



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Byggingeniør med studieretning konstruksjonsteknikk	Vårsemesteret, 2022 Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Lisa Aadnøy, Kristine Aase	<i>Lisa Aadnøy, Kristine Aase</i> (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså Veileder(e): Kjell Tore Fosså	
Tittel på bacheloroppgaven: Glidestøp av miljøbetong Engelsk tittel: Slipforming of environmental-friendly concrete	
Studiepoeng: 20	
Emneord: Miljøbetong Tilsetningsmaterialer Glidestøp Friksjon Poretrykk Overflateskader	Sidetall: 78 + vedlegg/annet: 36 Stavanger, 15.mai 2022

FORORD

Denne oppgaven er skrevet av Lisa Aadnøy og Kristine Aase våren 2022 som avsluttende del av det 3-årige bachelorprogrammet, byggingeniør med konstruksjonsteknikk ved Universitetet i Stavanger.

Vi vil gjerne benytte anledningen til å takke vår veileder Kjell Tore Fosså. Hans veiledning og kompetanse har vært til stor hjelp når det kommer til valg av oppgave, avgrensning og litteratur. I litteraturdelen har Fossås doktoravhandling vært til stor nytte.

En stor takk til Jarle Berge som har vært til stede under alle forsøkene. Uten hans hjelp ville ikke forsøkene vært mulig å gjennomføre. Vi vil også takke Samdar Kakay for god hjelp til målinger utført ved betonglaboratoriet.

SAMMENDRAG

Betong er sterkt, bestandig og anvendelig, og regnes som et av verdens mest brukte byggemateriale. Materialet er forbundet med et høyt utslipp av klimagasser, og sementproduksjonen anslås til å stå for 7-8% av utslippene på verdensbasis. Jordas klima er i forandring som et resultat av økt CO₂-utslipp, og det er derfor et høyt fokus på å gjøre betong mer miljøvennlig ved å redusere sementbruken. Miljøvennlig betong regnes som betong der det er gjort tiltak for å redusere klimagassutslippene, hvor hovedfokuset ligger på å erstatte deler av sementen med tilsetningsmaterialer. Pozzolaner som flygeaske og silikastøv er hyppig brukte tilsetningsmaterialer som kan påvirke betongens egenskaper.

Glidestøp er en rask og kostnadseffektiv konstruksjonsmetode som har vært i bruk i flere tiår. Teknikken blir brukt i byggeprosjekter med høye strukturer som for eksempel heissjakter, brutårn og plattformer offshore. Metoden er enkel, men utfordrende, da glidestøp pågår døgnet rundt til ønsket konstruksjonshøyde er oppnådd. Betongen blir støpt ut lagvis i en glideform som løftes med jevne mellomrom. Når glideformen løftes blir betongen utsatt for friksjonskrefter. Blir friksjonskreftene for høye, kan skader i betongoverflaten oppstå.

Denne oppgaven har som mål å undersøke hvordan mer miljøvennlig betong egner seg til bruk i glidestøp. Det blir satt fokus på tilsetningsmaterialene flygeaske og silikastøv og hvilken effekt disse tilfører betongen.

Oppgaven består av en teoridel og et forsøksprogram. Teoridelen tar for seg miljøbetong og glidestøp hver for seg, mens forsøksprogrammet skal gi en indikasjon på hvordan disse fungerer sammen. Det er brukt åtte ulike betongresepter der innholdet av flygeaske varierer fra 15 til 60%. Tre av blandingene er en kombinasjon av flygeaske med 6% silikastøv. Glideriggen ved Universitetet i Stavanger blir brukt for gjennomføring av forsøkene, og aktuelle data blir bearbeidet i Matlab.

Av resultatene kommer det frem at økt andel flygeaske vil forlenge hydratiseringsprosessen og dermed også medføre en forlenget avbindingstid. En lengre avbindingstid vil gi større friksjon mellom glidepanelet og betongen, noe som kan resultere i større risiko for overflateskader. Ingen av betongelementene viser tendenser til skader på overflaten, slik som forventet, noe som kan skyldes at forsøkene ble utført under kontrollerte forhold.

ABSTRACT

Concrete is strong, durable, and usable, and is considered as one of the world's most widely used building materials. The material is associated with high emissions of greenhouse gases, and cement production is estimated to account for 7-8% of climate emissions worldwide. The earth's climate is changing because of increased CO₂ emissions, and there is therefore a high focus on making concrete more environmental-friendly by reducing use of cement.

Environmental-friendly concrete is considered as concrete where measures have been taken to reduce climate emissions, where the main focus is on replacing parts of the cement with additive materials. Pozzolans such as Fly Ash and Silica Fume are frequently used additives that can affect the properties of the concrete.

Slipforming is an effective and economical construction method which has been used for decades. The technique is used in construction projects with high structures such as elevator shafts, bridge towers and offshore platforms. The method is simple, but challenging, as slipforming takes place around the clock until the desired construction height is achieved. The concrete is cast in layers in a formwork. The formwork is lifted at regular intervals, and the concrete is therefore exposed to frictional forces. If the frictional forces become too high, damage to the concrete surface can occur.

This thesis aims to investigate how more environmental-friendly concrete is suitable for use in slipforming. The focus is on the additive materials Fly Ash and Silica Fume and what effect these add to the concrete.

The thesis consists of a theory part and an experimental program. The theory part deals with environmental concrete and slipforming separately, while the experimental program will give an indication of how these works together. Eight different concrete recipes have been used, where the content of Fly Ash varies from 15 to 60%. Three of the mixtures are a combination of Fly Ash with 6% Silica Fume. The slipforming rig at the University of Stavanger has been used to carry out the experiments, and current data has been processed in a computer program called Matlab.

The results show that an increased proportion of fly ash will prolong the hydration process and thus also lead to an extended setting time. A longer setting time will give greater friction

between the slipform panel and the concrete, which can result in a higher risk of surface damage. None of the concrete elements show tendencies to damage to the surface, which may be due to that the experiments were performed under controlled conditions.

Innholdsfortegnelse

FORORD	III
SAMMENDRAG.....	IV
ABSTRACT.....	V
1 INTRODUKSJON.....	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.2 MÅL FOR OPPGAVEN	2
1.3 OMFANG OG AVGRENSINGER.....	2
2 LITTERATUR.....	3
2.1 MILJØBETONG.....	3
2.1.1 <i>Introduksjon.....</i>	<i>3</i>
2.1.2 <i>Betong og klimatiltak.....</i>	<i>4</i>
2.1.3 <i>Sement</i>	<i>4</i>
2.1.4 <i>Pozzolaner</i>	<i>5</i>
2.1.5 <i>Bruk av tilsetningsmaterialer</i>	<i>9</i>
2.1.6 <i>Karbonatisering.....</i>	<i>11</i>
2.2 GLIDESTØP	12
2.2.1 <i>Introduksjon og aktualitet</i>	<i>12</i>
2.2.2 <i>Glidformens oppbygning</i>	<i>13</i>
2.2.3 <i>Glidestøp som produksjonsmetode.....</i>	<i>13</i>
2.2.4 <i>Betong brukt i glidestøp</i>	<i>14</i>
2.2.5 <i>Utfordringer med glidestøp.....</i>	<i>15</i>
2.2.6 <i>Friksjon</i>	<i>16</i>
2.2.7 <i>Poretrykk</i>	<i>17</i>
2.2.8 <i>Effektivt trykk.....</i>	<i>17</i>
2.2.9 <i>Overflateskader</i>	<i>18</i>
3 METODER	19
3.1 SYNKUTBREDELSERMÅL	19
3.2 LUFTINNHold.....	19
3.3 DENSITET	20
3.4 STØPING AV TERNINGER OG SYLINDERE.....	20
3.5 TRYKKFASTHET AV TERNINGER	21
3.6 E-MODUL AV SYLINDERE	23
4 GLIDERIGG.....	25

4.1	GLIDERIGGEN.....	25
4.1.1	<i>Glideriggens oppbygning</i>	25
4.1.2	<i>Glidepanel</i>	26
4.1.3	<i>Løftekraft</i>	26
4.1.4	<i>Normalkraft</i>	27
4.1.5	<i>Temperaturmåler</i>	27
4.1.6	<i>Poretrykksmåler</i>	27
4.1.7	<i>Datainnsamling</i>	27
4.2	UTFØRELSE.....	28
5	FORSØKSPROGRAM.....	29
5.1	BETONGRESEPTER.....	29
5.2	MATERIALER.....	30
5.2.1	<i>Sementer</i>	30
5.2.2	<i>Pozzolan</i>	32
5.2.3	<i>Tilslag</i>	33
5.2.4	<i>Tilsetningsstoff</i>	33
5.3	BLANDEPROSESS.....	34
6	RESULTATER OG DISKUSJON.....	36
6.1	RESULTATER AV FERSK BETONG.....	36
6.1.1	<i>Synkutbredelsesmål</i>	36
6.1.2	<i>Luftinnhold</i>	38
6.1.3	<i>Densitet</i>	38
6.2	RESULTATER AV GLIDESTØP.....	39
6.2.1	<i>Friksjon</i>	39
6.2.2	<i>Poretrykk</i>	51
6.2.3	<i>Effektivtrykk</i>	58
6.2.4	<i>Temperaturutvikling</i>	63
6.2.5	<i>Overflateskader</i>	65
6.3	RESULTATER AV HERDET BETONG.....	69
6.3.1	<i>Trykkfasthet</i>	69
6.3.2	<i>E-modul</i>	74
6.4	FEILKILDER.....	76
7	KONKLUSJON.....	78
8	LITTERATURLISTE.....	79
9	VEDLEGG.....	82

9.1	A – PRODUKTDATABLADER.....	82
9.2	B – BETONGRESEPTER	90
9.3	C – TRYKKTEST OG E-MODUL RESULTATER.....	99

FIGURLISTE

Figur 1 – Glidestøp av Munchmuseet [1].....	1
Figur 2 – Pozzolaner [10]	5
Figur 3 – Flygeaskes trykkfasthet [6].....	8
Figur 4 – Dommersnes prosjektet [21].....	12
Figur 5 – Terning og sylindrerformer	21
Figur 6 – Terninger før trykktest	22
Figur 7 – Terninger etter trykktest	23
Figur 8 – E-modul av sylinder.....	24
Figur 9 – Glideriggen ved UiS	26
Figur 10 – Siktekurve av tilslag	33
Figur 11 – Oppmålt materiale før blandedprosess	34
Figur 12 – Friksjon FA15	40
Figur 13 – Friksjon FA30	40
Figur 14 – Friksjon FA40	41
Figur 15 – Friksjon FA50	42
Figur 16 – Friksjon FA60	42
Figur 17 – Friksjon FA15SF6	43
Figur 18 – Friksjon FA40SF6	44
Figur 19 – Friksjon FA60SF6	44
Figur 20 – Maks friksjon	45
Figur 21 – Friksjonsstigning FA15 og FA60	46
Figur 22 – Friksjonsstigning FA15 og FA15SF6.....	47
Figur 23 – Sammenlikning friksjon og effektivtrykk.....	48
Figur 24 – Sammenlikning friksjon og poretrykk	49
Figur 25 – Sammenlikning friksjon og temperatur	50
Figur 26 – Poretrykksmåling FA15	51
Figur 27 – Poretrykksmåling FA30.....	52
Figur 28 – Poretrykksmåling FA40.....	52
Figur 29 – Poretrykksmåling FA50.....	53
Figur 30 – Poretrykksmåling FA60.....	54
Figur 31 – Poretrykksmåling FA15SF6	55
Figur 32 – Poretrykksmåling FA40SF6	56

Figur 33 – Poretrykksmåling FA60SF6	57
Figur 34 – Effektivtrykk for FA15	58
Figur 35 – Effektivtrykk for FA30	59
Figur 36 – Effektivtrykk for FA40	59
Figur 37 – Effektivtrykk for FA50	60
Figur 38 – Effektivtrykk for FA60	60
Figur 39 – Effektivtrykk FA15SF6	61
Figur 40 – Effektivtrykk for FA40SF6.....	61
Figur 41 – Effektivtrykk for FA60SF6.....	62
Figur 42 – Sammenlikning effektivtrykk og poretrykk.....	63
Figur 43 – Temperaturmåling.....	64
Figur 44 – Overflate FA15	66
Figur 45 – Overflate FA30	66
Figur 46 – Overflate FA40	67
Figur 47 – Overflate FA50	67
Figur 48 – Overflate FA15SF6.....	68
Figur 49 – Overflate FA40SF6.....	68
Figur 50 – Overflate FA60SF6.....	69
Figur 51 – Trykktest resultater	72
Figur 52 – Defekt terning	77

TABELLISTE

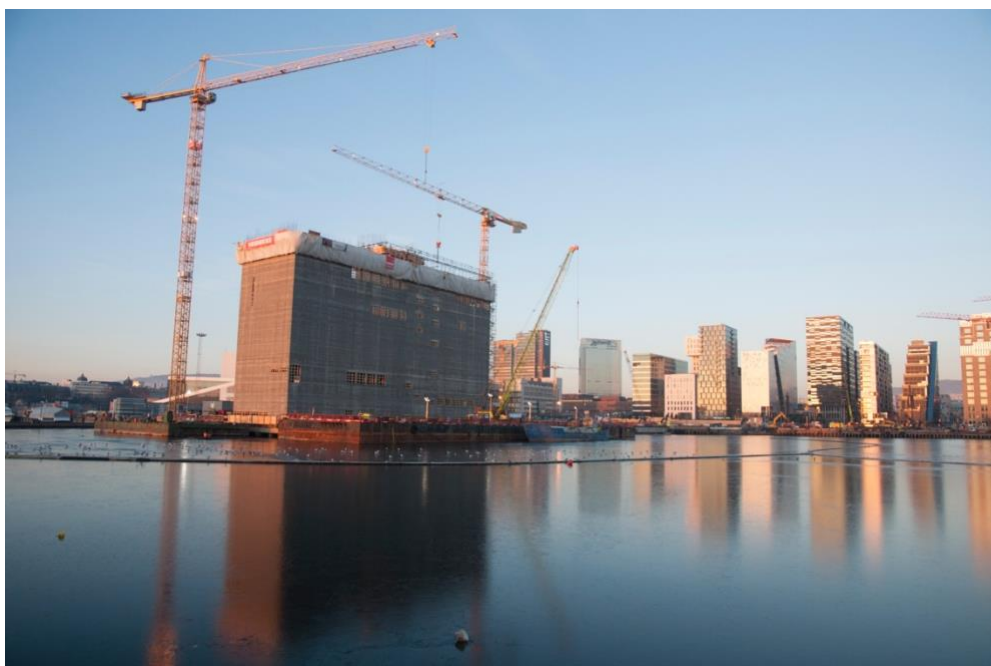
Tabell 1 – Betongresepter.....	29
Tabell 1 – Anleggsement.....	30
Tabell 2 – Anleggsement FA.....	31
Tabell 3 – Flygeaske.....	32
Tabell 4 – Microsilika	32
Tabell 5 – Reseptoversikt	35
Tabell 7 – Synkutbredelsesmål resultat.....	36
Tabell 8 – Luftinnhold resultat	38
Tabell 9 – Densitet resultat.....	38
Tabell 10 – Trykkfasthet	71
Tabell 11 – Karakteristisk terning- og sylindrefasthet	73
Tabell 12 – E-modul resultat	74

1 INTRODUKSJON

1.1 Bakgrunn

Glidestøp er en døgntkontinuerlig konstruksjonsmetode som blir brukt i produksjon av høye, vertikale betongkonstruksjoner. Metoden går ut på å støpe betongen lagvis i en glideform som blir løftet med jevne mellomrom. Glidestøp er tilsynelatende en enkel og effektiv teknikk, men med flere utfordringer man kan støte på underveis kreves det nøye planlegging. Dersom friksjonen mellom glideformen og betongen blir for høy, kan det oppstå overflateskader som kan redusere kvaliteten på den ferdigstøpte betongen.

Miljøvennlig betong er betong som gir miljøgevinst, ofte ved at den fremstilles med mindre klimagassutslipp. Sementproduksjonen har høyt utslipp av klimagasser, og det jobbes derfor for å finne gode løsninger for å redusere dette utslippet. I denne oppgaven er det satt søkelys på å erstatte deler av sementen med tilsetningsmaterialer som reduserer betongens klimaavtrykk.



Figur 1 – Glidestøp av Munchmuseet [1]

1.2 Mål for oppgaven

Hovedformålet med denne bacheloroppgaven er å finne ut hvordan økt mengde tilsetningsmaterial påvirker betong brukt i glidestøp. Tilsetningsmaterialer kan redusere klimagassutslipp som er knyttet til betongproduksjon og det vil derfor være interessant å undersøke hvor egnet en slik betong vil være.

Gjennom et prøvegram med forskjellige betongtyper blir det gjennomført glidestøp ved glideriggen på Universitet i Stavanger. Hovedfokuset ligger på hvordan glideegenskapene blir påvirket av miljøvennlige betonger og dens ferske egenskaper.

1.3 Omfang og avgrensinger

Oppgaven blir delt inn i to deler, en litteraturodel og en praktisk del. Litteraturodelen har som mål å presentere teorien bak miljøbetong og glidestøp, mens den praktiske delen tar for seg metoder, glideriggen og forsøksprogrammet. Forsøksprogrammet er avgrenset til å omhandle vertikalt glidestøp av betong med tilsetningsmaterialer.

Betonglaboratoriet ved UiS blir stadig brukt av både studenter og ansatte, noe som medfører begrenset kapasitet. Hvert av forsøkene ble derfor kun utført én gang og oppgaven ble begrenset til åtte ulike betongresepter. Alle reseptene benytter samme matriksvolum og masseforhold for å redusere antall variabler.

2 LITTERATUR

Litteraturkapittelet tar for seg relevant teori i forbindelse med miljøbetong og glidestøp. I kapittelet om miljøbetong ligger hovedfokuset på forskjellige pozzolaner som kan erstatte sement, og hvordan dette påvirker betongens egenskaper. Kapittelet om glidestøp er presentert for seg selv, og beskriver glidestøpsteknikken.

2.1 Miljøbetong

Menneskelige klimagassutslipp har økt betydelig de siste årene, og er blitt et reelt problem for flere mennesker verden over [2]. Byggbransjen står for store deler av klimagassutslippene, og betongproduksjonen tar mye av skylden. Betong har lang levetid, høy styrke og er et av de mest brukte materialer i verden. Materialet er lett å forme i flytende tilstand og det gjør materialet svært allsidig. I tillegg er det sterkt, fleksibelt og krever lite vedlikehold. Materialets egenskaper gjør det ekstra anvendelig og passende for de fleste bygg med ulike formål. [3]

2.1.1 Introduksjon

Hvert år har Norge et forbruk på omtrent 2 millioner tonn sement. Dette utgjør rett over 4,4 millioner kubikkmeter med ferdiglaget betong og betongprodukter. Samfunnet er avhengig av betongproduksjonen for å kunne bygge broer, industrianlegg, tunneller, kaier, plattformer osv. Betong er midlertidig en stor bidragsyter til store deler av klimagassutslippene fra byggbransjen. Det slippes ut omtrent 300 kg med CO_2 for hver kubikkmeter med betong som blir produsert. [3]

Betong blir produsert ved å blande sammen vann, sement, stein og tilsetningsstoffer. Det oppstår en kjemisk reaksjon, kalt hydratisering, mellom vannet og sementen og som da danner betongen. Sementen kalles for bindemiddelet i betongen og er produsert av pulverisert kalkstein som deretter brennes. Gips tilsettes etter at kalksteinen er brent, for så å pulveriseres igjen før det blir tilsatt jernsulfat. 60-70 % av volumet til betongen består av tilslaget. Tilslaget tilsettes sementpastaen og bør være velgradert for å oppnå best mulig betongkvalitet. [4]

2.1.2 Betong og klimatiltak

Miljøvennlig betong er betong der det er gjort ulike tiltak for å redusere klimagassutslippene. Innenfor miljøvennlig betong er det flere faktorer som spiller inn. Sammenhengen mellom levetid, brukervennlighet og miljøavtrykk i både bygningsprosessen, men også i bruksfasen, er viktig ved valg av materialer i en byggeprosess. Et bygg kan ha et lavt CO₂ utslipp, men vil likevel ikke være gunstig dersom det trenger renovering eller må rives etter kort tid. Da vil et bedre valg av materialer gjerne være materialer med litt høyere CO₂ utslipp, men som gir lengre levetid og holdbarhet.

Betongbransjen må holde seg oppdatert til enhver tid slik at det ikke brukes unødvendig og for sterk betong. Det stilles krav til betongens bestandighet, og ved hjelp av dette bestemmes det hvilken betong som skal brukes til ulike formål. Skal det brukes mer miljøvennlige betonger med mindre sementinnhold må bestandigheten være god, slik at man totalt sett kommer ut med mindre forurensing. [5]

Lavkarbonbetong

Lavkarbonbetong er en type betong der det er gjort tiltak for å få et lavere karbonavtrykk i henhold til NS – EN 206 + NA. Norsk Betongforening klassifiserer lavkarbonbetong innenfor de fire nivåene; Lavkarbon B, Lavkarbon A, Lavkarbon Pluss og Lavkarbon Ekstrem i publikasjon NB37. Lavkarbonklasse B og A kan brukes til alle fasthet- og bestandighetsklasser og er relativt lett tilgjengelige. Klasse B er det enkleste å oppnå, mens klasse A krever enkelte tiltak i resepten. Lavkarbonklasse Pluss og Ekstrem er mindre tilgjengelig, har vesentlig strengere krav og krever spesielle sammensetninger for bindemiddelet. De er heller ei godkjent til bruk for alle bestandighetsklasser.

2.1.3 Sement

Sement er hoveddelen av betong og mørtel, og ble brukt som bindemiddel allerede i oldtiden. I dag er det Portlandsementen som er mest utbredt, og den ble utviklet i 1843 av William Aspedin. Sement blir kalt bindemiddelet i betong fordi det reagerer med vann og fungerer som et slags lim mellom tilslaget. Klinker finmales sammen med gips og danner det hydrauliske bindemiddelet sement. Klinker dannes av forbrenning av råmel og kalkstein sammen med kvarts, leire, skifer og lignende materialer. Sement går under gruppen med hydraulisk bindemiddel fordi det herdner ved kontakt med vann. Under denne reaksjonen

dannes det hydratiseringsprodukter, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ og C-S-H. Det er disse produktene som sørger for den største delen av bindemiddelet i herdet sement. [6]

Sementen alene anslås til å stå for 7-8 prosent av klimautslippene på verdensbasis. [7] Produksjonen av portlandsementen slipper ut CO_2 ved kalsineringen, men den største delen kommer fra oppvarmingen av kalksteinen. En liten del kommer også fra elektrisiteten gjennom denne prosessen. Ved produksjon av 1 tonn sement slippes det ut omtrent 1 tonn med CO_2 . På verdensbasis ble det produsert omtrent 4,2 milliarder tonn med sement i 2016. [8] For å redusere miljøavtrykket fra sementproduksjonen er det benyttet alternative råmaterialer og restprodukter fra brensel. Flygeaske og masovns-slagg er avfall fra industrier som i stor grad benyttes som tilsetningsmaterialer.

2.1.4 Pozzolaner

Det gjøres flere ulike tiltak for å redusere sementbruken i betong fordi sementproduksjonen har et høyt klimagassutslipp. Pozzolane tilsetningsmaterialer brukes for å redusere dette ved å erstatte deler av sementen. Pozzolaner kan være andre mineraler som har kjemiske eller mineralske egenskaper som ligner sement, og som ofte er restprodukter fra andre industrier. Pozzolaner reagerer kjemisk med kalsiumhydroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) og danner bindestoffer. Fordi pozzolaner er svært finkornede materialer, reduserer de "bleeding" som fører til en mer homogen betong. De vanligste pozzolaner som er i bruk regnes å være flygeaske, silica fume og slagg. [9]



Figur 2 – Pozzolaner [10]

I dag inneholder de aller fleste betonger pozzolaner, og mye av sementen er ferdig produsert med ulike tilsetningsmaterialer. I Norge er over 65% av portlandssementen produsert med flygeaske. Slaggsement er også en sement som leveres ferdig blandet, og importeres til Norge. [6]

Flygeaske (FA)

Flygeaske er det mest utbredte og brukte pozzolane tilsetningsmaterialet. Å bruke flygeaske som pozzolan gir flere fordeler i både fersk og herdet betong, men også med tanke på miljøhensyn. Flygeaske blir brukt som et erstatningsmateriale for sementen, og reduserer de negative miljøkonsekvensene av sementproduksjonen.

Flygeaske er et restprodukt fra filterstøvet fra forbrenning av kull i kullkraftverk, og består av partikler av silikater, jern- og aluminiumsholdige oksider. Partiklene i flygeasken varierer i alt fra under 1µm og opptil 100µm, men den typiske størrelsen ligger under 20µm.

Blainefinheten er vanligvis mellom 300 og 500 m²/kg. [11] Flygeaske og sement består hovedsakelig av de samme grunnstoffer, og dermed fungerer flygeaske godt i betongsektoren som erstatning for klinker i sement. På lik linje med sementens herdingsreaksjon, reagerer flygeaske med Ca(OH)₂ og danner bindemiddel. [12]

Til tross for utvikling av fornybar energi og kraftig reduksjon i kullindustrien, er kull en viktig energikilde som fortsatt er nødvendig for store deler av verden. Likevel reduseres tilgangen på flygeasken kraftig i takt med utviklingen av mer miljøvennlige energikilder, og på sikt vil flygeaske bli mye mindre tilgjengelig. Tilgjengeligheten av flygeaske varierer i løpet av året, der det er høyest forekomst når det er høy kullforbrenning og etterspørsel etter oppvarming.

Ved forbrenning av kull blir det etterlatt kullforbrenningsrester (CCR) sammen med flere biprodukter. Over 70 % av forbrenningsrestene går under kategorien flygeaske. Partiklene som danner flygeasken blir fanget opp av spesielle elektrostatiske filtre i kullkraftverkene. Å ta i bruk biprodukter fra en industri minsker avfallsvolumet, samtidig som det kan erstatte andre ressurser. Flygeaske blir hyppigere utnyttet med tiden, og det er i betong og sementsektoren materialet er mest anvendt. [13]

Kullsammensetningen sammen med brenningsprosessen utgjør hvilke egenskaper flygeasken får som et tilsetningsstoff. Siden flygeaske er et restmateriale, og ikke er spesielt utviklet for

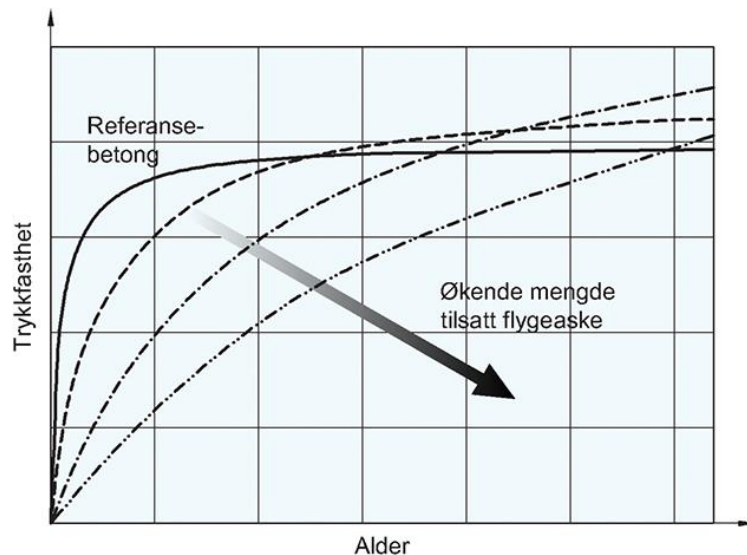
bruk i betongsektoren, er det viktig å ta hensyn til at det vil forekomme variasjoner i de forskjellige produksjonene av asken. Flygeaske blir brukt sammen med, og som en delvis erstatning av, sement i betongproduksjonen. Det pozzolane tilsetningsmaterialet fører til at sementbehovet blir mindre, noe som reduserer miljøavtrykket til betongen. I tillegg til at flygeaske er et viktig tilsetningsmateriale miljømessig, er det også mye brukt på grunn av dets tekniske egenskaper.

I fersk betong er det flere faktorer som blir påvirket ved bruken av flygeaske som pozzolan. Flygeaske reagerer kjemisk i betong og gir betongen en høyere tetthet samtidig som den bidrar til redusert vannbehov. De små sfæriske partiklene i materialet gir også gode støpelighetsegenskaper og reduserer varmeutvikling. Det pozzolane materialet minker også betongens "bleeding", som et resultat av et større finstoffvolum samt det reduserte behovet for vann i blandingen. [14]

I herdet betong forsterker flygeaske betongens styrke og levetid. Flygeaske produserer et ekstra bindemiddel i reaksjon med tilgjengelig kalk i betongen, noe som fører til at betongens styrke vil fortsette å øke over lang tid. Permeabiliteten reduseres som et resultat av redusert vannbehov og produksjon av ekstra bindemiddel. Dette gir en motstandsdyktig betong med bedre levetid. [15]

Da flygeaske er et pozzolan, og reagerer kjemisk med resultatproduktet som oppstår etter reaksjon mellom vann og sement, vil reaksjonstiden til flygeaske forekomme ved senere tid enn ved en ordinær portlandsement. Da det ikke forekommer pozzolanreaksjoner hos flygeasken i de tidlige timer, vil det øke betongens støpelighet og forsinke betongens avbindingstid.

Mengden av flygeasketilsetningen påvirker også hvilke egenskaper den tilfører en herdet betong. En betong med mindre mengder av flygeaske, kan få en økning i trykkfastheten i forhold til en ordinær betong. Ved rundt 20 % tilsetning av flygeaske kan betongen oppnå trykkfasthet på samme nivå som en ordinær betong. Når tilsetningen av flygeaske er høyere, rundt 40 % og over, kan det redusere styrken til den herdete betongen. Uavhengig av hvor mye flygeaske som er tilsatt, vil pozzolanet på lang sikt være med på å øke betongens styrke. [16]



Figur 3 – Flygeaskes trykkfasthet [6]

Flygeaske kan også påvirke den herdede betongens E-modul. E-modulen kan reduseres ved tilsetning av flygeaske, og desto mer tilsetning, desto lavere blir resultatet. [16]

Silica Fume (SF)

Et annet pozzolant tilsetningsmateriale er Silica Fume, også kalt silikastøv, som er et biprodukt fra silisiumproduksjonen. Norge har en stor rolle i bruken av silikastøv som et pozzolan i betong, da Norge er ledende i ferrosilisiumproduksjonen. Silika finnes i jord, stein, granitt, sand og leire.

Silikastøv er et godt egnet pozzolan da det gir betongen egenskaper som høy holdbarhet, høy tidlig trykkfasthet og høy bindestyrke. Partiklene i silikastøv har en størrelse fra 0,1 til 0,2 μm [14]. De små mikroskopiske partiklene påvirker betongen til å oppnå høy tetthet og god bestandighet. Det er betongens styrke som er hovedfaktoren for bruk av silikastøv som et pozzolant tilsetningsstoff. Silikastøv brukes som regel opptil rundt 10% av betongresepten.

Når Silica Fume blir tilsatt i fersk betong, kreves det et økt vannbehov i blandingen for å opprettholde samme bearbeidighet som en betong uten denne tilsetningen. Silikastøvet påvirker den ferske betongen ved at den oppnår en lavere slumpverdi og dermed også et større synkutbredelsesmål. Pozzolanet er også kjent for å tilføre betongen god bindeevne samt lite ”bleeding” og segregering. [14]

I herdet tilstand påvirker silikastøvet betongen ved å gi høy tidlig trykkfasthet og lang holdbarhet. En konstruksjon av betong med silikastøv er motstandsdyktig mot slitasje, og har en høy korrosjonsbestandighet. Silikastøvet har også en positiv påvirkning på E-modulen til herdet betong sammenliknet med en ordinær betongresept.

Det er tilgjengeligheten og det økonomiske som kan hindre bruken av silikastøv som et pozzolan. I forhold til både sement og flygeaske er prisen på silikastøv høyere. [17]

Slagg

Det finnes også andre tilsetningsmaterialer som brukes som erstatning av sement. Slagg er et pozzolant materiale som kommer fra smelteverk fra produksjon i stålindustrien. På lik linje med både silikastøv, gir også slagg en økning i fasthet i herdet betong. Slaggets egenskaper som et tilsetningsstoff er å gi høyere trykkfasthet og tetthet til betongen. Slagg som pozzolan er granulert og malt til en størrelse på under 45 µm, og har en Blainefinhet mellom 400 og 600 m²/kg. [11]

Slagg som tilsetningsmateriale skiller seg ut fra både flygeaske og silikastøv ved at det kan erstatte større deler av sementen. Mens silikastøv kan erstatte opptil rundt 10 % av sementen, og flygeaske omtrent 35 %, brukes slagg ofte til å erstatte over halvparten av sementen. [18]

2.1.5 Bruk av tilsetningsmaterialer

Ifølge NS-EN 206-1:2000+NA:2007 er betongens masseforhold og effektiv bindemiddelmengde utledet i Norge ved følgende formler;

$$\text{masseforhold} = \frac{\text{vann}}{\text{sement} + k * \text{tilsetningsmateriale}}$$

$$\text{effektiv bindemiddelmengde} = \text{sement} + k * \text{tilsetningsmateriale}$$

Ved beregning av masseforhold og minste effektiv bindemiddelmengde er den største andel tilsatt tilsetningsmateriale som kan tas med i beregningen 35 % for flygeaske, 11 % for silikastøv og 80 % for slagg (kombinert med flygeaske gjelder 60 %). NS-EN 206:2013+NA:2014. [19]

K-verdi metoden

K-verdien forteller hvilken virkningsgrad tilsetningsmaterialer har på betongens bestandighet. [19] Verdien er en sammenlikning av holdbarheten til en referansebetong, mot en betong der deler av sementen fra referansen er byttet ut og erstattet. For at betong med tilsetningsmaterialer skal opprettholde samme egenskaper som portlandsement, er k-verdien en viktig faktor i beregningen av masseforholdet. K-verdien forteller hvor mye sement som kan tas ut og hvor mye tilsetningsmateriale som kan legges til, samtidig som betongen opprettholder både trykkfasthet og bestandighet

For tilsetningsmateriale med k-verdi < 1 , må det legges til mer tilsetningsmateriale enn mengden sement som er tatt ut. Dette gjelder typisk for flygeaske som har en relativt lav k-verdi. For k-verdier > 1 , trengs det mindre mengder tilsetningsmateriale for å erstatte sementen, slik som ved bruk av silika.

Mengden av *sement* + $k * \text{tilsetningsmateriale}$ kan ikke være under kravet for sementinnhold for de gjeldene eksponeringsklassen ifølge NS-EN 206:2013+A2+NA.

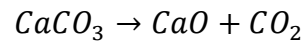
Det er gitt i NS-EN 206-1 hvilke k-verdier som er tillatt ved innblanding av tilsetningsmaterialer. Ved bruk av flygeaske som tilsetningsmateriale er $k = 0,2$ tillatt ved fasthetsklasse 32,5, og $k = 0,4$ tillatt ved fasthetsklasse 42,5 og høyere avhengig av sementtype og bestandighetsklasse i samsvar med NS-EN 450. For å opprettholde de samme egenskapene som ved en portlandsement, må vannmengden reduseres ved bruk av flygeaske. Fordi K-faktoren gjelder for egenskapene betongen oppnår etter 28 døgn, og pozzolanreaksjonene reagerer sent, er flygeaske sin k-verdi under 1. For å opprettholde samme masseforhold kreves det derfor en større mengde flygeaske for å erstatte sementinnholdet som tas ut.

Ved tilsetning av silikastøv, er $k = 2,0$ i samsvar med NS-EN 13263. Eneste unntak for masseforhold større enn 0,45 er ved klasse XC og XF der $k = 1,0$. En k-verdi på 2,0 forteller at 2 kg sement kan erstattes med 1 kg silika, og betongen vil likevel opprettholde samme masseforhold.

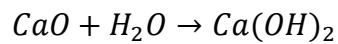
For bruk av slagg som tilsetningsmateriale er det er $k = 0,6$ som er tillatt i samsvar med NS-EN 15167.

2.1.6 Karbonatisering

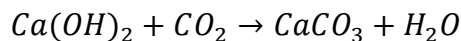
Som nevnt tidligere slipper sementproduksjonen ut mye CO₂ ved produksjon, men betong absorberer også en betydelig andel CO₂ fra lufta. Ved å se på de kjemiske reaksjoner som foregår i produksjonen av betong er det lettere å se hvor forurensingen oppstår. For å produsere sement blir pulverisert kalkstein brent. Det gir følgende formel;



Det blir spaltet ut CO₂ når kalkstein kalsineres. Videre blandes kalken med vann for å lage den såkalte sementpastaen Ca(OH)₂, portlanditt.



Ca(OH)₂ finnes dermed i ferdig herdet betong, og det er her karboniseringen følger. Betongen reagerer med karbondioksider i lufta absorberer karbondioksid og karboniserer tilbake til kalkstein.



Miljømessig er det positivt at CO₂ fra lufta blir absorbert, men karboniseringen er ikke bare en fordel. Ved karbonisering synker pH-verdien i betongen. En lav pH-verdi er en trussel for armeringen da det øker faren for korrosjon. Betongens bestandighet påvirker hvor god motstand en betong har mot karbonisering.

Dersom en bygning blir karbonisert, synker betongens styrke og holdbarhet. Til tross for at karbonisert betong ikke er gunstig i en bygning, kan den komme til nytte andre steder. Da det er overflaten som karboniseres først, er det nyttig å knuse all betong som har vært brukt etter et bygg er revet. Ved å gjøre dette blir hele betongen karbonisert og dermed blir en mye større del CO₂ tatt opp fra lufta. Fullstendig karbonisert betong kan brukes som tilslag ved produksjon av ny betong, da det ikke har noe betydning at knust betong er karbonisert når armeringen er fjernet. På denne måten vil deler av CO₂ en som spaltes ved produksjonen tas opp igjen fra lufta når konstruksjonen står i bruk. Knust betong kan også utnyttes ved å ta i bruk en gabionvegg. Her kan betongen karboniseres samtidig som den har en funksjon som en vegg. [3]

2.2 Glidestøp

I dette kapitlet presenteres glidestøp som konstruksjonsmetode og hvordan dette fungerer i praksis.

2.2.1 Introduksjon og aktualitet

Glidestøp er en effektiv konstruksjonsmetode som blir brukt til å produsere vertikale betongkonstruksjoner. I Norge har metoden vært dominerende i forbindelse med bygging av betongplattformer offshore, men også siloer, heissjakter, brutårn etc. Selv om glidestøp ikke har vært den mest brukte konstruksjonsmetoden, har den i nyere tid blitt hyppigere brukt i forbindelse med nye prosjekter.

I dag kan man vise til flere eksempler på prosjekter der glidestøp blir brukt som konstruksjonsmetode. Ved det nye Universitetssykehuset i Stavanger har glidestøp blitt brukt til å konstruere 7 sjakthus på 36,6 meter på det høyeste. [20] Et annet lokalt eksempel på glidestøp er Dommersnes prosjektet, som finner sted i Vikebygd. Her foregår bygging av 11 flytende betongskrog til vindmølleturbiner. [21]



Figur 4 – Dommersnes prosjektet [21]

Selv om metoden er rask, enkel og kostnadseffektiv følger det med en rekke utfordringer, og det kreves derfor nøye planlegging for å gjennomføre et prosjekt med glidestøp som konstruksjonsmetode.

2.2.2 Glideformens oppbygning

Glideformen blir vanligvis prosjektert av glideentreprenøren, og det er flere ting som må tas hensyn til når denne skal utformes. Åkplasseringen og jekkenes løftekapasitet er to viktige faktorer for at glideformen skal kunne utføre det arbeidet den er beregnet for å utføre.

Løfteåkene er en av de mest sentrale delene i glideformens oppbygning, da alt bygges ut ifra disse. Forskalingen og arbeidsplattformen er festet til løfteåkene, det samme gjelder jekkene som klatrer på klatrestålet. Jekkene blir styrt av en sentral hydraulikkenhet og løftekapasiteten til disse er tilpasset belastningene som de blir utsatt for. Under arbeidsplattformen finner man et hengende stillas, slik at det vil være mulig å utføre inspeksjon og etterarbeid senere i arbeidsprosessen. Over arbeidsplattformen er det festet armeringsføringer, slik at vertikalarmeringen skal holdes på plass.

For å hindre mest mulig påvirkning fra glideformen til den utstøpte betongen, monteres glideformen med «slipp». Dette betyr at forskalingen i bunnen vil ha en større åpning, om lag 2-3 mm, enn toppen. Det er viktig at slippet ikke blir for stort, eller i motsatt tilfelle, negativt. Et for stort slipp kan føre til valker og utglidning på betongoverflaten, og et negativt slipp kan forårsake løfteriss. For å hindre at dette skjer er det viktig å ikke ha for mye belastning på arbeidsplattformen, da dette vil påvirke slippet. [22]

2.2.3 Glidestøp som produksjonsmetode

Glidestøp er tilsynelatende en enkel teknikk, men grunnet all planleggingen som ligger i bunn kan den bli sett på som relativt komplisert i forhold til andre konstruksjonsmetoder.

Gjennomførelsen av glidestøp krever nøye planlegging og god kompetanse når det kommer til både utførelse, mannskap og logistikk. Når arbeidsoperasjonen først er satt i gang pågår den døgnet rundt, som oftest uten stans/pauser, helt til man har nådd ønsket høyde på konstruksjonen. Det er derfor viktig at man har tilgang på riktig tilførsel av materialer og utstyr, samt har et mannskap som er på plass til enhver tid og som også fungerer godt

sammen.

Glidestøp er en døgnkontinuerlig støpeprosess der betongen støpes lagvis i en glideform som løftes etter hvert som betongen herder. Forskalingen i glidestøp vil være normalt mellom 1-1,2 m høy, noe som er lavt sammenliknet med tradisjonell støping. Lagtykkelsen på betongen er som regel mellom 10 og 25 cm og glideformen heves mellom 15-25 mm per løft. Totalt i løpet av et døgn vil normal glidehastighet gi 2-4 m betong. Hvor ofte glideformen løftes er tilpasset betongens avbindingstid, men også tilpasset med tanke på alt arbeidet som må utføres mellom hvert løft. Glidehastighet er derfor en viktig faktor for å få et vellykket resultat. [22]

2.2.4 Betong brukt i glidestøp

For å gjennomføre et vellykket glidestøp trenger man betong som er egnet til dette. Her må man både se på materialer og sammensetning, samt avbindingstid og glidehastighet. Det som kanskje er det viktigste er at betongblandingen er «glidevennlig».

For å finne riktig betongblanding til ønsket stabilitet og konsistens, er det lurt å prekvalifisere betongen. Dette går ut på å vurdere prøveblandinger for betongens støpelighets og avbindingsegenskaper. Man kan også gjennomføre en prøveglid som er mest mulig identisk som den konstruksjonen som skal støpes, for å finne ut hvilken blanding som er best egnet.

Når man skal finne egnet betongsammensetning må man se på de kravene som er spesifisert for konstruksjonen. Her er det mulig å bruke ulike tilsetningsstoffer som er med på å endre egenskapene i fersk betong. De ulike tilsetningsstoffene kan blant annet justere støpeligheten, vannmengde og luftinnhold.

Betong som har god støpelighet gir et godt utgangspunkt når det kommer til kvaliteten på utstøping og den herdede betongen. En måte å bestemme støpeligheten på er ved hjelp av synkmål eller synkutbredelsesmål.

Avbindingstid og glidehastighet

For å opprettholde ønsket glidehastighet, må man ha riktig avbindingstidspunkt i betongen. Avbindingstiden til en betongblanding representeres ved en temperaturøkning på 2 C°. Ønsket glidehastighet varierer ut ifra hvor komplisert konstruksjonen er. I enkle

konstruksjoner ønsker man ofte en raskere glidehastighet, mens i mer kompliserte prosjekter trenger man en større tidsramme å utføre alle arbeidsoppgavene på, altså trenger man lavere glidehastighet.

Når man ønsker en høy glidehastighet, trenger man kortere avbindingstid. For å regulere avbindingstiden brukes ofte et retarderende eller akselererende tilsetningsstoff, avhengig av om du ønsker kortere avbindingstid eller lengre avbindingstid. Det er også en mulighet å benytte betongtemperaturen til å justere avbindingstidspunktet.

Når man bruker miljøbetong i glidestøp vil dette gi en lavere glidehastighet. Dette er fordi miljøbetong inneholder større prosent av pozzolanmaterialer, som f.eks. flygeaske eller slaggsement. Avbindingstidspunktet er derfor også avhengig av type sement og hvor høyt innhold man har av pozzolanmaterialer. Jo høyere innhold du har av for eksempel flygeaske, jo tregere vil avbindingstidspunktet inntreffe.

En normal glidehastighet vil være mellom 2-4 m i døgnet, men det er også mulig å gli raskere for eventuelle prosjekt der det er mer gunstig. Uansett lav eller høy glidehastighet så vil man holde en jevn hastighet fra starten til slutten av prosessen. Det finnes ulemper og fordeler med både lav og høy glidehastighet så det er derfor viktig å vurdere disse ut ifra hvilket prosjekt det gjelder. [22]

2.2.5 utfordringer med glidestøp

Glidestøp har blitt en konkurransedyktig produksjonsmetode da den har vist å gi god kvalitet, men med betydelig kortere byggetid sammenliknet med andre konstruksjonsmetoder. De fleste operasjonene som blir utført har vært vellykkede, men det finnes eksempler på operasjoner der friksjonen mellom glideformen og betongoverflaten har blitt for høy. Når friksjonen blir for høy, kan det bli påført løfteriss og andre skader i betongoverflaten. [23]

Groing

Groing på formhuden vil forekomme under alle glideoperasjoner, men vil variere ut ifra blant annet betongresept, løftehastighet og værforhold. Dersom omfanget av groing blir for stor, vil dette medføre en økning i friksjonen.

For å forhindre stort omfang av groing er det nødvendig å rengjøre formhuden under løfting

av gliden. Dette gjøres ved å fjerne størknet betong som har festet seg til forskalingshuden, armeringsavvisere, eller andre steder. I noen prosjekter kan det også være nødvendig å bytte ut forskalingshuden underveis, slik at det blir enklere å rengjøre. [22]

Andre utfordringer som også er med på å påvirke det ferdige resultatet er for dårlig kvalitet på betongen eller ujevne leveranser, svikt i logistikken når det kommer til tilførsel av materialer og utstyr, samt ekstremvær og klimaforhold. [22]

2.2.6 Friksjon

En av de største utfordringene som oppstår ved utførelse av glidestøp er for høy friksjon mellom glideformen og betongoverflaten. For høy friksjon kan forårsake løfteriss og andre skader på den ferdige betongkonstruksjonen. Friksjonen oppstår når glideformen blir løftet opp langs betongoverflaten, altså når den utstøpte betongen er i kontakt med det bevegende panelet. Ruheten og arealet til panelet er derfor med på å avgjøre hvor stor friksjon som oppstår. Andre faktorer som også spiller inn på friksjonen er det effektive trykket fra betongen, samt løftehøyde og løftehastighet. Økt trykk og for lav glidehastighet vil derfor gi økt friksjon.

Friksjonskraften vil virke i motsatt retning til gliden og beskriver forholdet mellom friksjon og normalkraften fra betongen mot panelet. Den generelle formelen er gitt ved:

$$R = \mu N$$

R = friksjonskraft

μ = friksjonskoeffisienten

N = normalkraften

Når man regner på friksjon, må man også huske å skille mellom statisk og kinetisk friksjon da disse vil ha ulike friksjonskoeffisienter. Statisk friksjonskoeffisient, μ_s , brukes for overflater som er i ro. Kinetisk friksjonskoeffisient, μ_k , brukes for overflater som er i bevegelse. I en glideprosess vil overflatene gå fra å være i ro til å bevege seg relativt til hverandre. Løftekraften til gliden må derfor være større enn den statiske friksjonskraften for at panelet skal begynne å gli. [24]

2.2.7 Poretrykk

Poretrykk og variasjonen i poretrykket er en viktig parameter å følge med på når man bruker glidestøp som konstruksjonsmetode. Årsaken til dette er at porevanntrykket er med på å påvirke friksjonen som oppstår mellom betongen og den bevegende forskalingen.

Poretrykk representerer trykket som oppstår når betongen er i den flytende fasen til den er ferdig herdet. Poretrykket varierer gjennom hele herdeprosessen og deles ofte inn i tre faser; flytende fase, semiflytende fase og herde fase.

I den flytende fasen er det settinger og ”bleedings” som påvirker poretrykket. På grunn av gravitasjon vil de tyngre partiklene i betongen synke nedover, noe som vil gjøre at poretrykket synker, samtidig som det vil oppstå ”bleedings” på overflaten. I den semiflytende fasen vil hydratiseringen påvirke poretrykket, samt absorbering av vann i betongen og uttørking på overflaten. Poretrykket vil derfor fortsette å synke til det når sitt minimumstrykk, eller mer kjent som «break-through pressure». Dette representeres ved en kollaps av kapillærtrykket. Årsaken til dette er at kapillærporene ikke lengre klarer å opprettholde et sammenhengende nettverk. Nå vil poretrykket øke, for så å stabilisere seg.

Uttørking og reduksjon i poretrykket vil avhenge av sementtype og innhold i betongblandingen. [24] [25]

2.2.8 Effektivt trykk

Effektivt trykk er gjennomsnittlig trykk fra korn til korn, og er med på å påvirke friksjonen som oppstår mellom betongen og glidepanelet. I den flytende fasen vil skjærstyrken være lav på grunn av lav kohesjon og lav intern friksjon mellom partiklene. I den semiflytende fasen vil skjærstyrken øke på grunn av høyere effektivt trykk, men også på grunn av reaksjonene som pågår i sementen. Når det effektive trykket øker, vil dette gi større intern friksjon.

Det effektive trykket blir ofte sett i sammenheng med poretrykket. Ligningen som beskriver denne sammenhengen, sier som følger:

$$\sigma' = \sigma - u$$

σ' = effektivt trykk

σ = totalt trykk

u = poretrykk

Et positivt poretrykk vil resultere i et lavere effektivt trykk, mens et negativt poretrykk vil resultere i et høyere effektivt trykk. [24]

2.2.9 Overflateskader

Om en glideoperasjon er vellykket eller ikke, avhenger av overflaten til den ferdig konstruerte betongen. Dersom friksjonen mellom glideformen og betongoverflaten har vært for høy, vil dette resultere i skader som løfteriss, valker og utglidning.

Løfteriss

Løfteriss er små risser på betongoverflaten som vil gi svake soner og grobunn for nedbrytningsmekanismer. Dette vil være med på å redusere levetiden til betongkonstruksjonen, og er derfor viktig å unngå.

Løfteriss oppstår enten ved at glideformen løftes for sjeldent, slik at det oppstår bindinger mellom betongen og forskalingen, eller ved skjevløfting. Skjevløfting er noe som kan forekomme når armering og innstøpningsgods blir plassert ukritisk på arbeidsplattformen. For å unngå løfteriss er det derfor viktig at herdefronten ligger lavt i formen, da løfteriss ikke kan oppstå når betongen er i flytende fase, og at skjevløfting ikke blir nødvendig.

Valker og utglidning

Andre overflateskader som kan oppstå er valker og utglidning. Valker og utglidning kan oppstå dersom det er en for stor åpning mellom formhud og fersk betong. Det som da skjer, er at den ferske betongen kan gli ut og legge seg ved den underliggende betongen. Valker og utglidning kan oppstå ved skjevløfting, ved en slipp som er for stor, men også om herdefronten ligger for lavt. Det vil derfor være viktig med en herdefront som verken er for høy eller for lav, samt en jevn glidehastighet. [22]

3 METODER

I dette kapittelet blir metodene for de ulike prøvene som gjennomføres i sammenheng med forsøksprogrammet, presentert og forklart.

3.1 Synkutbredelsesmål

Synkutbredelsesmål er en av de vanligste metodene, sammen med synkmål, for å bestemme betongens støpelighet. Målingene blir utført i henhold til metoden som blir beskrevet i NS-EN 12350.

Metoden krever en synkkjegle og et flatt underlag. Kjeglen og underlaget blir fuktet før man starter målingen. Kjeglen holdes fast mot underlaget og fylles med betong. Deretter løftes kjeglen i et jevnt tempo oppover, man regner med at løftet skal ta mellom to og fem sekunder. Når kjeglen er løftet helt opp og betongen har bredt seg utover underlaget, måles diameteren til den utbredte betongen.

For å finne synkutbredelsesmålet måler man diameteren til den største utbredelsen og diameteren som er vinkelrett på denne. Synkutbredelsesmålet vil da være:

$$SF = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Målet med å ta en slik test er for å finne ut om betongen er selvkomprimerende eller ikke. For å bestemme om betongen er selvkomprimerende må den tilfredsstillende kravene til en av synkutbredelsesklassene som man finner i NS-EN 206:2013+A1+NA G.1, men et vanlig kriterium er at betongen skal ha en utbredelse på over 650 mm.

3.2 Luftinnhold

Luftinnholdet blir målt ved hjelp av en luftporemåler, Servi B2020 FTS. Dette er den vanligste metoden i Norge for å bestemme luftinnhold i fersk betong. Luftinnholdet blir målt i henhold til metoden beskrevet i NS-EN 12350-7.

Måleren, som har et volum på 8 L, blir fuktet før bruk. Deretter fylles betong opp til randen og all overflødig betong rundt bøttekanten blir vasket grundig av før lokket lukkes. Begge kuleventilene blir åpnet før man bruker en sprøyteflaske til å sprøyte inn vann i den ene kuleventilen. Dette gjør man helt til vannet renner ut gjennom den andre kuleventilen. Deretter skrur luftpumpehåndtaket løst imens justeringsventilen holdes lukket. Trykket pumpes helt til manometerviseren står rundt 10 mm etter det røde justeringsmerke. Deretter skal trykket reguleres til at manometerviseren står eksakt på det røde justeringsmerke. Dette gjøres ved å skru justeringsventilen forsiktig opp. Begge kuleventilene skal så lukkes og testen starter. Hevarmen skal trykkes ned i ca. 20 s, til manometerviseren faller til ro, samtidig som det skal kakes forsiktig på manometeret med fingertuppen. Luftmengden kan nå leses av på manometeret.

3.3 Densitet

Densiteten i fersk betong bestemmes i henhold til metoden beskrevet i NS-EN 12350-6. Grunnet at store deler av fremgangsmåten her allerede blir gjort når man bestemmer luftinnhold, blir disse to målingene ofte gjort samtidig.

For å bestemme densiteten brukes det en beholder med kjent masse og volum. Når man måler luftinnholdet bruker man en beholder med volum på 8 L, denne blir derfor også brukt til å bestemme densiteten. Først veier man den tomme beholderen (m_1) før den blir fylt opp med betong. Deretter veier man den fylte beholderen (m_2). Densiteten kan da regnes ut:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

3.4 Støping av terninger og sylindere

For at man skal kunne ta prøver av herdet betong, må det bli støpes terninger og eventuelt sylindre. Dette blir gjort i henhold til metoden beskrevet i NS-EN 12390-2.



Figur 5 – Terning og sylindrerformer

Former med dimensjoner 100 mm x 100 mm x 100 mm sprayes med slippmiddel slik at den herdede betongen ikke skal sitte fast i formene. Formene fylles opp med betong og alt av søl blir vasket opp, slik at det skal bli lettere å rengjøre neste dag. Formene legges på et flatt underlag og dekkes til med plast. Det samme gjøres for sylindre.

Prøvelegemene lagres i romtemperatur i et døgn før de tas ut av formene. Det er viktig å merke de ulike prøvelegemene med dato slik at man vet når videre tester skal utføres. Alle prøvene blir så lagt i vannbad.

3.5 Trykkfasthet av terninger

For å finne ut kvaliteten til betongen må man teste trykkfastheten. Dette foregår i henhold til metoden som er beskrevet i NS-EN 12390-3.

Etter 28 døgn tas prøvelegemene opp fra vannbadet og tørkes lett. Prøvetrykkmaskinen blir rensed for partikler og eventuelt rester fra tidligere testing før man plasserer prøvelegeme på anvist plass. Prøvelegemet blir så utsatt for et økende trykk helt til den gir etter. Bruddlastet kan da bli avlest på datamaskinen som er koblet opp mot prøvetrykkmaskinen. Ut ifra resultatene man oppnår her, kan man deretter finne ut hvilken betongklasse prøvelegemet tilhører.



Figur 6 – Terninger før tryktest

Trykkfasthetsklasser

Betongens trykkfasthetsklasse beregnes ut ifra NA.4.3.1 Trykkfasthetsklasser i NS-EN 206-1. Klassen baseres på den karakteristiske sylinder- og terningsfastheten. Terningfastheten blir funnet ved en tryktest som viser hvilken evne et materiale har til å motstå trykkbelastning. For å finne den karakteristiske terningsfastheten brukes følgende formel;

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ (MPa)}$$

f_{ck} er den karakteristiske terningsfastheten og f_{cm} er den gjennomsnittlige trykkfastheten oppnådd etter tryktesten.

Trykkfasthetsklassene angis med B som prefiks for normal- og tungbetong, og LB for lettbetong. Prefiksene etterfølges av tallet som angir betongens karakteristiske sylinderfasthet etter 28 døgn. [26]



Figur 7 – Terninger etter trykktest

Bestandighetsklasser

Betong klassifiseres i bestandighetsklasser ut ifra hva og hvordan betongen skal eksponeres. [26]

3.6 E-modul av sylindere

Betongens elastiske bøyningsevne kommer frem av e-modulen.

$$E_c = \frac{\text{stress}}{\text{strain}}$$

E-modulen fastslår betongens evne til å motstå deformasjon under påføring av stress, i tillegg til betongens stivhet. [27] For å teste betongens e-modul, må det støpes sylindere som kan testes i en prøvetrykkmaskin. Dette foregår i henhold til metoden som er beskrevet i NS-EN 12390-3.



Figur 8 – E-modul av sylinder

Sylindrene tas ut av vannbadet etter 28 døgn og tørkes lett. Sylindrene plasseres på anvist plass i prøvetrykkmaskinen, og blir deretter utsatt for økende trykk. Når sylindere gir etter, blir bruddlastet og E-Modul avlest. Resultatene man får forteller hvor stor elastisk bøyningsevne betongen har.

Betong regnes som et elastisk materiale ved lav påkjenning. En ordinær betong har en elastisk bøyningsevne på over 30 GPa. [28]

4 GLIDERIGG

4.1 Glideriggen

Glideriggen ved Universitet i Stavanger er bygget for å kunne utføre forsøk som skal simulere en mest mulig realistisk glid. Glideriggen måler blant annet løftkraft, normaltrykk, temperatur og poretrykk, noe som videre kan gi informasjon om friksjon. I dette studiet er det satt lys på ulike betongblandinger og hvilken effekt disse vil ha på friksjonen.

Selv om glideriggen skal simulere en mest mulig realistisk glid, vil det være parametere som ikke vil være mulig å gjenskape. I motsetning til en standard glideform, har glideriggen ved Universitet I Stavanger bare glidepanel på én side. En standard glideform vil også være konstruert med slipp, noe som glideriggen ved Universitet heller ikke tar hensyn til. Parameterne som styrer friksjon og trykk vil derimot være gode simulasjoner, og gi en faktisk indikasjon på effekten på resultatet i en reel glid.

4.1.1 Glideriggens oppbygning

Glideriggen har en høyde på 3000 mm, lengde på 1000 mm og bredde på 1000 mm. Rikken er konstruert med kvadratiske RHS stålsøyler med dimensjoner 100 mm x 100 mm.

Glidepanelet er festet til stålrammen sammen med en beholder for betongblandingen. Glidepanelet er 2000 mm høyt og 600 mm bredt. Beholderen for betongen er 1000 mm høy, 600 mm bred og 300 mm dyp. Det blir også festet fast en forskalingsplate i front før hvert forsøk, med dimensjonene 600 x1000 mm.



Figur 9 – Glideriggen ved UiS

4.1.2 Glidepanel

Glidepanelet består av en kryssfinerplate kledd med stålplater. Kryssfinerplaten er 22 mm tykk og stålplatene er 0,9 mm tykke. På toppen av glideriggen er det montert en motor som setter glidepanelet i bevegelse.

Glideriggen blir stilt inn slik at motoren løfter panelet i ønsket høyde og frekvens. I dette forsøksprogrammet ble det brukt en frekvens på 15 minutt, og en høyde på 10 mm. Dette vil da si at for hvert 15 minutt blir glidepanelet løftet 12 mm for så å senkes 2 mm. Dette gir en løftehastighet på 40 mm per time.

4.1.3 Løftekraft

For at glidepanelet skal bevege seg, må kraften til motoren være større en friksjonskraften mellom panelet og betongen. Mellom motoren og glidepanelet er det derfor montert en kraftsensor som registrerer løftekraften. Sensoren kan registrere fra 0.5 kN til 20 kN og er av typen HMB U2B. [29] Før hvert forsøk er det viktig at egenvekten til glidepanelet blir nullstilt slik at den registrerte løftekraften kan brukes til utregning av friksjon.

4.1.4 Normalkraft

For å måle kraften som glidepanelet blir utsatt for er det blitt plassert fire normalkraftsensorer på baksiden av glidepanelet. Sensorene er av typen HBM C2 og kan registrere fra 0.5 kN til 5 kN. [30] To av sensorene er plassert i en høyde på 650 mm med en avstand på 400 mm. De to siste sensorene er plassert med en høyde på 70 mm med avstand på 400 mm. Høyden er målt ut ifra bunnen av betongbeholderen. Underveis i forsøket blir trykket justert manuelt slik at det blir jevnt fordelt på glidepanelet.

4.1.5 Temperaturmåler

Temperaturen blir registrert ved hjelp av to temperaturfølere av Type T Thermocouple (kobber/konstantan). Denne består av en kobbertråd (+) og en nikkel-45% kobber (-) ledning og kan registrere temperaturer fra -270 °C til 370 °C. [31]

Følerne blir plassert ca. 100 mm inn i betongblandingen fra toppsenter.

4.1.6 Poretrykksmåler

Poretrykket blir målt ved hjelp av en poretrykksmåler av typen HBM P8AP. Sensoren har en rekkevidde opptil 10 bar. [32] Nålen til poretrykksmåleren fylles først med vann, og for at poretrykksmålingen skal bli korrekt er det viktig at nålen til måleren er fri for all luft. Måleren blir plassert på venstre side av betongbeholderen, 200 mm fra bunn og 90 mm fra glidepanelet. Det er også viktig å passe på at måleren ikke er plassert for tett opp imot glidepanelet, da dette vil påvirke de registrerte målingene.

4.1.7 Datainnsamling

For å kunne registrere data fra de ulike sensorene ble det benyttet catman DAQ Software.

Programmet registrerer løftekraft, normaltrykk, temperatur, poretrykk, posisjon og tid.

Dataene blir registret 5 ganger i sekundet. På skjermen får man en visuell fremstilling av de ulike parameterne, slik at det er enkelt å følge med på hva som skjer til enhver tid.

Etter utførelse av glidestøp blir all data overført til Matlab og bearbeidet til grafer og tabeller.

4.2 Utførelse

Glidepanelet og betongbeholder renses med litt vann før de smøres med formolje. Mellom glidepanelet og betongbeholderen vil det være noen små glipper, dette tettes med teip.

Forskalingsplaten festes så fast i fronten.

Tre baljer med fersk betong blir tilsatt betongbeholderen, som tilsvarer rundt 100L.

Programmet blir nullstilt, poretrykkmåleren satt i og programmet starter å registrere data.

Her er det viktig å få notert ned når vann ble tilsatt betongen i forhold til når programmet starter å registrere data. Årsaken til dette er å kunne manipulere dataene i Matlab i etterkant slik at resultatet vil vise den faktiske avbindingstiden til betongblandingen.

To temperatursensorer blir ført inn i toppsenter av den ferske betongen, samt en bolt slik at den herdede betongklossen kan bli heiset ut etter utførelsen av gliden. Etter 1-2 timer blir løfteprogrammet startet.

Frem mot avbinding er det viktig å holde trykket mot glidepanelet jevnt. Dette gjøres ved å justere normalkraftsensorene bak på glidepanelet ca. hvert 1-2 løft.

Etter ca. 24 timer stanses glideriggen og all dataen lagres. Betongklossen løftes ut ved hjelp av bolten som er festet i toppen.

5 FORSØKSPROGRAM

5.1 Betongresepter

Alle betongreseptene som er brukt i dette forsøksprogrammet ble utledet ved hjelp av Excelark fra Skanska, ”Proposjonering av betong”. For alle reseptene er masseforholdet satt til å være 0,4, og luftinnhold satt til 2 %.

Tabellen under viser en oversikt over forholdet mellom de ulike materiale i hver betongblanding. Verdiene i tabellen er oppgitt i per kubikkmeter betong. De bestemte oppmålingene som ble brukt under dette forsøksprogrammet, er lagt ved som vedlegg i kapittel 9.2.

Bestanddel [kg/m ³]	FA15	FA30	FA40	FA50	FA60	FA15SF6	FA40SF6	FA60SF6
NORCEM Anleggsement		311,62	263,04	215,92			245,54	159,18
NORCEM Anleggsement	457,31					426,85		
FA								
Flygeaske		133,55	175,37	215,92			163,70	238,77
Silikastøv						27,24	26,12	25,40
Årdal 0-8 mm	913,25	898,06	898,06	898,06		898,06	898,06	898,06
Årdal 8-16 mm	833,10	833,10	833,10	833,10		833,10	833,10	833,10
Vann	169,13	179,54	176,89	174,30		183,05	175,69	170,97
Mapei Dynamon SX-N	3,29	3,51	2,61	3,00	3,00	4,41	3,84	3,26

Tabell 1 – Betongresepter

For å skille de ulike reseptene er de navngitt etter hvilke tilsetningsmaterialer de inneholder, og i hvor stor grad de er tilsatt. Bokstavene FA står for tilsetningen av flygeaske, og SF for silikastøv. Tallet som er gitt etter prefiksene, er mengden av tilsetningen gitt i prosent.

5.2 Materialer

5.2.1 Sementer

Norcem Anleggsement (CEM I 52,5 N)

Norcem Anleggsement er sementen som er brukt i betongreseptene.. Denne sementtypen er utviklet spesielt til bruk for anleggskonstruksjoner i bestandighetsklasse M45, MF45 og høyere, samt konstruksjoner som krever en betong med høy slutfasthet. Sementen tilfredsstiller NS-EN 197-1:2011 sine krav til Portlandsement CEM I 52,5 N. Norcem Anleggsement har et lavt innhold av alkali, har både høy tidligfasthet, og høy slutfasthet. Anleggsementen produseres i Norge, og har gode bestandighetsegenskaper sammen med en gjennomsnittlig varmeutvikling og gode støpeegenskaper.

ANLEGGSEMENT (CEM I 52,5 N)	
Egenskaper	
Sulfat (SO ₃) [%]	4,0
Klorid (Cl ⁻) [%]	0,07
Vannløselig krom (Cr ⁶⁺) [ppm]	2
Alkalier (Na ₂ O _{ekv}) [%]	0,6
Klinker [%]	96
Sekundære bestanddeler [%]	4
Fysiske egenskaper	
Finhet (Blaine) [m ² /kg]	415
Spesifikk vekt [kg/dm ³]	3,14
Volum bestandighet [mm]	1
Begynnende størkning [min]	120
Trykkfasthet [MPa]	
7 døgn	49
28 døgn	63

Tabell 2 – Anleggsement

Norcem Anleggsement FA (CEM II/A-V 42,5 N)

Norcem Anleggsement FA er sementen som er brukt i referansebetongen i forskningsdelen. Norcem Anleggsement FA er en vanlig anleggsement med 15 % flygeaske, og sementen har dermed mye av de samme egenskapene som Norcem Anleggsement. På lik linje med Anleggsementen, er Anleggsement FA spesielt utviklet til bruk for anleggskonstruksjoner i bestandighetsklasse M45, MF45 og høyere. Anleggsementen med FA har nokså lav varmetvikling og passer dermed godt for store konstruksjoner. Sementen tilfredsstillter NS-EN 197_1:2011 sine krav til Portland-flygeaskesement CEM II/A_V 42,5 N.

ANLEGGSEMET FA (CEM II/A_V 42,5 N)	
Egenskaper	
Sulfat (SO ₃) [%]	≤ 3,5
Klorid (Cl ⁻) [%]	≤ 0,07
Vannløselig krom (Cr ⁶⁺) [ppm]	≤ 2
Alkalier (Na ₂ O _{ekv}) [%]	0,5
Klinker [%]	81
Flygeaske [%]	15
Kalkmel (Sekundære bestanddeler) [%]	4
Fysiske egenskaper	
Finhet (Blaine) [m ² /kg]	390
Spesifikk vekt [kg/dm ³]	3,02
Volum bestandighet [mm]	1
Begynnende størkning [min]	165
Trykkfasthet [MPa]	
7 døgn	37
28 døgn	53

Tabell 3 – Anleggsement FA

5.2.2 Pozzolan

Norcem Flygeaske

Flygeaske levert av Norcem er godkjent i henhold til kravene i NS-EN 450-1, klasse A. Norcem får leveranser av flygeaske fra kullkraftverk i både Tyrkia og Polen. Avdelingene på Sola og på Slemmestad har flygeasken fra Tyrkia tilgjengelig, mens Kjøpsvik har leveranser fra både Tyrkia og Polen. Transporten av flygeasken til de ulike siloene er 7098 km til Slemmestad, 6907 km til Sola og 5286 km til Kjøpsvik.

NORCEM FLYGEASKE	
Egenskaper	
Glødetap [%]	≤ 5,0
Klorid (Cl ⁻) [%]	≤ 0,10
Sulfat (SO ₃) [%]	≤ 3,0
Fritt kalsiumoksid (fri CaO) [%]	≤ 1,5
Reaktivt kalsiumoksid (reaktivt CaO) [%]	≤ 10
Partikkeldensitet [kg/m ³]	2300

Tabell 4 – Flygeaske

Elkem Microsilika

Elkem Microsilika 940 er et pozzolan som virker fysisk som et fyllstoff, og leveres både fortettet (D) og ufortettet (U). Microsilika brukes for å forbedre spredning av betongens innhold, til å styrke den herdete betongens egenskaper, og til generelt bedre holdbarhet. Produktdatabladet for Elkem Microsilika er lagt ved som vedlegg.

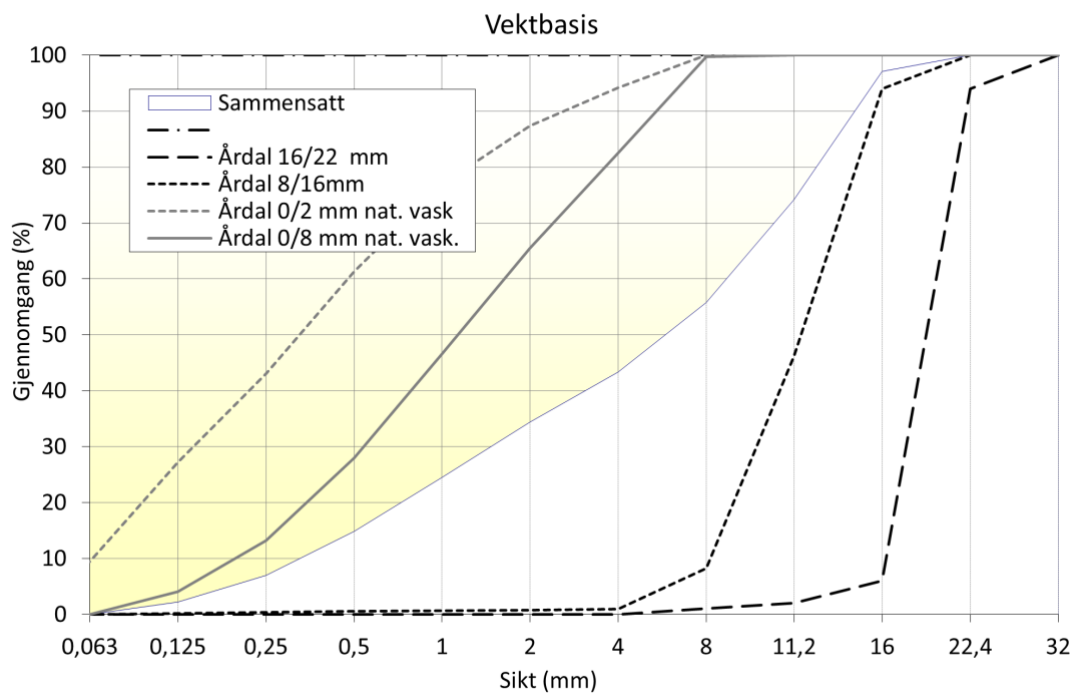
ELKEM MICROSILIKA	
Egenskaper	
SiO ₂ [%]	Minimum 90,0
H ₂ O [%]	Maximum 1,0
Tap ved antenning [%]	Maximum 3,0
Gjenværende i 45μ [%]	Maximum 1,5
Bulk U [kg/m ³]	200 - 350
Bulk D [kg/m ³]	500 - 700

Tabell 5 – Microsilika

5.2.3 Tilslag

Tilslaget som er brukt i alle betongreseptene er fra NorStone Årdal. Betong blir produsert ved å blande sement med vann, stein og sand. Stein og sand danner det som kalles tilslaget i betongen, og påvirker i stor grad betongens egenskaper. Tilslagets gradering har stor innvirkning på betongens fasthet.

Steinen i tilslaget kan leveres både som natursingel og pukkk (knust stein). Natursteinen er rundere, og kan redusere vann- og sementbehovet i betongen, noe som gjør betongen mer økonomisk. Likevel har de runde kantene betydning for hvor godt tilslaget fester seg i betongen. Pukk har skarpere kanter enn natursingelen, og gir dermed bedre feste.



Figur 10 – Siktekurve av tilslag

Fordelingen av sand og singel i tilslaget er gitt etter en hullromsdiagramanalyse. Figur 10 viser siktekurven for tilslaget som er brukt i betongreseptene.

5.2.4 Tilsetningsstoff

En liten andel av betongen består av kjemiske tilsetningsstoffer. Tilsetningsstoffene er vannløselige salter, og/eller forbindelser som ikke overskrider 5% av sementmengden. Det er definert i NS-EN 934-2.

Tilsetningsstoffene brukes til å endre betongens egenskaper, både i fersk og herdet tilstand. Hovedsakelig påvirker tilsetningsstoffene sementpastaen kjemisk eller fysisk. I fersk betong er det betongens flyteegenskaper som blir forbedret sammen med betongens bearbeidighet. Tilsetningsstoffer kan også redusere eller øke tiden før herding, og for en herdet betong er det slutfastheten, permeabiliteten og frostbestandigheten som påvirkes. [33]

Mapei Dynamon

Mapei Dynamon SX-N er et tilsetningsstoff som brukes for å redusere vannmengden i sementpastaen, og for å øke betongens støpelighet. Det fungerer som et godt superplastiserende tilsetningsstoff og er en vannløsning av akrylpolymerer. Produktdatabladet for Mapei Dynamo er lagt ved som vedlegg.

5.3 Blandeprosess

På forhånd av hver blandeprosess er tilslag, sement og eventuelle tilsetningsmaterialer oppmålt. Dette blir tilsatt i en stor betongblander som blander sammen det tørre materialet i et par minutter. Deretter tilsettes vann oppmålt etter resepten, og blandingen blir blandet noen minutter videre. Ut ifra betongblandingens utseende og konsistens, blir ulik mengde supersplastiserende deretter tilsatt etter skjønn. Dette gjøres for å oppnå ønsket konsistens.



Figur 11 – Oppmålt materiale før blandeprosess

Den ferdigblandete ferske betongen blir så testet i synkutbredelsesmål, densitet og luftinnhold. Dersom synkutbredelsesmålet oppfyller gitte krav, blir det støpt seks stykk terninger, og to stykk sylindere. Prøvelegemene skal brukes til trykktest og E-modul under testing av herdet betong. Tre av terningene testet etter 7 dager, mens de resterende tre terninger og sylindere testes etter 28 dager.

Etter alle tester av den ferske betongen er gjennomført, blir den støpt i glideriggen.

Resept	Støpedato	Vann tilsatt	Poretrykk start	Gliderigg start
FA15	07.03.22	09:47	10:40	10:57
FA30	08.03.22	10:15	11:00	11:23
FA40	21.03.22	09:24	10:22	12:03
FA50	22.03.22	09:27	10:25	12:30
FA60	28.03.22	09:10	10:05	12:00
FA15SF6	29.03.22	09:02	09:50	11:44
FA40SF6	05.04.22	09:37	10:25	11:40
FA60SF6	04.04.22	09:10	09:52	11:45

Tabell 6 – Reseptoversikt

6 RESULTATER OG DISKUSJON

Det ble gjennomført flere prøver for fersk og herdet betong i laboratoriet. I dette kapitlet blir resultatene av de ulike prøvene presentert og diskutert.

6.1 Resultater av fersk betong

For fersk betong ble det gjennomført synkutbredelsesmål, testing av luftinnhold og densitet. Metodene for gjennomføring er nærmere forklart i kapittel 3. Under blir resultatene for de angitte testene presentert og diskutert.

6.1.1 Synkutbredelsesmål

Det ble utført test av synkutbredelsesmål for alle de åtte reseptene. Som det kommer frem av blandedprosessen i kapittel 5, ble det tilsatt superplastiserende etter behov. Det ble derfor justert dersom et synkutbredelsesmål ikke oppnår gitt krav.

Synkutbredelsesmål	
Resept	Synkutbredelsesmål [mm]
FA15	685
FA30	725
FA40	605
FA50	665
FA60	725
FA15SF6	645
FA40SF6	725
FA60SF6	695

Tabell 7 – Synkutbredelsesmål resultat

En selvkomprimerende betong (SKB) skal ifølge kravene i NS-EN 206:2013 ha et synkutbredelsesmål på mellom 550 mm og 850 mm. Dette kravet inneholder synkutbredelsesklassene SF1 til SF3. Ifølge SKB-veilederen er klasse SF1, som er gitt fra 550 mm til 650 mm, ikke spesielt godt egnet for hverken store konstruksjoner, eller

konstruksjoner utført med glidestøp. Det er derfor vanlig å sette kravet til synkutbredelsesmålet på 650 mm, slik det er nevnt i kapittel 3 om Metoder tidligere. Som det fremgår av tabell 7, er alle synkutbredelsesmålene innenfor kriteriene som stilles for selvkomprimerende betong, men FA40 er på grensen når det kommer til anvendelighet ifølge SKB-veilederen. Betongresept FA40 og FA15SF6 går under klasse SF1, og det burde derfor kanskje vært tilsatt en større mengde superplastiserende.

De seks resterende blandingene er jevne, og tilfredsstillende kriteriene som er satt. Disse seks reseptene har et synkutbredelsesmål på rundt 700 mm \pm 40 mm. Det bør likevel nevnes at de tre resepter med innhold av silikastøv (SF), har et høyere innhold av superplastiserende sammenliknet med reseptene uten silikastøv. Betongresepter med silikastøv kan gi lavere støpelighet slik det kommer frem fra teoridelen, og det er dermed ikke overraskende at disse reseptene krever høyere innhold av superplastiserende for å oppnå ønsket synkutbredelsesmål. Resepten FA15SF6 skiller seg likevel ut. Innholdet av flygeaske på 15% øker støpeligheten samtidig som silikastøvet reduserer den. Sammenliknet med FA40SF6 og FA60SF6, kan det virke unaturlig at FA15SF6 krever vesentlig mer superplastiserende, men samtidig levere et mindre synkutbredelsesmål.

Betongresepter med opptil 20% flygeaskeinnhold bidrar til økt støpelighet slik det er beskrevet i teoridelen. I dette tilfellet viser synkutbredelsesmålene at betongreseptene med høyere innhold av flygeaske, også har god støpelighet uten et nødvendigvis høyere innhold av superplastiserende. Unntakene gjelder for de reseptene der også silikastøv er tilsatt.

6.1.2 Luftinnhold

Tabell
Luftinnhold

Resept	Luftinnhold [%]
FA15	0,9
FA30	0,9
FA40	1,3
FA50	1,3
FA60	1,0
FA15SF6	1,3
FA40SF6	0,8
FA60SF6	0,9

Tabell 8 – Luftinnhold resultat

I forkant av laboratoriearbeidet ble det satt et luftinnhold på 2% som utgangspunkt. Fra tabell 8 kommer det frem at alle reseptene leverte under de 2% som ble forutsatt. Underveis i forsøket ble det heller ikke foretatt endringer for å forandre luftinnholdet.

6.1.3 Densitet

Densitet av fersk betong

Resept	Densitet [kg/m³]
FA15	2375
FA30	2359
FA40	2367
FA50	2373
FA60	2352
FA15SF6	2381
FA40SF6	2326
FA60SF6	2333

Tabell 9 – Densitet resultat

Alle de åtte betongblandingene har vesentlig lik densitet. Forskjellen i densitet kan skyldes de ulike tilsetningsmaterialene, men fordi mengdene ikke er enorme, vil det ikke ha stor påvirkning. Det kan også tenkes at forskjellen i densitet kommer av unøyaktige målinger. Flygeaske har en lavere densitet enn sement, men tabell 9 viser ingen tydelig forskjell frem i densitet ved sammenlikning av blandingene med 15 og 60 % flygeaskeinnhold. For reseptene med 30 %, 40 % og 50 % flygeaskeinnhold er det ikke mulig å tyde en sammenheng mellom densiteten, og mengden av flygeaske tilsatt.

6.2 Resultater av glidestøp

6.2.1 Friksjon

For å regne ut friksjonen mellom glidepanelet og betongoverflaten, tar man utgangspunkt i målt løftekraft og arealet av overflaten som er i kontakt med glidepanelet. Glidepanelets egenvekt på 150N er trukket fra, da sensorene i panelet nullstilles før hvert forsøksprogram. I utregningen er det brukt et kontaktareal, A , som måler $A = 0,6m \cdot 0,48m = 0,288m^2$. Overflaten av de forskjellige prøvene kan vike noe, som må bli tatt i betraktning når resultatene tolkes.

Utregningen av friksjon skjer på følgende måte:

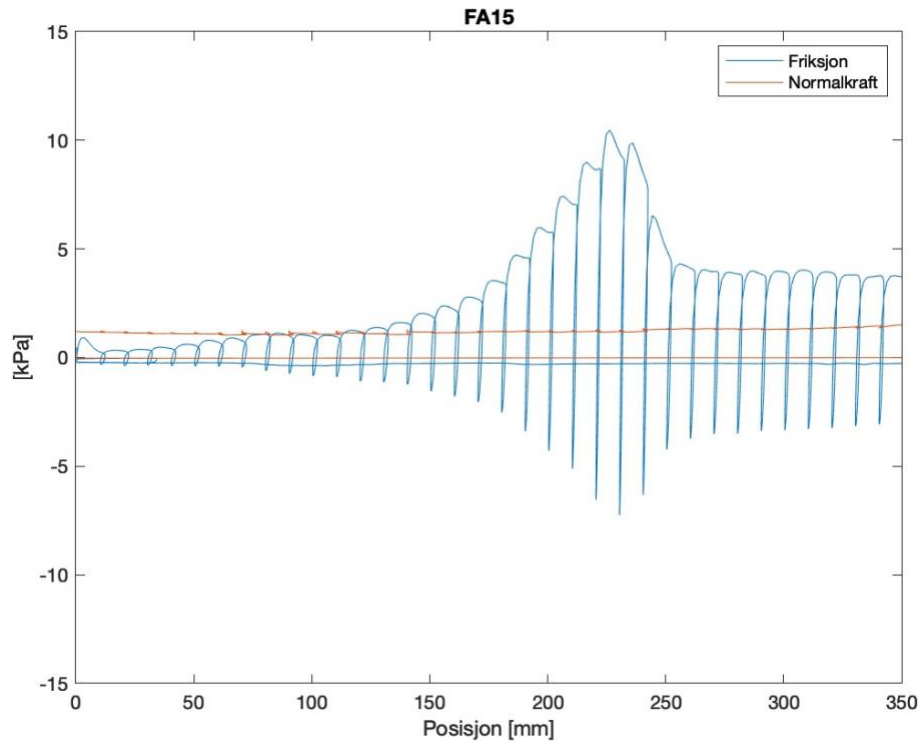
$$F = \frac{F_{\text{målt}}}{A}$$

$F_{\text{målt}}$ = målt løftekraft [N]

A = areal av betong i kontakt med glidepanel [m^2] ($A = 0.288$)

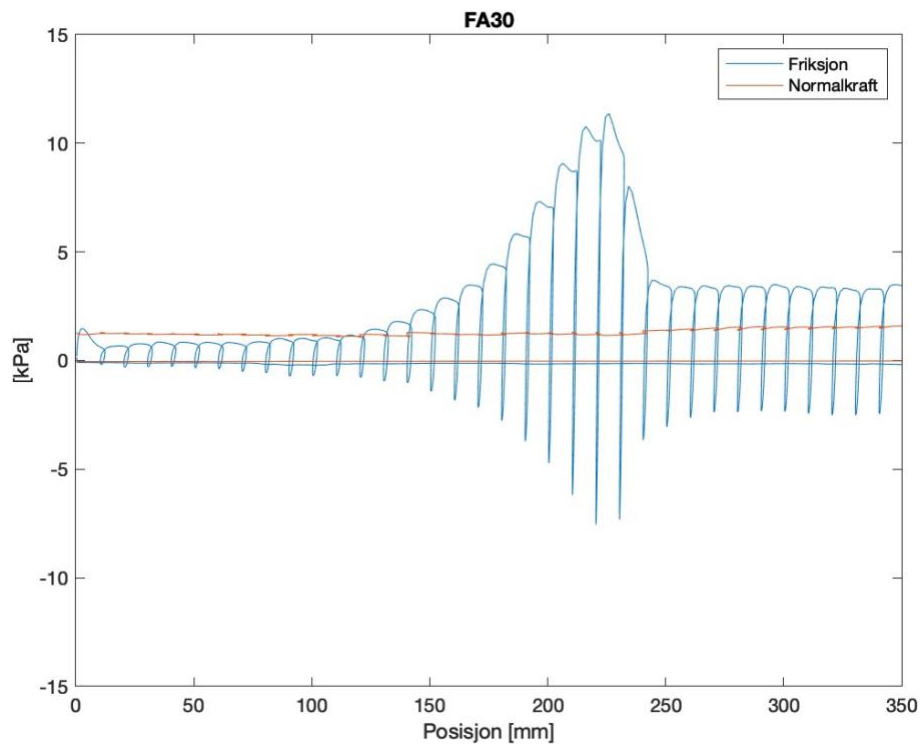
F = friksjon [Pa]

Figurene nedenfor viser friksjon sammen med normalkraft, plottet mot posisjon i mm. Tiden fra vann ble tilsatt i de ulike blandingene, til glidepanelet ble startet, vil ha en variasjon på ± 1 time. Variasjonen i tidspunktene er presentert i tabell 5, i kapittel 5.3. Dette tas i betraktning under diskusjonen av friksjonen.



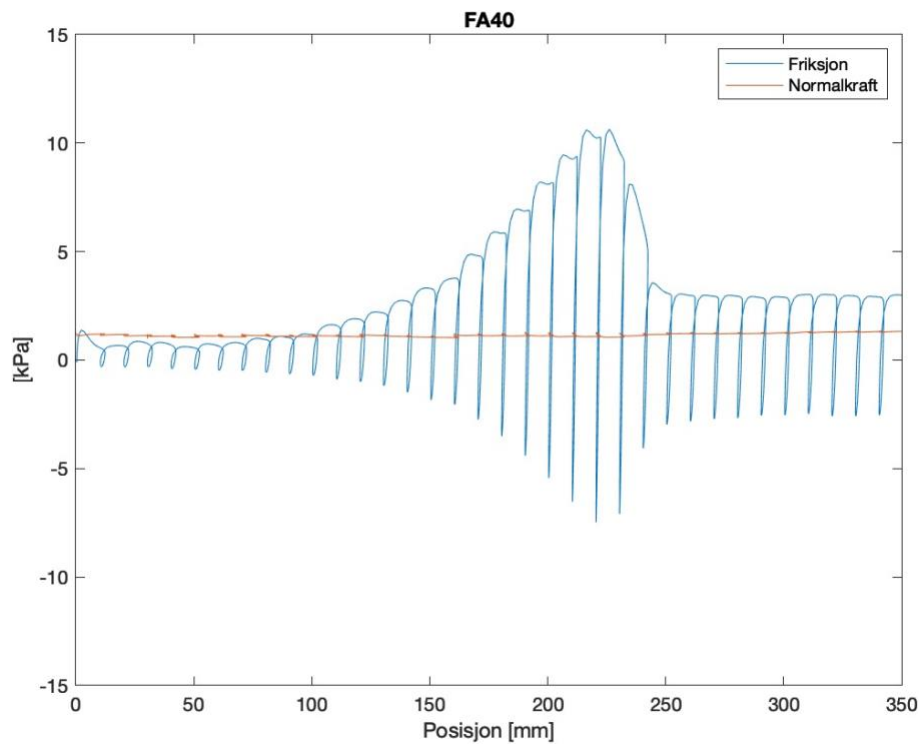
Figur 12 – Friksjon FA15

Figur 12 viser utviklingen av friksjonen til FA15 sammen med normaltrykket. Det to horisontale linjene ved $y\text{-verdi}=0$ er ikke relevante, og blir derfor sett bort ifra. Når panelet har forflyttet seg rundt 100 mm begynner friksjonen å stige, dette tilsvarer 3,5 timer etter vanntilsetning. Frem til dette er friksjonen relativt lav, og støpeligheten er god.



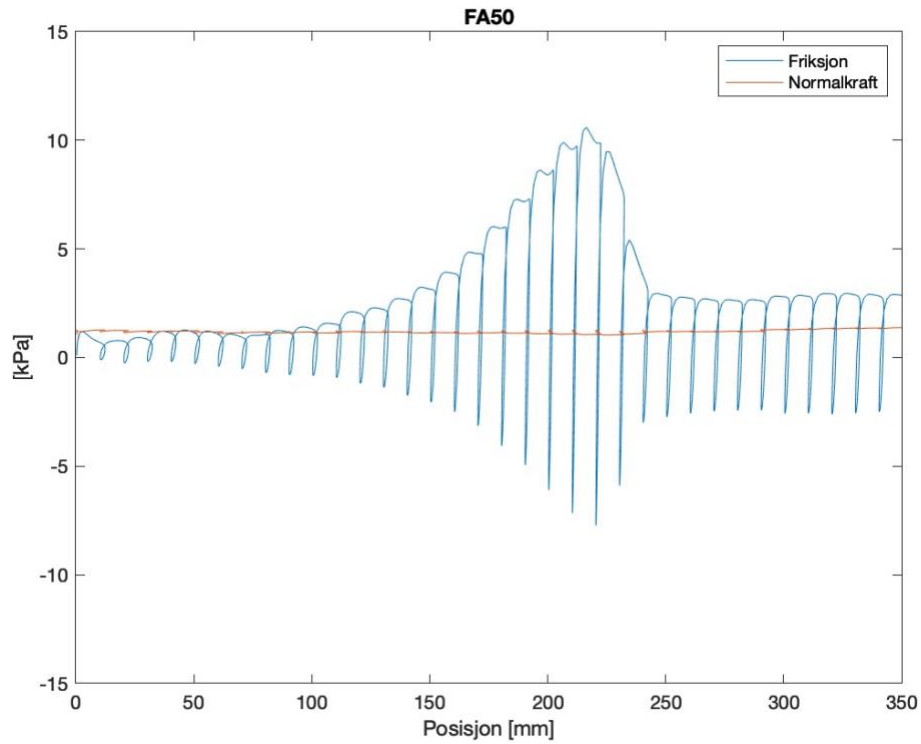
Figur 13 – Friksjon FA30

Friksjonen til FA30 er vist på figur 13. På lik linje som med figur 12 for FA15, ser man bort ifra de to horisontale linjene ved y -verdi=0. Støpeliggheten viser seg også her til å være god frem til glidepanelet når 120 mm, ca. 4 timer etter vanntilsetning. Friksjonen vil da øke, for så å stabilisere seg ved posisjon 250 mm.



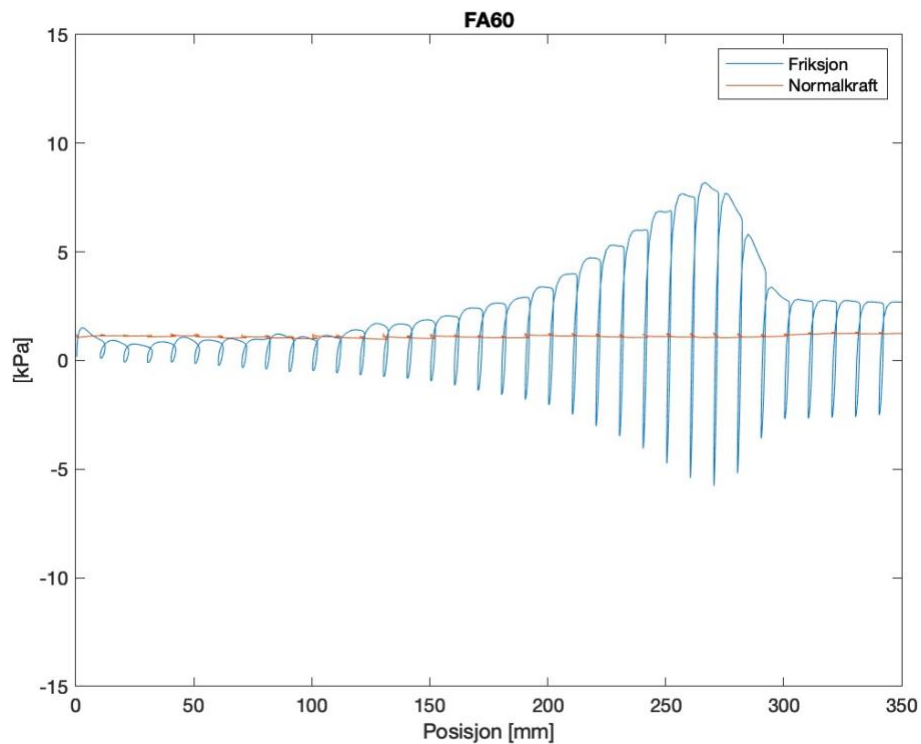
Figur 14 – Friksjon FA40

Blandingen med FA40 viser en lav friksjon frem til panelet er nådd 100mm, ca. 5 timer etter vanntilsetning, som vist på figur 14.



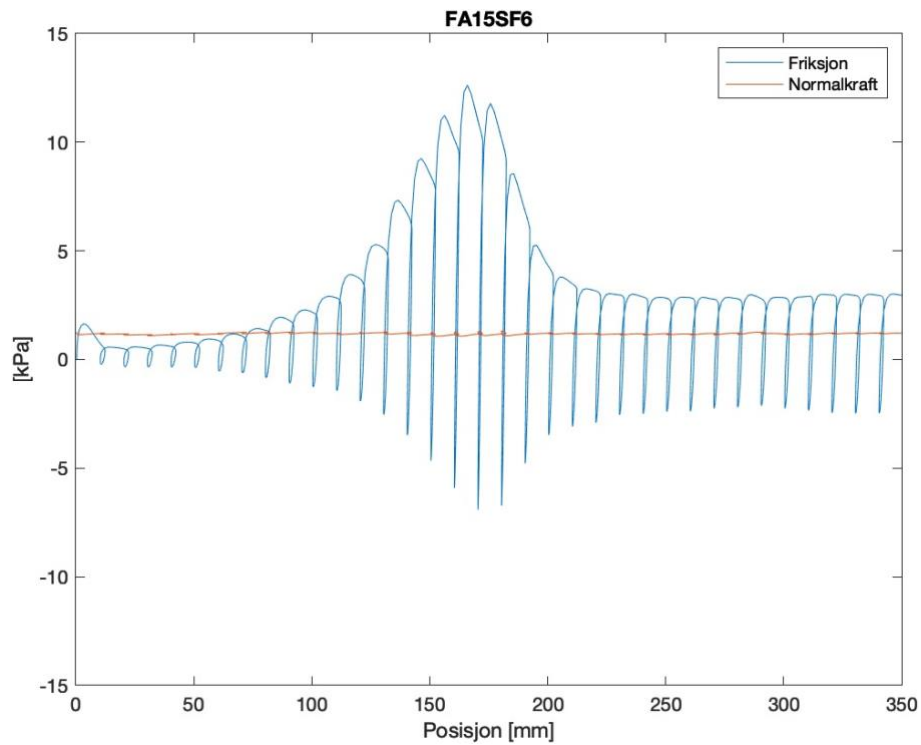
Figur 15 – Friksjon FA50

Resultatet av friksjonen til FA50 viser god støpelighet og lav friksjon frem til posisjonen på glidepanelet når 100 mm, rundt 5,5 timer etter vanntilsetning.



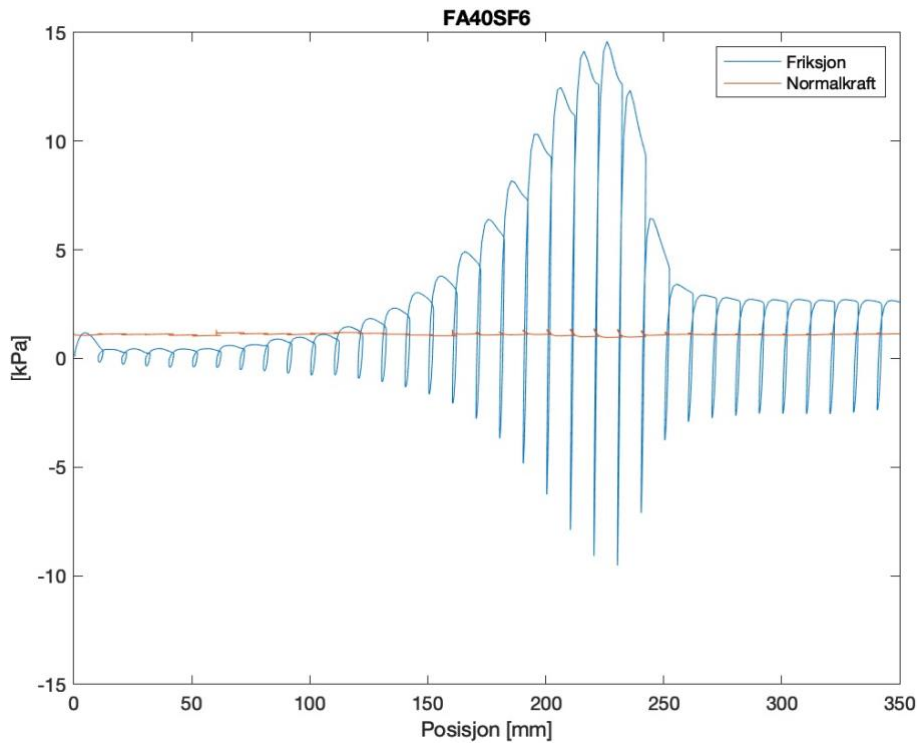
Figur 16 – Friksjon FA60

Figur 16 viser friksjonen til FA60, og resultatet forteller at blandingen oppnår god støpelighet og lav friksjon frem til en panelposisjon på 120 mm, nesten 6 timer etter vanntilsetning.



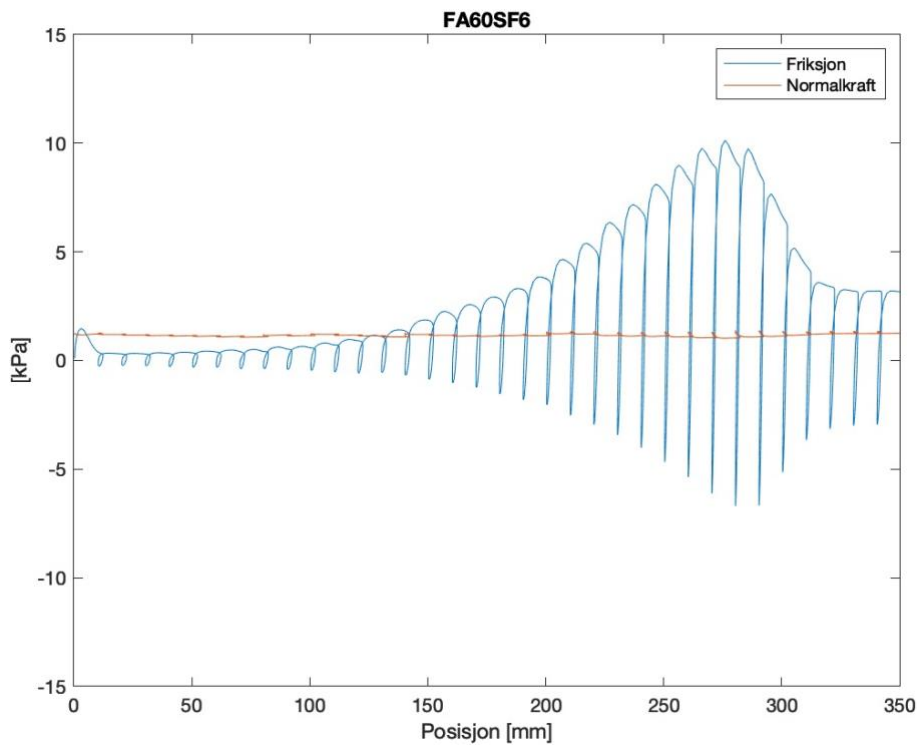
Figur 17 – Friksjon FA15SF6

Resultatet av FA15SF6 som er vist på figur 17, viser en økende friksjon ved panelposisjon 70 mm, ca. 4,5 timer etter vanntilsetning.



Figur 18 – Friksjon FA40SF6

FA40SF6 som vist på figur 18, oppnår en vesentlig høyere friksjonsverdi enn de foregående målingene. Frem til panelet når 100 mm, rundt 4,5 timer etter vanntilsetning, har blandingen god støpelighet.



Figur 19 – Friksjon FA60SF6

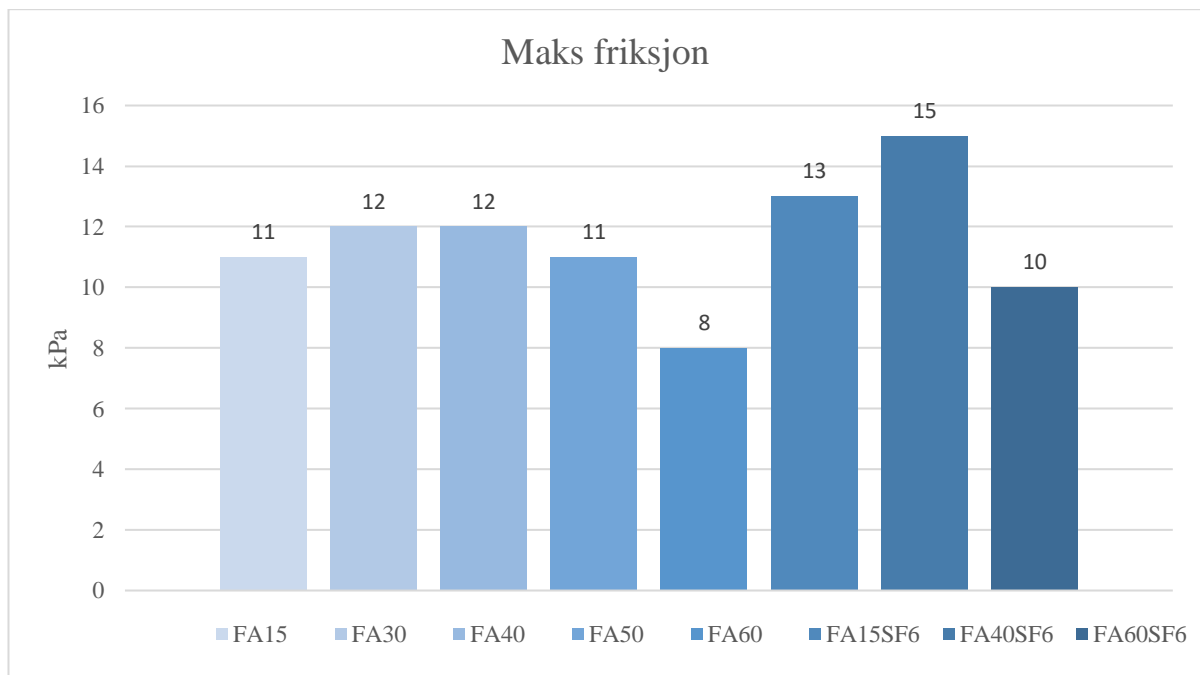
Figur 19 viser FA60SF6 sin friksjonsutvikling. Blandingen har god støpelighet frem til en panelposisjon på 130 mm, som tilsvarer nesten 6 timer etter vanntilsetning.

Dataene viser et jevnt normaltrykk for alle prøvene, som holder seg mellom 1,2 kPa og 1,4 kPa. Det jevne trykket er forårsaket av regelmessig manuell justering av trykksensorene hvert 1-2 løft. Friksjonen begynner å stige når glidepanelet når en posisjon fra 70-130 mm, fra 3,5 til 6 timer etter vanntilsetning.

Friksjon avhenger av avbindingstiden, og som nevnt fra teorien vil en blanding med stor andel flygeaske resultere i en forsinkelse i avbindingstidspunktet. Stigende friksjon vil dermed opptre ved et senere tidspunkt for en slik prøve. Hvis man sammenlikner figur 12, FA15, og figur 16, FA60, har FA60 en stigende friksjon 2,5 timer senere enn FA15. Resultatet viser at silikastøv også vil ha en effekt på avbindingstiden. Ved sammenlikning av figur 12, FA15, og figur 17, FA15SF6, kommer det frem at resepten med silikastøv vil ha en forsinkelse i avbindingsiden på 1 time.

Sammenlikning av maksverdier

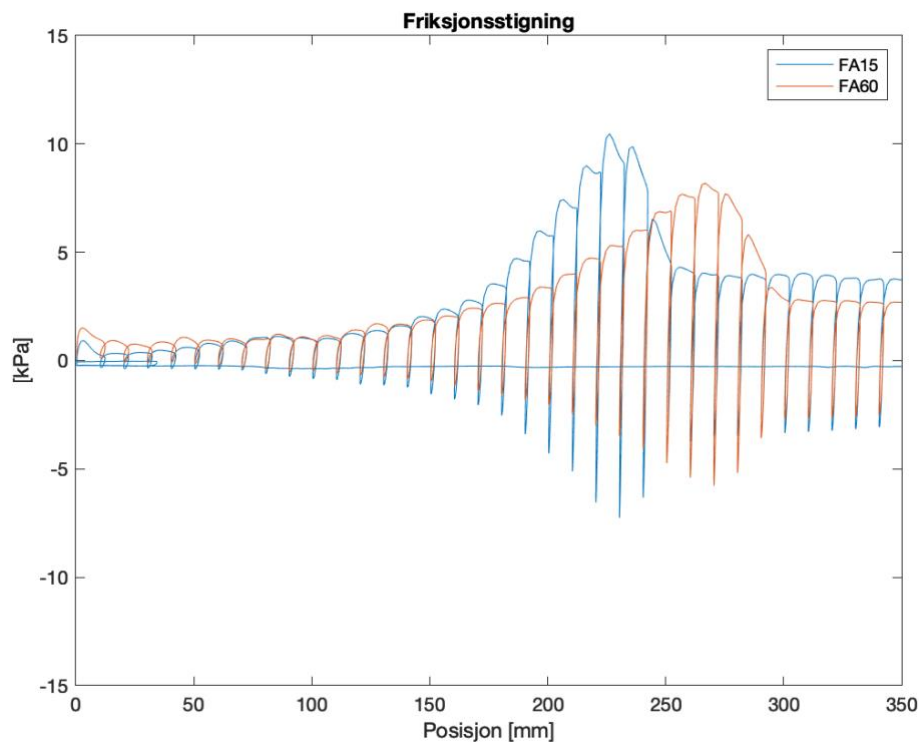
Figuren nedenfor viser en sammenlikning av høyest målt friksjon til hver av blandingene.



Figur 20 – Maks friksjon

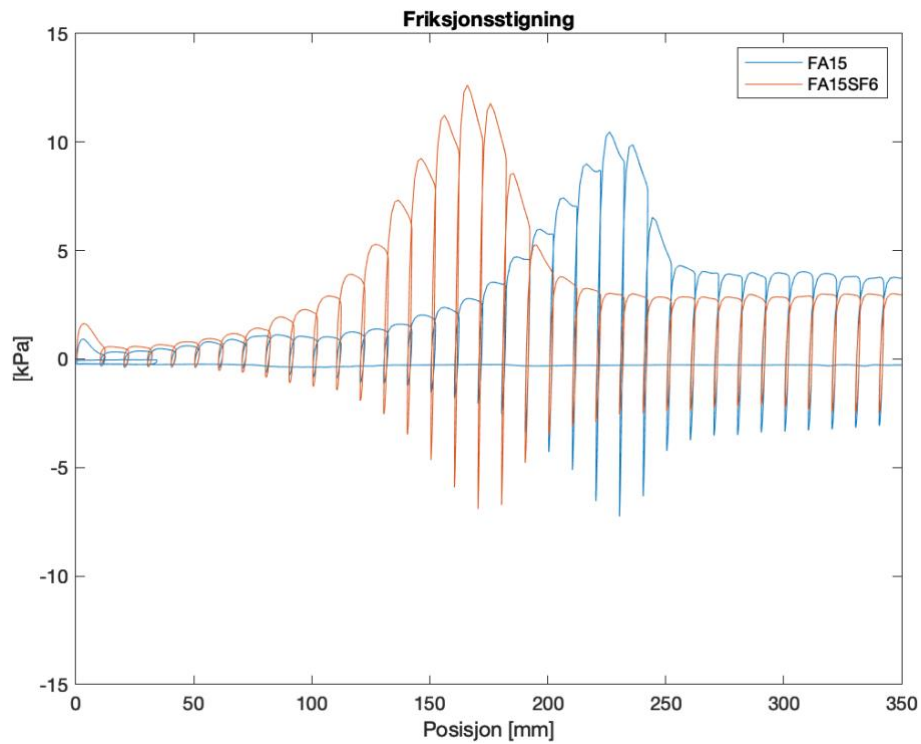
Når man sammenlikner maksverdien av friksjonen til de ulike blandingene, ser man ingen klar sammenheng. FA60 skiller seg ut med en lav verdi, og FA40SF6 skiller seg ut med en høy verdi. Som nevnt i teorien vil silikastøv øke friksjon, noe som man ser tendenser til i figur 20. Det er vanskelig å kommentere effekten av flygeaske i disse resultatene.

Sammenlikning av friksjonsstigning



Figur 21 – Friksjonsstigning FA15 og FA60

Figur 21 viser en tydelig sammenheng mellom friksjonsstigning og mengde flygeaske. FA15 har en høyere maksfriksjon, samt en brattere kurve, enn FA60.

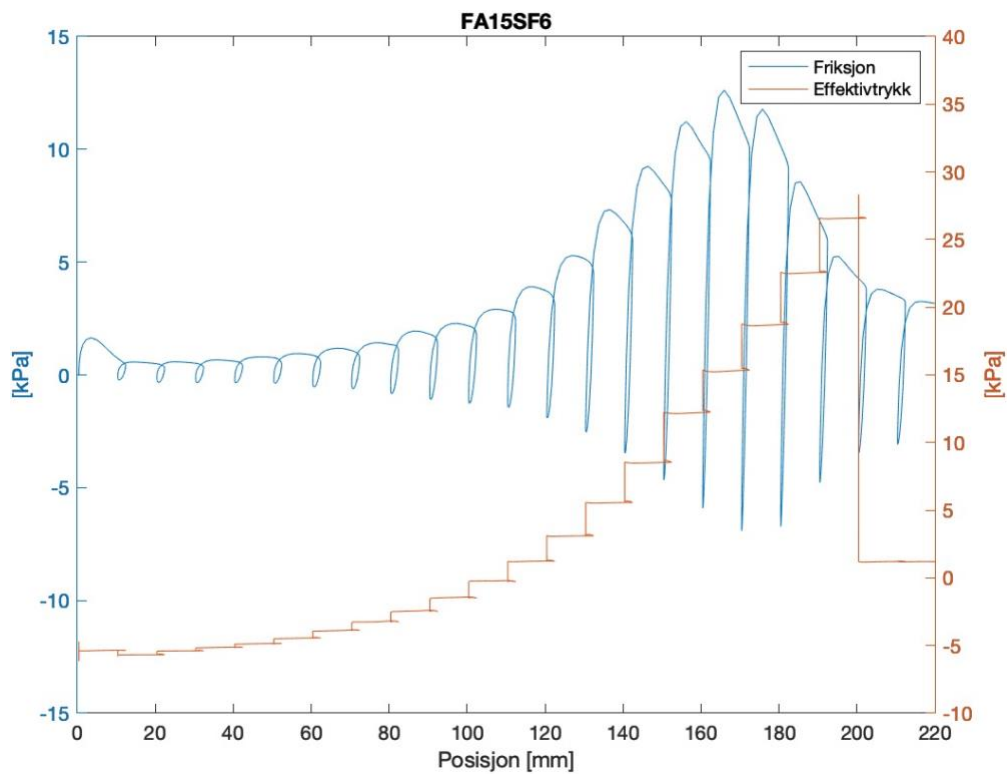


Figur 22 – Friksjonsstigning FA15 og FA15SF6

Figur 22 viser at innhold av silikastøv vil gi en effekt på både maksfriksjon og friksjonsstigningen. Som det kommer frem fra figuren, har FA15SF6 en brattere stigning og høyere maksfriksjon.

Sammenlikning av friksjon og effektivtrykk

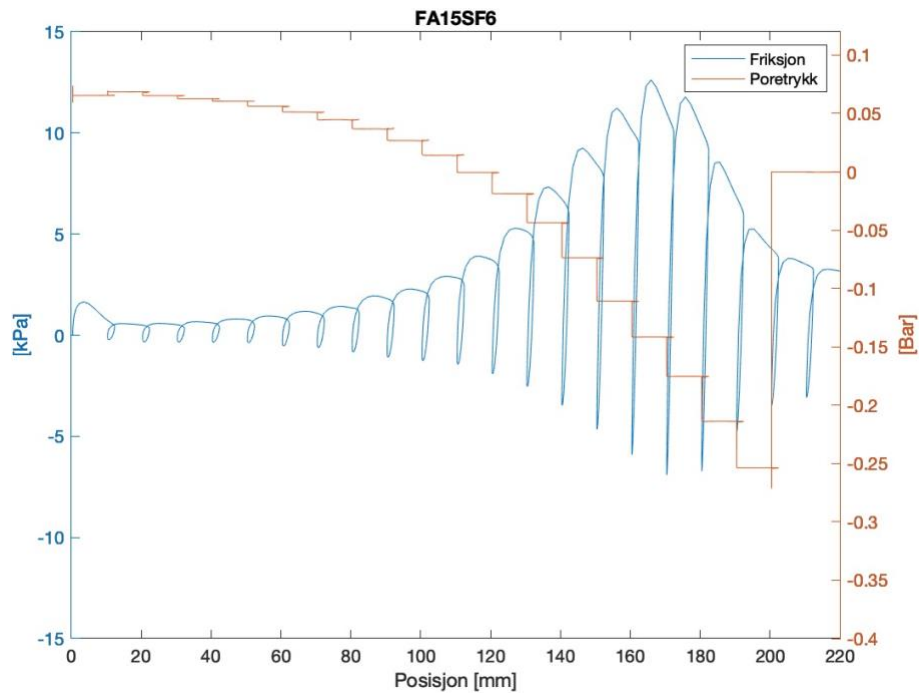
Figuren nedenfor viser en sammenlikning mellom av friksjon og effektivtrykk.



Figur 23 – Sammenlikning friksjon og effektivtrykk

Som kjent fra teorien, vil et økende effektivt trykk føre til økende friksjon. Dette er illustrert ved hjelp av figur 23. Her er FA15SF6 brukt som eksempel, og viser hvordan det effektive trykket påvirker friksjonen. Resultatene av effektivtrykk blir presentert i kapittel 6.2.3.

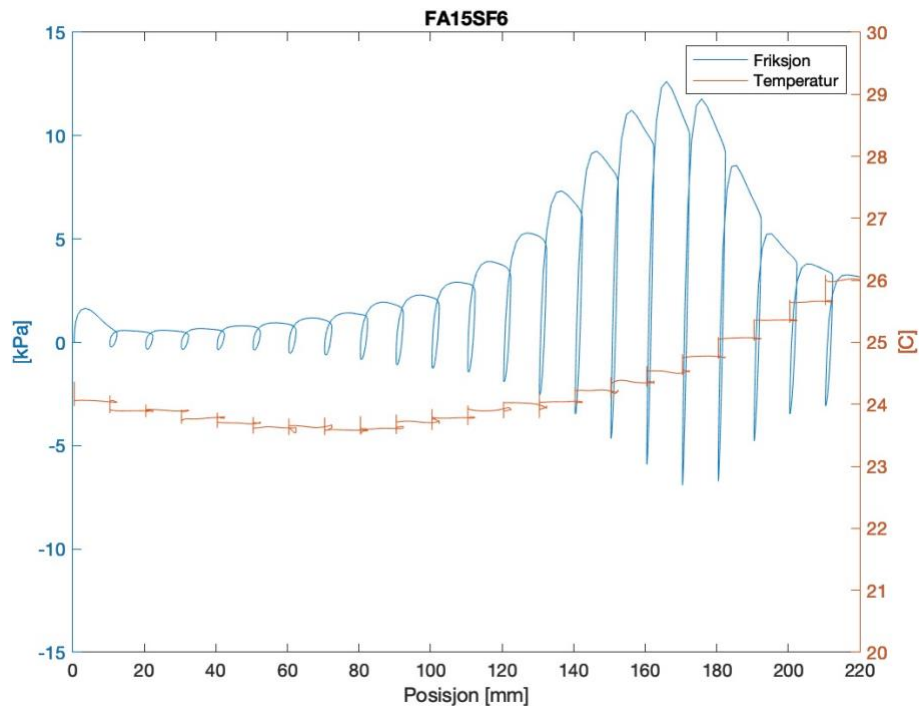
Sammenlikning av friksjon og poretrykk



Figur 24 – Sammenlikning friksjon og poretrykk

Som kjent fra teorien vil et synkende vannporetrykk gi økende friksjon. Dette er illustrert ved hjelp av figur 24. Her er FA15SF6 brukt som eksempel, og viser hvordan vannporetrykket påvirker friksjonen. Resultatene av vannporetrykket blir presentert i kapittel 6.2.2.

Sammenlikning av friksjon og temperatur



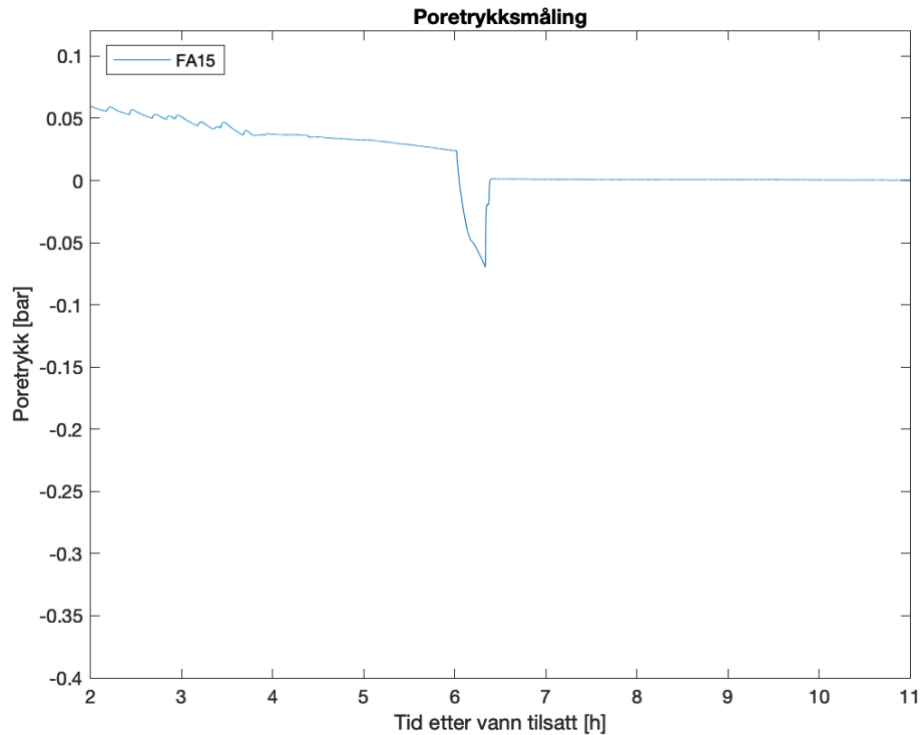
Figur 25 – Sammenlikning friksjon og temperatur

Som kjent fra teorien vil hydratisering føre til friksjonsøkning, i sammenheng med poretrykk og effektivtrykk. Dette er illustrert ved hjelp av figur 25. Her er FA15SF6 brukt som eksempel, og viser sammenhengen mellom temperaturen og friksjonen. Det er kjent at avbindingstidspunktet tiltrer når en temperaturøkning på 2 C° har inntruffet. Fra en panelposisjon på 140 mm til en posisjon på 220 mm, har temperaturen økt med 2 C°. Dette vil da representere FA15SF6 sitt avbindingstidspunkt. Resultatene av temperaturutvikling presenteres i kapittel 6.2.4.

6.2.2 Poretrykk

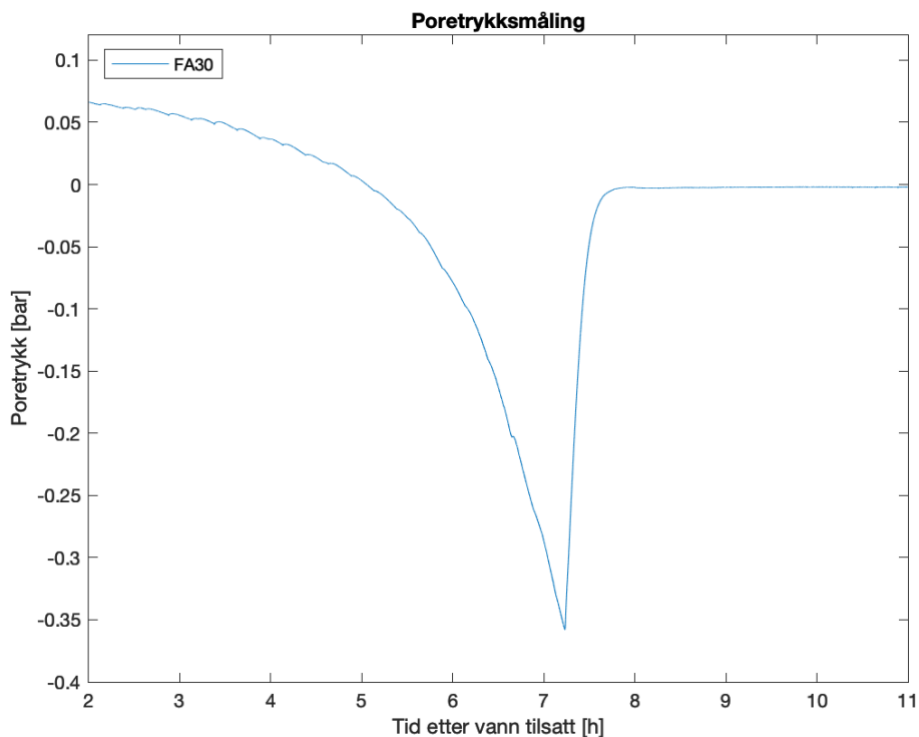
Nedenfor blir resultatene av poretrykk presentert for hver av de åtte prøveblandningene.

Poretrykket er plottet mot tid etter vanntilsetning.



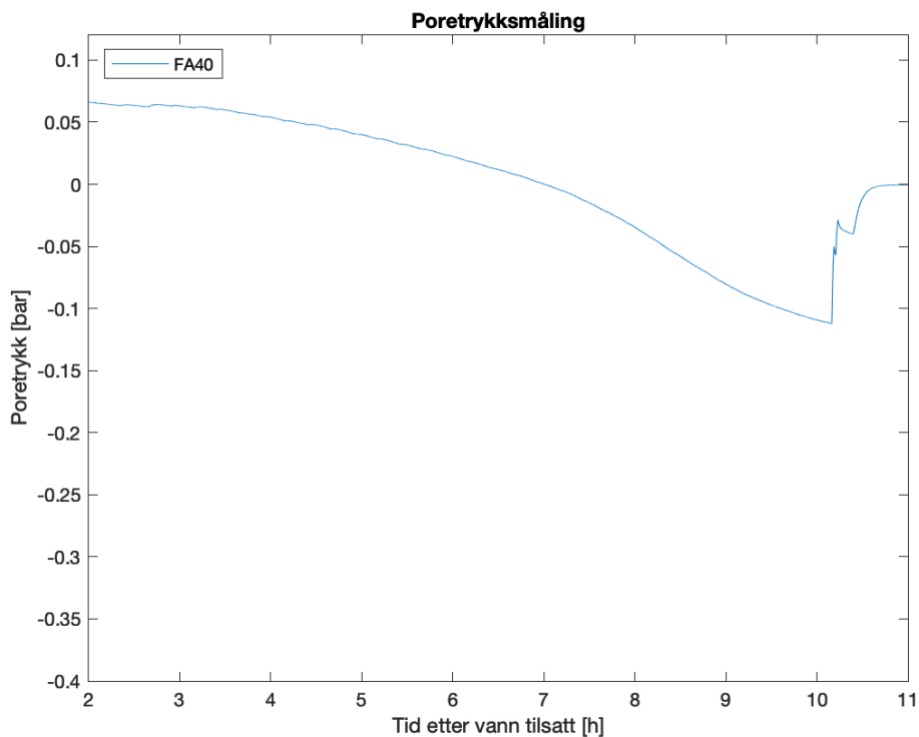
Figur 26 – Poretrykksmåling FA15

Poretrykksmålingen for FA15 fra figur 26 har uventet utvikling. Der det er forventet en jevnt synkende kurve, viser denne målingen et plutselig poretrykksfall seks timer etter tilsatt vann. Poretrykket passerer heller ikke null før det bratte fallet inntreffer, og det antas at poretrykksmåleren har hatt en svikt. Målingen gir ikke et resultat som kan brukes videre i diskusjonen.



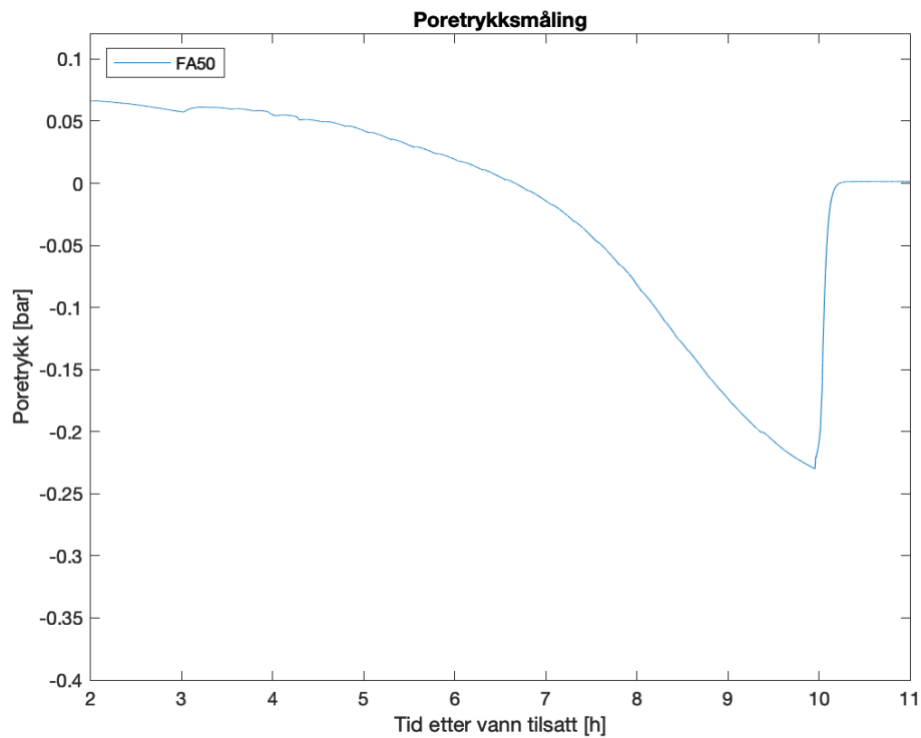
Figur 27 – Poretrykksmåling FA30

Figur 27 viser resultatet for poretrykksmålingen til FA30. Poretrykket = 0 etter 5 timer, og resultatet viser en bratt reduksjon i poretrykket fra hydratiseringen er startet, og frem til målingen når minimumspunktet rett over 7 timer etter vanntilsetning.



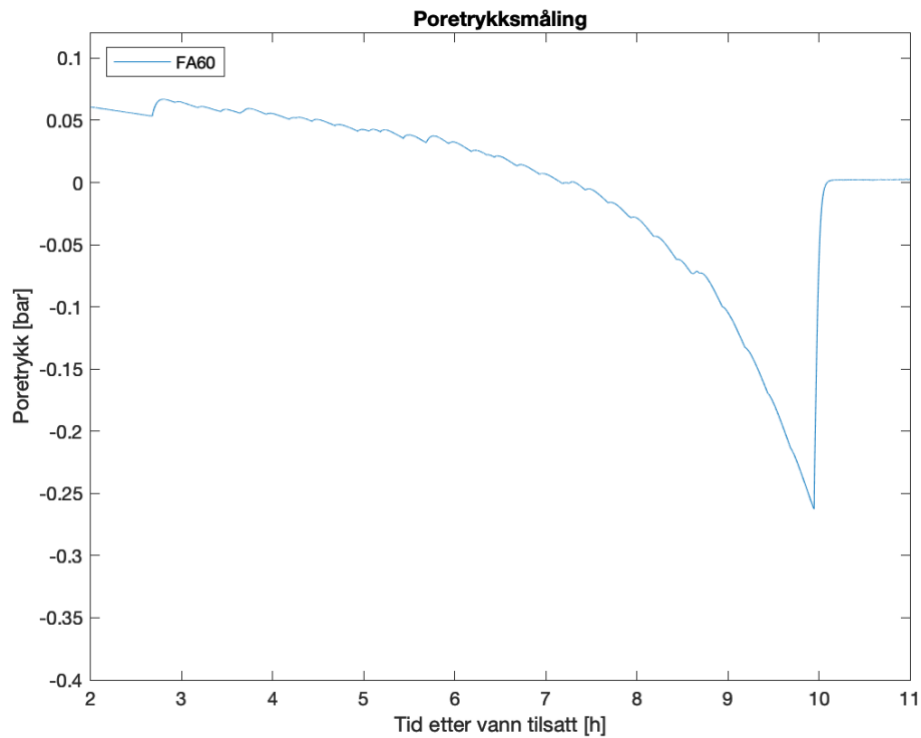
Figur 28 – Poretrykksmåling FA40

Poretrykksmålingen for FA40, fra figur 28, har noe uventet utvikling. Målingen viser et greit resultat frem til 8-9 timer etter vanntilsetning der det er forventet en bratt reduksjon og et fall til et minimumspunkt. Istedenfor et bratt fall, har målingen her dabbet av. FA40 gir dermed ikke et resultat som kan brukes videre i diskusjonen.



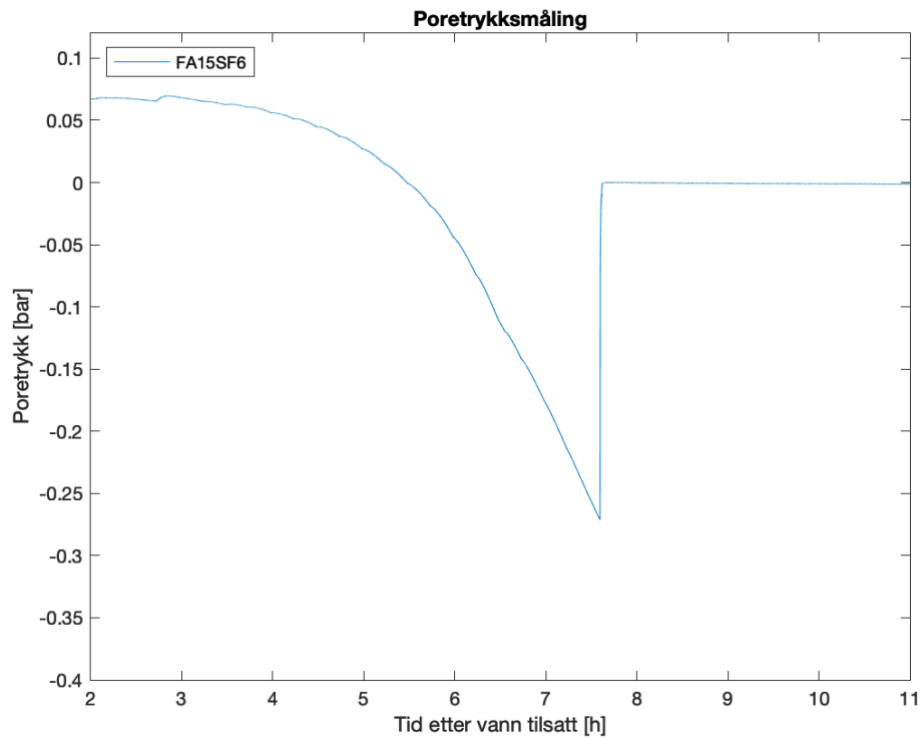
Figur 29 – Poretrykksmåling FA50

Resultatet av poretrykksmålingen for FA50 bærer tydelige preg av høyt flygeaskeinnhold. Poretrykket passerer null, 6-7 timer etter vanntilsetning, og faller til sitt minimumspunkt ved time 10 som vist på figur 29. Til tross for at resultatet viser et fall, er ikke fallet like bratt som et forventet poretrykksfall.



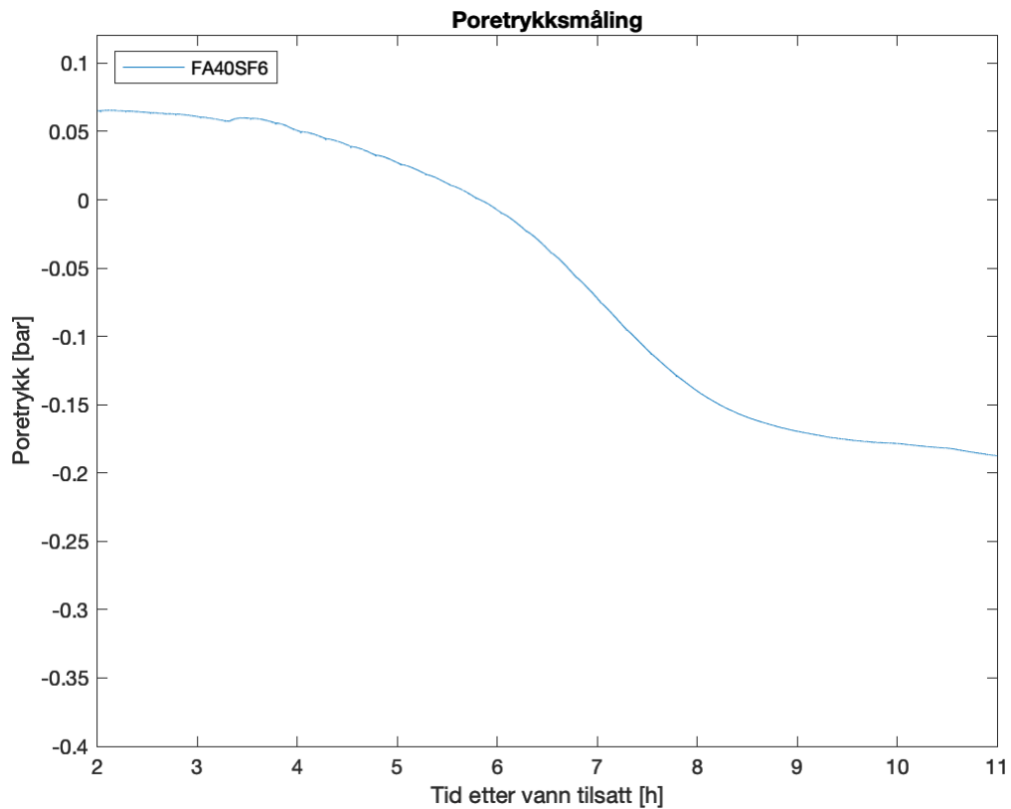
Figur 30 – Poretrykksmåling FA60

På lik linje som med resultatet for FA50, har også poretrykksmålingen for FA60 tydelige preg av høyt flygeaskeinnhold. Det tar over 7 timer etter vannet er tilsatt før poretrykket = 0. Når poretrykket først er passert 0, følger reduksjonen hydratiseringen før den treffer minimumspunktet som vist på figur 30, 10 timer etter tilsatt vann.



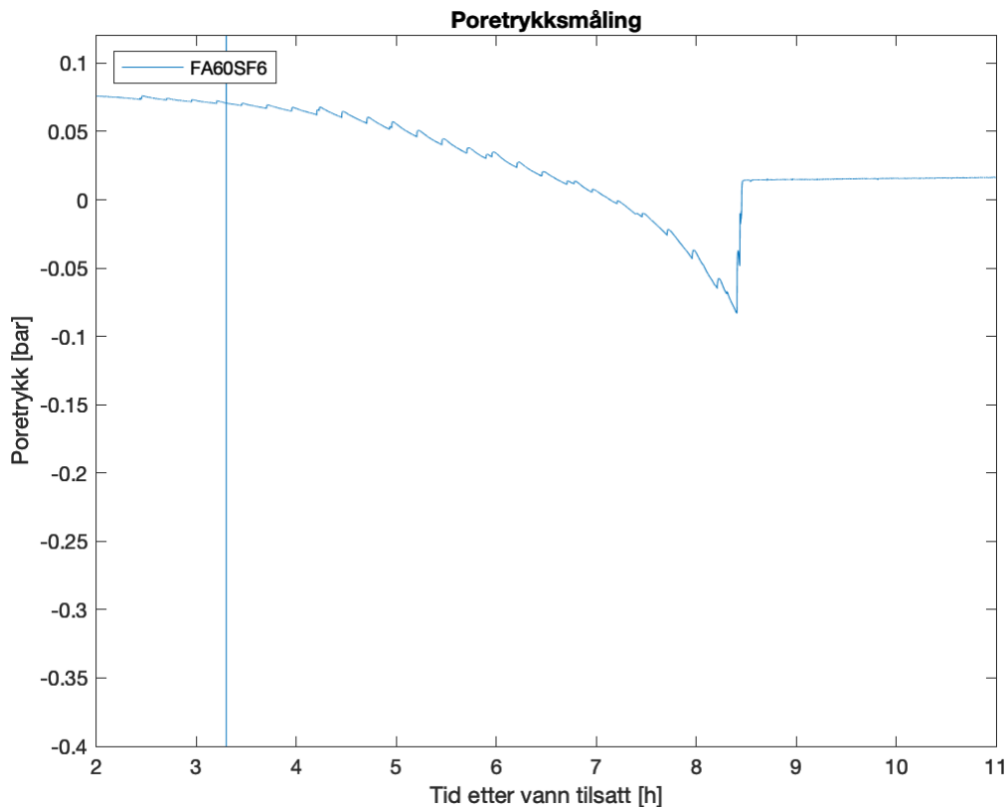
Figur 31 – Poretrykksmåling FA15SF6

For blanding FA15SF6 viser resultatet en poretrykksverdi rundt 0,06 de første 4 timene. Poretrykket = 0 etter 5,5 time, og treffer sitt minimumspunkt nærmere 8 timer etter vanntilsetning.



Figur 32 – Poretrykksmåling FA40SF6

Resultatet for poretrykksmålingen til FA40SF6 som vist på figur 32 oppnår ikke et tydelig minimumspunkt ved poretrykksfallet. Denne målingen gir ikke et relevant resultat som kan skyldes en svikt i måleinstrumentet. Poretrykksmålingen til FA40SF6 blir derfor ikke tatt med videre i diskusjonen.



Figur 33 – Poretrykksmåling FA60SF6

Poretrykksmålingen for FA60SF6 fra figur 33 har noe urytmisk måling, noe som må bli tatt i betraktning ved diskusjon av resultatene. Det kan tenkes at det har oppstått en lekkasje i poretrykksmåleren, og det er dermed ikke sikkert at resultatet er optimalt.

Resultatene av poretrykksmålingene viser et stabilt poretrykk for alle blandinger de første 2-4 timene etter vann er tilsatt. Når hydratiseringen starter, vil poretrykket synke betraktelig. Dette tidspunktet varierer for hver av betongblandinger som et resultat av ulik mengde av tilsetningsmaterialer. Poretrykket vil etterhvert falle til sitt minimumspunkt, også kalt ”break-through pressure”, på grunn av kollaps i kapillærtrykket.

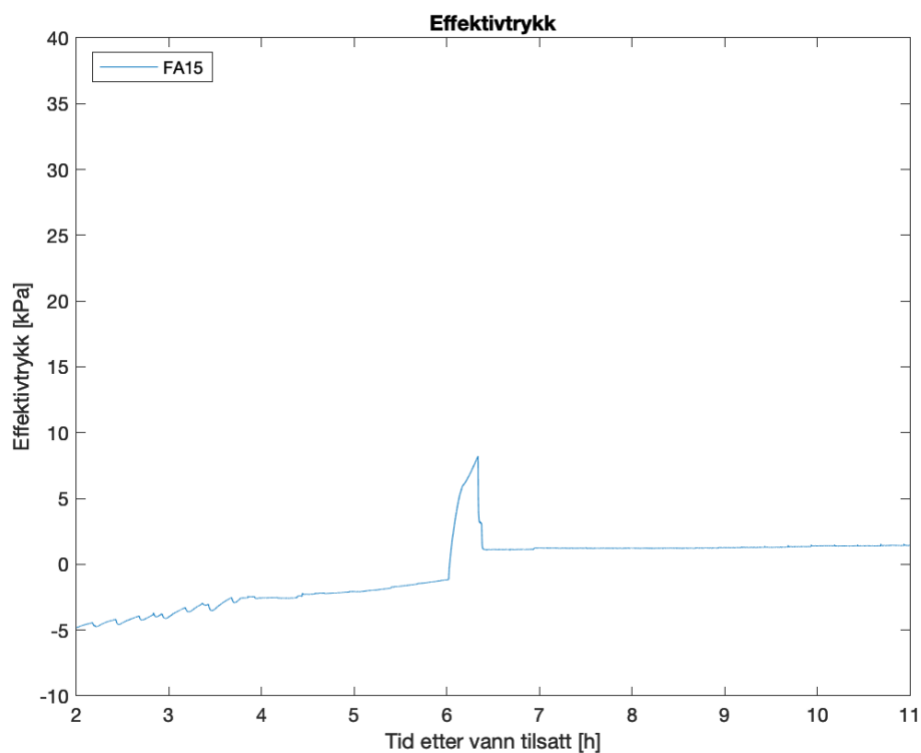
Tidspunktet varierer for når de ulike blandinger når sitt minimumspunkt.

Betongblandingeres ”break-through pressure” inntreffer senere for de som har høyt innhold av flygeaske. Flygeaske forbedrer betongens støpelighet og det kommer tydelig frem i resultatene her. Når poretrykket = 0 er støpeligheten forsvunnet, og hydratiseringen starter. Dette tidspunktet forekommer senere for blandinger med høyere innhold av flygeaske som følge av mindre sementinnhold.

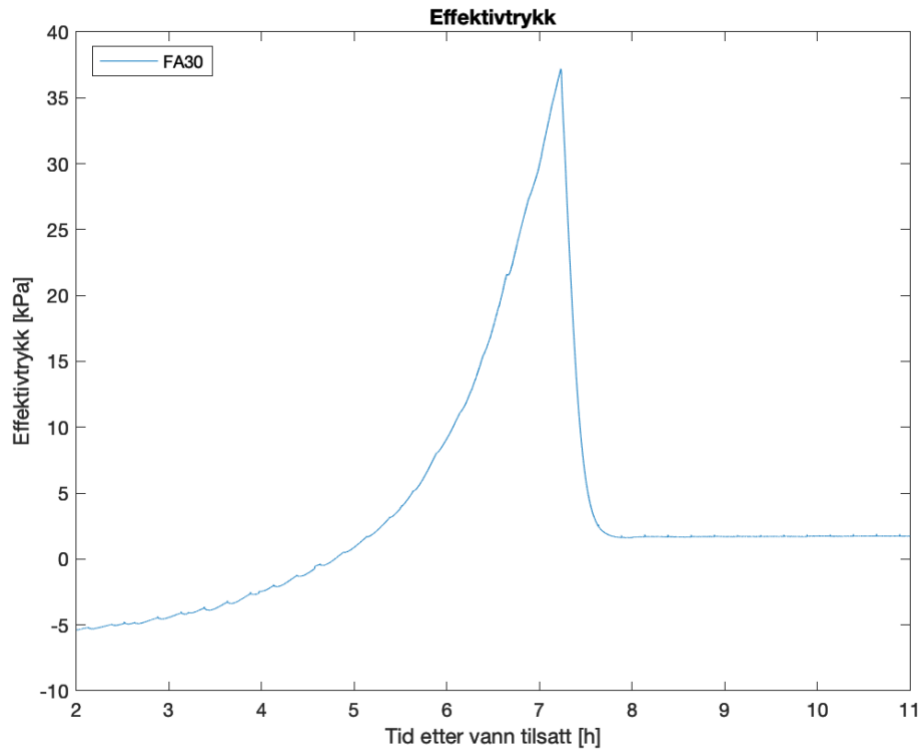
Blandingene med 40 % og høyere flygeaskeinnhold faller til sitt minimumspunkt 10 timer etter vanntilsetning, mens blandingene med mindre andel flygeaskeinnhold faller etter det har passert mellom 6 og 8 timer.

6.2.3 Effektivtrykk

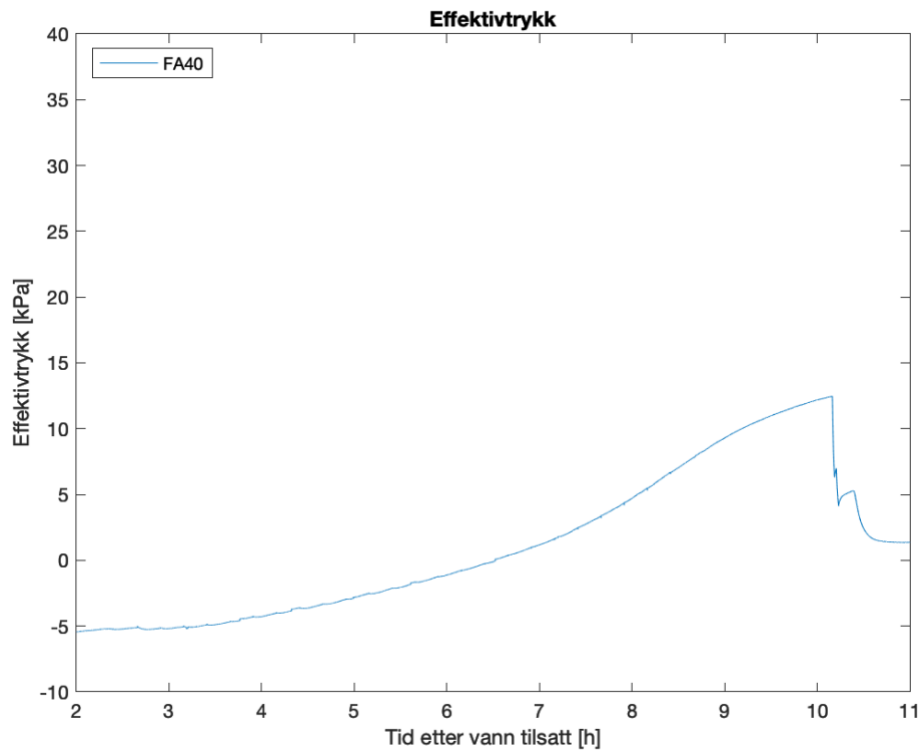
Nedenfor blir resultatene for effektivtrykk presentert. Effektivtrykket er utregnet ved hjelp av formelen som er beskrevet i kapittel 2.2.8. I dette forsøksprogrammet vil det totale trykket være gjennomsnittet av trykket fra de fire sensorene bak på glidepanelet. Poretrykket som blir målt i de aktuelle forsøkene vil bli trukket fra.



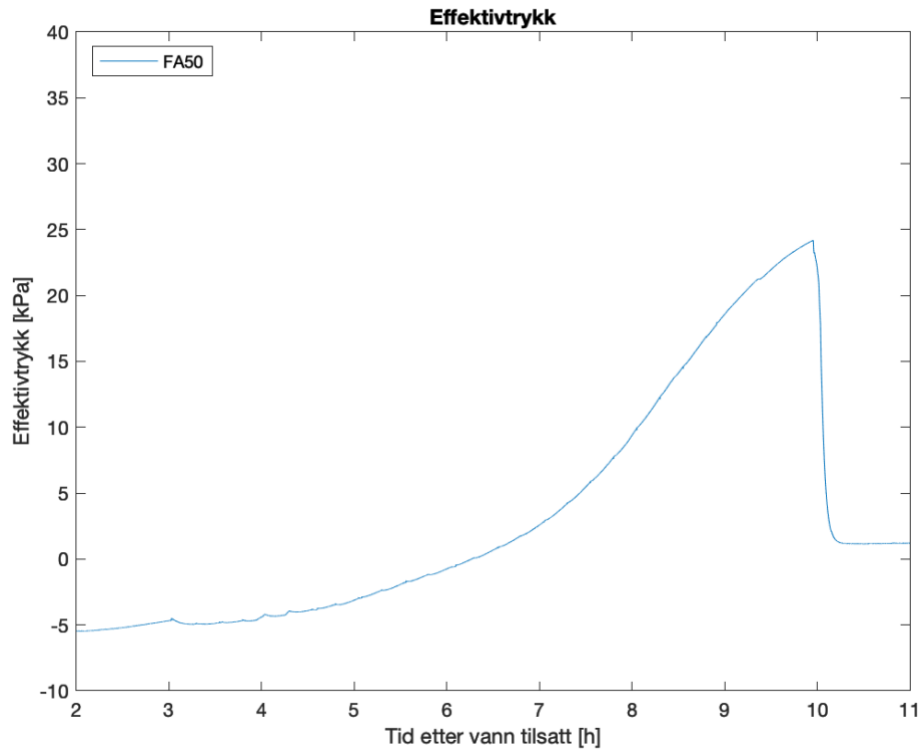
Figur 34 – Effektivtrykk for FA15



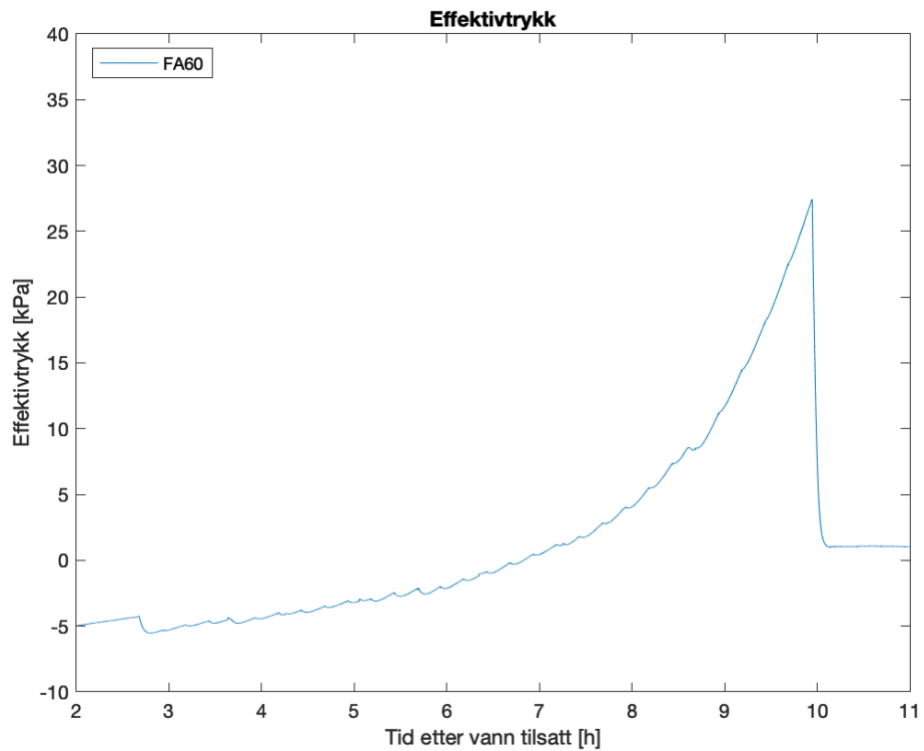
Figur 35 – Effektivtrykk for FA30



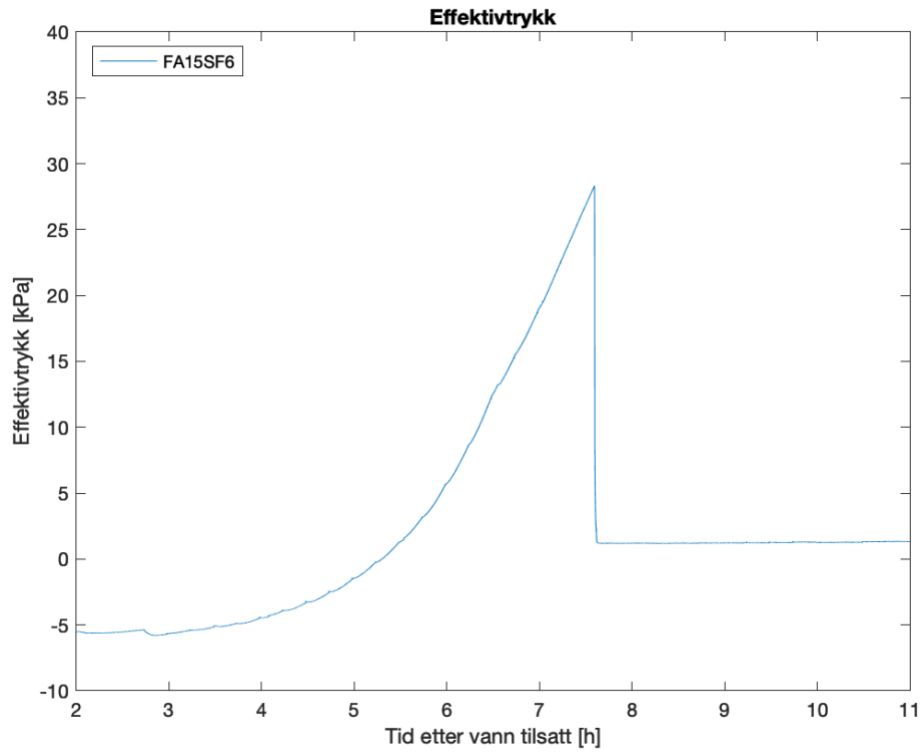
Figur 36 – Effektivtrykk for FA40



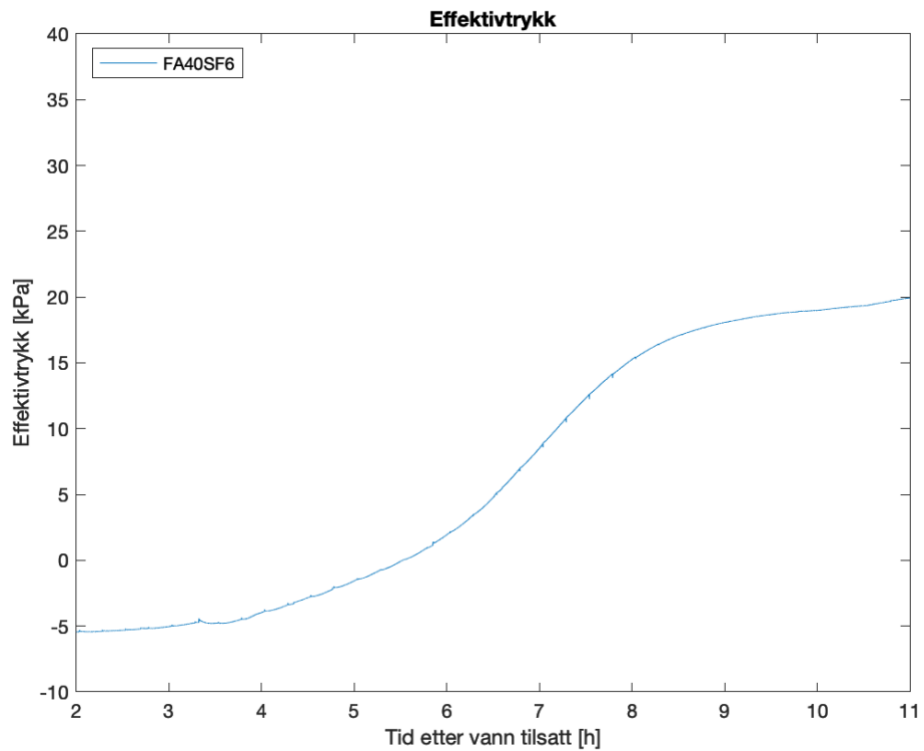
Figur 37 – Effektivtrykk for FA50



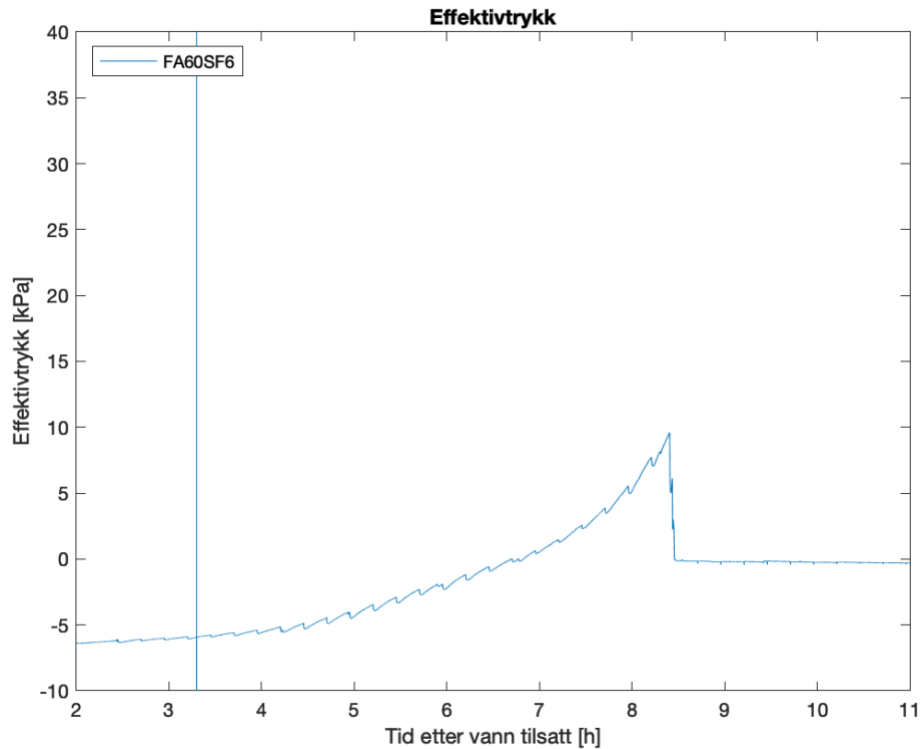
Figur 38 – Effektivtrykk for FA60



Figur 39 – Effektivtrykk FA15SF6



Figur 40 – Effektivtrykk for FA40SF6



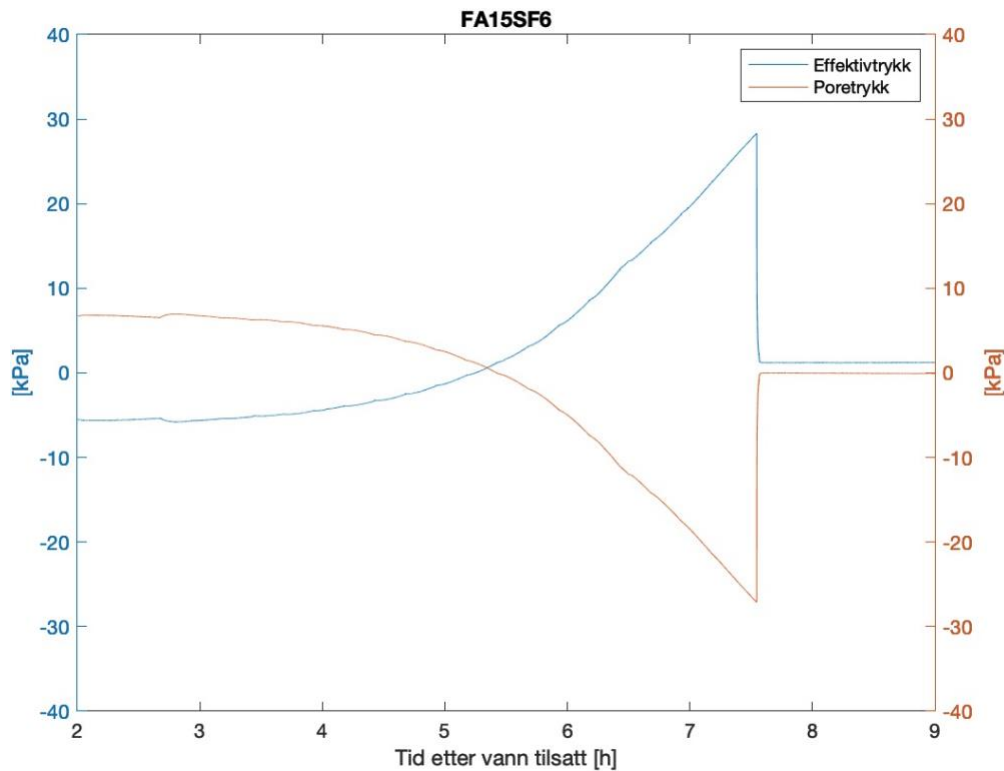
Figur 41 – Effektivtrykk for FA60SF6

FA15, FA40, FA40SF6 og FA60SF6 vil ha samme svikt i resultatet for effektivtrykket som ved poretrykket, og blir dermed sett bort ifra.

På lik linje med poretrykket, er det blandingene med høyest flygeaskeinnhold som bruker lengst tid til å oppnå sitt ekstremalpunkt. Maksverdien til effektivtrykket inntreffer samtidig som poretrykkets minimumspunkt.

FA30, fra figur 35, skiller seg ut med en vesentlig høyere stigning fra -5 kPa til nærmere 40 kPa, sammenliknet med de resterende målingene som har en stigning fra -5 kPa til 30 kPa.

Sammenlikning av effektivtrykk og poretrykk

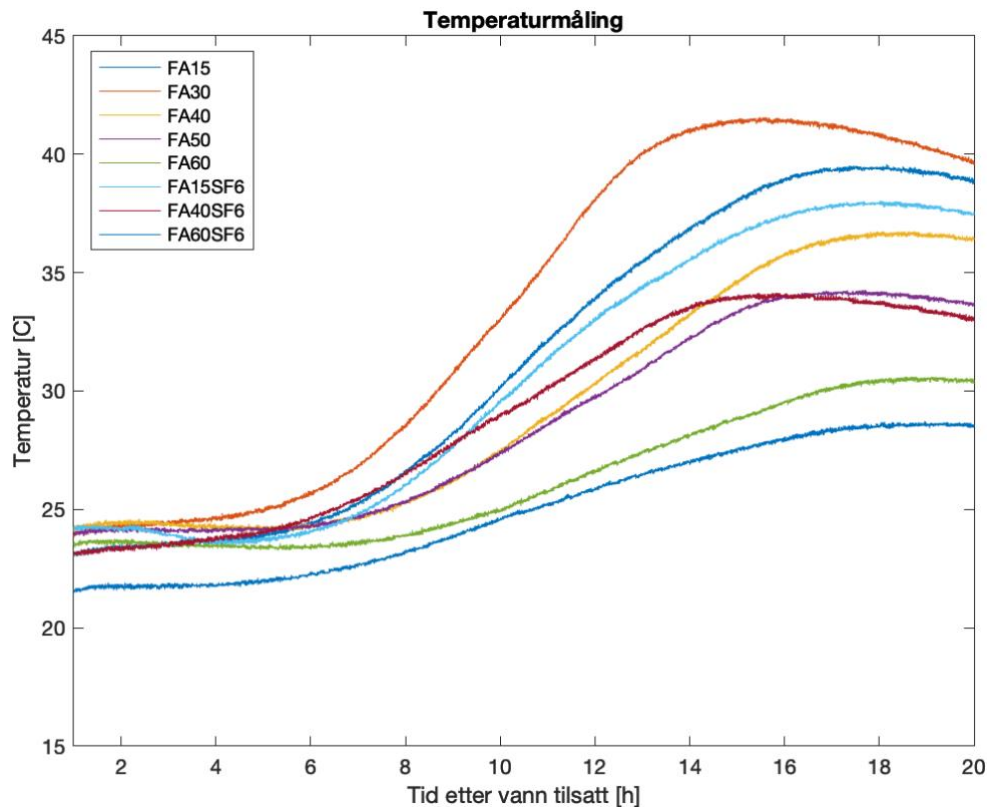


Figur 42 – Sammenlikning effektivtrykk og poretrykk

Resultatet fra poretrykket sammenliknet med resultatet fra det effektivtrykket, viser hvor stor effekt poretrykk vil ha på effektivtrykk. Årsaken til dette er at normaltrykket (totaltrykket) i hovedsak holder seg konstant, som dermed vil si at utviklingen til effektivtrykket vil være en funksjon av utviklingen til poretrykket. Et negativt poretrykk vil gi en økning i effektivtrykk, og motsatt. Her visualisert med FA15SF6 som eksempel.

6.2.4 Temperaturutvikling

Betong utvikler varme under herdeprosessen, og denne varmeutviklingen avhenger av hydratiseringsvarmen i sementen. Hydratiseringsreaksjonen er ømfintlig for temperaturomgivelsene, og ved temperaturfall vil reaksjonshastigheten reduseres. I dette forsøksprogrammet ble betongen støpt ved romtemperatur uten noe ekstra påvirkning, det vil si at alle blandinger har samme utgangspunkt for temperaturutvikling.



Figur 43 – Temperaturmåling

Av figuren er det markert at FA15 og FA60SF6 begge er skissert med mørk blå kurve. Til info er FA15 den høyeste kurven av de mørkeblå kurvene, mens FA60SF6 er kurven med lavest temperatur og varmeutvikling.

Av figuren fremgår det at temperaturutviklingen starter hos de forskjellige betongene mellom 5 og 8 timer etter tilsatt vann. Reseptene med høyest innhold av flygeaske, FA60 og FA60SF, har lavest varmeutvikling og en registrert topptemperatur lavere enn de resterende. Reseptene oppnår en topptemperatur på rundt 30 og 28 C°. Flygeaske bidrar til redusert varmeutvikling som kjent fra teoridelen, og det stemmer overens med resultatet fra temperaturmålingen. Det er en tydelig sammenheng i både utvikling og temperatur for disse to, og det som skiller dem er kun at kurven for resepten med silikastøv ligger et par grader under den uten.

Ved å sammenlikne reseptene med 40% flygeaske, FA40 og FA40SF6, er det også her en tydelig sammenheng i temperaturutvikling. Reseptene starter utviklingen 6 timer etter tilsatt vann, og har en jevn stigning de neste 8 timene. Når det er passert 14 timer etter vanntilsetning har FA40SF6 oppnådd topptemperatur og temperaturen begynner å avta, mens FA40 oppnår sin topptemperatur i time 17. FA40SF6 og FA40 oppnår topptemperaturer på

rundt 34 og 36 C°, altså høyere enn reseptene med 60% FA. FA50 ligger mellom temperaturutviklingen til FA40 og FA60 som forventet, men har en tilnærming til FA40 når det kommer til stigning de første timene.

På lik linje med sammenlikningene over er det også en tydelig sammenheng mellom reseptene med 15% flygeaskeinnhold. FA15 og FA15SF6 har en kontinuerlig og jevn stigning av varmeutviklingen som trer i kraft 6 timer etter vanntilsetningen og fortsetter frem til ca. time 17. Slik som nevnt for reseptene med 60% FA, er det også i dette tilfellet resepten med SF som ligger et par grader under den respektive. FA15 og FA15SF6 oppnår topp temperaturer over reseptene med høyere flygeaskeinnhold, rundt 37 og 39 C°.

Det er en jevn reduksjon i varmeutvikling i takt med høyere innhold av flygeaske hos de fleste av reseptene. Deler av resultatet viker fra dette da FA30 har den hurtigste og høyeste varmeutviklingen av alle. FA30 oppnår en topp temperatur på over 40 C° 14 timer etter tilsatt vann.

Det kommer frem at reseptene med innhold av SF har en tilnærmet lik varmeutvikling som reseptene med samme flygeaskeinnhold uten SF, men at temperaturen ligger et par grader lavere. Etter vannet er tilsatt, starter varmeutviklingen når det har gått 5-8 timer, og alle oppnår en topp temperatur 14-17 timer etter vanntilsetningen.

Bruken av superplastiserende stoff kan også påvirke temperaturutviklingen, da det har en retarderende innvirkning på avbindingstidspunktet.

6.2.5 Overflateskader

Bildene nedenfor viser overflaten til de ferdigstøpte betongelementene som har vært i kontakt med glidepanelet. Bilde av overflaten til FA60 mangler, da den kom på avveie under en forflyttelse.

Overflaten til de ulike betongelementene er jevne og fine, og lite utsatt for overflateskader. Overflatene til spesielt FA15 og FA50 har fått merker på nedre del av overflaten. Dette er på grunn av teipen som ble brukt til å tette glippene mellom glidepanelet og betongbeholderen, før støpeprosessen startet.



Figur 44 – Overplate FA15



Figur 45 – Overplate FA30



Figur 46 – Overplate FA40



Figur 47 – Overplate FA50



Figur 48 – Overplate FA15SF6



Figur 49 – Overplate FA40SF6



Figur 50 – Overflate FA60SF6

I alle betongelementene har det blitt dannet porer i varierende størrelser. Enkelte av de større porene ser ut til å ha blitt utvidet på grunn av forskyvningen til glidepanelet. Dannelse av porer opptrer stort sett på øvre del av betongoverflaten. Årsaken til dette er at vekten av den overliggende betongen vil komprimere den underliggendebetongen, som dermed vil resultere i færre porer på nedre del.

Dannelse av porer er derfor den eneste mangelen man kan se på overflaten, sett bort ifra merker fra teip. På grunn av glideriggens manglende simulering av blant annet slipp, vil valker og utglidning ikke være en overflateskade som kan bli observert. Løfteriss er heller ikke observert på noen av betongelementene.

6.3 Resultater av herdet betong

Det ble utført tester for å fastslå betongens trykkfasthet og E-modul ved herdet tilstand.

6.3.1 Trykkfasthet

Betongens trykkfasthet ble bestemt ved trykktest av 100 x100 mm terninger. Terningene ble avformet etter ett døgn, og deretter oppbevart i vannbad ved romtemperatur før trykktest ble gjennomført etter 7 og 28 døgn.

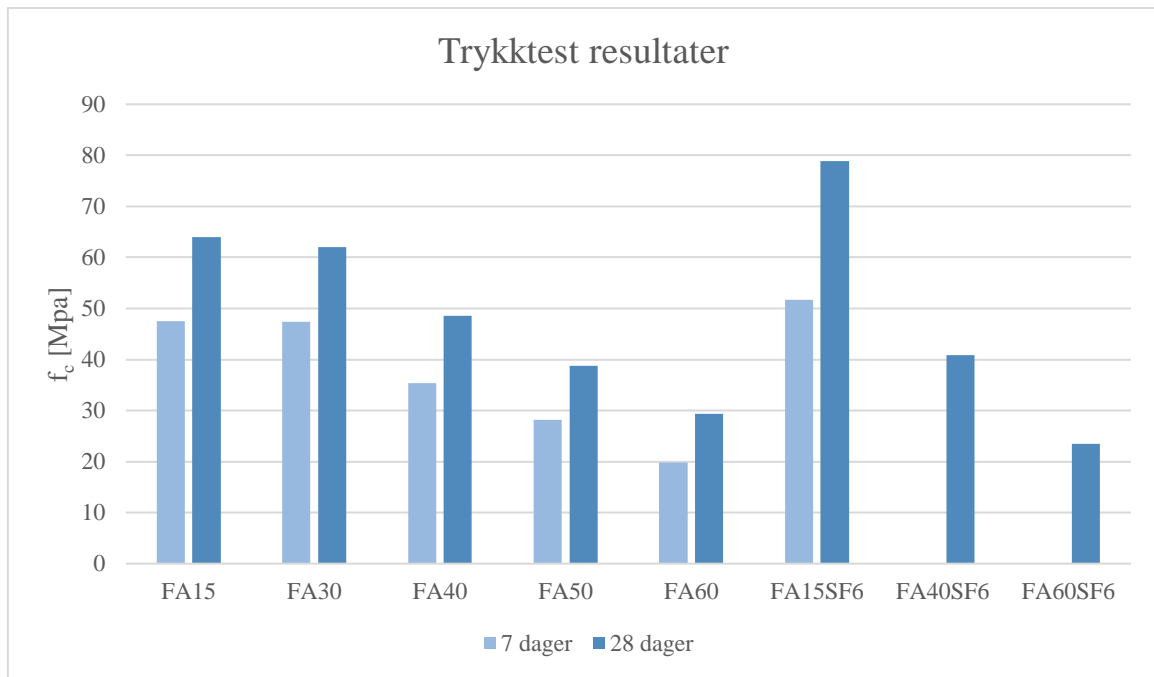
Tabell
Trykkfasthet

Resept	Test utført	F [kN]	f_c [Mpa]
FA15	7 døgn	466	46,6
		479	47,9
		480	48,0
	28 døgn	644	64,4
		636	63,6
		639	63,9
FA30	7 døgn	476	47,6
		479	47,9
		468	46,8
	28 døgn	615	61,5
		625	62,5
		622	62,2
FA40	7 døgn	348	34,8
		353	35,3
		359	35,9
	28 døgn	411	41,1
		491	49,1
		480	48,0
FA50	7 døgn	283	28,3
		280	28,0
		284	28,4
	28 døgn	374	37,4
		400	40,0
		391	39,1
FA60	7 døgn	199	19,9
		206	20,6
		191	19,1
	28 døgn	286	28,6
		301	30,1
		292	29,2

		509	50,9
	7 døgn	515	51,5
FA15SF6		524	52,4
		814	81,4
	28 døgn	775	77,5
		776	77,6
	7 døgn	---	---
FA40SF6		409	40,9
	28 døgn	408	40,8
		409	40,9
	7 døgn	---	---
FA60SF6		239	23,9
	28 døgn	228	22,8
		236	23,6

Tabell 10 – Trykkfasthet

Resultatene fra trykktestene viser store variasjoner i styrke hos de forskjellige betongblandingene. Det er kjent fra teoridelen at betongens styrke påvirkes av ulike tilsetningsmaterialer og i hvor stor mengde de er tilsatt.



Figur 51 – Trykktest resultater

Figur 51 er utarbeidet ved å regne gjennomsnittet av resultatet fra trykktesten for hver av reseptene. Testen for FA40 etter 28 døgn gir resultatene 41.1, 49.1 og 48.0, der 41.1 er vesentlig lav i forhold til de andre to. Ser derfor bort ifra denne verdien, og bruker de to resterende verdiene som reelle til diskusjonen av resultatene.

For betongterningene der det kun er tilsatt flygeaske, er resultatene i samsvar med det som er forventet fra teoridelen. Flygeaskes påvirkning på betongens styrke sier at ved rundt 10 % tilsetning, forventes det en høyere trykkfasthet enn ved ordinær betong, mens ved tilsetning rundt 20 % vil ikke trykkfastheten påvirkes i forhold til en ordinær betong. Resultatene for FA15 ligger rett over FA30, men det viser ingen tydelig differanse i styrke ved 15 % og 30 %. Det kan tenkes at ved 15 % tilsetning av flygeaske, er betongens styrke tilnærmet lik en ordinær betong, samme som ved 30 % tilsetning. Den største fordel ved bruk av flygeaske vil da være av miljømessige hensyn. Ved tilsetning av høyere andel flygeaske, som her gjelder 40, 50 og 60 %, vil betongens fasthet avta. Det stemmer overens med resultatene som er oppnådd her, der FA40, FA50 og FA60 alle er lavere enn FA30 og har en synkende trend.

De resterende 3 betongreseptene som er tilsatt både flygeaske og silikastøv gir resultater både over og under styrken til betongen med flygeaske. Betongen med 15 % FA og 6 % SF oppnår en markant høyere trykkfasthet enn betongen kun tilsatt 15 % FA. FA15SF6 har en høyere

trykkfasthet enn FA15 allerede etter 7 dager, men resultatet er framtreddende etter 28 dager. Silikastøvets påvirkning på betongen kommer tydelig frem her. For resepten med 40 % flygeaske og tilsatt silikastøv, er resultatet lavere enn den respektive resepten uten silikastøv. Det samme gjelder for blandingene med 60 % flygeaske, med og uten silikastøv.

På grunn av stengt laboratorium i forbindelse med helligdager, ble det ikke utført 7 dagers tester for resept FA40SF6 og FA60SF6.

Trykkfasthetsklasser

Betongens trykkfasthetsklasse beregnes ut ifra NS-EN 206-1 som beskrevet tidligere i kapittel 3.5. I denne oppgaven er det terningfastheten som er funnet, og det er disse verdiene som brukes for å angi betongen karakteristiske terningsfasthet.

Trykkfastheten f_{cm} er funnet ved å ta gjennomsnittet av de tre testede terningene for hver av blandingene, og den karakteristiske terningsfastheten $f_{ck,cube}$ er deretter gitt ved;

$$f_{ck,cube} = f_{cm} - 8 \text{ (MPa)}$$

Sammenhengen mellom den karakteristiske terningsfastheten og den respektive sylindrefastheten er gitt i NS-EN 206-1. Den karakteristiske sylindrefastheten har samme verdi som trykkfasthetsklassen.

Resept	Trykkfasthet f_{cm}	Karakteristisk terningsfasthet $f_{ck,cube}$	Karakteristisk sylindrefasthet f_{ck}
FA15	64,0 MPa	56	45
FA30	62,2 MPa	54	Grensen til 45
FA40	48,6 MPa	41	30
FA50	38,8 MPa	31	25
FA60	29,3 MPa	21	10
FA15SF6	78,8 MPa	71	55
FA40SF6	40,9 MPa	33	25
FA60SF6	23,4 MPa	15	10

Tabell 11 – Karakteristisk terning- og sylindrefasthet

6.3.2 E-modul

For å finne betongens E-modul ble det gjennomført test av to sylindere for hver av betongreseptene. Sylindrerne ble testet etter 28 dager herding i vannbad som beskrevet i kapittel 3.6.

E-modul	
Resept	E [GPa]
FA15	30,2
	29,6
FA30	31,2
	29,4
FA40	26,6
	30,5
FA50	22,9
	23,4
FA60	9,0
	9,8
FA15SF6	13,0
	13,6
FA40SF6	9,8
	9,9
FA60SF6	8,0

Tabell 12 – E-modul resultat

For reseptene med flygeaske som pozzolan, kommer det frem fra tabell 12 at det er en svak synkende trend i elastisitet, i takt med økning i mengde av flygeaske. Resept FA60 skiller seg ut med vesentlig lavere verdier enn reseptene med mindre andel flygeaske. Som nevnt i teoridelen er det kjent at større mengde flygeaske gir lavere E-modul verdi, på grunn av det reduserte sementinnholdet. Likevel ligger et forventet resultat av E-modul på rundt 30 GPa etter 7 døgn, og flere av resultatene må dermed forkastes. Med tanke på at målingen er gjennomført etter 28 døgn, er det ikke grunnlag for at E-modulen skal gi såpass lave verdier. Som det kommer frem av tabell 12, er det kun FA15, FA30 og FA40 som gir resultater som

kan tas med i diskusjonen. Alle de andre målingene ligger for langt under forventet resultat, og må dermed forkastes.

E-modul resultatene for FA40 gir to ujevne verdier, noe som kan skyldes ujevnheter på sylindrens overflate eller bare en svakhet i tilslagsfordelingen i resepten. Dersom ikke sylindren er homogen, vil det gi svakhet i resultatene.

Som kjent av teoridelen skal betong med silikastøv gi en høyere E-modul verdi enn en ordinær betong. Resultatene som er oppnådd i dette forsøksprogrammet er ikke mulig å diskutere i forhold til dette.

Grunnet feil innstilling på trykkmaskinen, gir resept FA60SF6 kun ett resultat.

6.4 Feilkilder

Målet ved forsøksprogrammet er å simulere en mest mulig realistisk glid. På grunn av svakheter ved glideriggen er det enkelte simulasjoner som ikke er mulig å gjenskape eller som vil gi feilkilder ved forsøket.

En kjent utfordring ved glideriggen er begroing på glidepanelet. Begroing kan medføre økt friksjon noe som kan ha hatt innvirkning på resultatet. For å begrense begroing ble glidepanelet vasket nøye før og etter bruk. I forkant av hvert forsøk ble glippene mellom glidepanelet og betongbeholderen teipet. Teipen har forårsaket overflateskader på enkelte betongelementer, noe som ikke ville oppstått ved en tradisjonell glid. Glideriggen har heller ikke mulighet for å simulere slipp, noe alle tradisjonelle gliderigger er konstruert med. Resultatet vil derfor ha en stor svakhet når det kommer til dette.

Trykksensorene bak på glidepanelet blir justert manuelt, og kan dermed forårsake ujevn trykkfordeling.

Det har vist seg å være vanskelig å oppnå et troverdig resultat med poretrykkmåleren da det er flere faktorer som spiller inn for å få en nøyaktig måling. Luft i nålen til måleren samt vibrasjon fra glidepanelet, er noen utfordringer ved måling av poretrykk.

Det ble ikke utført fuktmåling av tilslag 0-8mm for hvert forsøk, men det ble brukt et antatt tilnærmet fuktinnhold. Dette kan ha medført feil forhold mellom vann og tilslag i resepten. Under blandedprosessen kan det også oppstå feilkilder som følge av menneskelig svikt, som for eksempel svinn og dårlig rengjøring.

Superplastiserende ble tilsatt etter skjønn, og prøvene av fersk betong vil derfor være påvirket av dette.



Figur 52 – Defekt terning

For alle støpte prøvelegemer er det viktig å bruke en homogen masse for å oppnå et realistisk resultat. Figur 52, viser et prøvelegeme der massen ikke er jevnt fordelt i støpeformen. Dette vil gi en lavere trykkfasthet og må elimineres fra videre utregning. En lavere grad av slike tilfeller kan også ha forekommet, men likevel ha blitt tatt med i videre utregning. Dette gjelder for både sylindere og terninger.

Sensorene som er brukt til måling av E-modul er svært sensitive og det kreves en homogen sylinder for å kunne få ut et reelt resultat.

Alle forsøkene ble kun utført en gang, og det vil dermed ikke være mulig å bekrefte at de samme resultatene vil gjentas. Det er dermed bare teorien som kan forsvare resultatene og brukes i diskusjonen

7 KONKLUSJON

I denne bacheloroppgaven er det fokusert på miljøbetongs egnethet i forbindelse med glidestøp. Tilsetningsmaterialer som flygeaske vil redusere klimagassutslippene fra sementproduksjonen og kan derfor være et godt alternativ for å minske klimaavtrykket.

Forsøksprogrammet som ble gjennomført, ble utført kun én gang per resept. Dette vil medføre noe usikkerhet med tanke på om resultatene er reproducerbare. I tillegg ble deler av resultatene forkastet på grunn av svakhet i poretrykksmåleren, samt i sensoren brukt til testing av E-modul. Deler av resultatene blir likevel støttet opp av litteraturen og kan derfor bli brukt til videre forskning.

I forsøksprogrammet ble ulike mengder flygeaske brukt for å undersøke hvilken effekt dette har på betongens glideegenskaper. Resultatene viser at betongblandinger med høyt innhold av flygeaske, vil ha lengre avbindingstid enn blandinger med høyere sementinnhold. En lengre avbindingstid kan medføre større risiko for overflateskader på grunn av saktere glidehastighet. Overflateskader ble likevel ikke påvist på noen av overflatene. Dette skyldes nok at forsøkene ble utført under kontrollerte forhold i laboratorium, og derfor vanskelig å fremprovosere skader.

Friksjonsmålingene viser en klar sammenheng med avbindingstiden. Dette vil si at en betongblanding med lengre avbindingstid vil ha større friksjon, og som nevnt vil øke risiko for overflateskader. Maksfriksjonsmålingene viser noe usikkert resultat da det er vanskelig å se en klar sammenheng, men reseptene med silikastøv viser tendenser til høyere maksfriksjon.

På bakgrunn av de observasjonene som er gjort, vil en betongblanding med høyt innhold av flygeaske være godt egnet til bruk i glidestøp. Høyt flygeaskeinnhold reduserer også betongens klimaavtrykk, men fastheten svekkes i takt med økt innhold. For videre undersøkelser vil det være interessant å teste forsøksprogrammet med en enda lavere glidehastighet i kombinasjon med for eksempel høy temperatur, slik at man kan fastslå med sikkerhet hvilken effekt flygeaske vil ha på overflateskader.

8 LITTERATURLISTE

- [1] NorBetong, «Munch-museet,» NORBETONG.NO. [Internett]. Available: <https://www.norbetong.no/no/Munch-museet>. [Funnet Mai 2022].
- [2] FN, «Klimaendringer,» FN.NO. 8 November 2021. [Internett]. Available: <https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer>. [Funnet Februar 2022].
- [3] Norsk Betongforening, «Visste du dette om betong og miljø?,» BETONG.NET. [Internett]. Available: <https://betong.net/wp-content/uploads/17966-Visste-du-dette-om-betong-og-miljo-WEB.pdf>. [Funnet April 2022].
- [4] J. V. Thue, «betong,» SNL.NO, 16 Juli 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/betong>. [Funnet April 2022].
- [5] Tekna, «Miljøvennlig betong,» TEKNA.NO, 14 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/miljovennlig-betong/>. [Funnet Mars 2022].
- [6] SINTEF, «572.204 Sement. Typer, egenskaper og bruksområder,» BYGGFORSK.NO Mars 2016. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/589/sement_typer_egenskaper_og_bruksomraader#i21. [Funnet Mai 2022].
- [7] K. B. o. A. K. Kvellheim, «Betong er en del av klimaløsningen,» TU.NO, 7 April 2020. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/betong-er-en-del-av-klimalosningen/489468>. [Funnet Mars 2022].
- [8] Norcem, «Sementproduksjon og CO2,» NORCEM.NO. [Internett]. Available: <https://www.norcem.no/no/sementproduksjon-co2>. [Funnet April 2022].
- [9] Store norske leksikon, «Pozzolan,» SNL.NO, 5 September 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/pozzolan>. [Funnet Mai 2022].
- [10] The Concrete Countertop Institute, «The use of pozzolans in concrete countertop mix design,» CONCRETETOPINSTITUTE.COM. [Internett]. Available: <https://concretecountertopinstitute.com/free-training/the-use-of-pozzolans-in-concrete/>. [Funnet Mai 2022].
- [11] Univeristy of Memphis, «Chapter 3 Fly Ash, Slag, Silica Fume, and Natural Pozzolans,» [Internett]. Available: http://www.ce.memphis.edu/1101/notes/concrete/PCA_manual/Chap03.pdf. [Funnet Mai 2022].
- [12] Norcem, «Flygeaske,» NORCEM.NO. [Internett]. Available: <https://www.norcem.no/no/FlyAsh>. [Funnet Mars 2022].
- [13] A. B. A. A. M. S. P. M. S. S. T. A. Abri, «Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: A global review,» SCIENCEDIRECT.COM, 2019. [Internett]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509518303735>. [Funnet April 2022].
- [14] S. J. e. al, TKT 4215 Concrete Technology 1, Trondheim: NTNU, 2016.
- [15] Federal Highway Administration, «Fly Ash Facts for Highway Engineers,» FHWA.DOT.GOV, 2017. [Internett]. Available: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/fach03.cfm>. [Funnet April 2022].
- [16] P. R. L. o. M. S. Magalhaes, «INFLUENCE OF FLY ASH ON THE COMPRESSIVE STRENGTH AND YOUNG'S MODULUS OF CONCRETE,» i *3rd International Conference on Bio-Based Building Materials*, Belfast, UK, 2019.

- [17] The Constructor, «Silica Fume Concrete: Properties, Asvantages, and Applications,» THECONSTRUCTOR.ORG. [Internett]. Available: <https://theconstructor.org/concrete/silica-fume-concrete/1038/>. [Funnet Mai 2022].
- [18] Bay Lynx, «Why use fly ash and slag in concrete,» BAY-LYNX.COM. [Internett]. Available: <https://bay-lynx.com/education/why-use-fly-ash-and-slag-in-concrete/>. [Funnet Mai 2022].
- [19] S. N. V. Meløysund, «Ny NS-EN 206+NA - Betong,» PowerPoint, 30 Oktober 2014. [Internett]. Available: <https://docplayer.me/23310195-Ny-ns-en-206-na-betong.html>. [Funnet Mai 2022].
- [20] AART, «Stavanger Universitetssykehus reiser seg som et skikkelig landemerke,» AART.NO, 15 Mai 2020. [Internett]. Available: <https://aart.no/nyheter/nytt-universitetssykehus-i-stavanger-reiser-seg>. [Funnet April 2022].
- [21] I. Andersen, «Her støpes betongfundamentene til Hywind Tampen,» TU.NO, 19 Februar 2021. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/her-stop-es-betongfundamentene-til-hywind-tampen/507006>. [Funnet Mai 2022].
- [22] Norsk Betongforening, «NB Publikasjon nr. 25: Veiledning for prosjektering og utførelse av konstruksjoner utstøpt med glideforskaling,» Norsk Betongforening, Oslo, 2017.
- [23] Teknisk Ukeblad, «Glidestop av betongkonstruksjoner,» TU.NO, 5 September 2001. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/glidestop-av-betongkonstruksjoner/272654> . [Funnet April 2022].
- [24] K. T. Fosså, «Slipforming of Vertical Concrete Structure: Friction between concrete and slipform panel,» NTNU, Trondheim, 2001.
- [25] B. H. T. L. A. P. F. T. T. Craipeau, «Mortar pore pressure prediction during the first hours of cement hydration,» SCIEDIRECT.COM, Mai 2021. [Internett]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946521000676>. [Funnet Mai 2022].
- [26] SINTEF, «572.205 Betong. Typer, egenskaper og bruksområder,» BYGGFORSK.NO, Mars 2016. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraader. [Funnet Mai 2022].
- [27] The Constructor, «Modulus of Elasticity of Concrete- Determination and Importance in Design,» THECONSTRUCTOR.ORG. [Internett]. Available: <https://theconstructor.org/concrete/properties/modulus-elasticity-concrete/32035/>. [Funnet Mai 2022].
- [28] H. Mishra, «Modulus of Elasticity of Concrete,» CIVILWALE.COM, 10 Januar 2021. [Internett]. Available: <https://civilwale.com/modulus-of-elasticity-of-concrete/>. [Funnet Mai 2022].
- [29] HBM, «U2B tension/compression force sensor 05 kN to 200 kN,» HBM.COM. [Internett]. Available: https://www.hbm.com/en/2407/u2b-highly-versatile-load-cell-for-tensile-and-%20compressive-forces/?product_type_no=U2B%20Tried%20and%20Tested%20Tension/Compression%20Load%20Cell. [Funnet Mai 2022].
- [30] HBM, «C2 Force Transducer for Compressive Forces 0.5 kN to 200 kN,» HBM.COM. [Internett]. Available: https://www.hbm.com/en/2420/c2-type-series-force-%20transducer-for-compressive-forces/?product_type_no=C2%20Load%20Cell:%20The%20Original%20for%20Compressive%20Force%20Measur . [Funnet Mai 2022].

- [31] Thermocoupleinfo, «Type T Thermocouple,» THERMOCOUPLEINFO.COM, 2011. [Internett]. Available: <http://www.thermocoupleinfo.com/type-t-thermocouple.htm>. [Funnet Mai 2022].
- [32] HBM, «P8AP Robust Pressure Transducer for Hydraulic Appl 0 to 10 bar,» HBM.COM. [Internett]. Available: https://www.hbm.com/en/2484/p8ap-pressure-transducer-for-harsh-hydraulic-applications/?product_type_no=P8AP%20Pressure%20Transducer%20for%20Harsh%20Hydraulic%20Applications]. [Funnet Mai 2022].
- [33] SINTEF, «572.207 Tilsetningsstoffer for betong,» BYGGFORSK.NO, September 2010. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer_for_betong. [Funnet Mai 2022].
- [34] Statens Vegvesen, «Intern rapport nr. 1696,» Statens Vegvesen, 1994.

9 VEDLEGG

9.1 A – Produktdatablader

Produktdatablad – Anleggsement

PRODUKTDATABLAD
ANLEGGSEMENT
CEM I 52,5 N
Sist revidert desember 2018.

Sementen tilfredsstiller kravene i NS-EN 197-1:2011 til Portlandsement CEM I 52,5 N.

Egenskap		Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1:2011
Finhet (Blaine m ² /kg)		415	
Spesifikk vekt (kg/dm ³)		3,14	
Volumbestandighet (mm)		1	≤ 10
Begynnende størkning (min)		120	≥ 45
Trykkfasthet (MPa)	1 døgn	21	
	2 døgn	33	≥ 20
	7 døgn	49	
	28 døgn	63	≥ 52,5
Sulfat (% SO ₃)		≤ 4,0	≤ 4,0
Klorid (% Cl ⁻)		≤ 0,085	≤ 0,10
Vannløselig krom (ppm Cr ⁶⁺)		≤ 2	≤ 2 ¹
Alkalier (% Na ₂ O _{ekv})		0,6	
Klinker (%)		96	95-100
Sekundære bestanddeler (%)		4	0-5

1. I henhold til EU forordning REACH Vedlegg XVII punkt 47 krom VI-forbindelser.

NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group

Norcem AS, Postboks 142, Lilleaker, 0216 Oslo
Tlf. 22 87 84 00 firmapost@norcem.no www.norcem.no

Produktdatablad – Anleggsement FA

PRODUKTDATABLAD

ANLEGGSEMENT FA

CEM IIA-V

SIST REVIDERT JUNI 2020

Sementen tilfredsstiller kravene i NS-EN 197-1:2011 til Portland-flygeaskeement CEM IIA-V 42,5 N.

Egenskap		Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1:2011
Finhet (Blaine m ² /kg)		390	
Spesifikk vekt (kg/dm ³)		3,02	
Volumbestandighet (mm)		1	≤ 10
Begynnende størkning (min)		165	≥ 60
Trykkfasthet (MPa)	1 døgn	12	
	2 døgn	21	≥ 10
	7 døgn	37	
	28 døgn	53	≥ 42,5 ≤ 62,5
Sulfat (% SO ₃)		≤ 3,5	≤ 3,5
Klorid (% Cl ⁻)		≤ 0,07	≤ 0,10
Vannløselig krom (ppm Cr ⁶⁺)		≤ 2	≤ 2 ¹
Alkaller (% Na ₂ Oekv) ²		0,5	
Klinker (%)		81	80-94
Flygeaske (%)		15	6-20
Kalkmel (sekundær bestanddel %)		4	< 5

1. I henhold til EU forordning REACH Vedlegg XVII punkt 47 krom VI-forbindelser.

2. Alkaliinnholdet av sementen fratrukket alkalibidraget fra flygeaskedelen (iht. NB21 pkt. 4.4 og bruk av den generelle grensen på 2,5 kg Na₂Oekv/m³ betong). I betong beregnes alkalibidraget fra sementdelen slik: Sementmengde (kg/m³) x 0,5%

NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group

Norcem AS, Postboks 142 Lilleaker, 0216 Oslo
Tlf. 22 87 84 00 firmapost@norcem.no www.norcem.no

Produktdatablad – Flygeaske

NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group

Norcem AS
Postboks 142, Lilleaker, 0216 Oslo
Tlf. 22 87 84 00
firmapost@norcem.no
www.norcem.no

TILLEGGSMATERIALE FLYGEASKE

PRODUKTINFORMASJON - FEBRUAR 2019

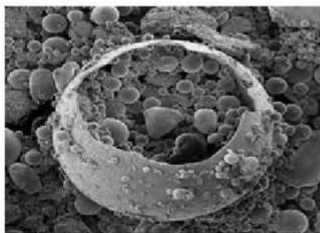
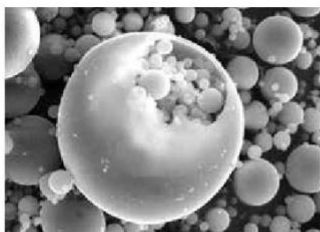
Norcem AS ivaretar salg og distribusjon av flygeaske til sement- og betongproduksjon. Flygeasken er sertifisert i overensstemmelse med kravene i NS-EN 450-1, klasse A.

Flygeaske er et bearbejdet restprodukt fra kull brukt i kullkraftverk. Flygeaske er silikatholdig og er et pozzolan som sammen med sement og vann gir en tettere betong. Kombinert med sement har flygeaske vært brukt i Norge siden 80-tallet. Norcem FA-sementer inneholder flygeaske.

DEKLARERTE VERDIER

Flygeasken er sertifisert i overensstemmelse med kravene i NS-EN 450-1:2012, klasse A.

Egenskap	Deklarerte verdier	Krav i henhold til NS-EN 450-1
Glødetap (%)	≤ 5,0	Tilfredsstiller kravene gitt NS-EN 450-1
Klorid (% Cl ⁻)	≤ 0,10	Tilfredsstiller kravene gitt NS-EN 450-1
Sulfat (% SO ₂)	≤ 3,0	Tilfredsstiller kravene gitt NS-EN 450-1
Fritt kalsiumoksid (% fri CaO)	≤ 1,5	Tilfredsstiller kravene gitt NS-EN 450-1
Reaktivt kalsiumoksid (% reaktiv CaO)	≤ 10	Tilfredsstiller kravene gitt NS-EN 450-1
Partikkeldensitet (kg/m ³)	2300	Dekl.verdi +/- 200 kg/m ³
Øvrige kjemiske og fysiske parametere		Tilfredsstiller kravene gitt NS-EN 450-1



Elkem Silicon Materials,
PO Box 8126, Vaagsbygd,
NO-4675 Kristiansand, NORWAY



Elkem Microsilica® 940

Fibre cement applications – Product data sheet

1. Description

Elkem Microsilica® Grade 940 is a dry silica fume available in two forms: Undensified and Densified. In use, it acts physically as a filler and chemically as a highly reactive pozzolan.

A key ingredient in many construction materials, Elkem Microsilica® is used in fibre cement products as a process aid, to improve ingredient dispersion and to improve hardened properties and overall durability.

2. Chemical properties

Property	Unit	Typical value
SiO ₂	%	> 90.0
H ₂ O	%*	< 1.0

Test methods available on request. Typical values for guidance only. *When packed.

3. Physical properties

Property	Unit	Typical value
Retention on 45µm sieve	%	< 1.5
Bulk density U	kg/m ³ *	200 - 350
Bulk density D	kg/m ³ *	500 - 700

Test methods available on request. Typical values for guidance only. *When packed.

4. Packing

The product is available in 25 kg bags, various other size bags and bulk road tanker. Please contact our representative for more details.

5. Storage & handling

Elkem Microsilica® Grade 940 should be kept in dry storage. Products that have been subjected to moisture and allowed to dry again may result in inferior performance.

6. Quality assurance

Elkem Silicon Materials is certified to ISO 9001. The chemical and physical properties of Elkem Microsilica® are regularly tested.

7. Health, safety & environment

Refer to Product Safety Information (PSI) document on Elkem website: elkem.com

8. Additional information

See additional Elkem data sheets and technical papers on our website: elkem.com

All data listed are reference values subject to production related tolerances. Although reasonable care has been taken in the preparation of the information contained herein, it still remains the duty of the user to prove the suitability of this material for their application.

This data sheet is property of Elkem ASA and may not be used without written permission, copied or made available to others. The receiver is responsible for every misuse.

elkem.com

Elkem Microsilica® is a registered trademark. Copyright Elkem ASA

Revised April 2020



BESKRIVELSE

Dynamon SX-N er et svært effektivt superplastiserende tilsetningsstoff basert på modifiserte akrylpolymerer. Produktet tilhører **Dynamon-systemet** basert på den Mapei-utviklede DPP-teknologien (DPP = Designed Performance Polymers), der tilsetningsstoffenes egenskaper skreddersys til ulike betongformål. **Dynamon-systemet** er utviklet på basis av Mapeis egen sammenstilling og produksjon av monomerer.

BRUKSOMRÅDER

Dynamon SX-N er et tilnærmet allround-produkt som er anvendelig i all betong for å øke støpeligheten og/eller redusere tilsatt vannmengde.

Noen spesielle bruksområder er:

- Vanntett betong med krav til høy eller svært høy fasthet og med strenge krav til bestandighet i aggressive miljøer.
- Betong med særlige krav til høy støpelighet; i konsistensklasser S4 og S5 etter NS-EN 206.
- Selvkomprimerende betong med ønske om lengre åpentid. Om nødvendig kan SKB stabiliseres med en viskositetsøker - **Viscofluid** eller **Viscostar**.
- Til produksjon av frostbestandig betong - da i kombinasjon med luftinnførende tilsetningsstoffer - **Mapeair**. Valg av type luftinnførende stoff gjøres ut

fra egenskapene til de andre delmaterialer som er tilgjengelige.

- Til golvstøp for å oppnå en smidig betong med bedret støpelighet. Store doseringer og lave temperaturer kan retardere betongen noe.

EGENSKAPER

Dynamon SX-N er en vannløsning av aktive akrylpolymerer som effektivt dispergerer (løser opp) sementklaser.

Denne effekten kan prinsipielt utnyttes på tre måter:

1. For å redusere mengden tilsatt vann, men samtidig beholde betongens støpelighet. Lavere v/c-forhold gir høyere fasthet, tetthet og bestandighet i betongen.
2. For å forbedre støpeligheten sammenlignet med betonger med samme v/c-forhold. Fastheten forblir dermed den samme, men muliggjør forenklet utstøping.
3. For å redusere både vann og sementmengde uten å forandre betongens mekaniske styrke. Gjennom denne metoden kan en blant annet redusere kostnadene (mindre sement), redusere betongens svinnpotensial (mindre vann) og redusere faren for temperaturgradienter på grunn av lavere hydrasjonsvarme. Spesielt er denne siste effekten viktig ved betonger med større sementmengder.

Dynamon SX-N

KOMPATIBILITET MED ANDRE PRODUKTER

Dynamon SX-N lar seg kombinere med andre Mapei tilsetningsstoffer, som f.eks størkningsakselererende stoffer som **Mapefast** og størkningsretarderende stoffer som **Mapetard**.

Produktet lar seg også kombinere med luftinnførende tilsetningsstoffer, **Mapeair**, for produksjon av frostbestandig betong.

Valg av type luftinnførende stoff gjøres ut fra egenskapene til de andre delmaterialer som er tilgjengelige.

DOSERING

Dynamon SX-N tilsettes for å oppnå ønsket resultat (styrke, bestandighet, støpelighet, sementreduksjon) ved å variere doseringen mellom 0,4 og 2,0 % av sement + flyveaske + mikrosilika. Ved økt dosering økes også betongens åpentid, dvs. tiden betongen lar seg bearbeide. Større doseringsmengder og lave betongtemperaturer gir en retardert betong. Vi anbefaler alltid prøvestøper med aktuelle parametere.

Til forskjell fra konvensjonelle melamineller naftalenbaserte superplastiserende tilsetningsstoffer, utvikler **Dynamon SX-N** maksimal effekt uavhengig av tilsetningstidspunkt, men tilsetningstidspunktet kan påvirke nødvendig blandetid.

Dersom **Dynamon SX-N** tilsettes etter at minst 80 % av blande vannet er inne vil blandetiden generelt være kortest. Det er likevel viktig med utprøvinger tilpasset eget blandeutstyr.

Dynamon SX-N kan også tilsettes direkte i automikser på bygg- eller anleggsplass. Betongen bør da blandes med maksimal hastighet på trommelen i ett minutt pr. m³ betong i lasset, men minimum 5 minutter.

EMBALLASJE

Dynamon SX-N leveres i 25 liters kanner, 200 liters fat, 1000 liter IBC-tanker og i tank.

LAGRING

Produktet må oppbevares ved temperaturer mellom +8°C og +35°C. I lukket emballasje bevarer produktet sine egenskaper i minst 12 måneder. Hvis produktet utsettes for direkte sollys, kan det føre til variasjoner i fargetonen uten at dette påvirker egenskapene til produktet.

SIKKERHETSINSTRUKSJONER FOR KLARGJØRING OG BRUK

For instruksjon vedrørende sikker håndtering av våre produkter, vennligst se siste utgave av sikkerhetsdatablad på vår nettside www.mapei.no

PRODUKT FOR PROFESJONELL BRUK.

MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktene. All overstående informasjon må likevel betraktes som retningsgivende og gjenstand for vurdering. Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse. Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt eller ved feilaktig utførelse.

Vennligst referer til siste oppdaterte versjon av teknisk datablad som finnes tilgjengelig på vår webside www.mapei.no

JURIDISK MERKNAD

*Innholdet i dette tekniske databladet kan kopieres til andre prosjektrelaterte dokumenter, men det endelige dokumentet må ikke suppleres eller erstatte betingelsene i det tekniske datablad, som er gjeldende, når MAPEI-produktet benyttes. Det seneste oppdaterte datablad er tilgjengelig på vår hjemmeside www.mapei.no
ENHVER ENDRING AV ORDLYDEN ELLER BETINGELSER, SOM ER GITT ELLER AVLEDET FRA DETTE TEKNISKE DATABLADET, MEDFØRER AT MAPEI SITT ANSVAR OPPHØRER.*

Alle relevante referanser for produktet er tilgjengelige på forespørsel og fra www.mapei.no

**Dynamon
SX-N**

TEKNISKE DATA (typiske verdier)

PRODUKTBEKRIVELSE

Form:	væske
Farge:	gulbrun
Viskositet:	lettflytende; < 30 mPa·s
Tørrestoffinnhold (%):	17,0 ± 1,0
Densitet (g/cm³):	1,05 ± 0,02
pH:	6,5 ± 1
Kloridinnhold (%):	< 0,05
Alkaliinnhold (Na₂O-ekvivalenter) (%):	< 2,0

Det er ikke tillatt å ta kopier av teksten eller bilder utgitt her.
Oversettelse kan føre til feilforståelse.

6392-06-2018 (NO)



9.2 B – Betongresepter

Sammensatt tilslag

Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m ³]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. Sv[%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vask	2650	1,0	0,0	0,00	0,523	0,520	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vask	2650	0,5	0,0	0,00	0,477	0,480	ok
III	Årdal 8/16mm	2700	0,5	0,0	0,00	0,000	0,000	
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
V		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VI		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
Sammensatt		2674	0,0	0,0	0,00	1,000	1,000	

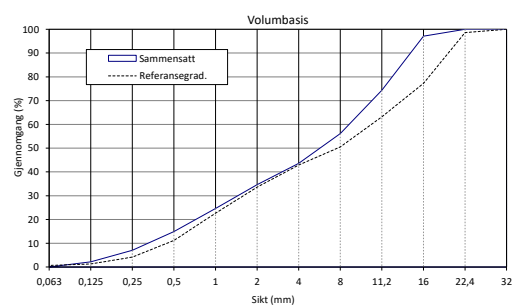
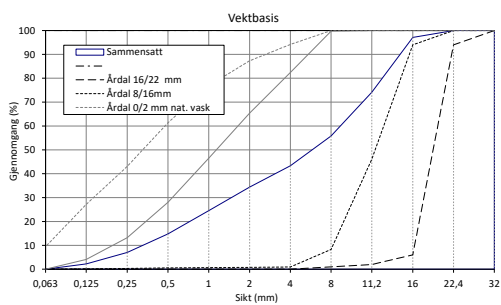
Finhetsmoduler
FM _{set} = 4,72
FM ₁₀ = 4,71
FM ₁₆ = 5,07
FM _g = 5,55

Tilpass til ref. gradering, CxtI T

Sett ref. gradering, CxtI R

Tilpass til FM_g, CxtI F

Åpning	Gjennomgang		Ref. grad.	Vekt ved tilpasning
	vol. [%]	vekt [%]	[vol. %]	
32	100,0	100,0	100,0	1
22,4	100,0	100,0	98,6	1
16	97,1	97,1	77,3	1
11,2	74,3	74,1	63,2	1
8	56,1	55,8	50,5	1
4	43,6	43,3	42,9	1
2	34,6	34,4	33,6	1
1	24,7	24,5	22,7	2
0,5	14,9	14,8	11,2	2
0,25	7,1	7,0	4,2	2
0,125	2,2	2,2	1,3	2
0,063	0,0	0,0	0,7	2



Delark "Sammensatt tilslag"

Betongresept – FA15

Blandeskjema SKANSKA

Prosjekt	Regnearkutvikling
Reseptnummer	
Tilsiktet kvalitet	

Blandevolum	115 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Anlegg FA	457,3	52,591			52,591
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	182,9	21,036		-3,091	17,946
Absorbert vann	13,1	1,504			1,504
Årdal 0/8 mm nat. vask.	893,6	102,763	2,2	2,261	105,024
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	829,0	95,330	0,5	0,477	95,807
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	3,7	0,421	84	0,353	0,421
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

19,450

*Se fotnote på delark "Resept"

** NBI Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

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

Delark "Blandeskjema"

Betongresept – FA30

Blandeskjema SKANSKA

Prosjekt	Regnearkutvikling
Reseptnummer	
Tilsiktet kvalitet	

Blandevolum	115 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Anlegg	311,6	35,836			35,836
FA	133,6	15,358			15,358
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	178,1	20,478		-1,334	19,143
Absorbent vann	13,1	1,504			1,504
Årdal 0/8 mm nat. vask.	893,6	102,763	0,5	0,514	103,277
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	829,0	95,330	0,5	0,477	95,807
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	3,6	0,410	84	0,344	0,410
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

20,647

*Se fotnote på delark "Resept"

** NBI Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

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

Delark "Blandeskjema"

Betongresept – FA40

Blandeskjema SKANSKA

Prosjekt	Regnearkutvikling
Reseptnummer	
Tilsiktet kvalitet	

Blandevolum	115 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Anlegg	263,0	30,250			30,250
FA	175,4	20,167			20,167
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	175,4	20,167		-1,329	18,837
Absorbent vann	13,1	1,504			1,504
Årdal 0/8 mm nat. vask.	893,6	102,763	0,5	0,514	103,277
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	829,0	95,330	0,5	0,477	95,807
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	3,5	0,403	84	0,339	0,403
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

20,342

*Se fotnote på delark "Resept"

** NBI Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

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

Delark "Blandeskjema"

Betongresept – FA50

Blandeskjema SKANSKA

Prosjekt	Regnearkutvikling
Reseptnummer	
Tilsiktet kvalitet	

Blandevolum	115 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Anlegg	215,9	24,831			24,831
FA	215,9	24,831			24,831
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	172,7	19,865		-1,324	18,541
Absorbent vann	13,1	1,504			1,504
Årdal 0/8 mm nat. vask.	893,6	102,763	0,5	0,514	103,277
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	829,0	95,330	0,5	0,477	95,807
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	3,5	0,397	84	0,334	0,397
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

20,045

*Se fotnote på delark "Resept"

** NBI Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

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

Delark "Blandeskjema"

Betongresept – FA60

Blandeskjema SKANSKA

Prosjekt	Regnearkutvikling
Reseptnummer	
Tilsiktet kvalitet	

Blande volum	115 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Anlegg	170,2	19,572			19,572
FA	255,3	29,358			29,358
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	170,2	19,572		-1,319	18,253
Absorbent vann	13,1	1,504			1,504
Årdal 0/8 mm nat. vask.	893,6	102,763	0,5	0,514	103,277
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	829,0	95,330	0,5	0,477	95,807
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	3,4	0,391	84	0,329	0,391
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

19,757

*Se fotnote på delark "Resept"

** NBI Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

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

Delark "Blandeskjema"

Betongresept – FA15SF6

Blandeskjema SKANSKA

Prosjekt	Regnearkutvikling
Reseptnummer	
Tilsiktet kvalitet	

Blande volum	115 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Anlegg fa	426,9	49,088			49,088	
FA	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	27,2	3,133	0,0	0,000	3,133	
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Fritt vann	181,6	20,889		-1,341	19,547	21,051
Absorbent vann	13,1	1,504			1,504	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	893,6	102,763	0,5	0,514	103,277	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 8/16mm	829,0	95,330	0,5	0,477	95,807	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Mapei Dynamon SX-N	3,6	0,418	84	0,351	0,418	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Resept"

** NBI Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

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

Delark "Blandeskjema"

Betongresept – FA40SF6

Blandeskjema SKANSKA

Prosjekt	Regnearkutvikling
Reseptnummer	
Tilsiktet kvalitet	

Blande volum	115 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Anlegg	245,5	28,237			28,237
FA	163,7	18,825			18,825
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	26,1	3,004	0,0	0,000	3,004
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	174,1	20,026		-1,327	18,699
Absorbent vann	13,1	1,504			1,504
Årdal 0/8 mm nat. vask.	893,6	102,763	0,5	0,514	103,277
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	829,0	95,330	0,5	0,477	95,807
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	3,5	0,401	84	0,336	0,401
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

20,204

*Se fotnote på delark "Resept"

** NBI Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

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

Delark "Blandeskjema"

Betongresept – FA60SF6

Blandeskjema SKANSKA

Prosjekt	Regnearkutvikling
Reseptnummer	
Tilsiktet kvalitet	

Blandevolum	115 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Anlegg	159,2	18,306			18,306
FA	238,8	27,458			27,458
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	25,4	2,921	0,0	0,000	2,921
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	169,3	19,474		-1,318	18,156
Absorbent vann	13,1	1,504			1,504
Årdal 0/8 mm nat. vask.	893,6	102,763	0,5	0,514	103,277
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	829,0	95,330	0,5	0,477	95,807
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	3,4	0,389	84	0,327	0,389
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

19,661

*Se fotnote på delark "Resept"

** NBI Våte mengder, også for silikaslurry

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

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

Delark "Blandeskjema"

9.3 C – Tryktest og E-modul resultater

Tryktest resultater 1

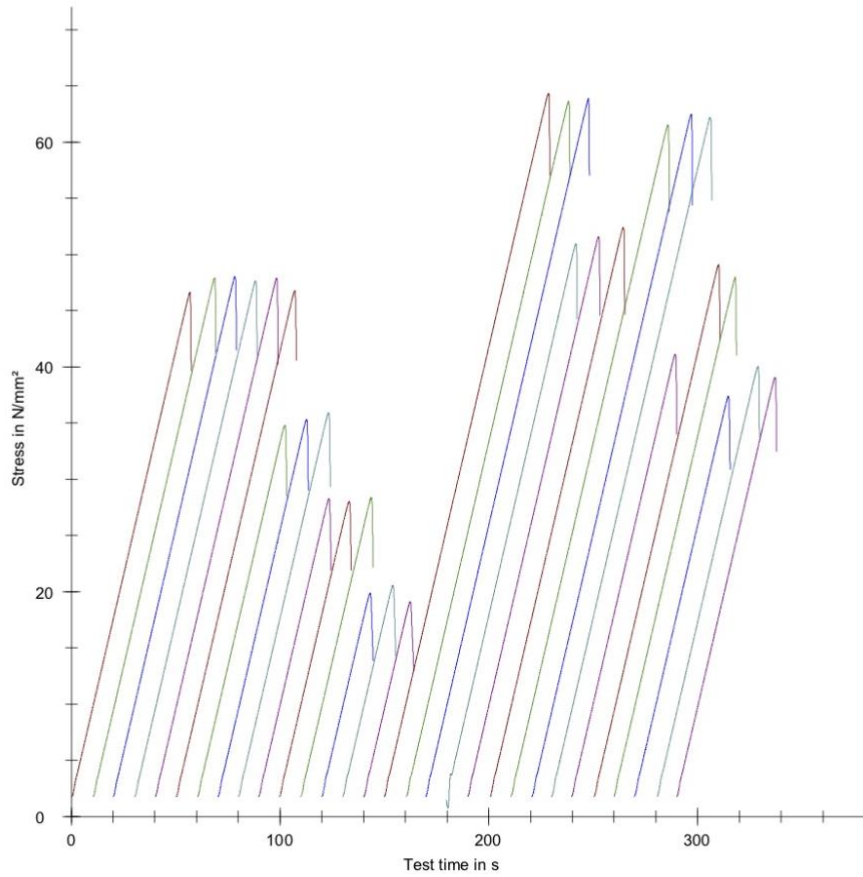
Parameter table:

Test protocol :
Tester : UiS
Customer : SRI Service UK Ltd- Innes Simpson
Test standard : EN-NS-12390-3
Strength grade:
Other :
Type strain extensometer :
Machine data : Controller TT1412
PistonStroke
LoadCell 3 MN

Results:

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F _m kN	σ _m N/mm ²
1	14.03.2022	202203077dA2365	100,0	100,0	466,26	46,63
2	14.03.2022	202203077dB2424	100,0	100,0	479,04	47,90
4	14.03.2022	202203077dC2437	100,0	100,0	480,11	48,01
5	15.03.2022	202203087dA2470	100,0	100,0	476,33	47,63
6	15.03.2022	202203087dB2406	100,0	100,0	478,62	47,86
7	15.03.2022	202203087dC2425	100,0	100,0	467,83	46,78
8	28.03.2022	202203217d2450	100,0	100,0	348,05	34,80
9	28.03.2022	202203217dB2400	100,0	100,0	353,04	35,30
10	28.03.2022	202203217dC2474	100,0	100,0	359,21	35,92
11	29.03.2022	202203227dA2450	100,0	100,0	283,00	28,30
12	29.03.2022	202203227dB2468	100,0	100,0	280,34	28,03
13	29.03.2022	202203227dC2408	100,0	100,0	283,72	28,37
14	04.04.2022	202203287dA2403	100,0	100,0	198,80	19,88
15	04.04.2022	202203287dB2345	100,0	100,0	205,58	20,56
16	04.04.2022	202203287dC2363	100,0	100,0	191,14	19,11
17	04.04.2022	2022030728dA2415	100,0	100,0	643,50	64,35
18	04.04.2022	2022030728dB2414	100,0	100,0	636,37	63,64
19	04.04.2022	2022030728dC2413	100,0	100,0	638,74	63,87
20	05.04.2022	202203297dA2404	100,0	100,0	509,44	50,94
21	05.04.2022	202203297dB2436	100,0	100,0	515,48	51,55
22	05.04.2022	202203297dC2408	100,0	100,0	523,98	52,40
23	05.04.2022	2022030828dA2476	100,0	100,0	615,30	61,53
24	05.04.2022	2022030828dB2452	100,0	100,0	625,04	62,50
26	05.04.2022	2022030828dC2423	100,0	100,0	622,03	62,20
27	19.04.2022	2022032128dA2398	100,0	100,0	411,26	41,13
28	19.04.2022	2022032128dB2470	100,0	100,0	490,86	49,09
29	19.04.2022	2022032128dC2418	100,0	100,0	479,67	47,97
30	19.04.2022	2022032228dA2438	100,0	100,0	373,50	37,35
31	19.04.2022	2022032228dB2458	100,0	100,0	400,27	40,03
32	19.04.2022	2022032228dB2484	100,0	100,0	390,59	39,06

Series graphics:



Trykktest resultater 2

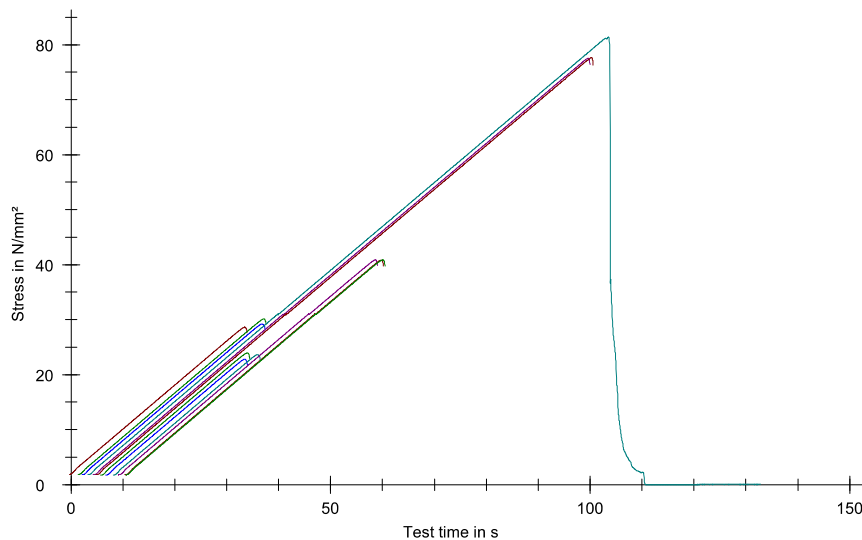
Parameter table:

Test protocol :	Type strain extensometer :
Tester :	Machine data : Controller TT0322
Customer :	PistonStroke
Test standard :	LoadCell 3 MN
Strength grade :	
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

Results:

Nr	Date	ID	a mm	b mm	A mm ²	h mm	F _m kN	σ _m N/mm ²
1	25.04.2022	2022280328d2379f	100,0	100,0	10000,0	100,0	286,03	28,60
2	25.04.2022	2022280328d2382f	100,0	100,0	10000,0	100,0	301,11	30,11
3	25.04.2022	2022280328d2364c	100,0	100,0	10000,0	100,0	291,88	29,19
4	26.04.2022	2022290328d2413f	100,0	100,0	10000,0	100,0	813,97	81,40
5	26.04.2022	2022290328d2422f	100,0	100,0	10000,0	100,0	775,25	77,53
6	26.04.2022	2022290328d2400c	100,0	100,0	10000,0	100,0	776,39	77,64
7	02.05.2022	2022040428d2316f	100,0	100,0	10000,0	100,0	239,36	23,94
8	02.05.2022	2022040428d2259f	100,0	100,0	10000,0	100,0	227,81	22,78
9	02.05.2022	2022040428d2286c	100,0	100,0	10000,0	100,0	236,39	23,64
10	03.05.2022	2022050428d2404f	100,0	100,0	10000,0	100,0	408,63	40,86
11	03.05.2022	2022050428d2382f	100,0	100,0	10000,0	100,0	408,25	40,83
12	03.05.2022	2022050428d2343c	100,0	100,0	10000,0	100,0	408,82	40,88

Series graphics:



Statistics:

Series n = 12	a mm	b mm	A mm ²	h mm	F _m kN	σ _m N/mm ²
x	100,0	100,0	10000,0	100,0	431,16	43,12
s	0,0	0,0	0,0	0,0	225,45	22,55
v	0,00	0,00	0,00	0,00	52,29	52,29

E-modul resultatater



Simple standard protocol

03.05.2022

Parameter table:

Test protocol :		Type strain extensometer:	
Tester :	UIS	Machine data :	Controller TT0322
Customer :	Sandnes& Jorbetong-Mari		PistonStroke
Test standard :	EN12390-13 method A		LoadCell 3 MN
Strength grade :			Extensometer
Creation date :			Extensometer2
Age :	0 T		
Other :			

Results:

Nr	ID	Date	h mm	$\epsilon_{b2,E1}$ mm	$\epsilon_{b2,E2}$ mm	$\epsilon_{b3,E1}$ mm	$\epsilon_{b3,E2}$ mm	$\Delta\epsilon_{b23,E1}$ %	$\Delta\epsilon_{b23,E2}$ %	$\Delta\epsilon_{b3,E12}$ %	$\sigma_{m,a,1}$ N/mm ²	$\sigma_{m,b,0}$ N/mm ²	$\epsilon_{a,1}$ mm	$\epsilon_{b,0}$ mm	$E_{C,0}$ N/mm ²	$\sigma_{m,a,3}$ N/mm ²	$\sigma_{m,b,2}$ N/mm ²	$\epsilon_{a,3}$ mm	$\epsilon_{b,2}$ mm	$E_{C,S}$ N/mm ²
max.								10,00	10,00	20,00										
min.								-10,00	-10,00	-20,00										
1	2022030728dA	04.04.2022	300,0	0,037	0,033	0,037	0,033	0,08	0,03	2,82	17,04	6,04	0,119	0,033	25668,29	17,03	5,94	0,123	0,049	30239,97
2	2022030728dB	04.04.2022	300,0	0,030	0,035	0,031	0,034	0,39	0,44	3,00	17,02	6,05	0,121	0,034	25213,85	17,03	5,94	0,126	0,051	29648,61
3	2022030828dA	05.04.2022	300,0	0,034	0,031	0,034	0,031	0,17	0,05	2,50	17,03	6,02	0,113	0,030	26684,21	17,04	5,94	0,115	0,044	31285,63
4	2022030828dB	05.04.2022	300,0	0,046	0,030	0,046	0,031	0,18	0,68	9,39	17,04	6,01	0,130	0,032	22334,26	17,04	5,95	0,137	0,061	29372,89
5	2022032128dA	19.04.2022	300,0	0,025	0,029	0,026	0,029	0,28	0,18	3,16	13,03	4,02	0,109	0,029	22296,24	13,06	3,93	0,113	0,045	26549,06
6	2022032228dA	19.04.2022	300,0	0,030	0,019	0,030	0,019	0,04	0,13	11,34	13,02	4,03	0,086	0,019	26657,22	13,06	3,96	0,090	0,030	30500,96
7	2022032128dB	19.04.2022	300,0	0,017	0,027	0,018	0,027	0,55	0,11	10,31	10,02	3,55	0,097	0,027	18487,77	10,03	3,42	0,101	0,044	22923,46
8	2022032128dB	19.04.2022	300,0	0,019	0,026	0,019	0,026	0,09	0,23	7,76	10,05	3,53	0,093	0,026	19503,88	10,03	3,42	0,096	0,040	23441,64
9	2022032128dsyl	25.04.2022	300,0	0,032	0,051	0,030	0,051	1,25	0,01	13,02	8,04	2,51	0,205	0,051	7161,08	8,02	2,40	0,211	0,086	8988,30
10	2022032128dsyl	25.04.2022	300,0	0,076	0,034	0,078	0,034	0,69	0,24	19,62	8,06	2,54	0,163	0,033	8528,07	8,05	2,42	0,169	0,054	9846,82
11	2022032928dsyl	26.04.2022	300,0	0,250	0,112	0,250	0,112	0,03	0,03	19,15	21,05	7,51	0,349	0,111	11353,15	21,02	7,44	0,356	0,147	13008,78
12	2022032928dsyl	26.04.2022	300,0	0,211	0,110	0,213	0,110	0,22	0,09	16,01	21,06	7,52	0,354	0,109	11061,98	21,05	7,48	0,361	0,161	13555,49
14	2022040428dA	02.05.2022	300,0	0,056	0,026	0,055	0,025	0,65	0,86	18,49	6,02	1,99	0,144	0,025	6769,95	6,04	1,90	0,149	0,045	7972,80
15	2022050428dA	03.05.2022	300,0	0,058	0,080	0,058	0,083	0,05	0,83	8,82	11,04	3,53	0,291	0,084	7248,84	11,03	3,44	0,300	0,145	9847,47
16	2022050428dB	03.05.2022	300,0	0,107	0,053	0,106	0,053	0,26	0,34	16,94	11,03	3,55	0,229	0,053	8459,66	11,03	3,42	0,237	0,084	9907,60

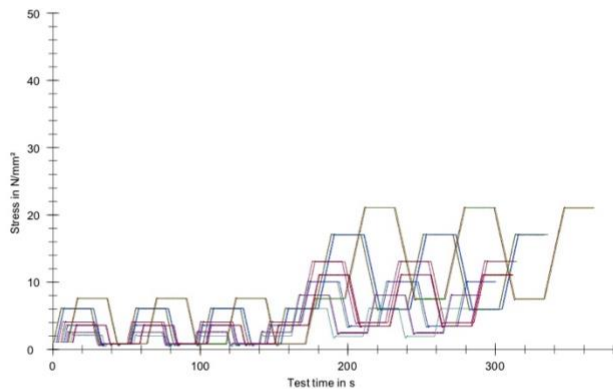
Page 1/2



Simple standard protocol

03.05.2022

Series graphics:



Statistics:

Series	σ_m N/mm ²	$E_{C,0}$ N/mm ²	$E_{C,S}$ N/mm ²
n = 15			
x	13,48	16495,23	19805,97
s	4,73	8014,36	9450,98
v	35,11	48,59	47,72

Page 2/2