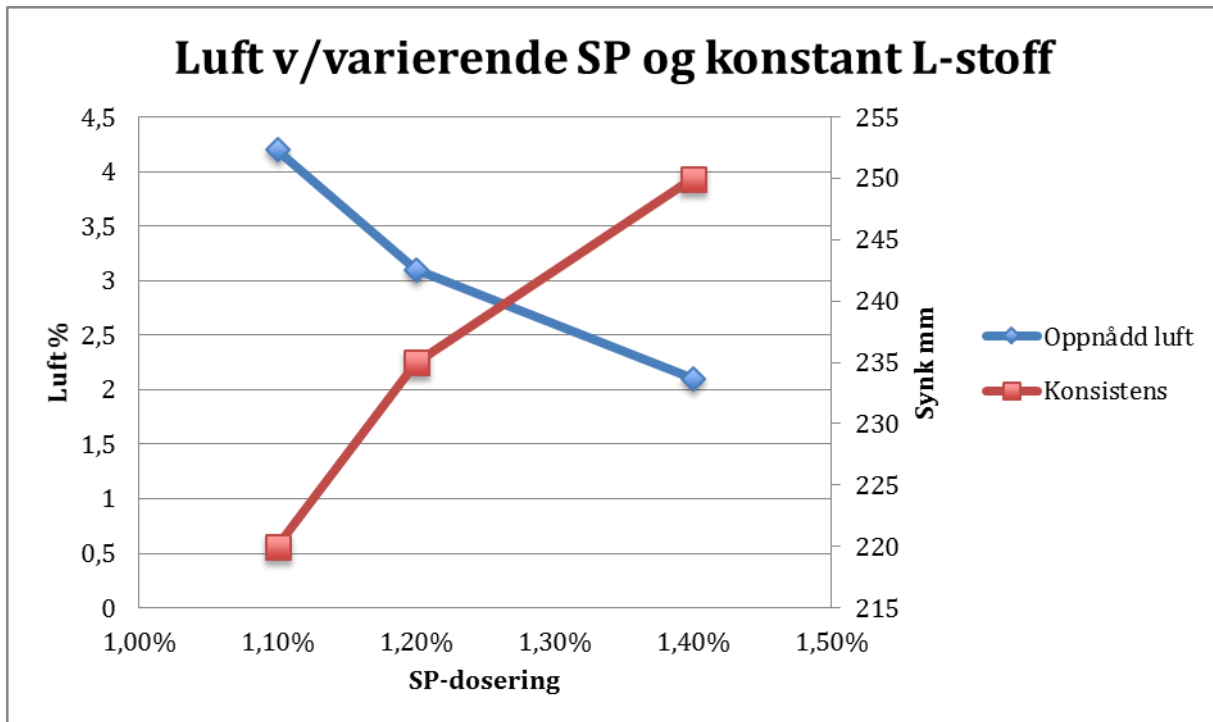
Temperaturen på vannet som blir tilsatt i betongblanderer har ingen direkte effekt på luftinnholdet på betongen. (3) Det er først når vannet påvirker temperaturen til den ferske betong at man kan observere variasjoner i luftinnholdet. Etter forfatterens egne erfaringer skyldes det at en varm betong vil reagere raskere og bli stivere enn en kald betong. En varm betong vil derfor få et lavere synkmål enn en kald betong selv om det i utgangspunktet er to like betonger. Temperaturen til den ferdig blandede betongen kan påvirke synkmålet.

2.2.3. Konsistens og synkmål

I tabell 1 og figur 2 konkluderer både Dag Vollset i «Luft i betong» (3) og Magnus Gade Skjeggerud sin masteroppgave (7) med at konsistensen påvirker luftinnholdet i betongen.

Tabell 1: Tabellen viser at luft innført i betong forandrer seg med synkmålet til den ferske betongen (3).

Luftinnhold (i %)	Synkmål (i mm)
3,1	0
3,8	50
4,8	100
5,7	150
4,0	200
2,0	240



Figur 2. Figuren viser hvordan mengden luft i fersk betong synker ettersom SP-stoffdoseringen går opp og synken går opp. SP-stoff er oppgitt som prosent av bindemiddel (7).

Det er derfor ideelt å holde synken på et fast nivå for at den ikke skal påvirke mengden innført luft i betong.

2.2.4. SP-stoff

For å oppnå en viss konsistens i betong blir det benyttet SP-stoff. Når det blir tilsatt superplastifiserende midler for å gjøre en fersk betong mer flytende vil det og bli dannet luft. Dette skyldes at SP-stoff lager skum. I en betong som ikke trenger å være frostsikker er det ikke ønskelig med luft. Øker luftinnholdet med 1 % vil styrken på betongen bli redusert med ca 5 %. Det er derfor tilsatt luftdemper i SP-stoff for å motvirke skumdannelse (3)(27). Når man så ønsker å lage en frostsikker betong med for eksempel $4,5 \pm 1,5$ % luft vil tilsatt skumdemper i SP-stoffet påvirke resultatet. Selv om reseptene er like og det eneste som varierer er sementen, vil betongene kreve ulike mengder SP-stoffdosering for å oppnå samme konsistens. Betongene vil derfor inneholde ulike mengder skumdemper. Magnus Gade Skjeggerud fant i sin masteroppgave (7) en sammenheng mellom luft i betong og SP-dosering i figur 2. Figuren viser hvordan mengden luft i fersk betong synker ettersom SP-stoffdoseringen går opp og synken går opp.

Alternativt kunne man valgt å holde SP-stoffdoseringen konstant og latt synken variere. Ulike konsistens ville, se avsnitt 2.2.3, og synkmål, gitt variasjoner i luft og i tillegg ville en meget stiv betong ikke kunne bli testet for luft på en skikkelig måte. Betong med lav synk vil kunne danne store luftlommer når den fylles i luftbøtten og gi uriktige målinger av luft. Når hovedhensikten er å undersøke luftinnholdet i ulike betonger bør SP-stoffet variere fremfor å holdes konstant med hensikt med å oppnå konstant synk.

3. Metode

3.1.1 Tester

Totalt 32 ulike FA-sementer er testet. Av disse er det 11 STDFA (CEM II/B-M) med kalkmel, 9 STDFA (CEM II/A-V) uten kalkmel og 12 CEM II/A-V (ANLFA) uten kalkmel.

Alle 32 FA-sementene er blitt på testet på følgende måte:

Ved Norcems kjemiske laboratorium:

FA-sement: Glødetap, Blaine, SO₃, F.CaO, Karbon, Kalkmel, FA, Partikkelfordeling (+24, +30, -64, -90, d(0.5)), SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, P₂O₅ og totalt alkaliinnhold.

Ved Norcems fysikalske laboratorium:

I mørtel: Vannbehov, Utvidelse, Bindetid og Styrke ved 1, 2, 7 og 28 døgn.

I betong med synk 210±10mm: Luft, Synk, Utbredelse, Romvekt, bruk av SP-stoff og styrke ved 28 døgn

Foam-index. Foam-index er beskrevet i vedlegg 1.

Alle tester er utført etter Nocems internprosedyre eller aktuelle standarder for prøving

3.1.2. Analyser

3.1.2.1. Flygeaske

I tillegg blir det gjort analyser av alle FA-lastene som blir levert til Norcem i den aktuelle tidsperioden. Dette blir gjort ved Norcems kjemiske laboratorium. Det er ikke mulig å si med stor nok nøyaktighet hvilken FA som er tilsatt i hvilken FA-sement. Dette skyldes at FA fra en eller flere siloer kan tilsettes sementen samtidig. Det vil derfor bare være mulig å undersøke trender over tid i FA-lastene. Aktuelle trender å undersøke er karboninnhold og glødetap. Dette vil bli brukt til å undersøke om det er en sammenheng mellom karbon og glødetapet til flygeaske.

3.1.2.2. Multivariat dataanalyse

For å tolke resultatene blir det benyttet multivariat dataanalyse. Dette er en metode som sammenligner data, hjelper til med å skille variasjoner som har innvirkning på en egenskap og hvilke variasjoner som ikke har innvirkning på den samme egenskapen. Dette er en metode som egner seg meget godt til undersøkelser der man har flere variabler som kan påvirker en spesifikk egenskap. Metodebeskrivelsen for multivariate dataanalyse som står beskrevet under er en lett omskrivning av metodebeskrivelsen for multivariate dataanalyse i bacheloroppgaven «Optimalisering av fasthet i miljøvennlige sementer» skrevet av Magnus Gade Skjeggerud og forfatteren av denne oppgaven (25).

Statistiske undersøkelser av sammenheng mellom responsvariabelen «luft i fersk betong (%)», y , og «sementvariabler, SP-stoff-dosering og mørtelanalyser», x .

Og

Statistiske undersøkelser av sammenheng mellom responsvariabelen «Snitt av antall dråper tilsatt L-stoff for å oppnå stabilt skum i en foam-indentest», y , og «sementvariabler og mørtelanalyser», x .

Multivariat dataanalyse som ble benyttet i de statistiske undersøkelsene besto i dette arbeidet av Etablering og evaluering av prediksjonsmodell, 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 (21) og anvendt av blant annet Svinning et al (22)(23). Programvare anvendt var Unscrambler versjon 9.7. Før PLS ble $x_{i,k}$ sentrert og skalert på følgende måte:

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

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 førstnevnte type av sensitivitetsanalyse benyttet. 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 (25).

Svakheten med å benytte multivariat dataanalyse er at den krever et stort antall prøver for å gi et sikkert anslag på hva som påvirker luftinnføring eller foam-index. 32 unike sementer er nødvendigvis ikke nok. I tillegg bør det gjøres forsøk der en og en variabel i sementen blir bevist endret for så å gjøre forsøk der variablene i sementen er tilfeldige. Dette legges så samlet inn i den multivariate analysen for best mulig resultat (4). I denne oppgaven er det kun gjort forsøk der variasjonene i sementen er tilfeldige. Kvaliteten på de multivariat analysene blir diskutert i resultatkapitlet.

Tross mulige svakheter blir multivariat analyse benyttet, da det for forfatteren ser ut til å være den beste måten å finne ut av eller få et inntrykk av hvor mye de ulike variablene bidrar.

3.1.2.3. Annet

I tillegg vil det bli gjort direkte sammenligninger med data fra forsøkene og analysene som peker seg ut.

4. Eksperimentelt

4.1 Generelt om testing og laboratoriearbeid

Forfatteren har selv stått for utstøping og testing av betong, testing av foam-index og deltatt på de fleste av sementuttakene. Styrketestene på betongklossene og resterende testing ble utført av ansatte ved Norcem Brevik.

For å sikre at det oppsto minst mulig feilkilder under laboratoriearbeidet ble alt gjort helt likt fra betongblanding til betongblanding. Så godt det praktisk lot seg gjøre. Det var for eksempel alltid samme person som målte luften i betongen. Samme utstyr ble benyttet gjennom hele oppgaven. I tillegg ble luftbøtta kontrollert jevnlig for å sørge for at den viste riktige verdier og var tett.

4.2. Tilsetningsstoffer generelt

I forbindelse med oppgaven ble det skaffet nytt SP-stoff og L-stoff. Dette ble gjort for å unngå produkter som har blitt stående og blitt ustabile. SP-stoffet og L-stoffet ble ristet hver gang før bruk for å sørge for en homogen blanding. Ved å skaffe inn en ny dunk med SP-stoff og en ny dunk med L-stoff unngikk man å skaffe nye dunker med tilsetningsstoffer underveis.

4.3. Uttak av sement

Hver sementprøve ble tatt ut som en produksjonsprøve. Det vil si at FA-sementen ble tatt ut rett etter at den var ferdig malt ved en av Norcem sine møller. Av hver sementtype ble det tatt ut to hundre kilo sement som ble lagret på tette plastdunker. Fra hvert uttak ble det omgående tatt ut cirka ti liter sement til uttesting i mørtel ved Norcems fysikalske laboratorium og analyser av sementen ved Norcems kjemiske laboratorium.

4.4. Betongresept

Tabell 2. Betongresepten som ble benyttet til alle betonger.

Betongresept	
	kg/m ³
Sement	399,5
Fritt vann	159,8
Absorbert vann	2,9
Sand (0-8mm)	969,6
Grus (8-16mm)	862,4
RMC 420M	Tilpasset hver enkelt sement
Sika AER S (1:9)	0,6

Det ble blandet 30 liter med MF40 betong av hver sement. Volumet ble holdt konstant fordi ulike volumer kan påvirke hvor godt betongblanderer blander sammen og fører inn luft i betongen.

Produktinformasjon om SP-stoffet RMC 420M ligger vedlagt i vedlegg 2. Det ble valgt å bruke varierende SP-stoffmengde for å opprettholde en synk på 210mm±10mm i alle betongblandinger.

Produktinformasjon om L-stoffet Sika AER (1:9) ligger vedlagt i vedlegg 3.

4.5. Tilslag

For å holde tilslagene mest mulig like gjennom forsøke ble det benyttet tilslag fra samme sted (Årdal), leverandør(NorStone) og leveranse. Alle tilslag ble oppbevart tørt og under tak og. Det ble benyttet fuktig sand (0-8mm) og tørr grus(8-16mm). Sanden ble tromlet i minimum fem minutter og fuktigheten ble undersøkt før oppveing. Vannet i sanden ble justert for i betongresepten. Grusen ble

benyttet slik den var. For å få tilnærmet lik grus i hvert uttak ble aldri grusresten i bunnen av gruskontaineren benyttet.

4.6. Blandeprosedyre

Før blanderen startet ble den fylt med grus, så sement og til slutt sand. Rett før betongblanderen ble startet ble L-stoffet tilsatt vannet. Når betongblanderen startet ble følgende prosedyre fulgt:

- Etter 1 minutt med tørrblanding ble vannet tilsatt.
- Etter 2 minutter ble SP-stoff tilsatt (ingen etterdosering av SP-stoff)
- Etter 3 minutter ble betongblanderen stanset og kantene i betongblanderen ble skrapet med en mørtelskje.
- Etter 5 minutter ble betongblanderen startet igjen.
- Etter 7 minutter ble betongblanderen stoppet.

Det tok totalt 7 minutter fra betongblanderen startet til blandeprosedyren var gjennomført.

4.7. Temperatur

Det ble gjort stikkprøver av temperaturen rett etter blandeprosedyren for å kontrollere at temperaturen i ferskbetongen holdt seg jevnt gjennom hele prosjektet. Temperaturene på den ferske betongen lå mellom 20°C og 24°C gjennom hele oppgaven.

4.8. Synk og utbredelse

Det ble bestemt at konsistensen skulle holdes konstant gjennom hele prosjektet for å hindre utilsiktet innføring eller fjerning av luft i betong. Rett etter blandeprosedyren var utført skulle betongen ha en synk på 210mm \pm 10mm. Ut ifra forfatters egne erfaringer vil en mindre variasjon i synk vært meget vanskelig og tidkrevende å oppnå. En synktest vil i tillegg ha en usikkerhet i seg selv. Resultatene vil ha en usikkerhet på rundt \pm 10mm fordi det ikke er praktisk mulig å utføre en synktest 100 % likt fra gang til gang.

Synk- og utbredelsestesten ble utført med en gang blandeprosedyren var avsluttet. Synkkjeglen ble fylt opp med fersk betong i tre omganger. Hver gang det ble fylt på betongen ble det laget som sist ble fylt på staket 25 ganger. Kjeglen ble så trukket opp vertikalt i et jevnt tempo over ca 10 sekunder. Deretter ble betongens høyeste punkt og utbredelse målt (15)(16). Var betongen for stiv eller bløtt ble den kastet og nye SP-doseringer ble testet til synken ble riktig.

4.9. Luft

Luftbøtten ble fylt opp med fersk betong i tre omganger og staket på samme måte som med synkkjeglen. I tillegg ble luftbøtten hamret ti ganger mellom hver fylling. Betongbøtten ble så lukket og fylt med vann for å fjerne overflødig luft. Ventilene ble lukket og pumpet opp til manometeret nådde sitt startpunkt. Testventilen ble så åpnet og luftnivået i betongen ble lest av (17).

4.10. Romvekt

Når luftbøtten var fylt opp med fersk betong, ferdig staket og hamret ble det hele veid. Romvekten til betongen ble så regnet ut ved å ta vekten av luftbøtten med betong og trekke fra vekten på selve luftbøtten. Dette tallet ble så delt på volumet av luftbøtten. Tallet man da satt igjen med var romvekten til betongen.

4.11. Utstøping

Det ble støpt tre klosser på 10x10 cm per betongblanding. Formene var tørket over med formolje i god tid før utstøpingen fant sted. Hver form ble fylt opp med fersk betong i en omgang, staket 25 ganger og de vertikale sidene på innsiden ble skrapet med en sparkel for å unngå hulrom. Til slutt ble

toppen rettet av og formene ble banket lett med en hammer. Formene ble satt i fuktige omgivelser ved 20°C i et døgn før betongklossene ble avformet og plassert i en vannbad som holdt 20°C (18)(19).

4.12. Styrke

Etter 28 døgn ble prøveklossene testet i en pressmaskin. Klossene ble plassert på en slik måte at kun to helt jevne sider ble utsatt for trykk. Styrken ble lest av ved første brudd. Hver betongblanding hadde tre klosser. Styrken av de tre klossene ble lagt sammen og delt på tre for vise den gjennomsnittlige styrken (20).

4.13. Foam-index

En glasskrukke med lokk og gummiring ble tilsatt 20 g med sement. Glasset ble så tilsatt 50 mL vann, lukket og ristet for hånd i 60 sekunder. Deretter ble det tilsatt tre dråper med L-stoff fra en dråpeteller og det hele ble ristet manuelt i 45 sekunder til. Hvis det etter 45 sekunder med risting hadde oppstått stabilt skum var testen avsluttet. Hvis det ikke var oppnådd stabilt skum ble det tilsatt en dråpe til med L-stoff og det hele ble ristet i 45 sekunder. Dette ble så gjentatt til stabilt skum ble oppnådd. For å få en mest mulig jevn risting, ble skumtestene kun utført av forfatteren selv. Stabilt skum dekker hele vannoverflaten i over 45 sekunder. Selve testen ble utført to ganger per sement. Snittet av L-stoffdoseringene ble brukt til å regne ut foam-indexen. Foam-index er beskrevet i vedlegg 1.

5. RESULTATER

5.1. Registrering av data

Forfatteren registrerte selv fortløpende data fra betonganalysene og skumtestene. Norcems kjemiske laboratorium samlet sammen og utarbeidet et exceldokument med data fra mørtelanalysene og sementanalysene. All data ble så samlet i et exceldokument for videre tolkning.

5.2. Betong

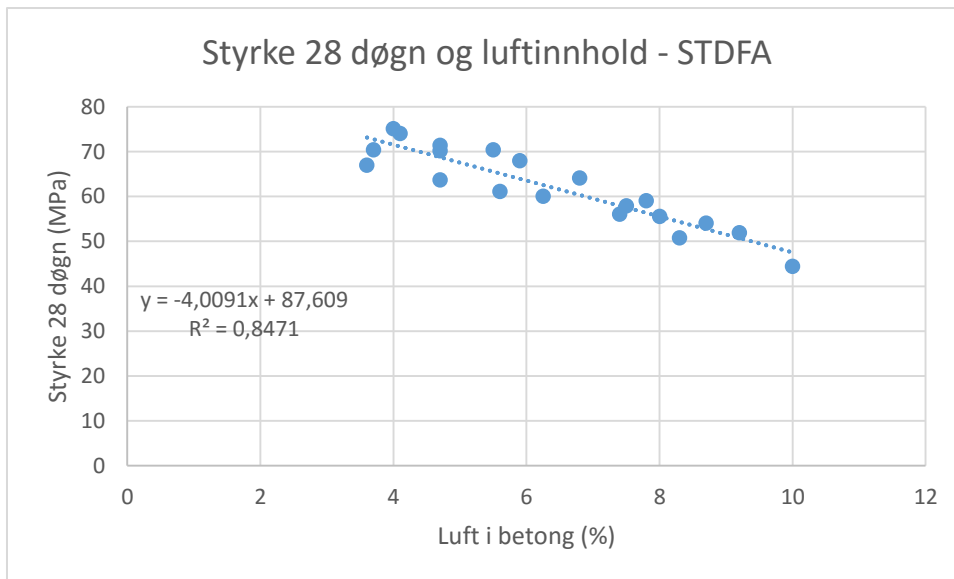
Tabell 3. Resultater fra utstøpte betonger.

Betong												
Uttaks dato	Sement type	Sement nummer	Betongnummer	L-Stoff (% av bindemiddel)	SP-stoff (% av bindemiddel)	Luft (%)	Synk (mm)	Utbredelse (mm)	Vekt luftbøtte (kg)	Romvekt (g)	Fasthet 28 døgn (Mpa)	
06.08.2014	STD FA	AZ22-14	DB152	0,6		1,2	3,7	205	335	23,55	2363,363	70,4
07.08.2014	STD FA	AZ21-14	DB153	0,6		1,05	9,2	220	405	22,6	2244,33	51,9
26.08.2014	STD FA	AZ23-14	DB154	0,6		1,2	4,7	220	405	23,4	2344,568	63,7
04.09.2014	STD FA	AZ24-14	DB151	0,6		1,15	4,7	215	360	23,45	2350,833	71,4
06.01.2015	STD FA	AZ36-15	DB156	0,6		1,2	7,4	205	360	22,9	2281,92	56,07
14.01.2015	STD FA	AZ37-15	DB155	0,6		0,95	4	200	300	23,55	2363,363	75,11
23.01.2015	STD FA	AZ38-15	DB157	0,6		1,15	6,25	225	405	23,1	2306,979	60,07
15.05.2015	STD FA	AZ87-15	DB158	0,6		1,05	5,9	215	375	23,15	2313,244	67,97
21.05.2015	STD FA	AZ89-15	DB159	0,6		1,1	6,8	215	360	23,05	2300,714	64,1
10.06.2015	STD FA	AZ100-15	DB161	0,6		1,15	8,7	210	355	22,65	2250,595	54,03
16.06.2015	STD FA	AZ98-15	DB160	0,6		1,1	7,8	200	350	22,85	2275,655	59,07
22.06.2015	STD FA	AZ101-15	DB162	0,6		1,15	7,5	220	390	22,85	2275,655	57,93
01.07.2015	STD FA	AZ102-15	DB163	0,6		1,15	5,6	210	350	23,3	2332,039	61,13
10.07.2015	STD FA	AZ107-15	DB164	0,6		1,1	8,3	220	375	22,7	2256,86	50,8
24.07.2015	STD FA	AZ108-15	DB165	0,6		1,1	5,5	205	330	23,15	2313,244	70,43
30.07.2015	STD FA	AZ109-15	DB166	0,6		1,15	4,1	210	365	23,5	2357,098	74,03
07.08.2015	STD FA	AZ110-15	DB167	0,6		1,15	4,7	195	315	23,45	2350,833	70,17
10.08.2015	STD FA	AZ111-15	DB168	0,6		1,15	8	220	390	22,7	2256,86	55,53
04.09.2015	STD FA	AZ114-15	DB174	0,6		0,9	10	220	410	22,2	2194,211	44,43
24.09.2015	STD FA	AZ124-15	DB175	0,6		1,05	3,6	220	400	23,6	2369,628	66,97
10.07.2014	ANL FA	TZ7-14	DB178	0,6		0,7	11,4	210	340	22,05	2175,417	38,37
25.07.2014	ANL FA	TZ8-14	DB179	0,6		0,7	11	220	360	22,1	2181,681	39,87
01.08.2014	ANL FA	TZ9-14	DB180	0,6		0,7	5,2	220	380	23,35	2338,303	66,93
05.08.2014	ANL FA	TZ10-14	DB181	0,6		0,7	4,8	210	380	23,4	2344,568	62,2
20.08.2014	ANL FA	TZ12-14	DB177	0,6		0,7	7,3	200	330	23	2294,449	55,23
05.09.2014	ANL FA	TZ13-14	DB176	0,6		0,6	5,5	210	350	23,3	2332,039	61,23
08.05.2015	ANL FA	TZ21-15	DB182	0,6		0,7	10	220	390	22,3	2206,741	40,37
19.05.2015	ANL FA	TZ22-15	DB183	0,6		0,7	8,6	220	380	22,6	2244,33	50,2
30.06.2015	ANL FA	TZ29-15	DB184	0,6		0,7	11	215	360	22,35	2213,006	39,43
07.07.2015	ANL FA	TZ30-15	DB186	0,6		0,65	9,7	215	350	22,4	2219,271	42,47
15.07.2015	ANL FA	TZ31-15	DB185	0,6		0,7	13,6	200	350	21,65	2125,298	39,6
30.07.2015	ANL FA	TZ33-15	DB187	0,6		0,65	5,6	220	375	23,2	2319,509	57,97

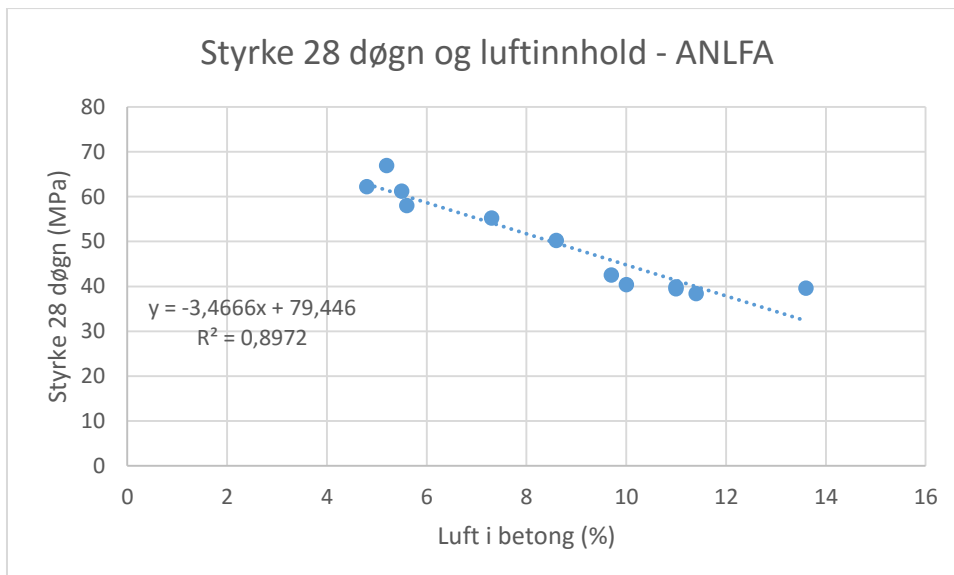
Ut i fra resultatene gikk utstøpingene av betong stort sett etter planen. Det er kun to typer sementer som ble støpt ut med et avvik fra kravet om 210 ± 10 mm i synk. Begge betongene bommet på kravet med 5 mm. Det ble likevel valgt å ta de med oppgaven. Totalt ble det blandet 47 betongblandinger. 13 av disse blandingene avvek for mye fra synkkrauet eller ble brukt for å finne L-stoffdosering og ble derfor ikke benyttet til analyser.

For å forsikre seg om at betongene er støpt ut på riktig måte er det noen tall man kan kontrollere mot hverandre. Dette er tall som har en sammenheng og viser informasjon som er kjent kunnskap om betong. Store avvik fra dette vil tyde på at det har skjedd en feil under utstøpingene.

I Statens vegvesens «Luft i betong Frostskader og praktiske utfordringer» av Hedda Vikan fra Vegdirektoratet, Tunnel- og betongsseksjonen står det skrevet at en god tommelfingerregel er at styrken i betongen avtar med 5 % per en prosent økning i luft (1).



Figur 3. Betongstyrken for STDFA-betonger etter 28 døgn (MPa) sammenlignet med luftinnholdet i betongene (%).

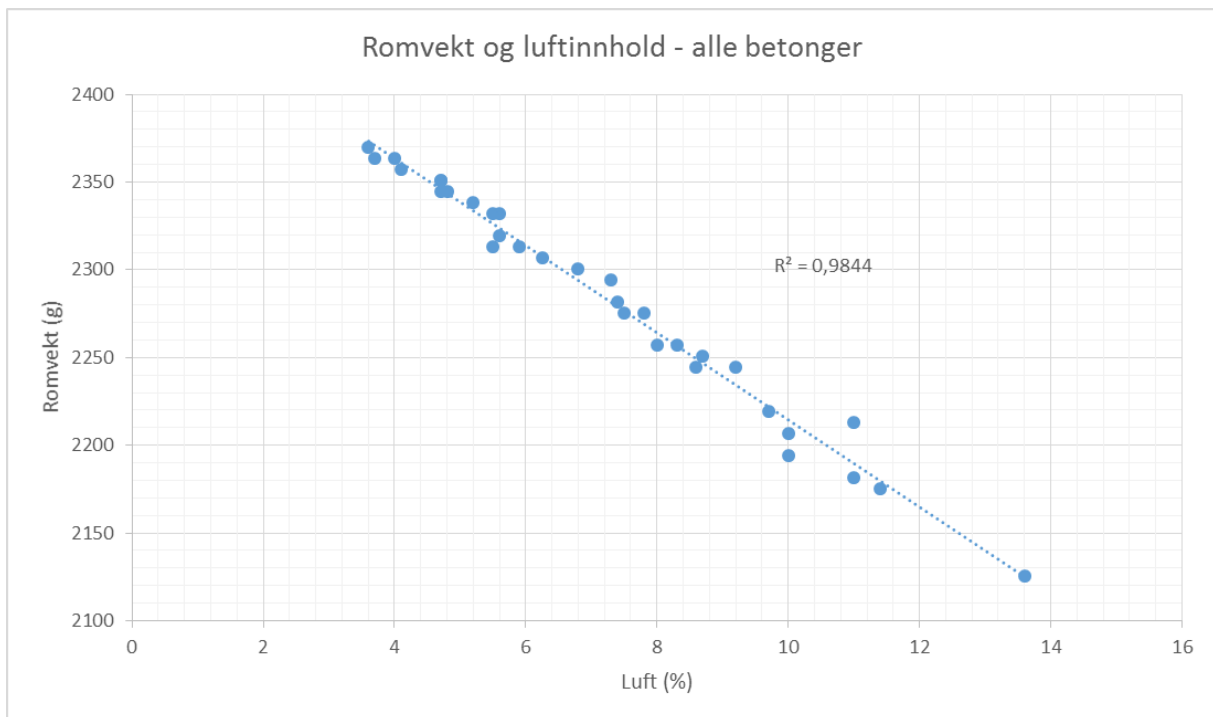


Figur 4. Betongstyrken for STDFA-betonger etter 28 døgn (MPa) sammenlignet med luftinnholdet i betongene (%).

Figur 3 og figur 4 viser sammenhengen mellom styrken i utstøpte betonger etter 28 døgn og luft i fersk betong. Ut i fra funksjonene til de lineære trendlinjene kan man se at styrken i STDFA-betong blir redusert med 4,01MPa per prosent innført luft og at styrken i ANLFA-betong blir redusert med 3,47MPa per prosent innført luft. Følger man Statens vegvesens tommelfingerregel er det forventet en styrkereduksjon på 4,38MPa i STDFA og 3,97MPa ANLFA per prosent luft innført.

Forventet styrkereduksjon og faktisk styrkereduksjon ligger svært nærme hverandre i både figur 3 og figur 4. Det tyder på at betongene har blitt laget på en slik måte at styrkene har blitt som forventet. I tillegg viser korrelasjonskoeffisienten (R-kvadrert) for begge trendlinjene at funksjonene som beskriver trendlinjene er en god tilnærming.

I denne oppgaven er det kun støpt ut MF40 med tilnærmet lik konsistens. Hvis man ser bort i fra variasjonen i luft vil egenvektene til de ulike ferskbetongene være lik. Så når kun luften påvirker egenvekten vil luft og egenvekt ha en direkte lineær sammenheng.



Figur 5. Sammen hengen mellom luft i betong (%) og romvekt (g).

Et stort avvik fra trendlinjen i figur 5 vil tyde på at det har skjedd en feil under måling av luft. R-kvadrert ligger på hele 0,9844. Med tanke på at luftbøtten ble fylt og staket manuelt er dette meget sterk trendlinje. Det er derfor stor grunn til å anta at luftmålingene er utført på en god måte.

5.3. Foam-Index

Tabell 4. Resultater fra alle testene av foam-index.

Foam-index						
Uttaks dato	Sement type	Sement nummer	Mengde LS forsøk 1 (dråper)	Menge LS forsøk 2 (dråper)	Mengde LS (snitt dråper)	Foam-Index (mL/kg)
06.08.2014	STD FA	AZ22-14	8	8	8	0,0296
07.08.2014	STD FA	AZ21-14	5	5	5	0,0185
26.08.2014	STD FA	AZ23-14	6	6	6	0,0222
04.09.2014	STD FA	AZ24-14	7	6	6,5	0,02405
06.01.2015	STD FA	AZ36-15	5	5	5	0,0185
14.01.2015	STD FA	AZ37-15	7	7	7	0,0259
23.01.2015	STD FA	AZ38-15	5	5	5	0,0185
15.05.2015	STD FA	AZ87-15	6	6	6	0,0222
21.05.2015	STD FA	AZ89-15	7	7	7	0,0259
10.06.2015	STD FA	AZ100-15	3	3	3	0,0111
16.06.2015	STD FA	AZ98-15	5	5	5	0,0185
22.06.2015	STD FA	AZ101-15	6	6	6	0,0222
01.07.2015	STD FA	AZ102-15	6	6	6	0,0222
10.07.2015	STD FA	AZ107-15	4	4	4	0,0148
24.07.2015	STD FA	AZ108-15	7	6	6,5	0,02405
30.07.2015	STD FA	AZ109-15	7	7	7	0,0259
07.08.2015	STD FA	AZ110-15	6	6	6	0,0222
10.08.2015	STD FA	AZ111-15	3	4	3,5	0,01295
04.09.2015	STD FA	AZ114-15	3	3	3	0,0111
24.09.2015	STD FA	AZ124-15	10	10	10	0,037
10.07.2014	ANL FA	TZ7-14	3	3	3	0,0111
25.07.2014	ANL FA	TZ8-14	3	4	3,5	0,01295
01.08.2014	ANL FA	TZ9-14	8	8	8	0,0296
05.08.2014	ANL FA	TZ10-14	6	7	6,5	0,02405
20.08.2014	ANL FA	TZ12-14	6	6	6	0,0222
05.09.2014	ANL FA	TZ13-14	7	8	7,5	0,02775
08.05.2015	ANL FA	TZ21-15	5	5	5	0,0185
19.05.2015	ANL FA	TZ22-15	6	6	6	0,0222
30.06.2015	ANL FA	TZ29-15	4	4	4	0,0148
07.07.2015	ANL FA	TZ30-15	6	5	5,5	0,02035
15.07.2015	ANL FA	TZ31-15	2	2	2	0,0074
30.07.2015	ANL FA	TZ33-15	7	6	6,5	0,02405

I åtte av testene er det avvik mellom første og andre test. Dette kunne kanskje vært unngått ved å bruke et L-stoff som var tynnet ut dobbelt så mye. Da ville muligens en sement som i dette forsøket trengte seks dråper L-stoff i første test og fem dråper L-stoff i andre test trengt elleve dråper i første og andre test dersom ekstra fortynnet L-stoff ble benyttet.

Testene ble gjort for hånd og med en enkel dråpeteller. Dette ble gjort for å undersøke om en så lite tidkrevende og lite utstyrs-krevende test kunne gi gode nok resultater. Om dette ble oppnådd blir diskutert senere i oppgaven. Mer nøyaktige resultater kunne vært oppnådd om ristingen hadde skjedd maskinelt. I tillegg kan det stilles spørsmål om en dråpeteller er nøyaktig til å måle opp tilsatt L-stoff.

5.4. Analyser av FA-sement

Tabell 5. Resultater fra analyser gjort på alle FA-sementene ved Norcem's kjemiske laboratorium.

Analyser av sement																							
Uttaks	Sement	Sement	Sement																				
dato	type	nummer	Glødetap	Blaine	SO3	F.CaO	Karbon	Kalkmel	FA	+24	+30	-64	-90	d(0.5)	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5	Alk
06.08.2014	STD FA	AZ22-14	2,27	452	3,33	1,68	0,45	0	18,2	74,6	82,5	2,4	0,6	12,77	26,6	8,16	4	51,71	2,2	1,1	0,52	0,21	1,24
07.08.2014	STD FA	AZ21-14	1,27	488	3,39	1,43	0,24	0	19,4	82,3	89,3	0,4	0,4	10,99	26,52	9,14	3,82	51,67	2,09	0,88	0,41	0,35	0,99
26.08.2014	STD FA	AZ23-14	2,06	450	3,5	2,24	0,4	0	15,8	76,5	84,2	1,7	0,3	12,16	25,55	8,01	3,89	52,71	2,1	0,93	0,48	0,217	1,09
04.09.2014	STD FA	AZ24-14	0,85	437	3,22	0,9	0,35	0	17,8	75,1	83,3	1,2	0	12,7	26,62	8,24	4,13	51,97	2,09	0,91	0,45	0,192	1,05
06.01.2015	STD FA	AZ36-15	1,78	498	3,47	1,71	0,22	0	15,4	74,3	82,3	2,2	0,3	12,9	25,1	8,28	3,48	54,05	2,17	1,01	0,46	0,288	1,13
14.01.2015	STD FA	AZ37-15	1,75	465	3,18	1,4	0,41	0	18,6	79,7	87,1	0,6	0	11,3	27,62	7,8	3,8	52,27	2,01	1,14	0,47	0,179	1,22
23.01.2015	STD FA	AZ38-15	1,27	454	3,3	2,37	0,26	0	19,9	76,8	84,9	0,9	0,9	12,5	26,54	8,84	4,05	51,78	2,02	0,91	0,44	0,31	1,04
15.05.2015	STD FA	AZ87-15	2,21	498	3,4	1,32	0,34	0	19,5	81,2	88,1	0,5	0	10,17	26,2	8,63	3,91	50,77	2,25	1,12	0,59	0,298	1,33
21.05.2015	STD FA	AZ89-15	2,71	475	3,11	1,51	0,36	0	17,6	77	84,6	1,1	0,1	11,58	26,19	8,15	3,8	52,5	2,24	1,09	0,59	0,23	1,31
10.06.2015	STD FA	AZ100-15	2,83	470	3,72	1,76	0,26	3,6	18,7	77,5	84,6	1,6	0,2	11	27,36	7,96	4	51,5	2,25	1,26	0,58	0,22	1,44
16.06.2015	STD FA	AZ98-15	2,7	446	3,56	1,96	0,32	3,8	18,7	74,8	82,6	1,7	0,1	12,24	25,74	8,15	3,96	50,72	2,28	1,24	0,57	0,229	1,38
22.06.2015	STD FA	AZ101-15	2,26	448	3,41	1,57	0,29	3,6	16,4	75,4	83,1	1,6	0,1	12,11	25,02	7,77	3,99	52,28	2,3	1,11	0,57	0,218	1,3
01.07.2015	STD FA	AZ102-15	2,48	464	3,65	1,51	0,33	3,6	17,9	77,3	84,9	1	0	11,3	25,16	8,14	3,93	51,65	2,34	1,17	0,62	0,276	1,39
10.07.2015	STD FA	AZ107-15	3,28	424	3,11	1,51	0,26	3,6	18,9	68,3	76,3	4,7	1	14,33	25,81	8,41	3,9	50,74	2,2	1,07	0,58	0,272	1,28
24.07.2015	STD FA	AZ108-15	2,85	443	3,18	1,43	0,32	4,2	17,5	74,2	81,7	2,2	0,2	12	24,95	7,74	3,9	51,99	2,23	1,07	0,64	0,217	1,35
30.07.2015	STD FA	AZ109-15	2,72	477	3,29	1,54	0,33	4,2	18,9	72,5	80,5	2,3	0,3	12,9	25,8	8,09	3,99	51,03	2,14	1,09	0,6	0,188	1,32
07.08.2015	STD FA	AZ110-15	3,01	446	3,4	1,12	0,31	4,1	19	76,1	83,8	1,5	0,1	11,9	25,61	8,02	3,97	51,03	2,27	1,11	0,61	0,186	1,34
10.08.2015	STD FA	AZ111-15	2,5	448	3,09	1,34	0,30	3,5	18,6						25,46	8,6	3,86	51,33	2,4	1,16	0,6	0,24	1,36
04.09.2015	STD FA	AZ114-15	2,87	453	3,31	1,96	0,18	3,65	19,7	76,8	83,8	2,5	0,6	11,3	25,96	8,34	4,21	50,56	2,12	1,13	0,53	0,2	1,27
24.09.2015	STD FA	AZ124-15	3,28	445	3,3	20,9	0,46	4,08	20,9	72,6	80,1	3	0,5	12,5	27,37	8,45	4,28	49,68	2,13	1,11	0,56	0,266	1,29
														0,3									
10.07.2014	ANL FA	TZ7-14	1,51	399	2,72	1,23	0,28	0	16,9	73,4	81,6	1,7	0,1	13,2	27,68	7,8	4,49	52,82	1,64	0,71	0,42	0,195	0,89
25.07.2014	ANL FA	TZ8-14	1,22	397	2,59	1,57	0,26	0	18,5	70	79	2	0,2	14,74	27,57	8,67	4,48	52	1,7	0,64	0,39	0,19	0,81
01.08.2014	ANL FA	TZ9-14	1,22	389	2,55	1,73	0,39	0	16,9	77,2	84,9	1,2	0,1	12,1	27,33	7,87	4,26	53,85	1,73	0,65	0,43	0,18	0,85
05.08.2014	ANL FA	TZ10-14	1,52	377	2,6	1,29	0,41	0	16,6	79,1	87,1	0,8	0,1	12,2	26,93	7,91	4,16	53,54	1,67	0,64	0,41	0,17	0,83
20.08.2014	ANL FA	TZ12-14	1,27	363	2,85	1,32	0,34	0	16,3	69,1	78,3	2,2	0,2	15,2	26,76	8,21	4,09	53,7	1,75	0,64	0,37	0,208	0,79
05.09.2014	ANL FA	TZ13-14	1,38	393	2,47	1,57	0,34	0	17,2	75,2	83,6	1,4	0,1	13,2	27,04	8,18	4,26	53,34	1,83	0,61	0,42	0,159	0,82
08.05.2015	ANL FA	TZ21-15	1,39	375	2,76	1,4	0,36	0	17,7	70,1	78,8	2,5	0,3	14,4	27,7	8,25	4,04	53,13	1,74	0,71	0,5	0,25	0,97
19.05.2015	ANL FA	TZ22-15	1,42	417	2,44	1,09	0,48	0	20	72	80,5	2	0,2	13,62	29,43	9,03	3,91	52,12	1,81	0,71	0,48	0,29	0,95
30.06.2015	ANL FA	TZ29-15	1,19	495	2,61	1,76	0,37	0	21,1	73,9	81,6	2,4	0,3	12,4	27,19	8,42	4,11	52,39	1,71	0,66	0,49	0,27	0,92
07.07.2015	ANL FA	TZ30-15	1,44	392	2,57	1,82	0,39	0	18,8	71,1	79,6	2,1	0,2	13,8	26,9	8,35	4,07	52,26	1,69	0,56	0,45	0,233	0,82
15.07.2015	ANL FA	TZ31-15	1,1	424	2,64	1,87	0,17	0	8	70,7	78,6	3,2	0,5	13,23	23,11	6,46	3,69	59,34	1,65	0,48	0,38	0,229	0,7
30.07.2015	ANL FA	TZ33-15	1,28	381	2,77	1,76	0,42	0	18,4	68,7	77,5	2,9	0,4	14,8	27	8,03	4,14	52,59	1,72	0,63	0,5	0,187	0,91

Feltene som er farget oransje i tabell 5 er data som mangler. I de multivariate analysene ble disse feltene fylt inn med data fra en tidligere sement som var tilnærmet lik den sementen som manglet data.

5.5. Mørtel

Tabell 6. Resultatene fra tester gjort med alle FA-sementene i mørtel.

Analyser av mørtel									
Uttaks dato	Sement type	Sement nummer	Mørtel						
			Vannbehov	Utvidelse	Bindetid	1 dg	2 dg	7dg	28dg
06.08.2014	STD FA	AZ22-14	29,3	0	139	20,87	29,18	38,5	52,6
07.08.2014	STD FA	AZ21-14	29,3	0	132	22,1	30,6	39	53,9
26.08.2014	STD FA	AZ23-14	29,1	0	132	19,99	28,3	38,2	50
04.09.2014	STD FA	AZ24-14	29,4	0	217	18,3	27,8	37,9	54,9
06.01.2015	STD FA	AZ36-15	30	0	115	25,4	34,8	43,92	56,2
14.01.2015	STD FA	AZ37-15	30	1,5	136	23,1	34,5	44,2	57,5
23.01.2015	STD FA	AZ38-15	30	2	133	21,1	29,8	38,1	51,3
15.05.2015	STD FA	AZ87-15	30,1	0	161	23,7	34,9	45,5	58,79
21.05.2015	STD FA	AZ89-15	29,6	0	155	24,2	32,9	46,7	56,9
10.06.2015	STD FA	AZ100-15	29,2	0	153	22,1	32	42	54,18
16.06.2015	STD FA	AZ98-15	29,8	0,5	161	22,7	33,5	45,3	54,29
22.06.2015	STD FA	AZ101-15	29	0,5	165	23,8	35,8	46,1	56,6
01.07.2015	STD FA	AZ102-15	29,4	1	163	22,3	32,8	45,49	56,91
10.07.2015	STD FA	AZ107-15	27	0,5	152	16,8	28,1	39,61	51,86
24.07.2015	STD FA	AZ108-15	27,5	1	146	22,3	32,71	43,6	55,97
30.07.2015	STD FA	AZ109-15	28,7	0,5	138	22,23	33,8	42,2	57,1
07.08.2015	STD FA	AZ110-15	28,7	0	160	20,6	32,1	42,2	54,9
10.08.2015	STD FA	AZ111-15	29	0	178	21,3	32,6	44,2	54,3
04.09.2015	STD FA	AZ114-15	28,4	1	150	19,5	29,6	40,4	52
24.09.2015	STD FA	AZ124-15	28,5	1	143	16,4	25,2	35,6	50,2
10.07.2014	ANL FA	TZ7-14	27,8	0	155	15,1	22,6	36,3	57,7
25.07.2014	ANL FA	TZ8-14	27,9	0	137	15,3	24,1	37,4	57,3
01.08.2014	ANL FA	TZ9-14	27,9	0	160	15,19	25,2	39,7	56,3
05.08.2014	ANL FA	TZ10-14	27,6	1	129	16,8	25,2	39,7	55,4
20.08.2014	ANL FA	TZ12-14	27,8	0,5	126	16,2	24,2	37,1	55,5
05.09.2014	ANL FA	TZ13-14	28	0	150	15,4	24,8	38,6	58,3
08.05.2015	ANL FA	TZ21-15	28,5	0	154	17,6	26,6	40,7	53,74
19.05.2015	ANL FA	TZ22-15	28,5	1	146	17,9	28,1	41,4	57,07
30.06.2015	ANL FA	TZ29-15	27,3	0	123	14,9	24,17	37,7	50,9
07.07.2015	ANL FA	TZ30-15	28	0,5	135	13,97	22,44	35,88	52
15.07.2015	ANL FA	TZ31-15	27,9	0,5	106	19,79	29,38	44,28	57,1
30.07.2015	ANL FA	TZ33-15	27,7	2	130	15,7	24,9	38,6	53,9

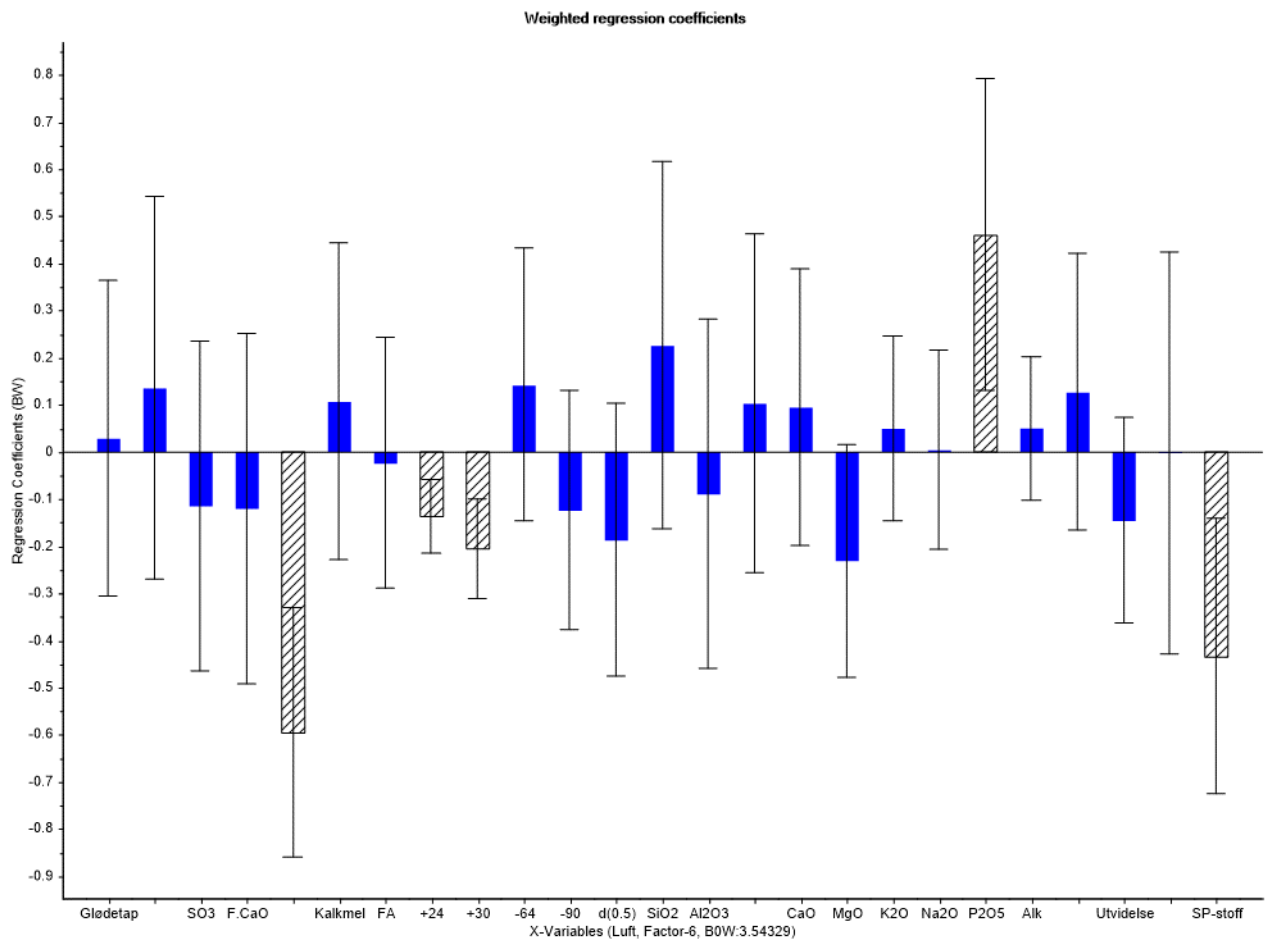
Det er ingen tall i tabell 6 som skiller seg nevneverdig ut.

5.6. Multivariat analyse

Tabell 7. Forklart varians i sementegenskapene.

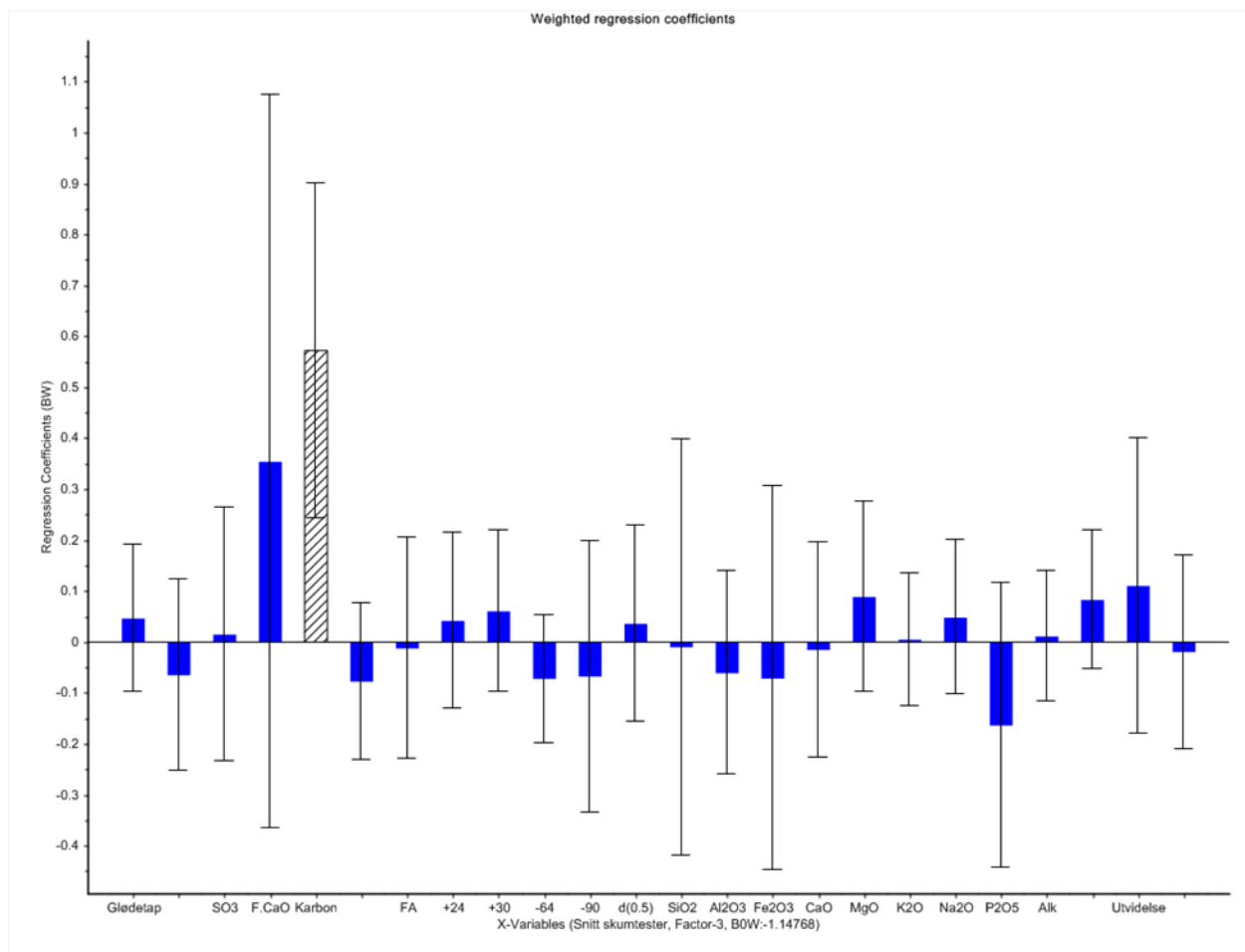
Responsvariabelen Y	Maksimum forklart varians (%)	Antall latente variabler inkludert
Luft i fersk betong (%)	84	6
Snitt av antall dråper tilsatt L-stoff for å oppnå stabilt skum i en foam-indextest	78	3

Tabell 7 viser resultat fra modellering av tidligeskapene som funksjon av kvalitetsvariablene til sementene. Høyere maksimum forklart varians kunne vært oppnådd dersom flere sementer hadde blitt testet og analysert.



Figur 6. Regresjonskoeffisienter for prediksjon av luft i betong. X-aksen: (Fra venstre) Glødetap, Blaine, SO₃, F.CaO, Karbon, Kalkmel, FA, partikkelfordeling: (+24, +30, -64, -90 og d(0.5)), SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, P₂O₅, Alk, Vannbehov, Utvidelse, Bindetid og SP-stoff.

De skraverte søylene i figur 6 viser hva og hvor mye de påvirker innføringen av luft i betong. Skraverte søyler som peker nedover motvirker luftinnføring og skraverte søyler som peker oppover bidrar til økt luftinnføring. Jo større en skravert søyle er jo mer betydelig er dens innflytelse på luftinnføring. I figur 6 (fra venstre) kan man se at karbon, partikler mindre enn 24µm, partikler mindre enn 30µm, P₂O₅ og SP-stoff er signifikante. De blå søylene er ikke signifikante for luftinnføring i betong.



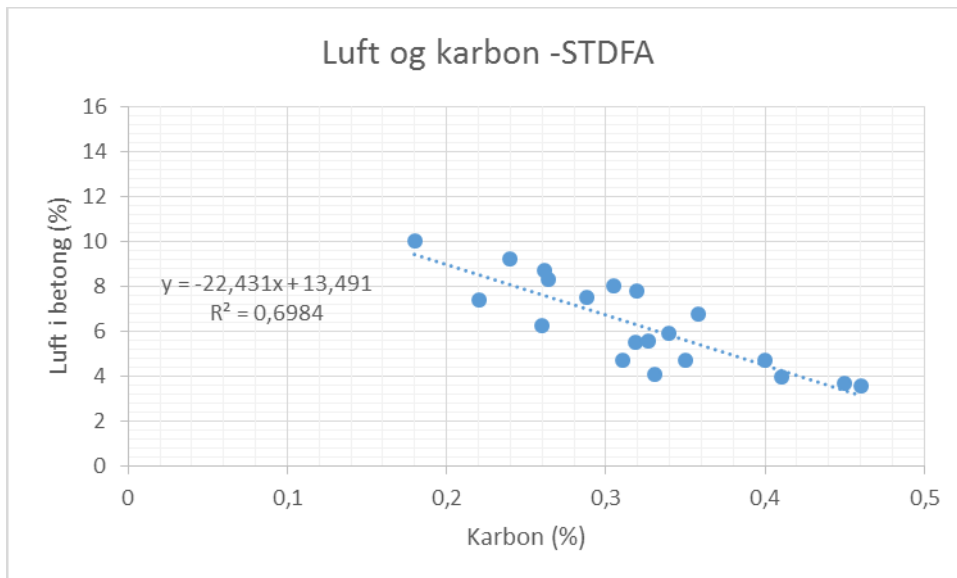
Figur 7: Regresjonskoeffisienter for prediksjon av snitt av antall dråper tilsatt L-stoff for å oppnå stabilt skum i en foam-ittest. X-aksen: (fra venstre) Glødetap, Blaine, SO₃, F.CaO, Karbon, Kalkmel, FA, partikelfordeling: (+24, +30, -64, -90 og d(0.5)), SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, P₂O₅, Alk, Vannbehov, Utvidelse og Bindetid.

Figur 7 fungerer på samme måte som figur 6. Figur 7 viser at økt karbon i FA-sementen krever mer tilsatt L-stoff for å oppnå stabilt skum i testen for foam-index.

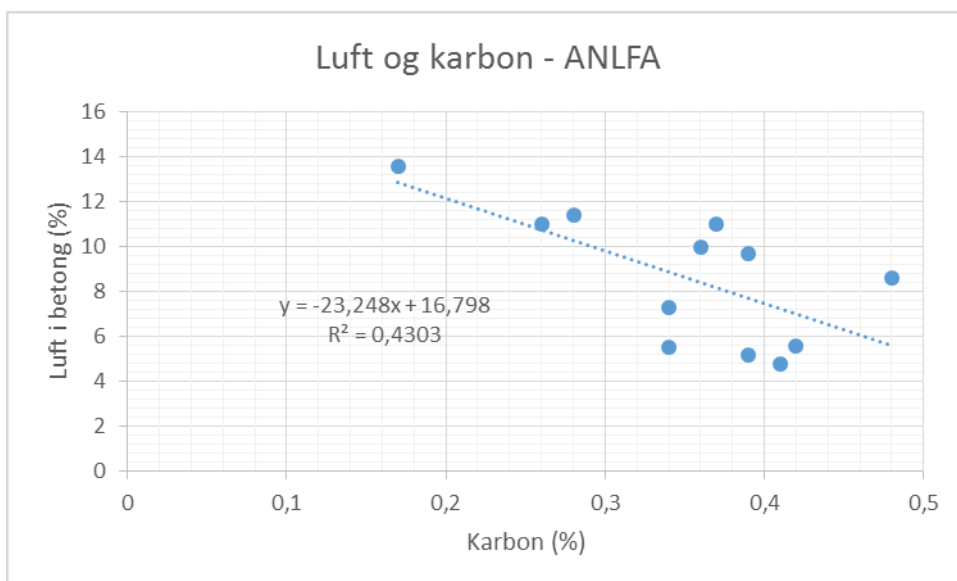
6. DISKUSJON

6.1. Karbon

Ved å direkte sammenligne tallene for karbon i FA-sementene og luft i de utstøpte betongene kan man observere hvilken effekt karbon har på luftinnføringen i betong.



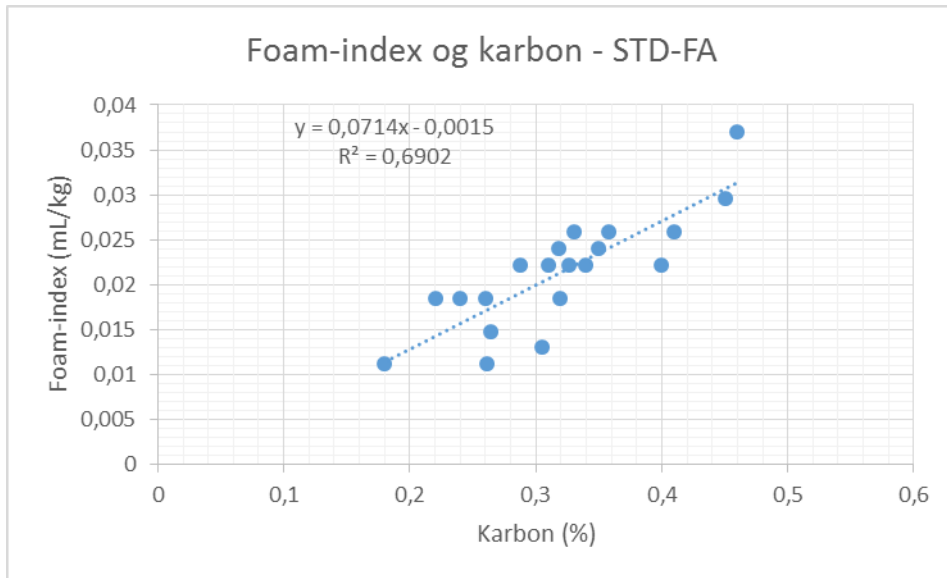
Figur 8. Sammenligning av karbon (%) og innført luft (%) i alle utstøpte STDFA-betonger.



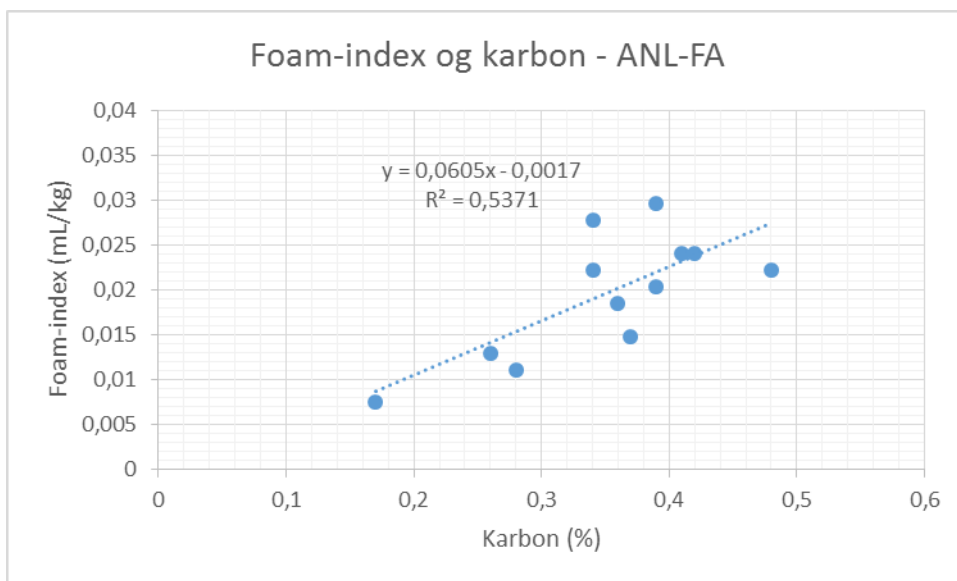
Figur 9. Sammenligning av karbon (%) og innført luft (%) i alle utstøpte ANLFA-betonger.

Figur 8 viser en relativt sterk sammenheng mellom karbon og luft i betong. Figur 9 viser en sammenheng, men ikke like sterk grad. Dette kan skyldes at det er gjort færre forsøk med ANLFA som gir et dårligere grunnlag for sammenlikning. Det kan også skyldes at det er to forskjellige typer sementer. Legg merke til de ulike stigningstallene på trendlinjene i figur 8 og 9. Denne forskjellen blir diskutert senere i oppgaven.

Når foam-index blir sammenlignet med karbon kan man se den samme trenden.



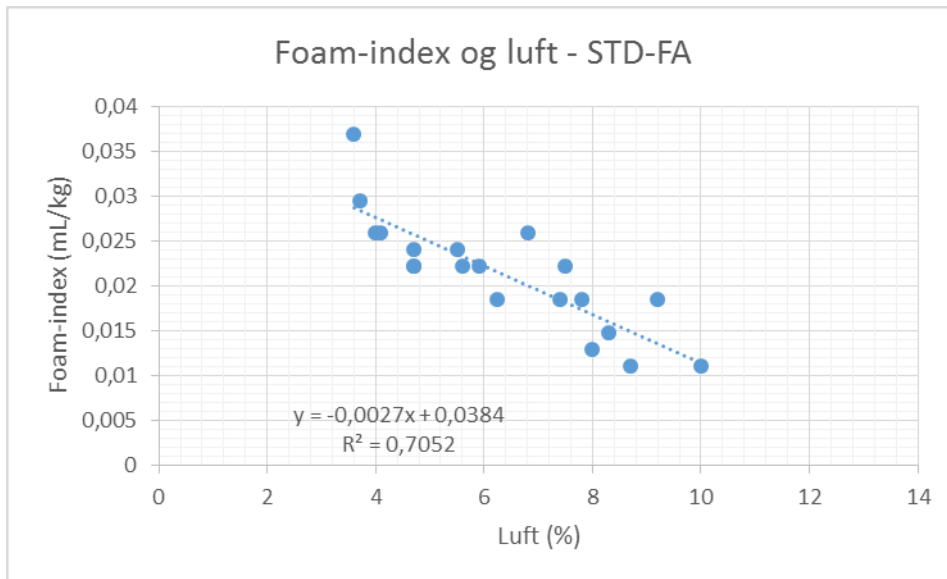
Figur 10. Sammenligning av foam-index (mL/kg) og karbon (%) i alle foam-indexenetestene med STDFA.



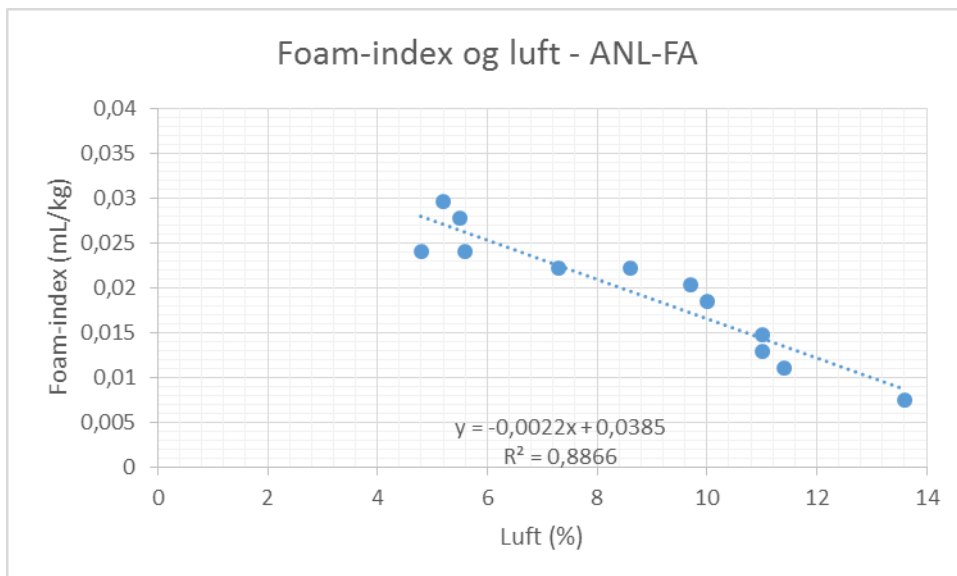
Figur 11. Sammenligning av foam-index (mL/kg) og karbon (%) i alle foam-indexenetestene med ANLFA.

Figur 10 og 11 viser en sammenheng mellom hvor mye L-stoff som må tilsettes og mengden karbon i FA-sementen. Sammenhengen er sterkere i forsøkene med foam-index enn i utstøpningene i betong. Dette skyldes at det er flere parametere som påvirker luftinnholdet i betong enn i en foam-indentest. Når foam-indexen undersøkes er ikke SP-stoff en variabel. Det er heller ikke feilkilder som utilsiktede variasjoner i grus, sand og blandedprosedyrer. Ser man på den multivariate dataanalysen av testene av foam-index er det kun karbon som bidrar til endring i foam-index.

Selv om det noen forskjeller i variabler i fersk betong og foam-index er karbon en så dominerende variabel at det er en sterk sammenheng mellom FA-sementene, foam-index og luft i betong.



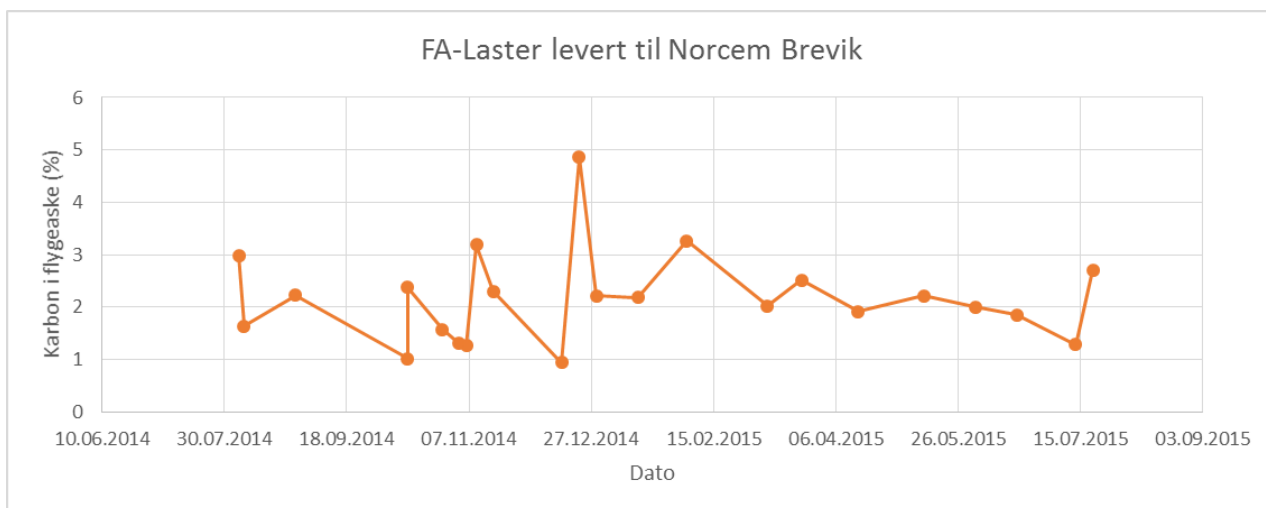
Figur 12. Sammenligning av foam-index (mL/kg) og luft i fersk betong (%) i alle betonger og foam-indextester med STDFA.



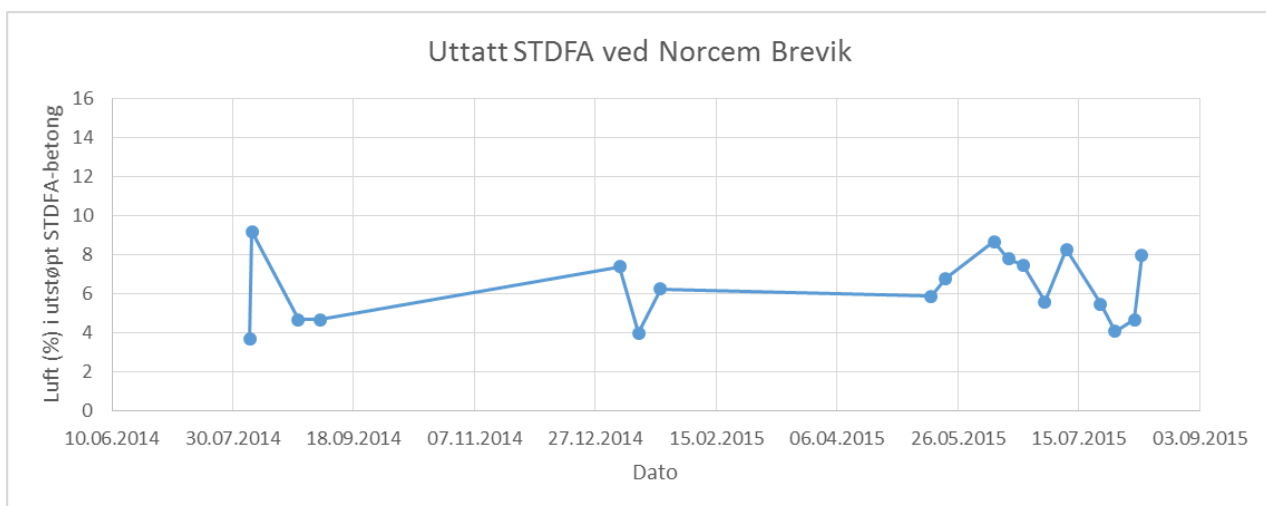
Figur 13. Sammenligning av foam-index (mL/kg) og luft i fersk betong (%) i alle betonger og foam-indextester med ANLFA.

Figur 12 og 13 viser en sterk sammenheng mellom resultatene fra testene med foam-index og luften som ble dannet i ferske betongen. Ved å finne foam-indexen til en sement kan man ut i fra figur 12 og 13 til en viss grad forutse hvor mye luft som blir dannet i betongen. Legg merke til at også her har ANLFA en slakere trendlinje enn STDFA.

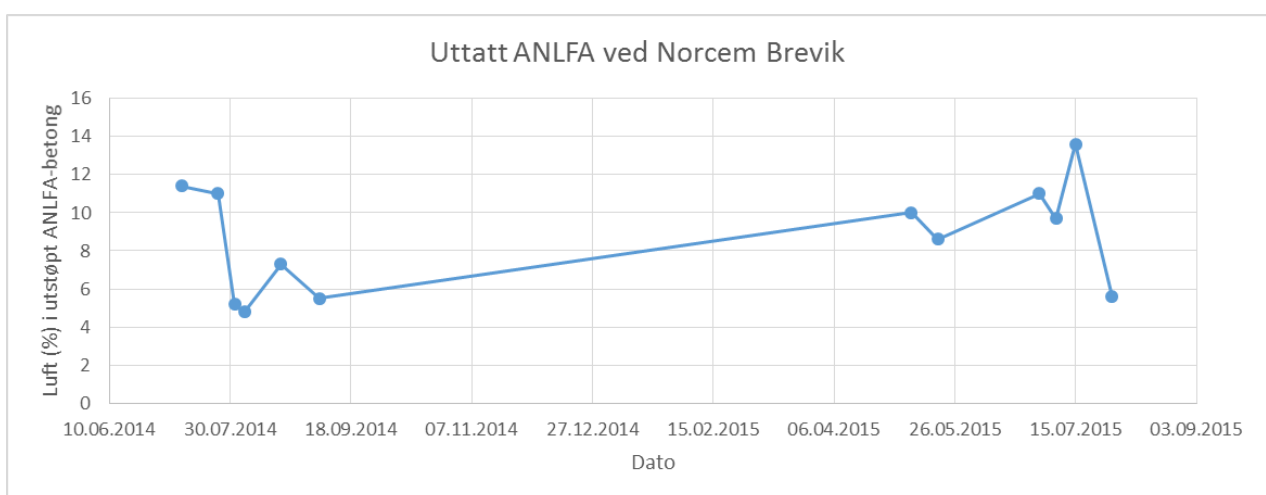
Litteraturstudiet i denne oppgaven tilsier at det er karbonet i FA som bidrar til variasjoner i luft. Sammenlikner man karbon i FA-lastene levert til Norcem (figur 14) med de uttatte sementenes luftinnhold i fersk betong (figur 15 STDFA og figur 16 ANLFA) kan man se en viss sammenheng. For eksempel vil FA-laster med mye karbon gå inn i et STDFA-uttak som gir betong med lav luft.



Figur 14. Karbon (%) i FA-lastene til Norcem over tid.



Figur 15. Luft i betong (%) og tiden som de tilhørende STDFFA-sementene til betongene ble tatt ut.



Figur 16. Luft i betong (%) og tiden som de tilhørende ANLFA-sementene til betongene ble tatt ut.

Resultatene tilsier at karbon i FA bidrar til å hindre luftinnføring i betong. Ved å finne foam-indexen til en FA-sement kan man i betydelig grad forutse hvordan karboninnholdet vil påvirke luftinnføringen i betong. Utstøpingene av betong og testingene av foam-index viser at nivået av

karbon i flygeasken har stor effekt på luftinnføringen. Hvis det er problemer med luftinnføringen i en betong med FA-sement kan en enkel foam-indextest av en FA-sement gi en god indikasjon om det er karbonet i flygeasken som er problemet. Dette gjøres ved å sammenligne foam-indexen med foamindexen til FA-sementer brukt i tilnærmede like betonger.

Norcem har inngått nye avtaler om levering av FA fra to nye og moderne kullkraftverk. De nye kullkraftverkene leverer flygeaske med lavere og jevnere karboninnhold enn det som tidligere har blitt benyttet. Det er derfor grunn til å tro at de praktiske problemene med luftinnføring i betong med STDFA og ANLFA blir redusert fremover (26).

6.2. Blaine og partikkelfordeling

Partikler FA-sementene som passerer sikter på 24 μm og 30 μm har i den multivariate analysen vist seg å gjøre luftinnføring i betong vanskeligere. Dette stemmer overens med undersøkelsene i «Luft i betong» av Dag Vollset ved Rescon Mapei AS. Dag Vollset sier at alle partikler mindre enn 125 μm har en dempende effekt på luftinnføringen, men han har ikke vurdert forskjellen på ulike partikkelstørrelser mindre enn 125 μm (3). FA-sementen fra Norcem blir og siktet gjennom sikter på 64 μm og 90 μm . Disse målingene har ikke slått ut i de multivariate analysene. Grunnen til at dette ikke har gjort noe utslag på luftinnføringen kan være at det er svært lite av FA-sementen som blir liggende igjen på disse siktene. For de 32 FA-sementene passerer gjennomsnittlig ca 75 % 24 μm -sikten og ca 83 % passerer 30 μm -sikten. Til sammenlikning ligger gjennomsnittlig 1,9 % igjen på 64 μm -sikten og 0,27 % igjen på 90 μm -sikten. Effekten fra de små og flere partiklene blir derfor større og lettere å observere. Denne effekten kan bare observeres i betong og ikke i testene av foam-index. Dette kan skyldes at små partikler i betong vil gjøre betongblandingen mer kompakt og gjøre det vanskeligere å danne luft. Under forsøk med foam-index flyter alle partiklene fritt i vann. Partiklene vil ikke pakke seg sammen i hverandre og dermed ikke hindre dannelsen av luft på vannoverflaten. Det at foam-index ikke blir påvirket av finheten strider med et av funnene i litteraturstudiet.

En alternativ effekt kan være at FA-partiklene har blitt mer malt og knust i sementene med flere partikler mindre enn 24 μm og 30 μm . Karbon som ellers villet vært innkapslet vil bli mer tilgjengelig for L-stoff og hindre luftinnføring. Magnus Gade Skjeggerud fant ut i sin masteroppgave (7) at ved å male FA i en laboriemølle i 30 min og så tilsette det i sementen ville luftinnføringen i betong bli vanskeligere enn om FA ikke var malt. Det kunne ikke trekkes noen håndfaste konklusjoner om det var mer eksponert karbon, økt mengde finstoff eller en kombinasjon som utgjorde forskjellen. Om det er mer knust karbon som gir den luftreduserende effekten burde partikler med finhet mindre enn 24 μm og 30 μm og gjøre utslag på analysene av foam-index. Slik er det ikke. Det er derfor grunn til å tro at flygeasken ikke har blitt knust og om noe har blitt knust så er det lite.

Norcem tilsetter FA i møllene. Om flygeaskepartiklene i utgangspunktet er fine nok vil den ikke bli malt og knust i møllen. For store FA-partikler vil gå gjennom møllen og bli knust. Hvor mye eller om noe av flygeasken blir knust under produksjonen av FA-sementer er usikkert.

Blainen til FA-sementen har vist seg å ikke være avgjørende for dannelsen av luft. Dette kan skyldes at blaine beskriver den generelle finheten til FA-sementen. Denne oppgaven tyder på at det er mengden av de minste partiklene i en FA-sement som har innvirkning på luftinnføring i betong. Om dette skyldes at karbon blir mer tilgjengelig eller selve partikkelstørrelsen i seg som påvirker luftinnføringen i betong kan ikke sies med sikkerhet.

6.3. SP-stoff

Ut i fra multivariat analysen av betongene har SP-stoff en luftdempende effekt. I litteraturstudiet i denne oppgaven kommer det frem at SP-stoff inneholder skumdemper som vil gjøre luftinnføringen

vanskeligere. Dette stemmer godt overens med analyseresultatene. Dette betyr at flere variabler kan påvirke luftinnføringen i betong indirekte gjennom SP-stoffdosering. Si at det er støpt ut en betong med 200mm i synk. For å oppnå riktig synk er det tilsatt SP-stoff. Samme betongen skal støpes på nytt, men denne gangen er det en forandring i tilslagene eller sementen som påvirker synken. Selv om forandringen ikke har noen dokumentert direkte effekt på luftinnholdet, vil en forandring i SP-stoffdoseringen for å opprettholde en synk på 200mm ha det.

Det bør nevnes at under prøveblandinger for å finne ideelle doseringer av L-stoff ble det observert at SP-stoff av samme produsent og type, men fra to forskjellige dunker kan oppføre seg ulikt. I påvente av en ny dunk med SP-stoff ble det brukt en dunk med SP-stoff som ble skaffet seks måneder tidligere. Da den nye dunken med SP-stoff ankom ble den testet med samme doseringer av SP-stoff og L-stoff som ble brukt med det gamle SP-stoffet. Alt annet ble gjort likt i begge betongblandingene.

Tabell 8. Sammenlikning av gammelt og nytt SP-stoff i betong.

	L-Stoff (% av bindemiddel)	SP-stoff (% av bindemiddel)	Luft (%)	Synk (mm)
Med gammelt SP-stoff	0,6	1,15	9,8	235
Med nytt SP-stoff	0,6	1,15	4,7	215

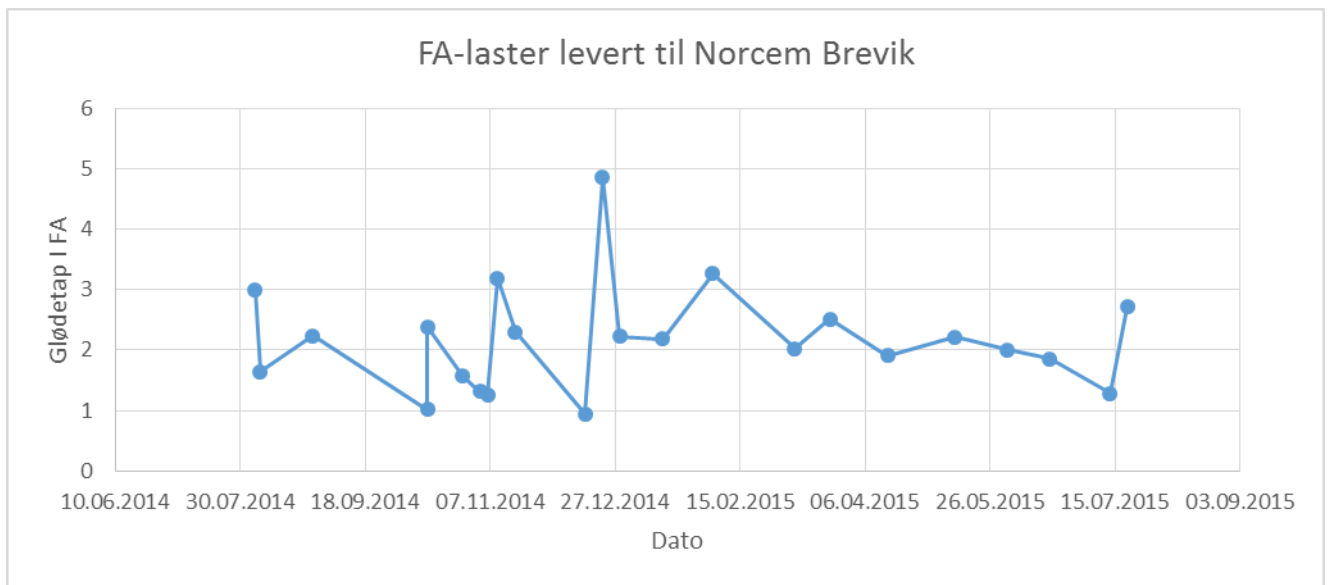
Uten at det kan trekkes noen håndfaste konklusjoner, tyder dette på at man skal være bevist på hvordan man oppbevarer og bruker SP-stoff. Tabell 8 viser at det kan få konsekvenser for både luft og synk ved å bytte SP-stoff. Forskjellen i synk er ikke alene nok til å forklare forskjellen i luftinnholdet. Dette tyder på at det er skumdemperene i dunkene som oppfører seg forskjellig. Bare den nye SP-stoffduken ble brukt i betongene som er oppgitt i resultater.

6.4. Alkaliinnhold

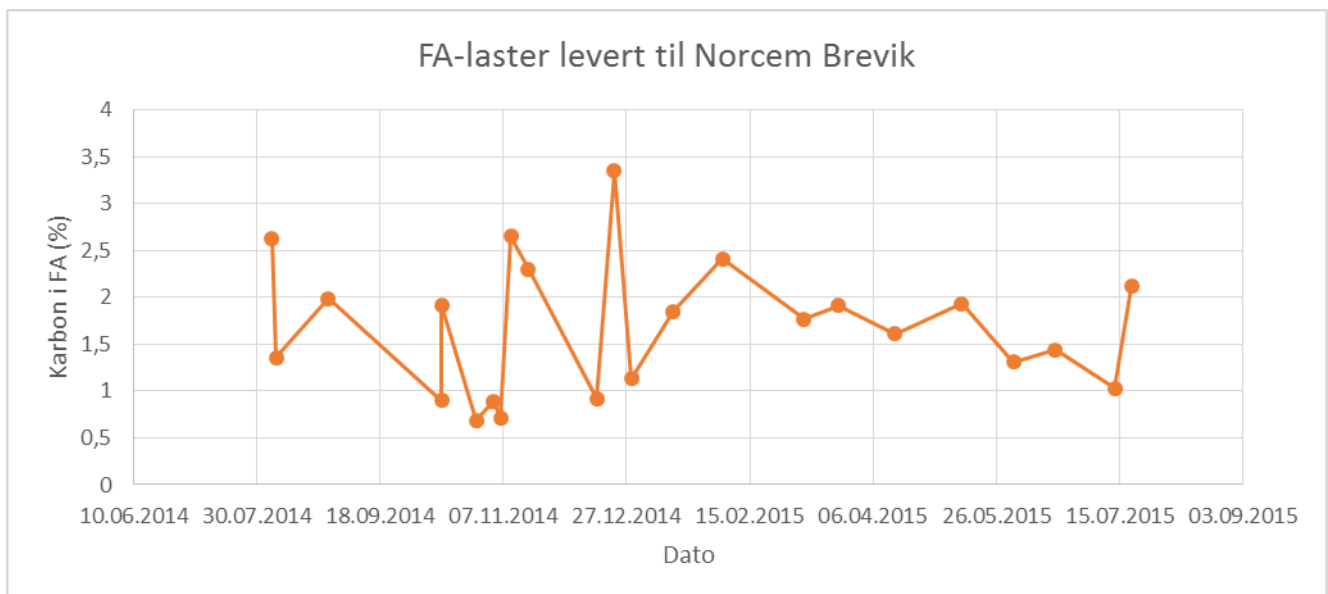
Det totale innholdet av alkalier gjorde ikke utsalg i noen av de multivariate testene. I litteraturstudiet er det vist til en undersøkelse som sier at vannløselige alkalier i FA-sementer påvirker utfallet av foam-indextester. Hvis det påvirker mengden tilsatt L-stoff i testing av foam-index er sannsynligheten stor for at vannløselige alkalier har noe å si for luftinnføringen i betong. Det ble ikke testet for vannløselige alkalier i denne oppgaven. Den totale mengden alkalier kan ikke brukes til å anslå mengden vannløselige alkalier i FA-sementen. Denne oppgaven kan derfor ikke bekrefte eller avkrefte påstanden i litteraturstudiet om hvilken effekt vannløselige alkalier har på foam-index eller om de har en effekt luftinnføringen i betong.

6.5. Glødetap

Det er ikke observert at glødetapet til FA-sement har en sammenheng med mengden tilsatt L-stoff for å finne foam-indexen eller hvor vanskelig det er å få ført inn luft i betong. Glødetap og karbon målt i FA-lastene har en sterk sammenheng. Se figur 18 og figur 19.



Figur 18. Glødetapet til FA i FA-laster til over tid.



Figur 19. Karbon i FA i FA-laster over tid.

Målingene av karbon i FA-sementer som er gjort i denne oppgaven viser karbonet fra FA-delen av FA-sementen. Målingene av glødetap viser det samlede glødetapet til sement og FA. Dette viser at glødetapet i sementen i stor grad er påvirket av andre parametere enn flygeasken (og som ikke påvirker luftinnføring i samme grad). Glødetap til FA-sementen kan i liten grad kan benyttes for å vurdere luftinnføring i betong. Om glødetapet kun hadde vist glødetapet til flygeasken ville den, ifølge litteraturstudiet, vist en sammenheng med luft i betong og foam-index.

6.6. P2O5

I følge den multivariate analysen av betongene vil økte nivåer av P2O5 føre til at det dannes mer luft. I samtaler med Professor og Chief Scientist Harald Justnes ved SINTEF Byggforsk kom det frem at P2O5 som kommer fra brenning av beinmel under produksjon av klinker vil raskt reagere med kalsium og danne $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)\text{F}$ [fluorapatitt] eller $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})$ [apatitt]. Kalsiumfosfater er meget stabile og uløselige forbindelser og vil derfor ikke kunne påvirke luftnivået i betong. Løselig

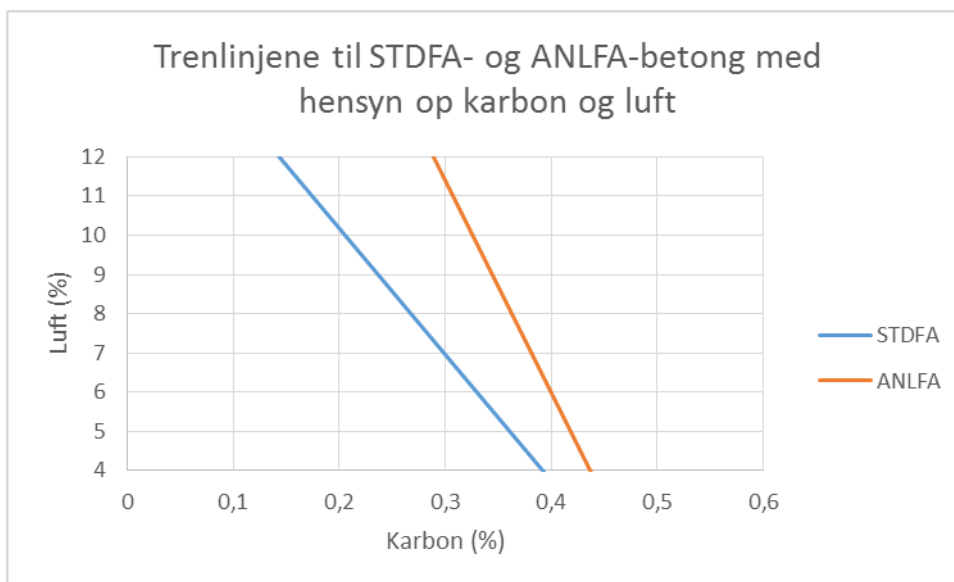
fosfat i flygeasken kan være H_3PO_4 , H_2PO_4 og HPO_4 eller PO_4 . Når flygeasken blandes med sement vil H_3PO_4 , H_2PO_4 , HPO_4 og PO_4 raskt reagere med kalsium og felles ut som kalsiumfosfat. (24)

Det er satt en maksimumsgrense på P_2O_5 på 0,5 %. Hvis denne grensen overskrides vil mengden C3S [alitt] som blir dannet i klinker bli mindre. Det blir isteden dannet mer C2S [belitt]. Dette har en retarderende effekt på betongen. Denne effekten blir ikke sett på om aktuell fordi ingen av sementene i denne oppgaven overskrider kravet om mindre enn 0,5 % P_2O_5 . (24)

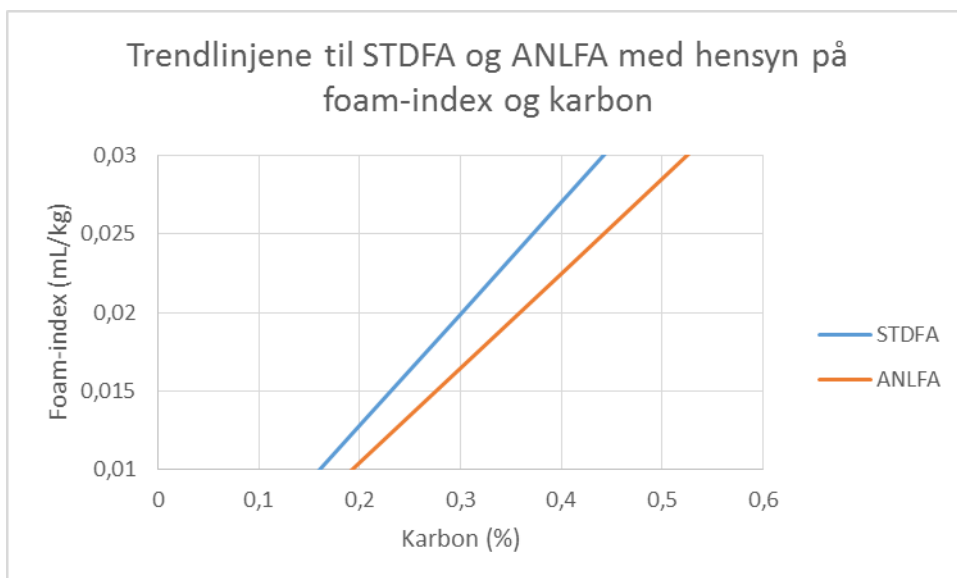
Figur 6 viser at luft i betong øker signifikant med mengde P_2O_5 i sement. Til sammenlikning fant Magnus Gade Skjeggerud ut i sin masteroppgave (7) at P_2O_5 muligens vanskeliggjør luftinnføring i betong. Forskjellige resultater fra multivariat dataanalyse kan skyldes forskjellig datagrunnlag der variasjonen i P_2O_5 i det ene datagrunnlaget er mye større enn variasjonen i det andre datagrunnlaget. (7) Det er ingen klare argumenter for at P_2O_5 skal føre til mer innført luft i betong.

6.7. STDFA og ANLFA

Sammenlikningen mellom trendlinjene fra figur 8 og 9 i figur 20 viser at ANLFA i mindre grad blir påvirket av karboninnholdet som STDFA gjør, men denne forskjellen avtar etterhvert som karbonnivået øker. Figur 21 bekrefter denne sammenhengen også er til stede i analysene av foam-index.



Figur 20. Sammenlikning av trendlinjene fra figur 8 og figur 9. Forskjellen mellom sammenhengen i karbon (%) og luft (%) i STDFA-betong og ANLFA-betong.



Figur 21. Sammenligning av trendlinjene fra figur 10 og figur 11. Forskjellen mellom sammenhengen i karbon (%) og foam-index (mL/kg) i STDFA-sement og ANLFA-sement.

En mulig forklaring på dette er at ANLFA-sement har en mindre mengde av de minste partiklene og en større mengde av de litt grovere partiklene. Dette kan skyldes at STDFA-sement males finere i møllene enn ANLFA-sement.

Tabell 9. Gjennomsnittlig mengde partikkelstørrelser i STDFA og ANLFA.

	Partikler som passerer 24 μ m-sikten Gjennomsnitt (%)	Partikler som passerer 30 μ m-sikten Gjennomsnitt (%)	Partikler som ligger igjen på 64 μ m-sikten Gjennomsnitt (%)	Partikler som ligger igjen på 90 μ m-sikten Gjennomsnitt (%)
STDFA-sement	75,95	83,56	1,74	0,30
ANLFA-sement	72,54	80,93	2,03	0,23

Færre mindre partikler gir mindre finstoff og det kan bety at karbonet ikke blir like tilgjengelig. I betong er forskjellen mellom ANLFA og STDFA større. ANLFA krever mindre SP-stoff for å oppnå en synk på 210mm \pm 10mm. Det betyr at betonger laget med ANLFA inneholder mindre SP-stoff som hindrer innføringen av luft. I tillegg kan det være forskjellig mengde vannløselige alkalier i STDFA og ANLFA.

7. KONKLUSJON

Det er en klar sammenheng mellom karboninnholdet i FA-sement og luftinnføring i betong. Karboninnholdet i FA-sementen har også en klar sammenheng med foam-index. Resultatene fra testene av foam-index har en klar sammenheng med luftinnholdet i betongene. Foam-index kan benyttes som hurtigmetode for å få en indikasjon på behov for luftinnførende middel for å produsere frostbestandig betong.

Innføring av luft i betong blir, i tillegg til karboninnholdet i FA-sement, påvirket av SP-stoff og mengden partikler mindre enn 24 μm og 30 μm .

Ved å holde karbon, egenskaper i sementen som påvirker, SP-stoff dosering og mengden partikler mindre enn 24 μm og 30 μm på et jevnt nivå, vil man ha et godt grunnlag for å levere sementer som ikke bidrar til variasjoner innført luft i betonger med fast resept og L-stoffdosering.

7.1. Videre arbeid

Det bør undersøkes hvilken rolle vannløselige alkalier har i forhold til luftinnføring i betong. Det bør testes hvor mye vannløselige alkalier påvirker resultatene i foam-indextestene.

Det bør undersøkes hvordan de minste partiklene i FA-sement virker inn på luftinnføring i betong og tester av foam-index. Er det fordi finere FA-partikler (malt eller ikke malt) gjør karbonet mer tilgjengelig, selve størrelsen til de minste partiklene i seg selv eller kombinasjon av disse?

REFERANSER

1. «Luft i betong Frostskaeder og praktiske utfordringer» av Hedda Vikan ved Vegdirektoratet, Tunnel- og betongsseksjonen.
http://www.vegvesen.no/_attachment/390436/binary/669566
2. Statens vegvesens Prosesskode 2: Standard beskrivelse for bruer og kaier, Hovedprosess 8 84.4 B – Frostbestandighet, 2015
3. «Luft i betong» av Dag Vollset ved Rescon Mapei AS, 2010.
4. «Design of Experiments – Principles and Applications» av L. Eriksson, E. Johansson, N. Kettaneh-World, C. Wikström og S. Wold. Utgave: januar 2008. ISBN-13:9 78-91-973730-4-3.
5. Avhandlingen «The Quantification of the Fly Ash Adsorption Capacity for the Purpose of Characterization and Use in Concrete» av Ahmed Zeyad Tareq ved Michigan Technological University, 2012.
6. «Properties of Concrete» av A. M. Neville. Fourth edition 1995. ISBN: 0-582-23070-5.
7. Masteroppgaven «Luftinnføring i betong med Portland-flygeaske sementer. Karboninnhold i- og behandling av flygeaske» av Magnus Gade Skjeggerud ved Universitetet i Stavanger, 2015.
8. Artikkelen «Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete» av Lane, R.O. og Best, J.F. i «Concrete International 4» nummer 7, 1983.
9. «Foam Index Measurements on Combinations of Air Entraining Agents, Superplasticizers and Fly ash/Cement/Filler Powder Mixes» av Sefan Jacobsen, Henrik Nordahl-Pedersen, Hawar Omer Rasol og Øyvind Olsen Lødemel, 2015.
10. Artikkelen «Characterization of Coal Fly Ash by Absolute Foam Index» av Melanie Kueber Watkins, Zeyad Ahmed Lawrence Sutter and David Hand I ACI Materials, Mai/Juni 2015.
11. Artikkelen «Influence of Portland cement characteristics on air-entrainment in fly ash concrete» av Michael J. McCarthy, Nikolaos Stormpinis, Laszlo J. Csetenyi and G. M. Sadiquul Islam i Magazine of Concrete Research, Volume 67 Issue 14, 2015.
12. Artikkelen «Controlling the Effect of Carbon in Flyash on Air Entrainment» av Burns, J. S., Guarnaschelli, C., McSkill, N. I Challenge of change – 6th international Ash utilization symposium proceedings, 1982, side 294-313.
13. «Fly Ash in Concrete» av Wesche, K. I Rilem Report 7, 1991, side 35-39 og 115-117.
14. Artikkelen «An Examination of Fly ash Carbon and its Interactions with Air Entraining Agent» av Hill, R. L., Sarkar, S. L., Rathbone, R. F., Hower, J. C. Cement and Concrete Research, Volum 27, nummer 2, 1997, side 193-204.
15. NS-EN12350:2009: Prøving av fersk betong – del 2
16. NS-EN12350:2009: Prøving av fersk betong – del 5
17. NS-EN 12350-7:2009: Prøving av fersk betong – del 7 (5.1.2-7)
18. NS-EN12390-1:2001: Prøving av herdet betong: Del 1: Form, mål og andre krav til prøvelegemer og former for terningformede terninglegemer.
19. NS-EN12390-2:2009: Prøving av herdet betong: Del 2: Støpning og herding av prøvelegemer for fasthetsprøving gjort med manuell komprimering av betongen med stålstav.
20. NS-EN12390-3:2009: Prøving av herdet betong: Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet for terningformede prøvelegemer.
21. Martens, H., Næs, T., Multivariate calibration, 2nd edition, *Chichester: Wiley* 1989
22. 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 22nd international conference on cement microscopy*, Montreal 2000, pp. 137-153.

23. 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
24. Mailer utvekslet med Dr. ing. PhD. Chief Scientist Harald Justnes ved SINTEF Byggforsk og SINTEF Building and Infrastructure i tidsperioden 16.12.2015-6.1.2016.
25. Bacheloroppgaven «Optimalisering av fasthet i miljøvennlige sementer» av Marius Lykke Amundsen og Magnus Gade Skjeggerud ved Universitetet i Stavanger, 2013.
26. Samtale med Dr. Ing. Knut O. Kjellsen ved Norcem Brevik, 21/12-2015.
27. Artikkelen «Luftinnføring i betong - Det er ikke alltid sementens feil» Av Knut O. Kjellsen og Finn Coch, Norcem AS FoU i NORCEM CEMENT NÅ, nr 2, 2013.

The Foam Index Test: A Rapid Indicator of Relative AEA Demand

Introduction

The Foam Index Test is a rapid means to determine the relative levels of AEA needed for concrete containing fly ash and other materials that affect air entrainment in concrete. Although this document is directed towards the application of the Foam Index Test to evaluate fly ash, it can be applied to other pozzolans as well as the other ingredients of concrete, i.e., Portland cement, sand, coarse aggregate, admixtures and water.

Equipment Needed

- 50 mL graduated cylinder
- 2 eyedroppers
- 1 glass 125 mL wide mouth jar (4 oz mason jar) with lid
- 1 plastic 250 mL bottle for making AEA solutions
- 1 balance

The Foam Index Test Procedure

1. Place 20 g of cement in a 125 mL glass jar.
2. Add 50 mL of water to the jar, then cap and shake the jar and its contents for 1 minute.
3. Add diluted AEA solution (see Table 1) in small increments of 2 to 5 drops at a time. After each addition, cap and shake the jar vigorously for 15 seconds. Observe the stability of the foam.
4. The minimum amount of diluted AEA needed to produce a foam that is stable (bubbles exist over the entire surface) for 45 seconds is the FOAM INDEX of the cement mixture.
5. Repeat steps 1 through 4 using 16 g of cement and 4 g of fly ash to develop the foam index of the cement and fly ash mixture.

Some Helpful Tips

Practice the procedure several times to become familiar with the process.

The 1:1 dilution of AEA is the minimum dilution recommended. Higher dilutions expand the range in which the stable foam occurs (see Table 1 for dilution details). Once you have determined what dilution works best for your materials, always use the same dilution rate.



Bubbles do not cover entire surface



Bubbles cover entire surface

Table 1: Dilution of AEA

Dilution	AEA (mL)	Water (mL)
1:1	50	50
1:2	50	100
1:4	50	200
1:5	40	200
1:10	20	200

- Adding the diluted AEA one drop at a time is the most accurate process, especially when trying to develop your ability to duplicate the test. You may want to add 5 drops at a time at first, with a high dosage rate material until you get near the “Index” level.
- A “Stable Foam” is achieved when no open areas of liquid show for at least 45 seconds. Bubbles will break rapidly at AEA levels below the “Index” level. Bubbles will still break for several increments above the “Index” level as well ... don’t continue adding AEA trying to stop the breaking bubbles. This point is difficult to judge at first. Run the same material several times in a row to help develop your “eye.”
- The Foam Index test is not designed to determine the actual AEA dosage rates for concrete. It is a good test to determine if specific materials will require more or less AEA relative to others. If the method is performed on the same materials, and a plot of the results charted against required AEA dosages, you may be able to correlate AEA dosage to the Foam Index test results.

North American Customer Service: 877-4AD-MIX1 (877-423-6491)

Visit our web site at www.graceconstruction.com

W. R. Grace & Co.-Conn. 62 Whittemore Avenue Cambridge, MA 02140 617-876-1400

We hope the information here will be helpful. It is based on data and knowledge considered to be true and accurate and is offered for the users' consideration, investigation and verification, but we do not warrant the results to be obtained. Please read all statements, recommendations or suggestions in conjunction with our conditions of sale, which apply to all goods supplied by us. No statement, recommendation or suggestion is intended for any use which would infringe any patent or copyright. W. R. Grace & Co.-Conn., 62 Whittemore Avenue, Cambridge, MA 02140. In Canada, Grace Canada, Inc., 294 Clements Road, West, Ajax, Ontario, Canada L1S 3C6.

These products may be covered by patents or patents pending. Copyright 2006, W. R. Grace & Co.-Conn. TB-0202 Printed in USA 2/06 PA/PDF



Vedlegg 2: Datablad SP-stoff RMC-420M

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	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: <ul style="list-style-type: none">■ Høy vannreducerende effekt■ Kort innblandingstid før full plastiserende effekt oppnås■ Gode konsistensbevarende egenskaper sikrer betongen akseptabel brukstid■ Gir en robust betong med god mobilitet■ Moderat avbindingstid og tidligfasthet

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 ₂ 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 blandevannet. 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 ³ eller minimum 5 minutter blandetid på full hastighet.
--------------------	---

Construction



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 retardsjon 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 á 10 eller 25 liter, fat á 200 liter, IBC-container á 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

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.



Sika Norge AS
Industriveien 22
Postboks 76
1483 SKYTSTA
Norge

Tel. 67 06 79 00
Fax 67 06 15 12
www.sika.no

Construction

Produktdatablad
Dato: 06/2006
SikaAer® -S

SikaAer® -S


Luftinnførende tilsetningsstoff for betong og mørtel

Produktbeskrivelse	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.
Anvendelsesområder	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.
Produkttegenskaper	SikaAer®-S forbedrer betongens egenskaper som følger: <ul style="list-style-type: none"> ■ Forbedret bearbeidelighet ■ Økt frostbestandighet ■ Økt vanntetthet ■ Gir mulighet for å styre luftinnføring i betong. ■ Gir stabilt luftinnhold i betong, også egnet til betong med flyveaske eller flyveaskeement ■ God stabilitet i varmbetong.

Produktdata

Tekniske data	<ul style="list-style-type: none"> ■ Type: Væske på basis av syntetisk tensider ■ Farge: Gul ■ Densitet: 1,02 ± 0,01 kg/l ■ Viskositet: Lettflytende ■ Tørrestoff: 9,0 ± 1 % ■ pH: 7 ± 1 % ■ Kloridinnhold (Cl-): < 0,10 % (vekt) ■ Alkaliinnhold (Na2O ekv.): < 0,10 % (vekt) ■ Normaldosering: 0,01 – 0,08 % av sementvekt <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, tilslaget gradering, innholdet av fint materiale (< 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>
Doseringstidspunkt	SikaAer®-S tilsettes sammen med blandedvannet. SikaAer®-S kan også tilsettes i automikser. Beregn minimum 5 minutter blandetid på full hastighet.



Kombinasjoner	<p>SikaAer®-S kan kombineres med andre produkter fra Sika som følger:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Plastiment® BV-40 ■ SP-stoff i Sikament eller ViscoCrete-serien ■ Sika Stabilizer ■ Sika® Pump ■ Sika® Rapid 2 og 3 ■ Sika® Retarder ■ Sika® Ferrogard 901
Bivirkninger	Overdosering reduseres betongens trykkfasthet.
Godkjenninger	<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;">Sika Sverige AB Ved 4-stavägen 18:20 S-175 06 Järfälla, Sverige</p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">04 1274-CPD-701 Sika Aer-S</p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">Luftinfrørende blødningsstoff for betong EN 934-2:2001-15</p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">Maks. kloridinnhold: < 0,1 % Maks. alkalinnhold: < 0,1 % Na₂O-ekv.</p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">Produktet er markedsført i henhold til se tilhørende HMS-datablad</p> </div> <div data-bbox="975 539 1289 860" style="text-align: center;">  </div> </div>
Emballasje	SikaAer®-S leveres i kanner à 5, 10 og 25 liter, fat à 200 liter, container à 1000 liter eller med tankbil.
Oppbevaring, holdbarhet og avfallshåndtering	<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>
Helse, Miljø og Sikkerhet	<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: www.sika.no</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.



Sika Norge AS
Industriveien 22
Postboks 76
1483 SKYTTA
Norge

Tel. 67 06 79 00
Fax 67 06 15 12
www.sika.no