BACHELOROPPGAVE:

KALKSTEINSMEL SOM DELVIS SEMENTSUBSTITUTT I BETONG

FORFATTERE: AMINA HODZIC OG NICKLAS RØBERG

Dato: 19. mai 2014

FORORD

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet ved Høgskolen i Gjøvik våren 2014 og er en selvstendig og avsluttende oppgave av det treårige studieprogrammet ingeniør i byggfag. Bacheloroppgaven utgjør en vekting på 20 studiepoeng og er skrevet i samarbeid med Statens Vegvesen.

Vi vil gjerne rette en takk til vår veileder i Statens Vegvesen, Vegdirektoratet, Claus K. Larsen, for veiledning og hjelp gjennom hele prosjektet. Vi vil også takke Knut Kjul ved Statens Vegvesens Sentrallaboratorium i Oslo for hjelp og veiledning til støping og testing av betongprøver.

Vi vil takke vår veileder Guri Krigsvoll ved Høgskolen i Gjøvik for hjelp til oppgaveskriving og rådgiving gjennom prosjektet.

Gjøvik, 16 mai 2014

Amina Hodzic og Nicklas Røberg

…….

Amina Hodzic

…….

Nicklas Røberg

Innhold

FORORD 1
SAMMENDRAG 4
ABSTRACT 5
1. INNLEDNING 6
2. LITTERATURSTUDIE 7
2.1 SEMENTTYPER OG KALKSTEIN 7
2.2 HERDETEKNOLOGI 8
2.3 TRYKKFASTHET OG TESTING 11
2.4 USIKKERHET VED MÅLING AV RESULTATER 13
2.5 KVALITETSSIKRING AV RESULTATER 14
2.6 SEMENTPRODUKSJON OG MILJØ 15
2.7 KALKSTEINSMEL SOM SUBSTITUTT 15
3. FASTHETSTESTING AV BETONGKLOSSER 17
3.1 FORSØKETS SEMENTER 17
3.2 STØPE- OG TESTMETODE 18
3.3 BETONGRESEPT 20
3.4 KALKSTEINSMEL OG TILSLAG 21
3.5 TESTINSTRUMENTER 21
3.5.1 TERMOMÅLER MED LOGGEFUNKSJON 21
3.5.2 TRYKKPRESSEN 22
3.6 TEST- OG BLANDINGSPROSEDYRE 22
3.6.1 BLANDINGSPROSEDYRE 22
3.6.2 TESTPROSEDYRE 23
3.7 MODENHET 24
4. RESULTATER 26
4.1 RESULTATER TRYKKFASTHET 26
4.1.1 ANLEGG FA 26
4.1.2 CEMEX CEMIII/B 29
4.1.3 AALBORG RAPID 31
4.2 AKTIVERINGSEGENRGI, MODENHET OG TEMPERATURØMFINTLIGHET 33
4.3 RESULTATER FRA VÅT/TØRR-TESTING 36
4.4 VURDERING AV RESULTATER 37
4.5 FEILKILDER OG AVVIK 39
5. MILJØ OG BÆREKRAFTIGHET 41
6. KONKLUSJON OG ARBEIDET VIDERE 42
7. REFERANSER 43
VEDLEGG 44

FIGURLISTE

Figur 2.2.1 Aktiveringsenergi 10
Figur 2.2.2 Hastighetsfunksjoner 11
Figur 2.3.1 Betongens faser [1] 12
Figur 3.1.1 Testterninger 19
Figur 3.1.2 Betongterninger i stålformer 19
Figur 3.5.2 Trykkpresse 22
Figur 3.6.1 Apparat for luftmåling av fersk betong 23
Figur 3.6.2 Synkmål 23
Figur 3.7.1 Graf av trykkfasthetsutvikling 24
Figur 3.7.2 Graf av modenhet 25
Figur 4.1.1.1 Graf av trykkfasthetsutvikling Anlegg FA 35 °C 27
Figur 4.1.1.2 Graf av trykkfasthetsutvikling Anlegg FA 20 °C 27
Figur 4.1.1.3 Graf av trykkfasthetsutvikling Anlegg FA 6 °C 28
Figur 4.1.2.1 Graf av trykkfasthetsutvikling CemIII/B, 35 °C 29
Figur 4.1.2.2 Graf av trykkfasthetsutvikling CemIII/B, 20 °C 30
Figur 4.1.2.3 Graf av trykkfasthetsutvikling CemIII/B, 6 °C 31
Figur 4.1.3.1 Graf av trykkfasthetsutvikling Aalborg Rapid, 35 °C 32
Figur 4.1.3.2 Graf av trykkfasthetsutvikling Aalborg Rapid, 20 °C 32
Figur 4.1.3.3 Graf av trykkfasthetsutvikling Aalborg Rapid, 6 °C 33
Figur 4.2.3 Aktiveringsenergi for Anlegg FA 34
Figur 4.2.4 Aktiveringsenergi for CemIII/B 35
Figur 4.2.5 Aktiveringsenergi for Aalborg Rapid 36

TABELLISTE

Tabell 2.4.1Feilkilder 14
Tabell 3.1.1 Testterminer 19
Tabell 3.3.1 Betongresepter 20
Tabell 4.2.1 Forsøkets aktiveringsenergier 34
Tabell 4.2.2 Hydratisjonshastighet 34

SAMMENDRAG

Tittel:	Kalksteinsmel som delvis sementsubstitutt i betong	Dato: 19.05.14
Deltakere:	Amina Hodzic og Nicklas Røberg	
Veiledere:	Guri Krigsvoll (HiG)	
	Claus K. Larsen (Statens Vegvesen)	
Oppdragsgiver:	Statens Vegvesen	
Stikkord:	Herdeteknologi, fasthet, temperaturømfintlighet, kalksteinsmel	
Antall sider: 45+46	Antall vedlegg: 9	Publiseringsavtale inngått: Ja

Oppgaven omhandler betongens egenskaper i trykk og temperaturømfintlighet når 0 %, 5 % og 10 % sement blir substituert med kalksteinsmel. Oppgaven baserer seg på ni forskjellige blandinger basert på Anlegg FA, Aalborg Rapid og Cemex CemIII/B, som herdet i 6 °C, 20 °C og 35 °C. For å kunne sammenligne de forskjellige herdeforløpene ble resultatene beregnet på modenhetsprinsippet. Denne beregningen førte til at aktiveringsenergien til de forskjellige blandingene kunne hentes ut. Resultatene framkom fra trykktesting av betongklosser over en periode på 28 døgn.

Kalksteinssubstituttet viser en positiv effekt på Anlegg FA for herding mellom 0 °C og 20 °C, men derimot en høyere temperaturømfintlighet. Cemex CemIII/B med kalksteinserstatning viser en lavere trykkfasthet i 20 °C, mens en mer sammenfallende utvikling i kaldere herdetemperaturer både tidligfasthet og sluttfasthet. Aalborg Rapid hadde en høyere fasthetsutvikling med 5 % kalksubstitutt, mens en retarderende effekt med 10 % kalk.

Forsøkene viser at kalksteinserstatning er mulig, og da med en optimal prosentandel på 5 % kalkerstatning for industrisementer og slaggsementer. Siden svært viktige parametere som bestandighet og levetid ikke inkluderes av denne rapporten, anbefales videre forskning på kalksteinsmel som substitutt.

ABSTRACT

Title:	Limestone powder as a partial cement substitute in concrete	Date: 19.05.14
Participants:	Amina Hodzic and Nicklas Røberg	
Supervisors:	Guri Krigsvoll (Gjøvik University College)	
	Claus K. Larsen (Norwegian Public Road Administration)	
Employer:	Gjøvik University College	
Keywords	Curing technology, compressive strength, temperature sensitivity, limestone	
Number of pages: 45+46	Number of appendix: 9	Availability: Open

The purpose of this bachelor thesis is to examine what kind of quality concrete possess under pressure and difference in temperature when 0 %, 5 %, and 10 % of cement is substituted with limestone powder. The bachelor thesis is based on nine different kinds of limestone mixes, which all consists Anlegg FA, Aalborg Rapid, and Cemex CemIII/B cured on 6 °C, 20 °C and 35 °C. The different curing courses are calculated using the maturity principle, in order to make a comparison. Using the maturity principle led to that we after 28 days where able to obtain results due to release of energy from the concrete models.

The results show that limestone substitute has a positive effect on Anlegg FA when curing between 0 °C and 20 °C, but rather higher temperature changes. Cemex CemIII/B with limestone substitute show rather less compression strength when temperature is 20 °C while in colder temperatures shows concurrent development both in early strength and in ultimate strength. Aalborg Rapid with 5 % limestone substitute showed higher strength development but rather less development when replaced with 10 %.

The experiments show that 5 % limestone replacement is possible, and then with an optimum percentage of 5 % lime substitute for industry cements and slag cements. Since very important parameters such as durability and longevity are not included in this report, further research on limestone as a cementsubstitute recommended.

1. INNLEDNING

Det å bruke kalksteinsmel som et delvis sementsubstitutt har vært en diskusjon siden 1980-tallet. I de senere årene har det økende fokuset på klimagassproblematikken ført til at kalksteinsmelet også har fått en oppsving og diskusjonen rundt å substituere en prosentandel av sementen med kalksteinsmel er høyst aktuell.

Sementindustrien står for ca. 5 % av det totale globale CO2-utslippet, derav 60 % av utslippene skyldes kalsineringsprosessen [2]. Kalsinering er når kalksteinsmel blir brent til kalsiumoksid (klinker) og karbondioksid. Denne kjemiske prosessen er ufravikelig i produksjon av klinker og dermed er det ikke mulig å redusere disse utslippene. De resterende 40 % av CO2-utslippene skyldes utslipp fra brensel som behøves for å generere varme til produksjonen av sement. Denne forskningsrapporten skal kartlegge effekten av å substituere 5 % og 10 % av sementmengden med kalksteinsmel, ved å se på betongens fasthetsutvikling og ømfintlighet for temperatur under herding.

Første del av oppgaven gås det inn på hvilket teorigrunnlag vi har basert oppgaven på. Under forsøket ble det produsert betong med tre forskjellige typer sementer og betongen herdet i vannbad som holdt 6 °C, 20 °C og 35 °C. På bakgrunn av dette behøvdes det kunnskap om generell herdeteknologi for å kunne gjennomføre analysering og beregning av aktiveringstall, modenhet og styrkeutvikling.

Andre del av oppgaven består av småskala forsøk som ligger i grunn for resultatene som framgår i oppgaven. Det ble utført en rekke fasthetsprøver som skal gi en oversikt over utviklingen av fastheten. Fastheten og herdetemperaturen kombinert skulle også gi et innblikk i betongens modenhet som igjen gir et sammenligningsgrunnlag for hvilken effekt kalksteinsmel har på sluttfastheten.

Det har blitt utført flere forsøk på kalksteinsmel som et substitutt. Denne oppgaven skal gi et innblikk på hvordan betongen oppfører seg med opptil 10 % kalksteinsmel, og åpne for videre forskning i Statens Vegvesen.

2. LITTERATURSTUDIE

For å få en grunnleggende forståelse av den delen av betongteknologien som omhandler denne oppgaven, ble det utført et litteraturstudie. Det er lagt et fokus på betongens egenskaper under herding og de kjemiske prosessene i betongen.

Vår forskning og prosjektets omfang begrenses delvis av K.D. Weerdts doktoravhandling fra NTNU [3]. Doktoravhandlingen utgreier om samhandlingen mellom flyveaske og kalksteinsmel og utfører lignende trykktester som også er utført i denne rapporten. I tillegg til doktoravhandlingen er rapportens begrensninger og grensesnitt basert og utarbeidet sammen med prosjektets kontaktperson i Statens Vegvesens, Claus K. Larsen (dr.ing i betongteknologi).

2.1 SEMENTTYPER OG KALKSTEIN

Betongens styrke og bestandighet styres i stor grad av sementlimet. De ulike sementene opptrer forskjellig og har forskjellige varme- og fasthetsutvikling. Standardsement har en lavere tidligfasthet enn industrisement og derav også lavere varmeutvikling. Erstattes standardsement med anleggssement vil tidligfastheten minke ytterligere, mens fastheten ved 28 døgn vil være høyere. Anleggssement resulterer altså i høyere langtidsfasthet per kilo. Sammen med tilsetningsstoffer kan man med sement regulere betongens egenskaper som fasthetstilvekst og varmeutvikling under herding [4].

Når sement blandes med vann påbegynner en rekke kjemiske reaksjoner. Disse kjemiske prosessene er sementens hydratisering og resulterer i varmeutvikling og herding. Sementens kjemiske sammensetning og finhet er derfor nært knyttet til dens evne som bindemiddel. Pozzolane tilvirkningsstoffer brukes både i sementproduksjonene og i betongproduksjonen. Når pozzolaner tilsettes i sementen (mest flyveaske og slagg) endrer dette den kjemiske sammensetningen i sementen og dermed også sementens egenskaper. Når pozzolaner tilsettes betongproduksjonen (mest silika og flyveaske) endrer ikke sementegenskapene seg, men kun betongens egenskaper. I dag produseres nær all betong med tilsetningsstoffer. Noen vanlige pozzolaner og tilsetningsstoffer er silikastøv, flyveaske og lignosulfater (P-stoffer). P-stoffer (plastiserende) og SP-stoffer (superplastiserende) brukes som vannreduserende og plastiserende tilsetninger. Disse tilsetningene brukes for å redusere vanninnholdet i betongblandingen uten å påvirke konsistens eller for å øke synkmålet uten å

påvirke vanninnholdet i blandingen [4]. Silika er et industrielt avfallsprodukt fra produksjonen av ferrosilisium, mens flyveaske er et mineralprodukt som framkommer fra forbrenningsavfallet av kullindustrien. Flyveaske brukes hovedsakelig for å styre tettheten og varmeutviklingen i betongen. Flyveaske påvirker betongens vannbehov ved blanding ved at flyveaske øker vannbehovet. I tillegg påvirker flyveaske betongens tetthet i form av økt tetthet i herdet tilstand og gir lavere varmeutvikling under herding. Dette skyldes at flyveaske reagerer kjemisk tregt og denne kjemiske prosessen foregår over måneder og år. Silika reagerer i prinsippet mye likt flyveaske, men bare mye fortere. Den kjemiske reaksjonen silika forårsaker er ferdig på uker, og reaksjonen er ofte over når betongen har nådd 28-døgnsfasthet. Silika reagerer med kalsiumhydroksid (avgitt ved hydratisering) og resulterer i tetthetsøkning i betongen og i produkter med bindemiddelegenskaper. Til forsøkene våre har vi benyttet både silikastøv og flyveaske. Alle sementene har blitt tilsatt silika ved blanding, mens flyveaske har kun vært en del av produksjonen av Anlegg FA. Pozzolanene i seg selv har ingen bindemiddeleffekt, men reagerer sammen med den basiske løsningen vann og sement danner. Silika inneholder en langt større andel silisiumdioksid (>95 %) i forhold til flyveaske. Pozzolanreaksjonen er veldig lik for både silika og flyveaske:

$2\ SiO_2 + 3\ Ca(OH)_2 \rightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$

$2\ S + 3CH \rightarrow C_3S_2H_3$

Silika + Kalsiumhydroksid → C-S-H

Reaksjonen mellom pozzolaner og sement gir en større mengde C-S-H- gel per mengde sement. Det er C-S-H gelen som gir bindeeffekt i betong og den er mengdeavhengig. Større mengde C-S-H gir bedre fasthet.

2.2 HERDETEKNOLOGI

Herdeteknologien ble utviklet for å beskrive sammenhengen mellom varme og hydratisjonshastigheten, samtidig som det skulle kartlegge betongens egenskaper som en funksjon av tid og temperatur. Nå vet vi at hydratisjonshastigheten til betongen henger nøye sammen med temperatur. Ved høye eksterne temperaturer vil hydratiseringen øke og eksempelvis vil betongen herde mer enn dobbelt så fort ved 40 °C grader enn ved 20 °C. Hydratisjonshastigheten til portlandsement gis ved hastighetsfunksjonen H(θ).

$$H(\theta) = e^{\frac{E(\theta)}{R}\cdot\left(\frac{1}{293}-\frac{1}{273+\theta}\right)} \qquad \text{Ligning 2.2}$$

E(θ) = aktiveringsenergi, kJ/mol

$$E(\theta) = A + B(20 - \theta), \mathrm{B} = 0 \text{ for } \theta > 20\ °C$$

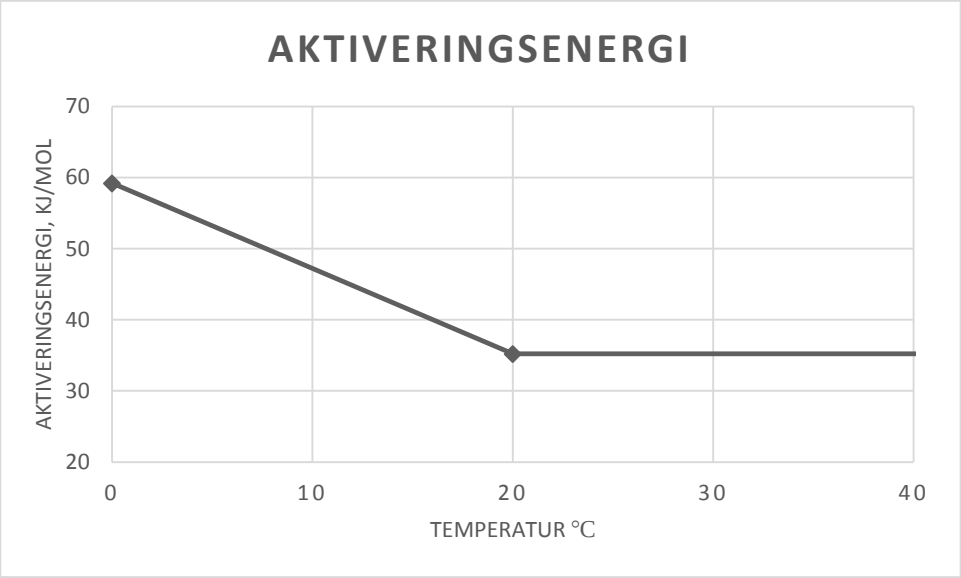
(A og B er verdier bestemt ved kurvetilpasning av fasthetsutvikling ved 20 °C)

Θ = temperatur, °C

R = gasskonstant, 8,314 J/mol · °C

Hastighetsfunksjonen er utledet fra sammenhengen mellom temperatur og kjemisk aktivitet og gjelder for en temperatur θ i forhold til hydrasjonshastigheten ved 20 °C. Denne referansegraden er valgt grunnet fasthetsutvikling i laboratoriearbeid, da 20 °C er mest brukt i undersøkelser [5, 6].

Hydratisjonshastigheten er også avhengig av aktiveringsenergien. Aktiveringsenergien henviser til hvor temperaturfølsom den kjemiske reaksjonen er. Den kjemiske reaksjonen skjer raskere i varmere omgivelser, og som det framgår i figur 2.2.1 er temperaturfølsomheten økende når temperaturen faller under 20 °C. Over 20 °C er følsomheten konstant. En lav aktiveringsenergi tilsvarer dermed en sement som er temperaturbestandig. En sement med lave A- og B-verdier vil på tross av temperaturen ha en jevn og høy fasthetsutvikling. Aktiveringsenergien er en funksjon av temperaturen og er en grov tilpasning til virkeligheten [7]. For å kunne beregne hastighetsfunksjon og aktiveringsenergi må herdeforløp ved to andre temperaturer være kjent.



Figur 2.2.1 Aktiveringsenergi. Figuren viser en vilkårlig aktiveringsenergi. Typiske verdier for A er 20-40 kJ/mol og for B 1,0-1,5 kJ/mol. I denne figuren er A=35,2 kJ/mol, og B=1,20 kJ/mol.

For å kunne sammenligne herdeforløp ved forskjellige herdetemperaturer, må betongens ekvivalente alder ved 20 °C beregnes. Deretter må nødvendig hydratiseringstid ved annen temperatur beregnes for å finne tilsvarende hydratiseringsgrad. Den virtuelle alderen tilsvarer det herdeforløpet betongblandingen ville hatt hvis den skulle oppnådd samme hydratisering ved 20 °C. Denne beregnede verdien er verdiløs og er omtalt som modenhetsprinsippet. For en hastighetsfunksjon lik 2, vil en betong herdet i 5 timer ved 36 °C ha samme modenhet som en tilsvarende kloss herdet i 10 timer ved 20 °C (se figur 2.2.2). To klosser med samme modenhet vil altså ha samme fasthet uavhengig av herdetid og herdetemperatur.

Temperatur [°C]	H(θ)	*Temperatur* [°C]	H(θ)
0	0,16	20	1,0
1	0,18	21	1,06
2	0,20	22	1,12
3	0,22	23	1,18
4	0,26	24	1,23

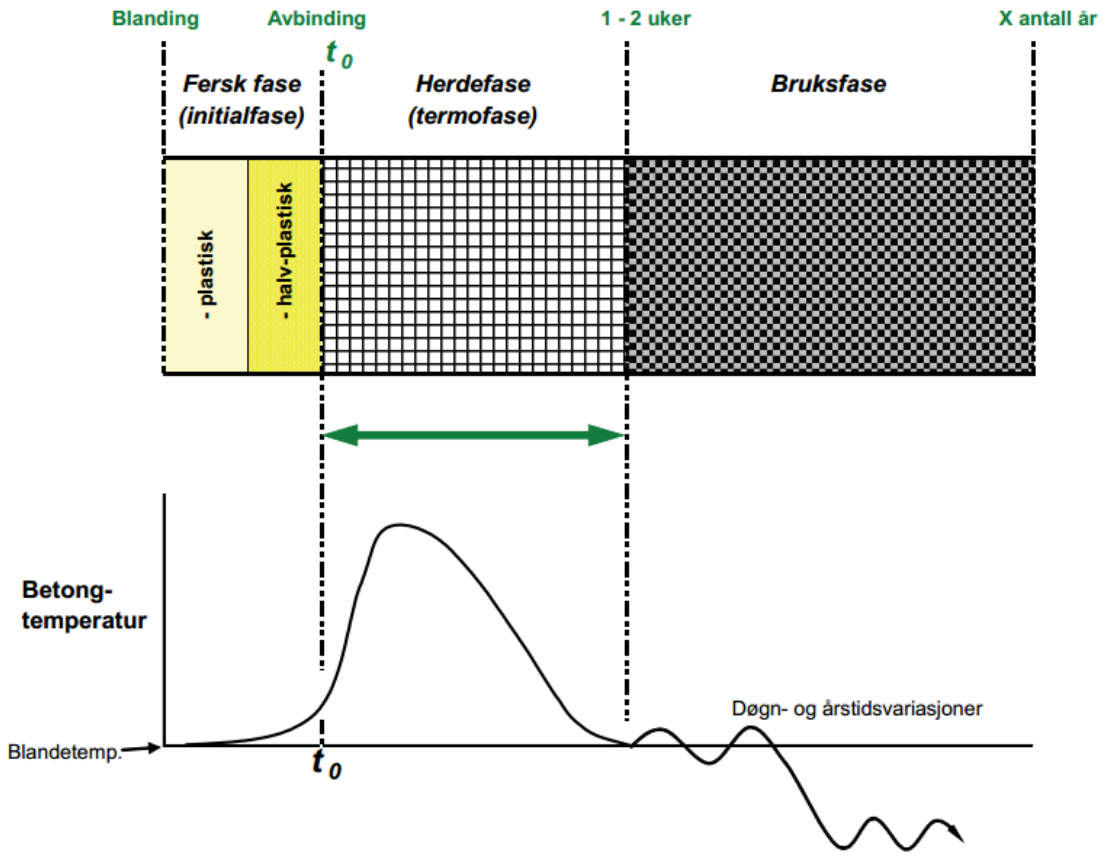
5	0,28	25	1,29
6	0,32	26	1,35
7	0,35	27	1,40
8	0,39	28	1,44
9	0,42	29	1,51
10	0,47	30	1,57
11	0,53	31	1,65
12	0,56	32	1,71
13	0,60	33	1,79
14	0,65	34	1,86
15	0,70	35	1,96
16	0,75	36	2,02
17	0,81	37	2,07
18	0,86	38	2,15
19	0,94	39	2,24
20	1,00	40	2,35

Figur 2.2.2 Typiske verdier for hastighetsfunksjonen H(ϑ).

Modenhetsprinsippet beskriver både varme- og fasthetsutviklingen til betongen ganske entydig i tidlig fase, tilnærmet til 100 modenhettimer. Siden herding i 5 °C gir høyere sluttfasthet enn tilsvarende herding i 20 °C og 35 °C, vil dette medføre at modenhetsprinsippet ikke vil være like nøyaktig i senere herdeprosess.[7]

2.3 TRYKKFASTHET OG TESTING

Fasthetstilveksten er som tidligere nevnt avhengig av flere parametere som sement, temperatur og tilsetningsstoffer. Den kjemiske reaksjonen mellom vann og sement bidrar til å utvikle styrke og denne utviklingen deles inn i tre faser; fersk fase, herdefase og bruksfase.



Figur 2.3.1 Betongens faser. Kilde: [1]

Den ferske fasen varer fra vanntilsetning til avbindingstiden, t_0. Dette tidsspennet varierer fra 6-12 timer avhengig av temperatur, sement etc. I denne fasen setter betongen seg og betongens første mekaniske egenskaper kan måles ved avbindingstiden. Ved avbindingstiden begynner herdefasen og betongen er på dette tidspunktet størknet. Under herdefasen får betongen sine karakteristiske og varige egenskaper. Herdefasen varer til betongen er i termisk likevekt med omgivelsene (typisk etter 1-2 uker). Etter at betongen har oppnådd denne tilstanden, er betongen i bruksfasen. Denne fasen kan vare fra 50 år til 100 år. For betong brukt i bruer i Statens Vegvesen er denne fasen 100 år.

Siden trykkfasthet er den vanligste konstruktive egenskapen til betong har det også blitt det viktigste kvalitetskriteriet for betong. Fasthetsutviklingen til betong bestemmes ved trykktesting av prøveklosser, og siden tidligfasthet er det mest aktuelle å kartlegge legges de fleste prøvingene til de første 48 modenhetstimene. Trykkfastheten bestemmes ved å

beregne gjennomsnittet av to prøvestykkers bruddlast. Trykkfasthet målt i laboratorium av spesiallagde terninger kan defineres slik;

Fasthet er middelverdien av maksimallast omregnet til nominell spenning for en serie standardiserte prøvestykker belastet til et brudd i en gitt belastningssituasjon.

Hentet fra Betongteknologi 2007 [7]

2.4 USIKKERHET VED MÅLING AV RESULTATER

Ved testing av trykkfasthet til prøveklosser er det flere moment som kan påvirke nøyaktigheten på resultatene. Disse faktorene er oppsummert i tabell 2.4.1.

Faktor	**Forklaring**
Fuktinnhold	Prøveklossene må testes i våt tilstand og skal iht. Håndbok 14 (SVV) trykktestes umiddelbart etter at prøvene tas opp av vannbadet. En delvis tørket kloss vil ha en større fasthet enn en fuktet kloss. Årsaken til dette er at en fuktet overflate kan redusere friksjon mellom klossen og trykkpressa slik at fastholdning reduseres. Krav til fukt gis i NS-EN 3668.[8]
Variasjon av tilslag i prøveklossen	Ved at en kloss inneholder mer tilslag (flere steiner) vil gi utslag i større densitet og kan da også gi utslag i fastheten. Partikkelinterferens kan også gi nedsatt fasthet.
Prøveklossens størrelse	En stor kloss vil oppleve en lavere fasthet enn i en mindre kloss grunnet større sannsynlighet for feil/sprekker.
Overflate	Klossene kan ha ruglete og ufullstendige kanter. Dette kan gi utslag i trykkfastheten da trykkfastheten beregnes som bruddlast dividert på trykkflatens areal.

Reseptfeil	Blandingen er ikke utført korrekt. Kan inneholde ukorrekte oppmålte bestanddeler.
Feil av måling av klosser	Feil ved manuell oppmåling av sidene til klossen og feil ved veiing i våt og tørr tilstand. Vektene må også kalibreres og sjekkes jevnlig.
Feil i gjennomføring	Klossene må sentreres i trykkpressa og klossen må belastes jevnt. Ved eksentrisk plassering i trykkpressa kan det gi skjevbelastninger og lokal overbelastning som fører til tidlig brudd. Krav til gjennomføring er gitt i NS-EN 12390-1. Trykkpressa må også kalibreres og kontrolleres.
Pålastningshastighet	Trykkpressas pålastningshastighet har mye å si for trykkfastheten til prøveklossene. Jo høyere hastighet (MPa/s), jo høyere trykkfasthet.
Variasjoner i temperatur under herding	Vannbadene hadde avvik på ± 2 grader, men luft med større temperaturforskjeller kunne slippe til vannbadene og påvirke vanntemperaturen. Trekk fra eksempelvis dører og lufteanlegg skape temperaturforskjeller i oppbevaringsrommene. Avvik fra riktig lagringstemperatur gir stort utslag ved alder opp til 7 døgn og mindre ved 28 døgn.

Tabell 2.4.1 Feilkilder ved testing av prøveklosser.

2.5 KVALITETSSIKRING AV RESULTATER

Det har vært en diskusjon mellom forskere hvorvidt overflatefuktighetsgraden til en prøvekloss spiller inn på trykkfastheten under testing. For å avklare hvilke effekt overflatefuktigheten på terningene våre hadde ved testing, utførte vi trykktester til 30 like terninger. Vi trykktestet 10 terninger umiddelbart etter opptak av vannbad, 10 terninger som tørket i romtemperatur i 1 time og 10 terninger som tørket i 24 timer i romtemperatur. Vi gjennomførte en verifiseringstest for å avklare usikkerhetsgraden av testprosessen vår. Resultatene fra denne testen framkommer i kapittel 4.3.

2.6 SEMENTPRODUKSJON OG MILJØ

Utgangspunktet for produksjon av sementpulver er kalksteinspulver eller råkalksmel og er hovedbestanddelen i ferdig sement. Kvaliteten på kalksteinen måles ut fra andelen stoffet kalsiumkarbonat og hvordan krystallstrukturen er bygd opp kjemisk.

For at kalsiumkarbonat skal bli et effektivt bindemiddel sammen med vann, må karbondioksid trekkes ut fra råkalksmelet. Ubehandlet kalsiumkarbonat løser seg ikke i vann og kan ikke oppføre seg som et bindemiddel før det varmebehandles. Denne prosessen kalles kalsinering og består av oppvarming av kalksteinsmel til den grad at det påbegynner en kjemisk prosess. Under denne prosessen blir det frigjort karbondioksid og kalsiumoksid gjenstår. Kalsiumoksid reagerer for øvrig med vann og på dette stadiet av prosessen er kalsiumoksidet formet som små kuler, altså klinker.

Kalsineringsprosess: CaCO3 = CaO + CO2(g)

Klinkeren blir senere malt opp for at massen skal ha større overflate. Størrelsen på overflaten i massen gir utslag i hvor raskt reaksjonen mellom klinkermelet og vann skjer.

Sementindustrien står ovenfor en miljøutfordring. Det er anslått at ca. 5 % av verdens CO_2 utslipp kommer fra sementindustrien. Fra selve produksjonen av sement oppgis det at det slippes ut om lag slippes ut 500 gram CO_2 per kg produsert sement [2]. Sementprodusenten Heidelberg opplyser at ett tonn sement har et utslippspotensiale på 719 kg fra uttak og produksjonsstadiet til den er destruert [9]. Ved å erstatte deler av sementmengden med råkalksmel vil det i hovedsak være mulig å redusere utslipp fra kalsineringen i direkte sammenheng med mengden sement som har blitt erstattet med råkalksmel. Ved å tilsette råstoff direkte til det ferdige produktet på denne måten, er det derfor å anta at det kan forventes innsparinger i produksjonstid og produksjonsutgifter. Det vil også bli en reduksjon i utslipp av CO2-utslipp fra brenselovnene som generer varme til brenning av sement.

2.7 KALKSTEINSMEL SOM SUBSTITUTT

Noen sementprodusenter benytter allerede råkalksmel som filler til sine sementer og produsenter av råkalksmel annonserer sitt produkt som en filler i betong [10]. Det vil si at mengden sement ikke reduseres, men tillegges en liten mengde råkalksmel. Det er imidlertid to teorier om hvilke innvirkning den har på betongen.

Bindemiddel: Kalkmel har mange like egenskaper som sement. Det er bevist at kalk alene og kalk sammen med hardbrent gips er benyttet som et bindemiddel i seg selv i byggverk fra år 6000- 2000 f. Kr. [4]. Moderne forskning har bidratt til en hypotese om at kalksteinspulver spesielt i betonger med flyveaske vil ha en forsterkende effekt på trykkfastheten. Ettersom flyveaske reagerer med sement, frigjøres aluminater. Dette fører til at aluminat/sulfat forholdet i betongen reduseres. Bivirkningen av denne reaksjonen er at etteringitt som er et krystallisk reaksjonsprodukt, brytes ned ettersom det er avhengig av et visst sulfatinnhold. Dette fører til dannelse av kalsiummonosulfathydrat.
For FA-betonger med kalksteinsinnhold, vil kalk antakelig reagere med aluminater fra reaksjonen med flyveaske, og danne kalsiumkarboaluminathydrater. Direkte resultat av dette vil være mer etteringitt, mer kjemisk bundet vann i betongen og større mengder hydrater. Dette fører igjen til høyere styrke på betongen ved at kalkstein bidrar til en bindende effekt.

Filler: Kalk kan da ha en egenskap hvor den er med på å fylle ut hulrommene i betongen og dermed gir en tettere betong. En betong med høy tetthet er godt komprimert og har lite luft og hulrom. Dette gjør til at betongen har en større evne til å motstå trykk.

De mengder kalksteinsmel som allerede tilsettes betonger som filler ligger på 5 % og mindre. Oppgaven tar for seg å teste hvilken effekt kalk som bindemiddel har på sluttfastheten til de forskjellige betongtypene. Oppgave har lagt i grunn at noe særlig mer enn 5 % kalkmelserstatning ville gi mye reduksjon i sluttfastheten, men derimot 10 % erstatning ville antakelig være over grensesnittet for hvor mye kalkstein betongen kunne erstattes med uten betydelig tap av sluttfasthet. Av denne grunn ble betongresepter tilsatt 10 % kalkstein utført som en verifikasjon på at sluttfastheten ble begrenset. Av praktiske årsaker grunnet støping og antall prøveklosser ble blandingene tilsatt 10 % kalkstein begrenset til kun å herde i 20 °C vannbad. Disse resultatene var tilstrekkelige for å bekrefte eller forkaste teorien om 10 % kalkstein vil gi reduksjon i trykkfasthet.

3. FASTHETSTESTING AV BETONGKLOSSER

Det ble utført et småskalaforsøk der vi så på fasthetsutvikling og temperaturømfintlighet under herding til ni forskjellige betongblanding. Det ble brukt tre forskjellige sementer, med 0 %, 5 % og 10 % kalksteinsmel som substituerte sementandelen. Blandingene med 0 % og 5 % kalksteinsmel herdet i 6 °C, 20 °C og 35 °C vannbad, mens blandingene med 10 % kalksteinsmel herdet i 20 °C vannbad.

Hensikten med forsøket er å kartlegge hvordan betongen opptrer under herdeprosessen og hvordan betongegenskapene forandrer seg ved tre forskjellige andeler kalksteinsmel. Resultatene ble registrert med hjelp av trykktesting og temperaturmålinger under herdetiden, samt ble synlige egenskaper som støpelighet også registrert. Forsøkene ble gjort ved Statens Vegvesens sentrallaboratorium i Oslo. Testene er basert på Håndbok 014-6 [5] som er gjeldende regelverk i Norge og NS-EN 12390 [6] med hensyn på utførelsen av støping og herding av betong.

Følgende kapitler gir en beskrivelse av det arbeidet som er gjort på forhånd og i etterkant av testene. Betongreseptene og støpeprosessene er også omtalt. Figurene, tabellene og diagrammene er utarbeidet av forfatterne selv, med mindre noe annet er oppgitt i teksten.

3.1 FORSØKETS SEMENTER

Vi har i dette prosjektet vurdert effekten av kalkerstatning til Aalborg Rapid, Cemex CemIII/B og Anlegg FA. De forskjellige egenskapstypene til sementene oppsummeres her.

Anlegg FA er en anleggssement og en sementtype spesielt tiltenkt norske forhold. Anlegg FA inneholder 20 % flyveaske og kan benyttes i mange eksponerings- og fasthetsklasser. I Norge ble denne typen betong innført gjennom Statens Vegvesen i 1990-årene. Denne sementen er kjent for å være en sementtype hvor reaksjon og temperaturutvikling er relativt sen. Anlegg FA er en sement som er mye brukt i Statens Vegvesen grunnet dens gode støpelighet, høye fasthet og resistans mot kloridinntrengning.

Cemex CemIII/B har et høyt innhold av slagg (ca. 75 % av sementmengden). Slagg er et avfallsprodukt fra råjernsproduksjon, og medfører i kombinasjon med flyveaske til redusert varmeutvikling under herding og en senere, men høyere sluttfasthet. Dette resulterer i

relativ lav tidligfasthet. Cemex CemIII/B er en sement som er svært bestandig og har en god støpelighet.

Aalborg Rapid er en sement med høy tidligfasthetsutvikling og stor temperaturutvikling. Betong blandet på denne sementen oppleves som noe seigere enn de to foregående. Denne sementen er attraktiv på grunn av egenskapene sine ved vinterstøyp der hvor Norcem industrisement må velges bort på grunn av sitt store alkaliinnhold. Sementen har også god bestandighet mot sulfater og klorider og det kan benyttes alle typer tilsetningsstoffer i den. Aalborg Rapid vil også få gode egenskaper ved iblanding av filler. Aalborg Rapid er en sement som også brukes mye i Statens Vegvesen i kombinasjon med flyveaske. Aalborg Rapid inneholder allerede 5 % kalksteinfiller av en meget høy finhet.

3.2 STØPE- OG TESTMETODE

For å kunne svare på hvilke innvirkning sementerstatning med kalk har på ferdig betong, tok vi for oss tre typer sement; Aalborg Rapid av Aalborg Portland, Cemex III/B av Cemex og Anlegg FA av Norcem. Disse sementene ble utgangspunkt for ni blandinger der hver sement skulle substitueres med 5 % og 10 % kalksteinsmel. Det ble også støpt tre blandinger av hver sementtype uten kalksteinsmel som skulle utgjøre sammenligningsgrunnlaget.

Hver av blandingene utgjorde 36 standardiserte betongklosser på 100x100x100 mm. Disse klossene ble fordelt på tre forskjellige vannbad som holdt 6 ℃, 20 ℃ og 35 °C, ± 2 °C under hele herdetiden. Det var altså 12 klosser fra hver blanding som herdet nedsunket i vann i de representative temperaturene. I en av klossene fra hver blanding og herdetemperatur ble det støpt inn en temperatursensor som registrerte temperaturen i betongen hvert femtende minutt. Blandingene med 10 % kalkstein ble ikke faststøpt temperaturføler siden dette temperaturforløpet ikke er av interesse. Grunnen til temperaturregistreringen av øvrige blandinger var for å loggføre temperaturutvikling under hele herdetiden. Temperaturforløpet ble senere brukt til å analysere forskjellen i temperaturutviklingen til de forskjellige blandingene og ble et ledd i videre analysering av betongens temperaturømfintlighet under herding.

Figur 3.1.1 Ferdig utstøpte og avformede testklosser. Foto: Amina Hodzic

Figur 3.1.2 Nylig støpt betong. Betonger herder i et døgn i stålformer. Foto: Amina Hodzic

Prøveklossene fikk herde i ca. et døgn nedsenket i vannbad ved de aktuelle temperaturene i stålformer før klossene ble avformet og merket med et ID-nummer. Klossene i de tre badene skulle testes etter forskjellige tidspunkt uavhengig av sementtype. Testterminene framkommer i tabell 3.1.1. og fullstendige testterminer finnes i Vedlegg [2]. Årsaken til de forskjellige testterminene er modenhetsprinsippet. Siden det er den tidlige fastheten som er mest interessant er testterminene lagt til de første 48 modenhetstimene.

5 °C	**20 °C**	**35 °C**
2 døgn	18 timer	6 timer
3 døgn	2 døgn	18 timer
5 døgn	3 døgn	24 timer
7 døgn	7 døgn	3 døgn
14 døgn	14 døgn	14 døgn
28 døgn	28 døgn	28 døgn

Tabell 3.1.1 Testterminer for de forskjellige temperaturene.

Ved fasthetstesting ble det testet to klosser på samme testtidspunkt. Disse klossene ble veid både på vekt og nedsunket i vann. Dette er for å bestemme densiteten på klossene ved hjelp

av Arkimedes' prinsipp om oppdrift. Prinsippet tilsier at tettheten til prøveklossen kan defineres ved formelen for relativ tetthet.

Formel 3.1.2 Densitet.

$$Densitet = \frac{Vekt}{\frac{Vekt - vekt\ i\ nedsunket\ tilstand}{Vannets\ densitet}}$$

Prøveklossene blir så sentrert i trykkpressa og belastet til brudd. Resultatene registerets både elektronisk og manuelt på papir. Eventuelle avvik ble også notert.

3.3 BETONGRESEPT

Alle betongreseptene er utarbeidet av Statens Vegvesen og ble basert på et vann/bindemiddel-forhold på 0,4. Det ble tilsatt mikrosilika og superplastiserende stoffer i blandingene. Tabell 3.2.1 viser de faktiske oppmålte verdiene. Grunnen til at verdiene i tabellen avviker noe fra betongreseptene i Vedlegg [1] er at resepten ble tilpasset etter fuktinnhold i tilslaget og ønsket konsistent på blandingen (SP-stoff).

Tabell 3.3.1. Forsøkets betongresepter.

Resept	**Resept pr 50 liter**						
[Kg], [l]	Sement	Kalksteinsmel	Mikrosilika	Vann	Sand 0-8 mm	Grus 8-16 mm	SP-stoff
Anl. FA 0	20,441	0	0,818	7,191	47,636	41,502	0,164
Anl. FA 5	19,490	0,975	0,780	7,177	47,636	41,502	0,0700*
Anl. FA 10	18,622	1,865	0,745	7,165	47,636	41,502	0,0782*
Cemex 0	20,866	0	0,835	7,286	47,588	41,560	0,167
Cemex 5	19,842	0,991	0,793	7,561	47,404	41,502	0,0516*
Cemex 10	18,941	1,894	0,758	7,308	47,636	41,502	0,0468*
Rapid 0	20,937	0	0,837	7,397	47,636	41,502	0,167
Rapid 5	19,944	0,997	0,798	6,897	47,636	41,502	0,0781*
Rapid 10	19,035	1,904	0,763	7018,5	47,636	41,502	0,0751*

**Brukt Glenium med 33 % virkestoff istedenfor 15 % virkestoff.*

3.4 KALKSTEINSMEL OG TILSLAG

I dette forsøket ble det brukt kalksteinsmel fra Franzefoss Bruk. Dette kalksteinsmelet kommer fra et brudd i Verdalen og grunnen til valget av dette kalksteinsmelet er kalksteinsmelet fysiske form. Dette kalksteinsmelet ligner mest i finhet på sement og er i tillegg et rent kalksteinsmel i form av at det inneholder en høy andel kalsiumkarbonat. Datablad for forsøkets kalksteinsmel er i Vedlegg [5].

Tilslaget som ble brukt i dette forsøket kommer med båt fra Svelvik til Unicons mottak og blandeverk på Sjursøya, Oslo. Vegvesenet bruker ofte dette tilslaget grunnet at utleveringsstedet for tilslaget ligger i nærheten av laboratoriet. Dette tilslaget benyttes videre i betongproduksjon i blandeverket like ved.

3.5 TESTINSTRUMENTER

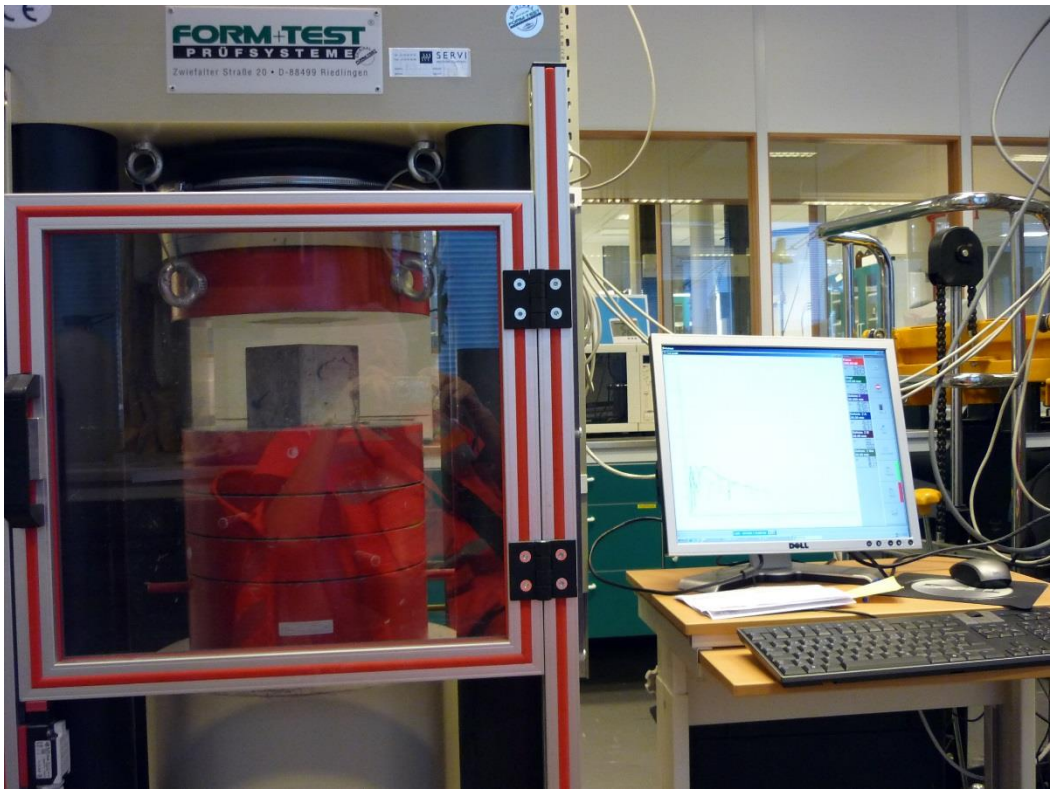
All testing skjedde ved Statens Vegvesen sentrallaboratorium i Oslo, region Øst. Her ble betongen blandet, støpt, herdet og testet. Laboratoriet stilte også nødvendig utstyr til oppgavens disposisjon. Testutstyret vi har brukt benyttes daglig til kontroll av betong benyttet på anleggskonstruksjoner til Statens Vegvesen og det føres internkontroll for utstyret etter ISO 9001:2008.

3.5.1 TERMOMÅLER MED LOGGEFUNKSJON

Temperaturloggerne var ikke benyttet på en stund, og var ikke under rutinemessig kontroll. For å være sikker på at disse var korrekte, ble det utført en testserie på dem samlet før logging av betongtemperatur. Ved å sammenlikne resultater fra temperaturloggen med stikkprøver har vi grunnlag for å oppgi disse resultatene som sannsynlige.

3.5.2 TRYKKPRESSEN

Terningene ble trykket i en digital hydraulisk testpresse av fabrikatet FORM+TEST Prüfsystemer. Pressa var en 3000 kN-presse og var koblet opp mot testprogrammet Proteus, der vi kunne avlese kraft i nåtid og maksimalbelastning. Ved å legge inn de oppmålte verdiene av vekt og mål på terningen, kunne programmet regne ut et grovt overslag av densiteten til hver prøveterning. Pålastningshastigheten til maskinen ble satt til 0,6 MPa/s ± 0,2 MPa/s, og klossene ble definert som brudne hvis lasten ga etter mer enn 0,5 %.



Figur 3.5.2 Trykkpressa og oppkoblet dataprogram. Foto: Statens Vegvesen.

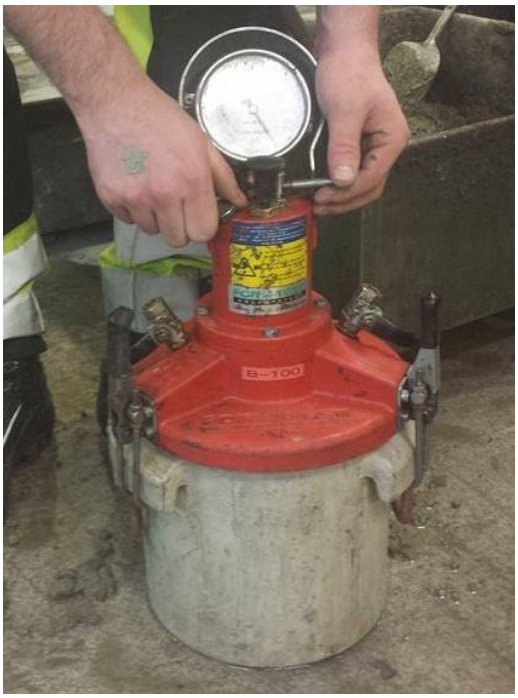
3.6 TEST- OG BLANDINGSPROSEDYRE

Test- og blandingsprosedyre ble basert på Håndbok 014 av Statens Vegvesen.

3.6.1 BLANDINGSPROSEDYRE

Alle betongblandingene ble framstilt etter prosedyre som er beskrevet i Håndbok 014.621 [5]. Før blanding ble fuktinnhold i tilslaget målt, deretter ble alle komponentene veid opp. Etter blandingsprosedyren ble både luftinnhold, synkmål og betongtemperatur målt og notert, før blandingen ble støpt ut i forhåndssmurte stålformer. Grunnen til vårt valg av stålformer, var av tidligere erfaringer ved Statens Vegvesen viste at forskalingssformer av

plexiglass ikke ga nøyaktige nok overflater på testterningene. Etter at blandingen var utstøpt, ble formene lagt inn i vannbad for de ulike temperaturene. Betongen fikk herde i former i et døgn for så å bli avformet og herde videre i vannbad til testtermin.



Figur 3.6.1 Måling av luftinnhold i nyblandet betong. Foto: Amina Hodzic

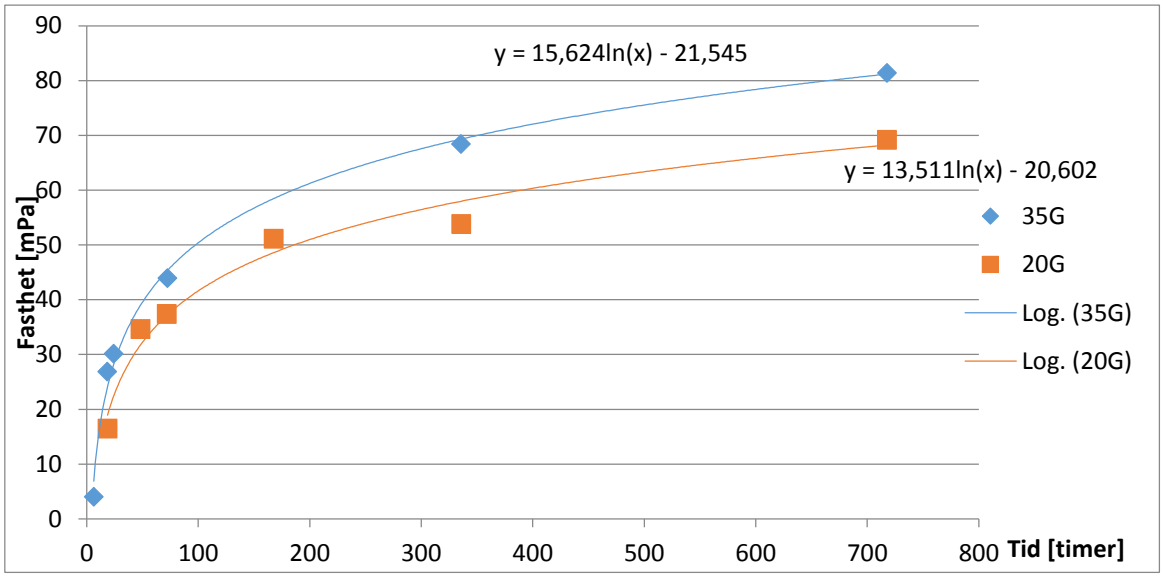
Figur 3.6.2 Måling av synkmål. Foto: Amina Hodzic

3.6.2 TESTPROSEDYRE

Som det framgår i kapittel 3.1 ble det testet to klosser per testtermin. Etter at klossene er tatt opp av vannbadet og klargjort for trykktesting blir de i dette tidsrommet oppbevart under et vått klede for å begrense uttørking. Klossene ble veid i både tørr tilstand og nedsunket i vann. I tillegg ble sidelengdene til klossen målt og notert. Trykkprøvingen fulgte prosedyrene som framkommer av NS 12390-3 *Prøving av herdet betong [6].* Testflatene på terningene var bestemt fra utstøpningen. Det ble brukt hensiktsmessige sideflater bestemt av forskalingsformens utforming. Ved testing ble de bestemte sideflatene plassert mot trykkflatene i testpressa og sentrert for deretter bli belastet til brudd. Resultatene registerets både elektronisk og manuelt på papir.

3.7 MODENHET

For å kunne analysere og sammenligne de forskjellige blandingene måtte aktiveringsenergien og modenheten regnes ut. Prinsippet om lik modenhet gir lik fasthet tillater oss å finne fram til hydratisjonshastigheten og aktiveringsenergien. Figur 3.7.1 til 3.7.2 viser framgangsmåten for beregning av modenhet og aktiveringsenergi. Som et hjelpemiddel til dette ble det brukt et regneark (Excel) utarbeidet av Sverre Smeplass fra Skanska.



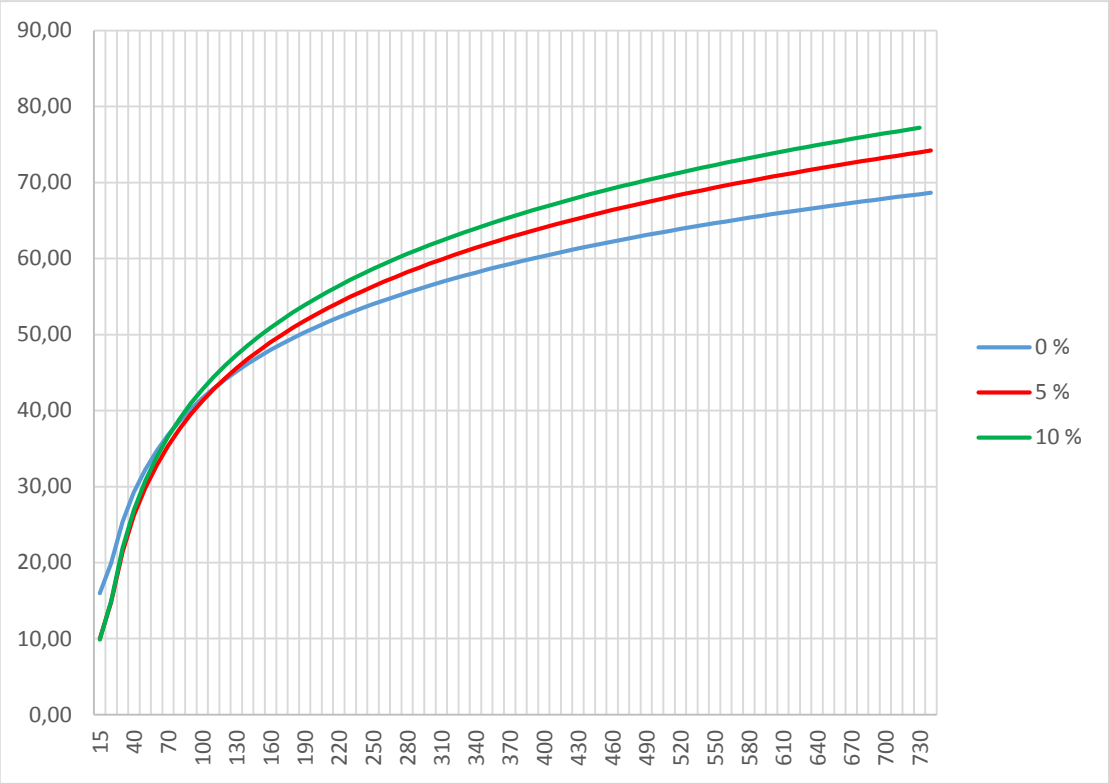
Figur 3.7.1 Graf med rådata.

Alle dataene med registrerte fastheter plottes inn i et skjema og av disse punktene framkommer tilpassede grafer med fastheten som en funksjon av tiden som i figur 3.7.1. Deretter skal A-verdien tilpasses etter formelen for aktiveringsenergi;

$$E(\theta) = A + B(20 - \theta), \mathrm{B} = 0 \text{ for } \theta > 20\ °C$$

Siden vi vet at A-verdien er konstant for over 20 °C, begynner vi først med å tilpasse denne. Tilpasningen gjøres i intervallet fra blandingstidspunkt til da fastheten er 40 % av 28-døgnsfastheten. Ved å tilpasse A-verdien vil 35 °C-serien legge seg tett på grafen til 20 °C eller egenskapsfunksjonen. Etter dette er gjort, må vi tilpasse 6 °C-serien. Dette gjøres ved å tilpasse B-verdien (figur 3.7.2). Etter A- og B-verdien er funnet kan vi regne ut hydratisjonshastigheten til de forskjellige betongblandingene etter formel 2.2. Når begge grafene er tilpasset etter 20 °C-serien ser vi grafene samles og slik kartlegger vi aktiveringsenergien og modenheten. Modenhetsgrafen brukes i denne oppgaven til å verifisere at de aktiveringsverdiene vi har kalkulert er gyldige og nøyaktige. Ved helt

overlappende modenhetsgrafer opp til 40 % av 28-døgnsfastheten er aktiveringsverdiene de mest nøyaktige.



Figur 3.7.2 Graf over modenhet. A-verdier (35 °C) og B-verdier (6 °C) er tilpasset.

4. RESULTATER

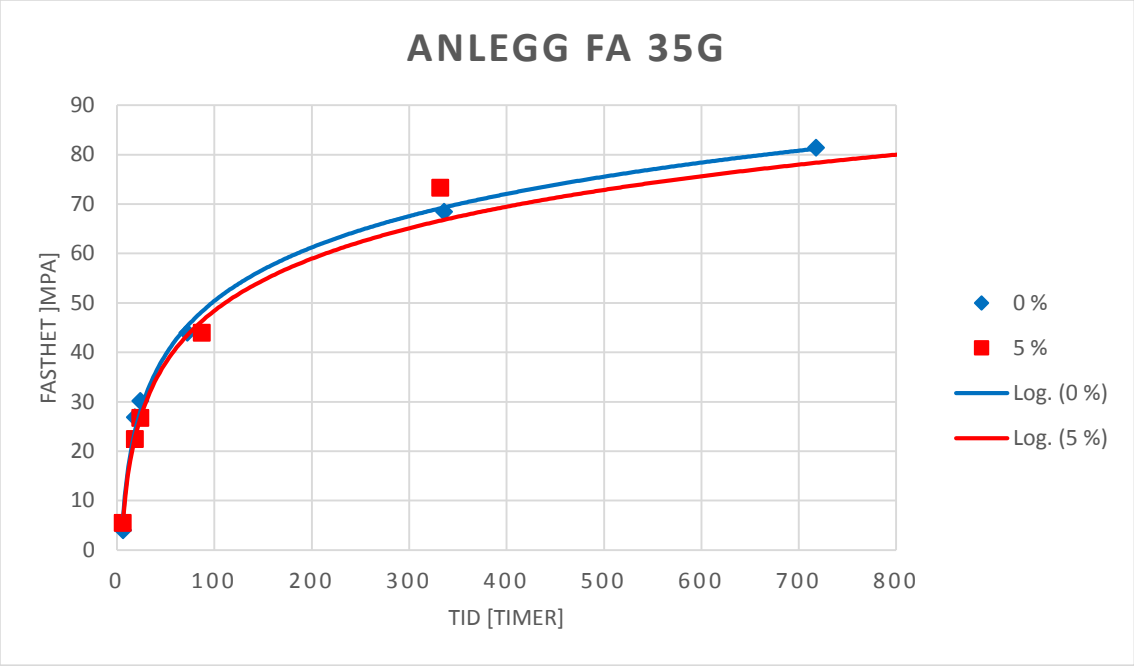
Resultatene som framkommer i det første delkapittelet er kun framstilt på fasthetsutvikling. Komplett fasthetsdata til de forskjellige blandingene er gitt i Vedlegg [3]. I andre delkapittel ses det på temperaturforløpet og hydratiseringen til de forskjellige blandingene. Deretter ses det på modenhet og resultatene drøftes ytterligere. Videre blir feilkildene vurdert og deres påvirkning for forsøket. Alle grafer og figurer i dette kapittelet er utarbeidet av forfatterne selv. Rådataene er hentet fra forsøkene ved trykktesting og deretter blitt bearbeidet etter modenhetsprinsippet.

4.1 RESULTATER TRYKKFASTHET

Resultatene er gitt i MPa (Mega Pascal). Disse verdiene må multipliseres med 10 for å konvertere til kN (kilo Newton). Resultatene er framstilt slik at effekten kalksteinen har på trykkfastheten belyses. Sluttfasthetene (28 døgn) til de forskjellige blandingene er regnet ut fra de representative grafene som er tilpasset etter de fasthetsverdiene vi fikk av trykktestingen. Testterminene til de forskjellige prøveklossene framkommer av figur 3.1.1. En komplett oversikt over resultatene for trykkfasthetene finnes i Vedlegg [2].

4.1.1 ANLEGG FA

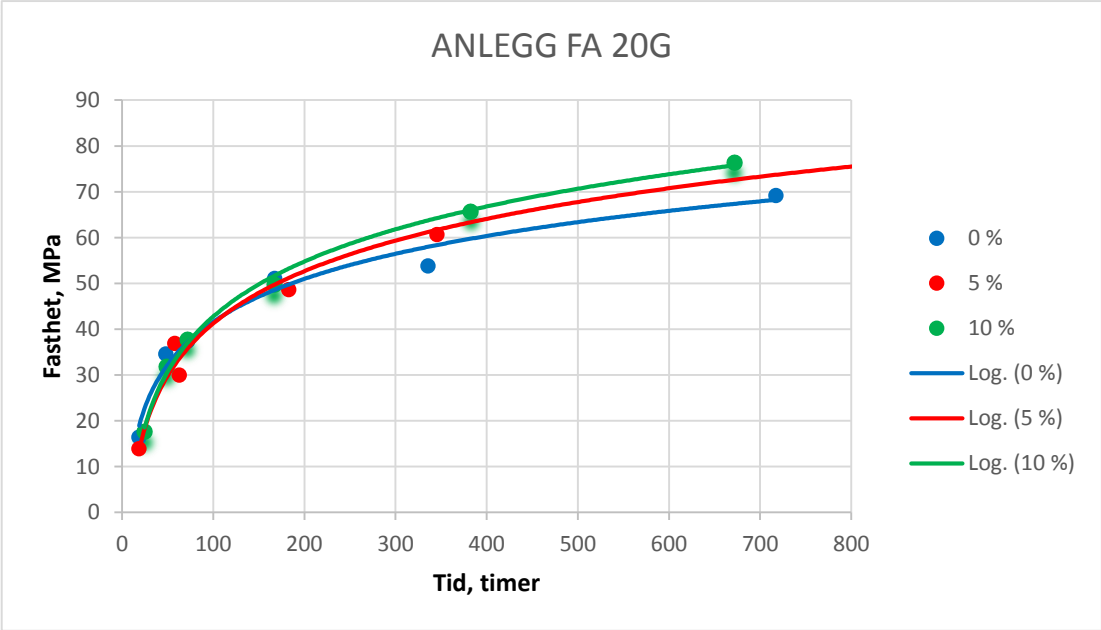
Av figurene i dette delkapittelet framkommer det resultater av Anlegg FA herdet i forskjellige temperaturer. Resultatene blir representert i grafer der klosser herdet i 35 °C blir representert først. Deretter 20 °C og 5 °C.



Figur 4.1.1.1 Graf av trykkfasthet som en funksjon av tid. Anlegg FA, herdetemperatur 35 °C.

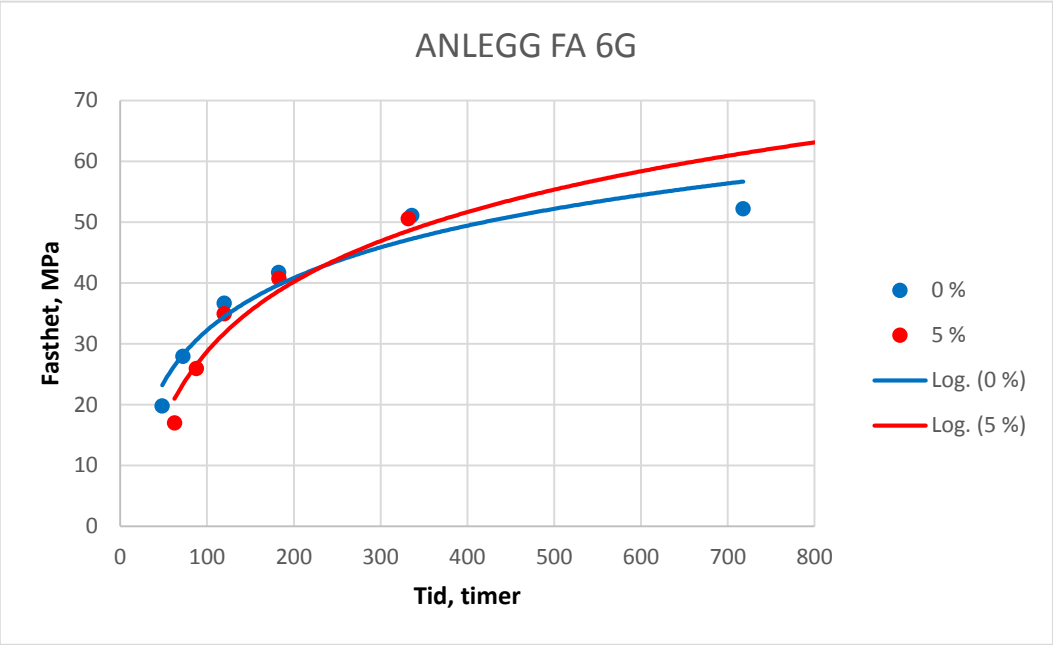
Som vist i figur 4.1.1, framkommer det at blandingene som herdet i 35 °C har en svært lik fasthetsutvikling. Blandingen med 5 % kalkstein har en noe lavere fasthetsutvikling enn den kalkfrie. 28-døgn fastheten til den kalkfrie blandingen er ut fra grafen 80,3 MPa, mot 5 %-blandingens 28-døgns fasthet på 77,4 MPa.

Av figur 4.1.1.2 framkommer trykkfastheten til de samme blandingene av Anlegg FA, herdet i 20 °C.



Figur 4.1.1.2 Graf av trykkfasthet som en funksjon av tid. Anlegg FA, herdetemperatur 20 °C.

Tidlig trykkfastheten til blandingen uten kalkstein er høyest, men etter 100 timer er utviklingen av trykkfastheten til både 5 % kalkstein og 10 % kalksteinblandingene høyere. 28-døgn fastheten til 10 %-blandingen er 75,2 MPa, mot blandingen med 5 % kalkstein fasthet på 72,6 MPa. Den kalkfrie blandingen har oppnådd en lavere sluttfasthet på 67,4 MPa.

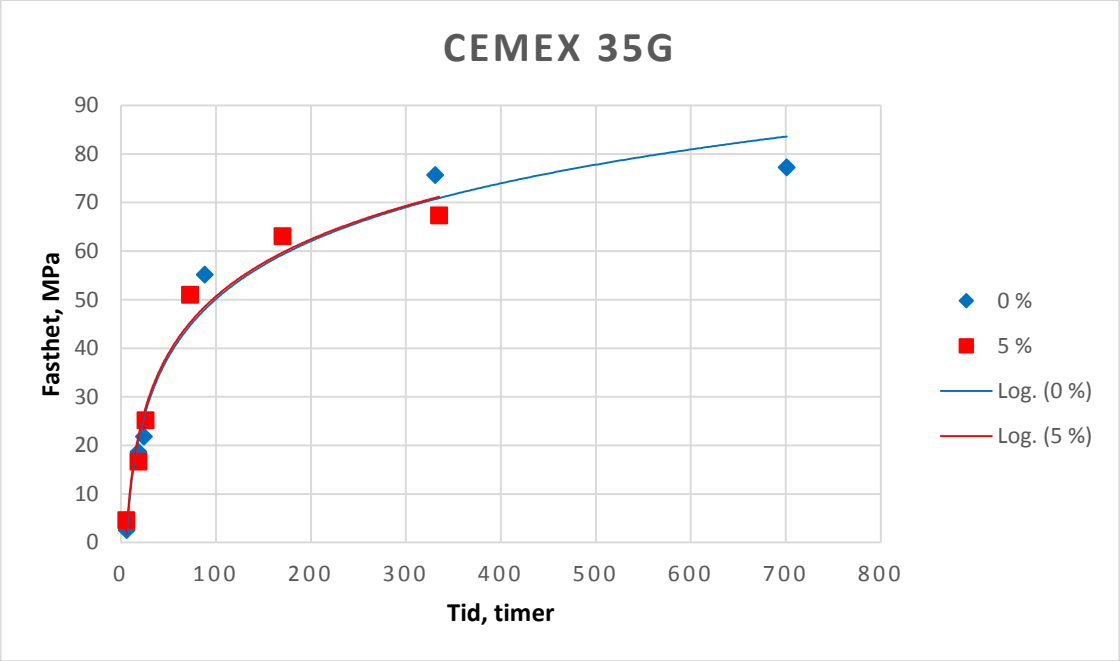


Figur 4.1.1.3 Graf over fasthetsutvikling til Anlegg FA herdet i 6 °C.

Blandingen med 5 % kalkstein som herdet i 6 °C hadde en senere fasthetsutvikling enn blandingen uten, men etter omtrent 240 timer får vi et skjæringspunkt der fastheten til 5 %-blandingen overstiger 0 %-blandingen. 28-døgns fastheten til blandingen med 5 % kalkstein er ut fra grafen (figur 4.1.1.3) estimert til 60,3 MPa, i forhold til 0 %-blandingens 55,9 MPa.

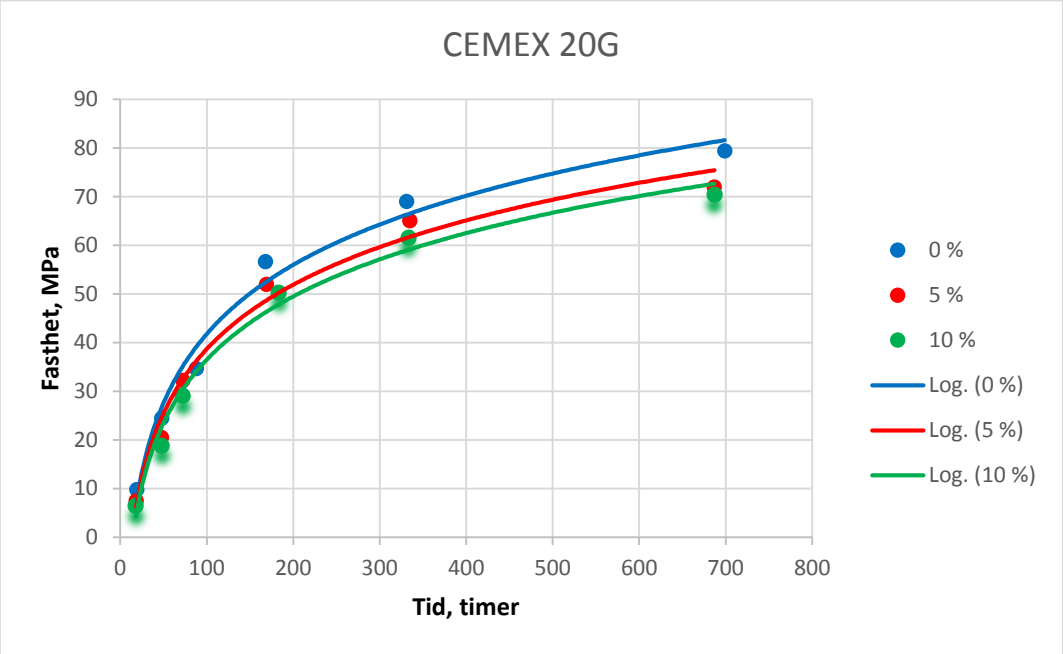
4.1.2 CEMEX CEMIII/B

Som det framkommer av figurene i dette delkapittelet, viser resultatene hvordan Cemex CemIII/B responderer på kalksteinerstatning. For 35 °C er resultatene uklare, siden en testfeil medførte at 28-døgn fastheten ikke ble registrert. Vi vil anta at siden utviklingen fram til 14 døgn er ganske lik, så vil ikke sluttfastheten for 5 %-blandingen ha noen store avvik fra 0 %-blandingen. Figur 4.1.2.1 illustrerer fasthetsutviklingen.



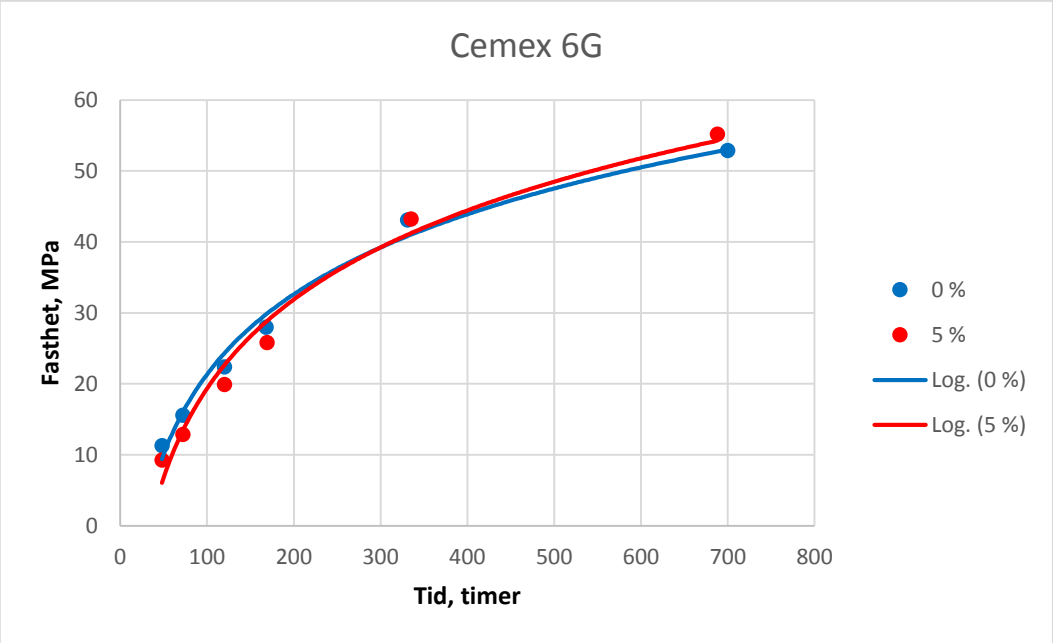
Figur 4.1.2.1 Fasthetsutvikling for Cemex CemIII/B som en funksjon av tid. Herdet i 35 °C. 28-døgns fastheten mangler for 5 %-grafen.

For blandingene som herdet i 20 °C kan vi se en større spredning mellom de kalkholdige blandingene mot den kalkfrie fra et tidlig stadiet. Av figur 4.1.2.2 så ser vi at 28-døgns fastheten til 0 %-blandingen er på 81 MPA, mens 5 % og 10 %-fasthetene er henholdsvis 75 MPa og 72 MPa.



Figur 4.1.2.2 Trykkfastheten som en funksjon av tid. Cemex CemIII/B, herdet i 20 °C.

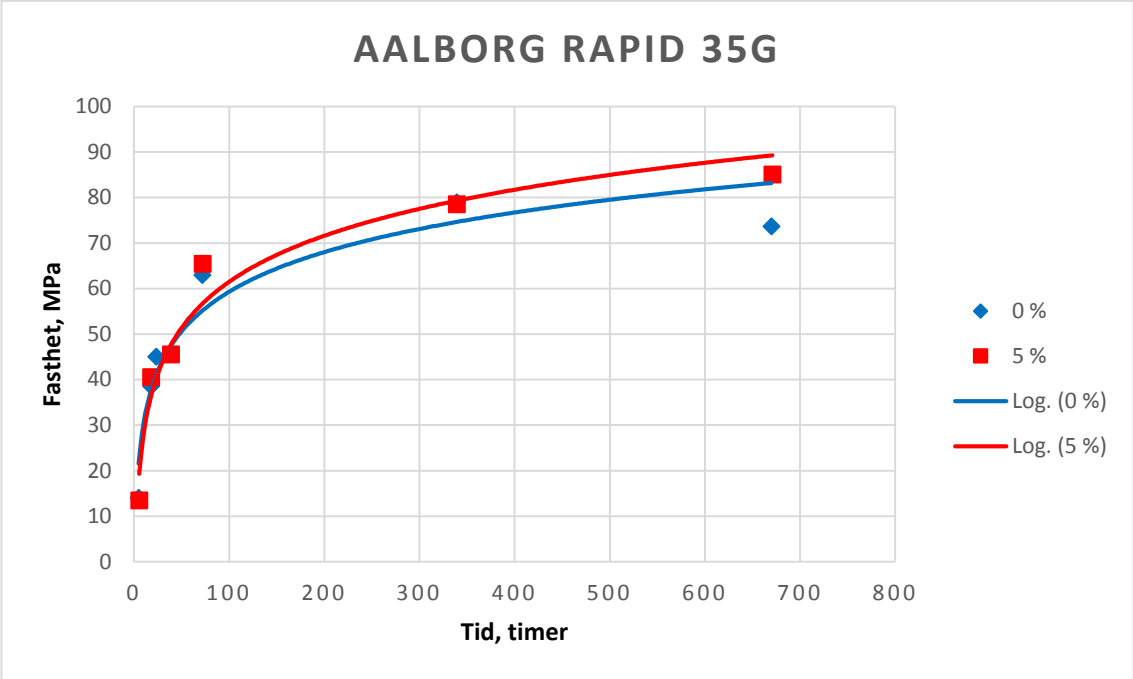
Blandingene som herdet i 6 °C hadde en nokså lik fasthetsutvikling. Blandingen med 5 % kalk hadde en litt mindre fasthetsutvikling inntil 300 timer (ca. 13 døgn) da blandingen overgikk den kalkfrie blandingen. Grafene i figur 4.1.2.3 viser at 28-døgn fastheten til 0 %-blandingen ble 52 MPa mot 53 MPa for 5 %-blandingen.



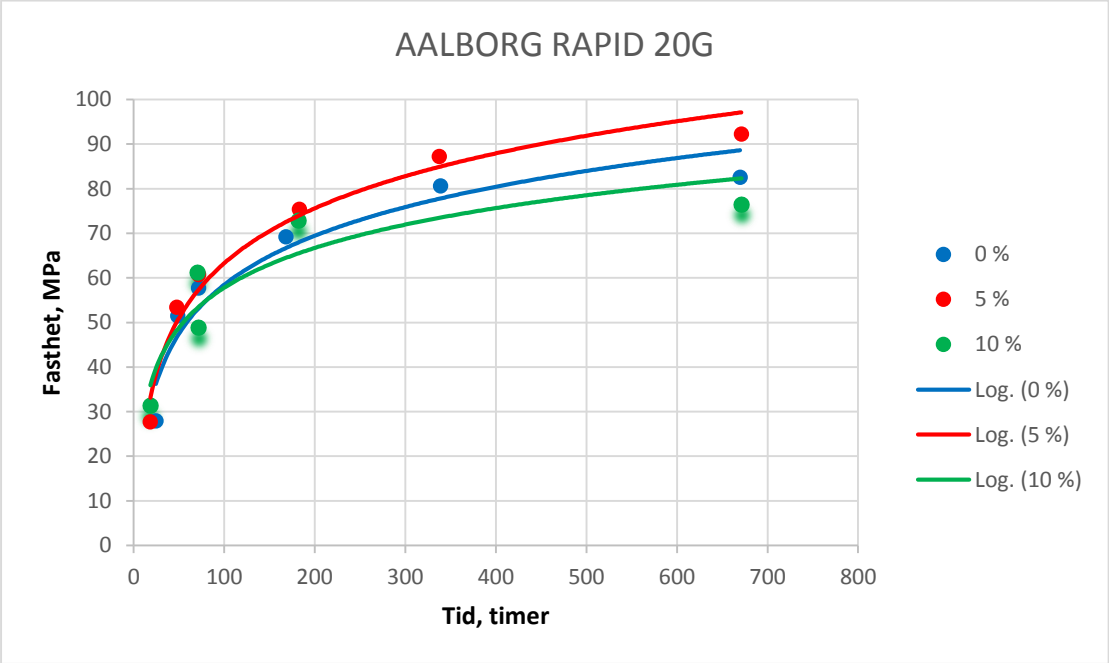
Figur 4.1.2.3 Graf over fasthetsutvikling som en funksjon av tid. Cemex CemIII/B herdet i 6 °C.

4.1.3 AALBORG RAPID

Aalborg Rapid er den sementen som oppnådde høyest trykkfasthet etter 28 døgn. Den blandingen som herdet i 35 °C, fikk en hurtig fasthetsøkning i starten og blandingen med 5 % kalk hadde en høyere utvikling enn den kalkfrie blandingen. Figur 4.1.3.1 viser fasthetsforløpet til de to blandingene. Som det framgår i grafen ble det et avvik for blandingen med 0 % kalkstein. 28-døgns fastheten ble 5,25 MPa lavere enn 14 døgn fastheten. Sluttfastheten for den kalkfrie blandingen er 73,7 MPa, og på tross av dette avviket er verdien inkludert i resultatene. Dette medfører til at grafene får en større spredning enn det som teoretisk er å forvente.



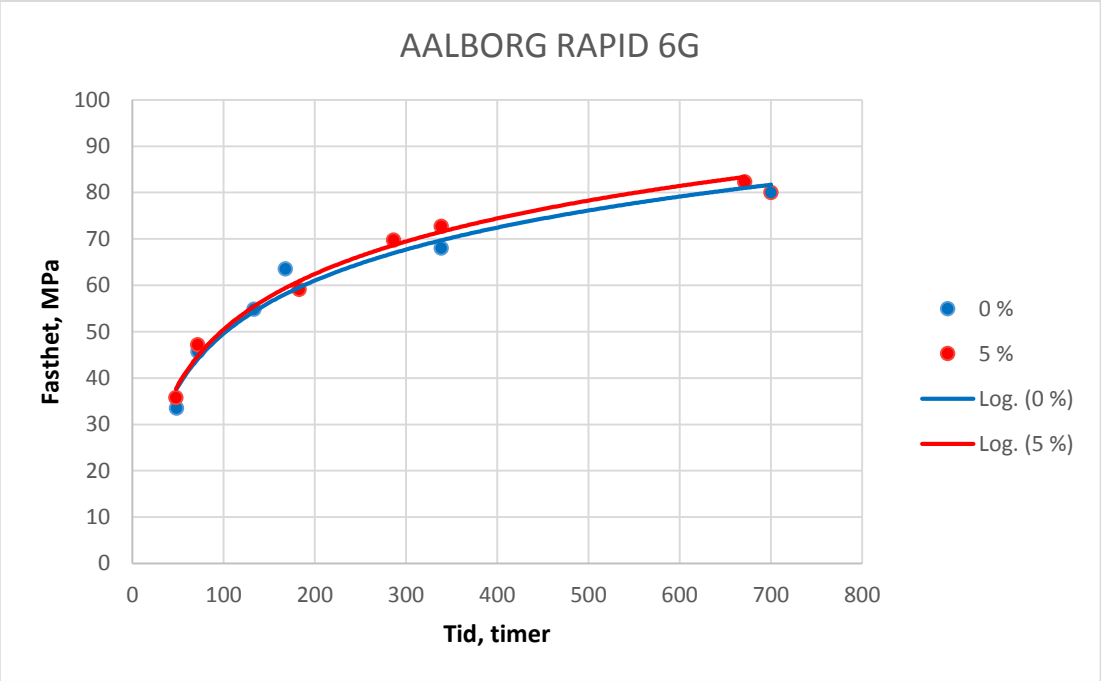
Figur 4.1.3.1 Fasthetsutvikling for Aalborg Rapid som en funksjon for tid (timer), herdet i 35 °C.



Figur 4.1.3.2 Fasthetsutvikling for Aalborg Rapid som en funksjon av tid, herdet i 20 °C.

Blandingene som herdet i 20 °C hadde en lignende utvikling som foregående temperatur, men med større spredning. Figur 4.1.3.2 viser fasthetsutviklingen til 0 %-, 5 %- og 10 %-blandingene. Blandingen som innehold 5 % kalk viste ganske tidlig en økt trykkfasthet i forhold til den kalkfrie blandingen. Grafene viser en 28-døgn fasthet på 97 MPa for 5 %-blandingen mot den kalkfrie blandingens sluttfasthet på 89 MPa. Den blandingen med 10 % fikk derimot en lavere fasthetsutvikling enn den kalkfrie og en sluttfasthet på 82 MPa.

Blandingene som herdet i 5 °C hadde en ganske lik fasthetsutvikling. Figuren 4.1.3.3 viser fasthetsforløpet til 0 %- og 5 %-blandingene og grafene fraviker svært lite fra hverandre. Sluttfastheten til blandingen med 0 % kalkstein er 81 MPa mot 5 %- blandingens sluttfasthet på 83 MPa.



Figur 4.1.3.3 Fasthetsutvikling for Aalborg Rapid som en funksjon av tid (timer), herdet i 6 °C.

4.2 AKTIVERINGSEGENRGI, MODENHET OG TEMPERATURØMFINTLIGHET

Aktiveringsenergien ble beregnet etter prinsippene i kapittel 3.6. De verdiene som framkommer i dette delkapittelet vil være støttet opp av modenhetsgrafer. Modenhetsgrafene vil være plottet temperaturvis og de er en funksjon av trykkfasthet mot modenhetstimer. Grafer over modenheten er lagt som Vedlegg [5]. For å evaluere de forskjellige blandingene mot trykkfasthet i forskjellige temperaturer vil det framkomme av grafene av trykkfasthet plottet mot temperaturer som en funksjon av trykkfasthet mot timer. Disse grafene finnes i Vedlegg [4] og vil bli brukt for å validere de resultater som legges fram i dette delkapittelet på grunnlag av aktiveringstall og hydratisjonshastighetene. Siden reseptene med tilsatt 10 % kalkstein kun herdet i 20 °C kunne ikke aktiveringstall for disse blandingene beregnes.

De forskjellige blandingene hadde svært varierende aktiveringsverdier. Av tabell 4.2.1 framkommer A- og B-verdiene til de representative blandingene.

	A	B	
ANLEGG FA 0	27096	629	J/mol
ANLEGG FA 5	19543	1175	J/mol
CEM 0	22749	2264	J/mol
CEM 5	29992	1500	J/mol
AALBORG R 0	23398	384	J/mol
AALBORG R 5	12196	1813	J/mol

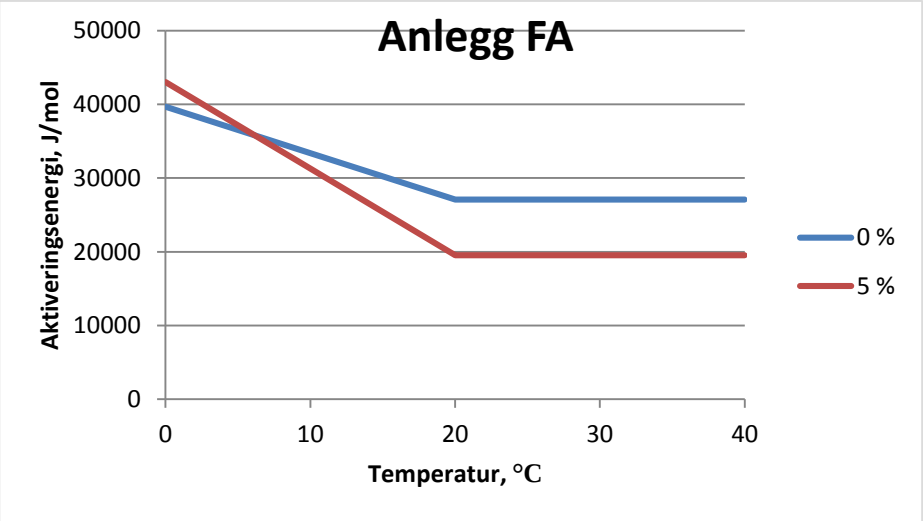
Tabell 4.2.1 Aktiveringsenergi av forsøkets blandinger. Tallet bak sementene antyder prosentandel kalkstein.

Av verdiene i tabell 4.2.1 framkommer hydratisjonshastigheten til de representative temperaturene og sementtypene (figur 4.2.2). Hastighetsverdiene har blitt beregnet ved hjelp av formelen for hastighetsfunksjonen H(θ) (kapittel 2.2, ligning 2).

	35G	6G
ANLEGG FA 0	1,79	0,48
ANLEGG FA 5	1,53	0,48
CEM 0	1,64	0,33
CEM 5	1,19	0,35
AALBORG R 0	1,65	0,55
AALBORG R 5	1,30	0,46

Tabell 4.2.2 Hydratisjonshastighet for forsøkets blandinger.

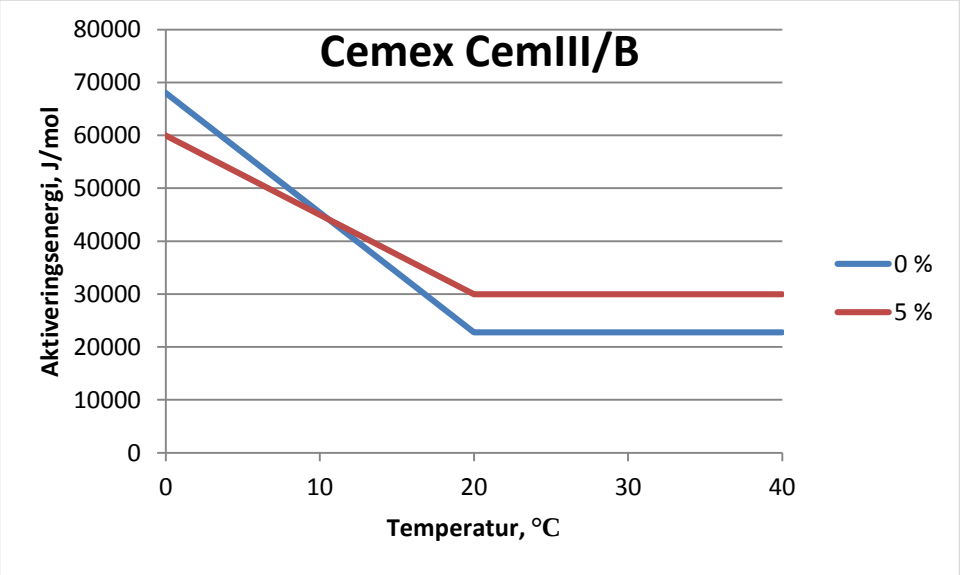
Anlegg FA med 0 % kalkerstatning hadde en A-verdi på 27,1 kJ/mol og en B-verdi på 0,6 kJ/mol. A-verdier indikerer at blandingen har en høy reaksjonshastighet i for høye temperaturer (>20 °C), mens den lave B-verdien viser til at blandingen har en lav aktiveringsenergi i lave temperaturer (<20 °C). Av figur 4.2.3 framgår grafen til B-verdien som en svak retardasjon i intervallet 0 °C til 20 °C, noe som tilsier at Anlegg FA er mindre



Figur 4.2.3 Aktiveringsenergi til Anlegg FA.

temperaturømfintlig enn blandingen med 5% kalkstein i kalde temperaturer. Ved å substituere 5 % av sementen med kalkstein synker A-verdien til 19,5 k/mol, mens B-verdien øker til 1,18 kJ/mol. Blandingen med 5 % kalkstein har en lavere reaksjonshastighet, noe som medfører senere fasthetsutvikling i 6 °C og 35 °C. Dette synes på hydratisjonshastigheten som framkommer av figur 4.2.2. Ved å tilsette 5 % kalkstein synker hydratisjonshastigheten for 35 °C fra 1,79 til 1,53. Tallet indikerer at selve hydratiseringen skjer saktere med tilsatt kalkstein. For 6 °C er verdiene for hydratisjonshastighetene like som henviser til at den kjemiske reaksjonen skjer like raskt for begge blandingene.

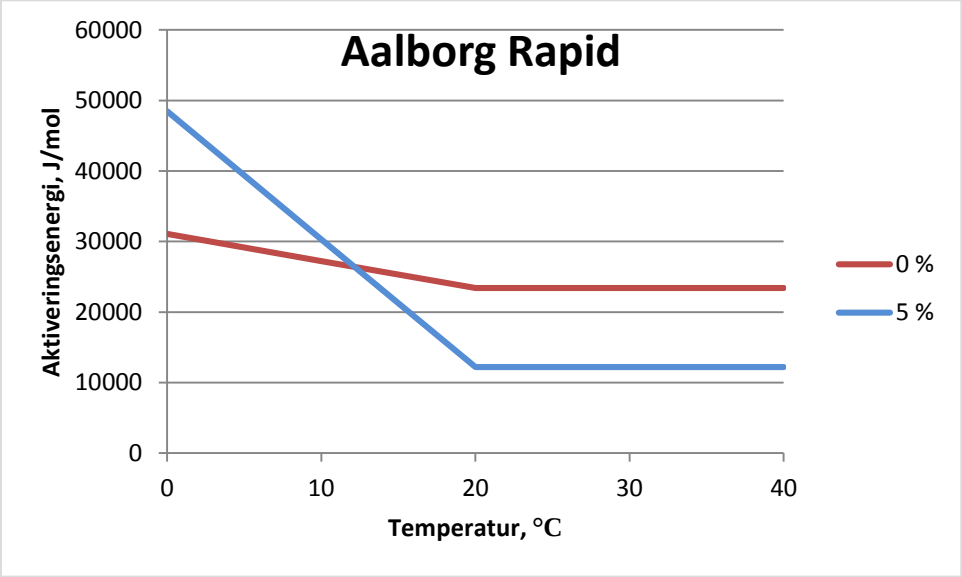
Cemex CemIII/B med 0 % kalkstein hadde en A-verdi på 22,7 kJ/mol og en B-verdi på 2,3 kJ/mol. Cemex CemIII/B er en sementtype som utvikler fasthet sent. Den høye B-verdien viser til at denne sementen er veldig temperaturømfintlig i kalde temperaturer. Den lave reaksjonshastigheten til sementen vises i figur 4.2.4 i form av en sterkt retarderende graf. Som det framgår av tabell 4.2.2. er hydratiseringsgraden til Cemex CemIII/B i 35 °C 1,33 mot 0,22 i 6 °C. I lave temperaturer utvikler denne sementen seg nesten 5 ganger saktere i forhold til referansen 20 °C. Ved å erstatte 5 % kalkstein øker A-verdien til 30 kJ/mol og B-verdien synker til 1,5 kJ/mol. Cemex CemIII/B med kalkstein har en senere fasthetsutvikling i 35 °C mot den kalkfrie blandingen. Kalksteinsubstituttet gjør derimot at Cemex CemIII/B blir mindre temperaturømfintlig i lave temperaturer. Videre synes det at verdiene for hydratiseringshastighetene øker til 1,19 for 35 °C og 0,35 for 6 °C. Cemex CemIII/B med



Figur 4.2.4 Aktiveringsenergien for CemIII/B.

kalkstein oppnår i 35 °C en fasthet 1,19 ganger raskere enn i 20 °C og omtrent 3 ganger så sakte i 6 °C.

Aalborg Rapid var den sementen med høyest fasthetsutvikling i forsøket. Den oppnådde en A-verdi på 23,4 kJ/mol og en B-verdi på 0,4 kJ/mol. Den relativt lave A-verdien og B-verdien henviser til høy fasthetsutvikling i både varme og kalde temperaturer. Aalborg Rapid er en sement med høy hydratisering på tross av temperaturer. Det er også en sement med lav aktiveringsenergi, noe som er kjent som denne sementtypen. Hydratiseringsgraden av Aalborg Rapid er 1,65 for 35 °C og 0,55 for 6 °C. Ved å tilsette 5 % kalkstein synker A-verdien til lave 12,2 kJ/mol og B-verdien øker til 1,8 kJ/mol. Kalksteinen medfører til økt



Figur 4.2.5 Aktiveringsenergien for Aalborg Rapid.

hastighetsreaksjon derav økt fasthetsutvikling. Den kraftig økte B-verdien tilsier at denne sementen har blitt mer temperaturømfintlig i lave temperaturer. Av tabell 4.2.2 framkommer det også at hydratiseringshastigheten ble redusert til 1,3 for 35 °C og 0,46 for 6 °C.

4.3 RESULTATER FRA VÅT/TØRR-TESTING

Testen viser at det har relativt lite å si hvor overflatetørre terningene er før trykktesting med et grensesnitt på 1 time. Testen viser også uavhengig av problemstillingen vår at det kan være noe variasjon mellom trykkfastheter innbyrdes i like serier. Resultater fra disse testene framkommer i Vedlegg [9].

4.4 VURDERING AV RESULTATER

Hensikten med dette forskningsprosjektet er å gi en formening om temperaturfølsomheten og trykkfasthet til de forskjellige betongtypene. Temperaturfølsomheten kommer fram gjennom grafene som viser aktiveringstallene ved de forskjellige temperaturene. Der hvor grafen synker kraftig mellom 0 °C og 20 °C, kan vi si at betongen er temperaturfølsom under herding i lave temperaturer. Der hvor grafen har et mindre stigningstall, kan vi si at betongen oppfører seg mer likt i både kalde omgivelser og varme omgivelser, og dermed har en modenhet gjennom herdingen som ligger tettere opp mot betong herdet i 20 °C.
Anlegg FA oppnådde en høyere fasthetsutvikling med kalksteinserstatning, utenom de blandingene som herdet i 35 °C. En testfeil medførte til at 28-døgn fastheten til blandingene som inneholdt 5 % kalksubstitutt ble testet etter 41 døgn. På tross at dette ble det brukt graftilpasning som tillot oss å hente ut en sannsynlig 28-døgnsfasthet for disse blandingene. Vi ser da at Anlegg FA med 5 % kalksteinerstatning har en lavere fasthetsutvikling enn tilsvarende blandinger herdet i 35 °C. Hvis vi derimot sammenligner fasthetsutviklingene (figur 4.4.1 og figur 4.4.2) inntil 14 døgn ser vi at de kalkholdige blandingene har en antydning til økt sluttfasthet. Ved å sammenligne hydratisjonshastigheter ser vi at verdien synker for 35 °C, mens den er lik for 5 °C. Erstatning av sement med 5 % kalkstein i Anlegg FA medfører at sementen får en høyere aktiveringsenergi som resulterer i en lavere fasthetsutvikling, som framkommer i figurene 4.1.1.1, 4.1.1.2 og 4.1.1.3. Av verdiene for aktiveringsenergi og hydratisering ser vi at fasthetsutviklingene er logiske. Ved å tilsette 5 % kalkstein øker B-verdien til det dobbelte og sementen blir mer ømfintlig for lave temperaturer, som framkommer i figur 4.1.1.3. Figuren viser at Anlegg FA med 5% kalkstein har en senere fasthetsutvikling inntil omtrentlige 10 døgn, før utviklingen overgår utviklingen til den kalkfrie blandingen.

Årsaken til at Anlegg FA har en generell høyere fasthetsutvikling med både 5 % og 10 % kalksteinserstatning er antakelig at kalksteinen reagerer med flyveasken i sementen og gir økt fasthet i løpet herdeperioden. Denne effekten blir forsterket ved å erstatte sementen med 10 % kalkstein.

Cemex CemIII/B er en sementtype med mye slagg noe som gir den tregere fasthetsutvikling i kalde omgivelser i tidligfasen. Ved å tilsette kalkstein økes aktiveringsenergien, mens temperaturfølsomheten er markant lavere for den kalkholdige blandingen. Dette kan være en indikator på at kalksteinstilsetning vil gi en positiv effekt på tidligfastheten i kaldere omgivelser. En testfeil medførte til at vi ikke fikk trykktestet 28-døgn fasthet for blandingen som inneholdt 5 % kalkstein og som herdet i 35 °C. Vi antar videre at sementen vil opptre omtrentlig likt i fasthetsutvikling som den kalkfrie blandingen siden disse blandingene hadde en relativ lik utvikling inntil 14 døgn. Den høye A-verdien på 30 kJ/mol (tabell 4.2.1) gjør at Cemex CemIII/B vil ha en saktere fasthetsutvikling i varmere temperaturer (>20 °C). Av tabell 4.2.2 framkommer det at hydratiseringshastigheten reduseres for høye temperaturer, mens for lave temperaturer er den relativ lik. Cemex CemIII/B inneholder i utgangspunktet lite sement (ca. 25 %) og ved å substituere sement med 5 % eller 10 % kalkstein medfører det til liten mengde resterende sement. Denne årsaken er et moment til at hydratiseringen nedjusteres som medfører til en redusert fasthetsutvikling for kalkholdige blandinger for ≥20 °C. Kalksteinen ser derimot ut til å bidra til lavere temperaturfølsomhet når det gjelder fasthetsutvikling i tidligfasen, mens ren Cemex CemIII/B oppnår høyere fasthet i tidligfasen.

Aalborg Rapid viste økt trykkfasthet ved alle temperaturer med 5 % kalksteinsubstitutt. Blandingen med 10 % kalkstein viste seg derimot til å ha en retarderende effekt på trykkfastheten. Dette er trolig grunnet at Aalborg Rapid allerede inneholder 5 % kalkfiller, så 10 % kalkerstatning ble for mye kalk totalt for at denne sementen skulle utvikle samme fasthetskurve. Aalborg Rapid er derimot kjent for å være en meget potent sement med lav temperaturfølsomhet. Det er nettopp derfor den egner seg til bruk i industrisammenheng og til vinterstøyp. Aktiveringstallene som framkommer i denne oppgaven viser det stemmer. Med en A-verdi på 23,4 kJ/mol og B-verdi på 0,4 kJ/mol er Aalborg Rapid en sement som utvikler fasthet på tross av temperatur, spesielt i høyere temperaturer (>20 °C). Med 5 % kalkerstatning synker A-verdien til 12,2 kJ/mol, mens B-verdien øker til 1,8 kJ/mol. Disse aktiveringstallene indikerer at den kalkholdige blandingen har en høy reaksjonshastighet som fører til økt fasthetsutvikling og en høyere temperaturømfintlighet for lave temperaturer. Figurer 4.1.3.1 – 4.1.3.3 støtter dette argumentet og som vi ser av figurene har blandingene med 5 % kalkstein en høyere fasthetsutvikling for ≥20 °C. I 6 °C ser vi at

fasthetsutviklingen har en mindre spredning til den kalkfrie blandingens utvikling, grunnet høyere temperaturømfintlighet.

4.5 FEILKILDER OG AVVIK

Resultatene som framkommer i denne rapporten har blitt vurdert påvirket av flere usikkerhetsfaktorer som er oppgitt i kapittel 2.4. Under testing ble det i noen tilfeller registrert store avvik i trykkfasthet fra de to terningene som skulle testes per testtermin. Siden standardavviket i prinsippet skal ligge under 1, har det i noen tilfeller godt oversteget denne verdien. I Vedlegg 2 framkommer standardavviket fra hver enkelt test og eventuelle merknader er notert. I andre tilfeller synes det direkte at terningene hadde dårlige overflater (ufullstendige kanter etc.) noe som medfører nedsatt trykkfasthet. Noen ganger hadde terningene tilsynelatende god overflate, men likevel for stort avvik ved testing. Her kan det være flere usikkerhetsfaktorer som spiller inn.

Ut fra våt/tørr-valideringen som ble gjort vises det at terninger kan fritt oppbevares i romtemperatur opptil en time uten at fastheten påvirkes. Dermed ser vi bort ifra overflatefuktigheten. En annen faktor som kan spille inn på fastheten er klossens densitet. Ved en høyere densitet vil klossen oppleve en høyere fasthet. I dette forsøket har det blitt tatt utgangspunkt i at to prøveklossers densitet skal ligge på verdier med maksimal differanse på 50 g. Utover dette konkluderes det med ulik densitet på klossene. Hovedårsakene til ulik densitet er variasjon av tilslag eller ulik grad av komprimering. Ved utstøping av terninger kan en feil forårsaket at ikke alle former ble stukket og komprimert skikkelig. Ved dårlig komprimering vil betongen inneholde mer luft, noe som reduserer evnen til å motstå trykk.

To andre faktorer som har blitt vurdert er feil sentrering av klossene i testmaskin og variasjoner i herdetemperatur. Ved ulik sentrering i pressa, vil klossene oppleve ulik belasting som kan slå ut i forskjellig trykkfasthet. Herdebetingelsene har også mye å si for terningens trykkfasthet. Terningene i dette forsøket herdet i vannbad, der vannbadene som holdt 5 °C og 20 °C ble regulert av lufttemperaturen. Siden 20 °C var ganske lik romtemperaturen ellers i laboratoriet vil dermed luftlekkasje ikke påvirke temperaturen i vannbadene i en betydelig grad. Rommet som holdt 5 °C hadde derimot større påvirkning av

tilstrømming av varmere luft. Ved de vannbadene som sto plassert ved en vegg eller utenfor luftstrømmingen fra ventilanlegget, kunne vannet holde en høyere temperatur. Ved høyere temperatur vil herdeprosessen skje raskere, og dermed vil klossene oppleve høyere fasthet ved testing. Det badet som holdt 35 °C var styrt av termostat der varmeelementene ikke kunne påvirke klossene. Dette badet sammen badet som holdt 20 °C anses ikke som en feilkilde. På tross av overnevnte avvik ble alle resultater inkludert i videre beregninger.

En feil som ble oppdaget ved testing, var sluttfastheten til Aalborg Rapid med 0 % kalkerstatning som herdet i 35 °C. Gjennomsnittfastheten etter 14 døgn var 79 MPa, mot 28-døgnsfasthet på 74 MPa. I prinsippet skulle ikke dette være mulig. Siden disse klossene var av samme blanding og fikk herde i samme bad, er den mest sannsynlige feilen grad av komprimering. Disse klossene har sannsynligvis ulikt luftinnhold og dermed har terningene som ble testet ved 28 døgn høyere porøsitet.

En av forutsetningene til forsøket har å innhente fasthetsdata på riktige tidspunkt. Noen av testterminene ble ikke overholdt som medførte til manglende fasthetsdata til Cemex CemIII/B med 5 % kalkerstatning og herdetemperatur. I tillegg ble 28-døgnsfastheten til Anlegg FA med 5 % kalkerstatning (ved alle herdetemperaturer) ikke registrert før 41 døgn. Sluttutviklingen av blandingen med CemIII/B blir ikke konkludert av denne rapporten. Problemet med Anlegg FA-blandingen ble løst ved hjelp å lage tilpassede grafer slik at en sannsynlig 28-døgnsfasthet kunne hentes ut. Dermed kunne vi ut fra dette resultere en utvikling.

5. MILJØ OG BÆREKRAFTIGHET

Resultatene som framgår i denne rapporten åpner for muligheten for å optimalt erstatte 5 % sement med kalkstein. Siden kalksteinsmelet som brukes som sementerstatter er ubrent sement, vil det kreve minimal omlegging av fabrikk og produksjonsmetode. Hvis det praktisk lar seg gjøre å produsere betong til allment bruk hvor 5 % av sementmengden er substituert av kalksteinsmel, antas det at kapasiteten på sementproduksjonen kan reduseres tilsvarende. Dersom selve innblandingen av kalksteinsmel kan gjøres på samme måte som vi har gjort i våre forsøkssementer, kan kalksteinsmelet blandes direkte inn i betongresepten. Det vil i praksis si at sement med kalksteinserstatning kan leveres direkte fra produsent og at kalksteinsmelet kan tilsettes resepten ute på blandeverk som en del av det totale bindemiddeltilskuddet i betongen. Dette vil ha en økonomisk gevinst for produsenten siden kalksteinsmelet slipper kalsineringsprosessen og kan anvendes direkte i blandingen.

Kalksteinserstatning vil også ha en miljømessig gevinst. Siden sementindustrien står for 5 % av det totale globale CO_2-utslippet, vil det ved å redusere sementbruken med 5 % tilsvare en total global reduksjon på 0,25 %. Dette tallet er et teoretisk tall, og vil i praksis representere mange tonn CO_2. Besparelsen i utslipp vil ligge med 60 % fra kalsineringsprosessen og 40 % i utslipp fra brenselovnene som generer varme til sementbrenningen. Rapporten utelater heller ikke muligheten for å erstatte sementandelen med opptil 10 % med kalksteinsmel, noe som vil medføre ytterligere utslippsreduksjoner. For å konkludere med virkelige tall kreves det mer forskning på dette feltet. Det mangler innsikt om hvilke eksponeringer sementene ikke tåler, betongens levetid og bestandighet. Dette kan redusere muligheten for å substituere sementandelen i en mengde betong. Metoden bygger på tross av dette på en mer bærekraftig produksjon og vil ved praktisk bruk redusere CO_2-utslipp.

6. KONKLUSJON OG ARBEIDET VIDERE

Bacheloroppgaven har sett på fasthetsutviklingen og temperaturømfintlighet under herding av betongblandinger substituert med kalksteinsmel. Det ble brukt tre sementtyper, Aalborg Rapid, Cemex CemIII/B og Anlegg FA og tre forskjellige doseringer av kalksteinerstatning, nemlig 0 %, 5 % og 10 % kalkstein.

I samarbeid med Statens Vegvesen ble blandingene støpt ut i prøveterninger og disse terningene fikk herde i 6 °C, 20 °C og 35 °C. Forsøkene viste at Anlegg FA fikk økt trykkfasthet og en høyere temperaturfølsomhet for lavere temperaturer med kalksubstitutt for alle herdetemperaturer. Blandingen som inneholdt 10 % kalkstein fikk derimot den høyeste fasthetsutviklingen. Cemex CemIII/B reagerte derimot blandet på kalkerstatning. Cemex CemIII/B med 0 % kalkerstatning med en herdetemperatur på 20 ℃ fikk en sluttfasthet på 81 MPa, 6 MPa høyere enn 5 % kalkholdige blandingen. 10 % kalkerstatning fikk den laveste fasthetsutviklingen. De lave fasthetsutviklingene skyldes trolig for høyt kalkinnhold som resulterer i for liten resterende sementmengde til å reagere. Terningene som derimot herdet i 5 ℃ fikk en ganske sammenfallende fasthetsutvikling.

Aalborg Rapid fikk høyere fasthetsutvikling og sluttfasthet ved 5 % kalkerstatning. Ved å erstatte 10 % kalkstein viser seg å ha en retarderende effekt trolig grunnet for stort kalkinnhold i blandingen. Med kalksubstitutt ble Aalborg Rapid mer temperaturømfintlig for lave temperaturer, men generelt opplevde denne sementen en høyere hydratiseringsreaksjon som medførte økt fasthet.

Forsøksseriene viser at det er mulig å substituere en prosentandel sement med kalksteinsmel. Resultatene åpner for videre forskning på dette emnet og denne oppgaven vil bli tatt i betraktning når Statens Vegvesen skal begynne sin forsøksserie på kalksteinsmel som sementsubstitutt. Denne oppgave har utelatt parametere som bestandighet og levetid på betong med kalksteinsubstitutt. Disse svært viktige parameterne må kartlegges og vil bli vektlagt i videre forskning. Med økende fokus på miljøproblematikken vil det bli et større press på mer bærekraftige sementtyper, noe som gjør denne type forskning svært aktuell.

7. REFERANSER

1. Bjøntegaard, Ø., *Volume changes and cracking tendency in concrete.* 2009, Statens Vegvesen.
2. HeidelbergCement, *SUSTAINABILITY REPORT 2009*, in *Our responsibility – To build for the future*, H.N. Europe, Editor. 2009, HeidelbergCement Northern Europe.
3. Weerdt, K.D., *Blended Cement with Reduced CO2 Emission - Utilizing the Fly Ash-Limestone Synergy*. 2011, NTNU.
4. Pål Gjerp, M.O., Sverre Smeplass, *Grunnleggende Betongteknologi*. Vol. 2. 2004. 191.
5. Vegvesen, S., *HB 014: Laboratorieundersøkelser*. 2005, Statens Vegvesen.
6. Standard, N., *NS-EN 12390-2:2000- Prøving av herdnet betong - Del 2: Støping og herdning av prøvelegemer for fasthetsprøving*.
7. NTNU, *Concrete Technology*. 2003.
8. Standard, *NS-EN 3668:2006.* 2006.
9. EPD-Norge, *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION*. NEPD 00211N CEM II, EPD-Norge.
10. FranzefossMiljøkalk-AS, *Produktdatablad Betofill VK 150*. 2011.

VEDLEGG

VEDLEGG 1: Betongresepter

VEDLEGG 2: Mål, densitet og trykkfasthet. Resultater på trykktesting.

VEDLEGG 3: Trykkfasthetsgrafer

VEDLEGG 4: Modenhetsgrafer

VEDLEGG 5: Datablad for forsøkets kalksteinsmel (Betofill).

VEDLEGG 6: Datablad for Anlegg FA

VEDLEGG 7: Datablad for Aalborg Rapid

VEDLEGG 8: Datablad for Cemex CemIII/B

VEDLEGG 9: Resultater for våt/tørr-testing

VEDLEGG

VEDLEGG 1: Betongresepter

VEDLEGG 2: Mål, densitet og trykkfasthet. Resultater på trykktesting.

VEDLEGG 3: Trykkfasthetsgrafer

VEDLEGG 4: Modenhetsgrafer

VEDLEGG 5: Datablad for forsøkets kalksteinsmel (Betofill).

VEDLEGG 6: Datablad for Anlegg FA

VEDLEGG 7: Datablad for Aalborg Rapid

VEDLEGG 8: Datablad for Cemex CemIII/B

VEDLEGG 9: Resultater for våt/tørr-testing

VEDLEGG 1: BETONGRESEPTER

Betongreseptene som framkommer i dette vedlegget er de reseptene som ble laget av Statens Vegvesen for disse forsøkene. Disse reseptene ble noe avviket grunnet forskjellig fuktinnhold i tilslaget og forskjellig virkningsgrad av Glenium (SP-stoff). For eksakte oppmålte verdier se figur 3.2.1.

Aalborg Rapid

Blandevolum:	50 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Aalborg Rapid	418,7	20,937			20,937	
Elkem Microsilica	16,7	0,837	0	0,000	0,837	
Betofill VK 150	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	176,4	8,819		-1,422	7,397	*7,846*
Absorbert vann	9,0	0,449			0,449	
Svelvik 0/8	929,5	46,474	2,5	1,162	47,636	
Brekke 8/16	827,5	41,377	0,3	0,124	41,502	
Tau 0/2 vasket	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 2/5	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 5/8	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 8/11	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 11/16	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 16/22	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Scancem P	0,0	0,000	60	0,000	0,000	
Glenium 151	3,3	0,167	81	0,136	0,167	
Microair 1:19	0,0	0,000	99,9	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Aalborg Rapid + 5 % Kalksteinsmel

Blandevolum:	50 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Aalborg Rapid	398,8	19,941			19,941	
Elkem Microsilica	16,0	0,798	0	0,000	0,798	
Betofill VK 150	19,9	0,997	0	0,000	0,997	
Fritt vann	175,8	8,788		-1,415	7,373	7,822
Absorbert vann	9,0	0,449			0,449	
Svelvik 0/8	929,5	46,474	2,5	1,162	47,636	
Brekke 8/16	827,5	41,377	0,3	0,124	41,502	
Tau 0/2 vasket	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 2/5	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 5/8	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 8/11	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 11/16	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 16/22	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Scancem P	0,0	0,000	60	0,000	0,000	
Glenium 151	3,2	0,160	81	0,129	0,160	
Microair 1:19	0,0	0,000	99,9	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Aalborg Rapid + 10 % Kalksteinsmel

Blandevolum:	50 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Aalborg Rapid	380,7	19,035			19,035	
Elkem Microsilica	15,2	0,761	0	0,000	0,761	
Betofill VK 150	38,1	1,904	0	0,000	1,904	
Fritt vann	175,2	8,760		-1,409	7,351	*7,800*
Absorbert vann	9,0	0,449			0,449	
Svelvik 0/8	929,5	46,474	2,5	1,162	47,636	
Brekke 8/16	827,5	41,377	0,3	0,124	41,502	
Tau 0/2 vasket	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 2/5	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 5/8	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 8/11	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 11/16	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 16/22	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Scancem P	0,0	0,000	60	0,000	0,000	
Glenium 151	3,0	0,152	81	0,123	0,152	
Microair 1:19	0,0	0,000	99,9	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Anlegg FA

Blandevolum:	50 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Anlegg FA	408,8	20,441			20,441	
Elkem Microsilica	16,4	0,818	0	0,000	0,818	
Betofill VK 150	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	172,2	8,610		-1,418	7,191	*7,641*
Absorbert vann	9,0	0,449			0,449	
Svelvik 0/8	929,5	46,474	2,5	1,162	47,636	
Brekke 8/16	827,5	41,377	0,3	0,124	41,502	
Tau 0/2 vasket	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 2/5	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 5/8	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 8/11	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 11/16	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 16/22	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Scancem P	0,0	0,000	60	0,000	0,000	
Glenium 151	3,3	0,164	81	0,132	0,164	
Microair 1:19	0,0	0,000	99,9	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Anlegg FA + 5 % Kalksteinsmel

Blandevolum:	50 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Anlegg FA	389,8	19,490			19,490	
Elkem Microsilica	15,6	0,780	0	0,000	0,780	
Betofill VK 150	19,5	0,975	0	0,000	0,975	
Fritt vann	171,8	8,589		- 1,412	7,177	7,626
Absorbert vann	9,0	0,449			0,449	
Svelvik 0/8	929,5	46,474	2,5	1,162	47,636	
Brekke 8/16	827,5	41,377	0,3	0,124	41,502	
Tau 0/2 vasket	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 2/5	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 5/8	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 8/11	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 11/16	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 16/22	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Scancem P	0,0	0,000	60	0,000	0,000	
Glenium 151	3,1	0,156	81	0,126	0,156	
Microair 1:19	0,0	0,000	99,9	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Anlegg FA + 10 % Kalksteinsmel

Blandevolum:	50 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Anlegg FA	372,2	18,612			18,612	
Elkem Microsilica	14,9	0,744	0	0,000	0,744	
Betofill VK 150	37,2	1,861	0	0,000	1,861	
Fritt vann	171,3	8,565		-1,467	7,098	*7,548*
Absorbert vann	9,0	0,449			0,449	
Svelvik 0/8	929,5	46,474	2,5	1,162	47,636	
Brekke 8/16	827,5	41,377	0,3	0,124	41,502	
Tau 0/2 vasket	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 2/5	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 5/8	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 8/11	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 11/16	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 16/22	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Scancem P	0,0	0,000	60	0,000	0,000	
Glenium 151	4,5	0,223	81	0,181	0,223	
Microair 1:19	0,0	0,000	99,9	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Cemex CemIII/B

Blandevolum:	50 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Cemex III B	416,5	20,823			20,823	
Elkem Microsilica	16,7	0,833	0	0,000	0,833	
Betofill VK 150	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	175,4	8,771		- 1,421	7,350	7,799
Absorbert vann	9,0	0,449			0,449	
Svelvik 0/8	929,5	46,474	2,5	1,162	47,636	
Brekke 8/16	827,5	41,377	0,3	0,124	41,502	
Tau 0/2 vasket	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 2/5	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 5/8	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 8/11	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 11/16	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 16/22	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Scancem P	0,0	0,000	60	0,000	0,000	
Glenium 151	3,3	0,167	81	0,135	0,167	
Microair 1:19	0,0	0,000	99,9	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Cemex CemIII/B + 5 % Kalksteinsmel

Blandevolum:	50 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Cemex III B	396,7	19,837			19,837	
Elkem Microsilica	15,9	0,793	0	0,000	0,793	
Betofill VK 150	19,8	0,992	0	0,000	0,992	
Fritt vann	174,8	8,742		-1,182	7,560	8,010
Absorbert vann	9,0	0,449			0,449	
Svelvik 0/8	929,5	46,474	2,0	0,929	47,404	
Brekke 8/16	827,5	41,377	0,3	0,124	41,502	
Tau 0/2 vasket	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 2/5	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 5/8	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 8/11	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 11/16	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 16/22	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Scancem P	0,0	0,000	60	0,000	0,000	
Glenium 151	3,2	0,159	81	0,129	0,159	
Microair 1:19	0,0	0,000	99,9	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Cemex CemIII/B + 10 % kalksteinsmel

Blandevolum:	50 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Cemex III B	378,8	18,941			18,941	
Elkem Microsilica	15,2	0,758	0	0,000	0,758	
Betofill VK 150	37,9	1,894	0	0,000	1,894	
Fritt vann	174,3	8,717		- 1,409	7,308	7,757
Absorbert vann	9,0	0,449			0,449	
Svelvik 0/8	929,5	46,474	2,5	1,162	47,636	
Brekke 8/16	827,5	41,377	0,3	0,124	41,502	
Tau 0/2 vasket	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 2/5	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 5/8	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Tau 8/11	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 11/16	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
Tau 16/22	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Scancem P	0,0	0,000	60	0,000	0,000	
Glenium 151	3,0	0,152	81	0,123	0,152	
Microair 1:19	0,0	0,000	99,9	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

VEDLEGG 2: MÅL, DENSITET OG TRYKKFASTHET. RESULTATER PÅ TRYKKTESTING.

Resept

Sement mengde	20,441 kg
Grus (8-16)	41,502 kg
Vannmengde	7,641 kg
Silikainnhold	0,818 kg
Kalkmengde	0
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	0,30 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	0,164 kg

Generell info

Sement type	Anl. FA
Støypedato	03:02:2014 14:10
Synk	18
Luftinnhold	2,20 %
Betong temperatur	19
Herde temperatur	35

Anlegg FA 0 % kalk

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 35°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	03:02:2014 20:21		6	11	6,1833333	100,3	99,8	99,9	2380	1385	2380	38,6	3,9	39,8	4	0,2	
B						100,7	99,7	100	2371	1374	2360	41	4,1				
A	04:02:2014 08:31		18	21	18,35	100,2	100,8	100,1	2446	1427	2420	274	27,1	271,55	26,85	0,4	
B						101,1	100,2	100,2	2428	1414	2390	269,1	26,6				
A	04:02:2014 14:10	1	0	0	24	101	100,1	100,1	2428	1414	2400	300,8	29,8	302,95	30,15	0,5	
B						100,2	99,9	99,8	2434	1417	2440	305,1	30,5				
A	06:02:2014 14:30	3	0	20	72,333333	100,6	101,7	100,1	2429	1418	2370	436	42,6	448	43,95	1,9	Disse kubene så fine og like ut.
B						99,8	101,8	100	2419	1413	2380	460	45,3				
A	17:02:2014 13:51	13	23	41	335,68333	100,1	100,7	100,2	2429	1414	2400	739,8	73,4	694,05	68,45	7,0	stygge kanter
B						100,2	101,9	100,1	2430	1410	2380	648,3	63,5				
A	05:03:2014 11:56	29	21	46	717,76667	100,1	102,4	100,1	2457	1432	2390	489,7	47,8	816,2	81,4	...	Grusras, terning forkastes
B						100,6	99,7	100	2397	1399	2390	816,2	81,4				

Resept

Sement mengde	20,441 kg
Grus (8-16)	41,502 kg
Vannmengde	7,641 kg
Silikainnhold	0,818 kg
Kalkmengde	0
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	0,30 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	0,164 kg

Generell info

Sement type	Anl. FA
Støypedato	03:02:2014 14:10
Synk	18
Luftinnhold	2,20 %
Betong temperatur	19
Herde temperatur	20

Anlegg FA 0 % kalk

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 20°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	04:02:2014 08:47	0	18	37	18,616667	100,3	100	100	2419	1415	2410	166,4	16,6	164,95	16,45	0,2	
B						100,2	99,9	100,1	2405	1407	2400	163,5	16,3				
A	05:02:2014 14:14	2	0	5	48,083333	100,2	100,6	100,1	2440	1425	2420	346,5	34,4	349,15	34,65	0,4	
B						100,7	100	99,8	2426	1423	2410	351,8	34,9				
A	06:02:2014 14:00	2	23	51	71,85	99,8	100,6	100,1	2445	1434	2430	396,4	39,5	378,7	37,4	2,9	
B						101,4	100,8	100,1	2453	1435	2400	361	35,3				
A	10:02:2014 14:30	6	23	35	167,58333	100,8	99,6	100	2417	1416	2410	511,1	50,9	513,9	51,1	0,3	
B						101,2	99,6	100,1	2433	1426	2410	516,7	51,3				
A	17:02:2014 14:01	13	23	51	335,85	99,9	101,9	99,5	2452	1440	2420	529,5	52	590,25	53,8	2,5	
B						100,1	100,8	99,2	2447	1440	2450	651	55,6				
A	05:03:2014 11:42	29	21	34	717,56667	100,1	101,4	100,1	2446	1433	2410	687,4	67,7	700,35	69,2	2,1	
B						99,9	101	100,3	2435	1429	2410	713,3	70,7				

Resept

Sement mengde	20,441 kg
Grus (8-16)	41,502 kg
Vannmengde	7,641 kg
Silikainnhold	0,818 kg
Kalkmengde	0
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	0,30 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	0,164 kg

Generell info

Sement type	Anl. FA
Støypedato	03:02:2014 14:10
Synk	18
Luftinnhold	2,20 %
Betong temperatur	19
Herde temperatur	6

Anlegg FA 0 % kalk

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 6°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	05:02:2014 14:26	2	0	16	48,266667	100	100,6	100	2438	1430	2420	197,2	19,6	198,95	19,8	0,3	
B						100,2	100	100,1	2436	1428	2430	200,7	20				
A	06:02:2014 14:17	3	0	7	72,116667	99,9	101,1	100	2413	1411	2390	289	28,6	281,85	27,95	0,9	
B						100,2	100,4	100,1	2431	1426	2410	274,7	27,3				
A	08:02:2014 13:53	4	23	44	119,73333	100,1	100,7	100,1	2410	1405	2390	377	37,4	369,15	36,7	1	
B						100,1	100,2	100,1	2430	1423	2420	361,3	36				
A	10:02:2014 14:21	7	14	22	182,36667	101	100	100,1	2439	1416	2410	422,4	41,8	420,55	41,75	0,1	
B						100,5	100	100	2418	1426	2410	418,7	41,7				
A	17:02:2014 14:08	13	23	54	335,9	100,8	99,6	100	2417	1440	2410	511,1	50,9	513,9	51,1	0,3	
B						101,2	99,6	100,1	2433	1440	2410	516,7	51,3				
A	05:03:2014 11:48	29	21	39	717,65	100	100,4	100,1	2426	1423	2410	539,9	53,8	527,05	52,2	2,3	
B						100,1	101,6	100,3	2488	1466	2440	514,2	50,6				

Resept

Sement mengde	19,49
Grus (8-16)	41,502
Vannmengde	7,626
Silikainnhold	0,78
Kalkmengde	0,975
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	0,30 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	70 g

Generell info

Sement type	Anl. FA
Støypedato	07:02:2014 14:45
Synk	19
Luftinnhold	2,20 %
Betong temperatur	19
Herde temperatur	35

Anlegg FA 5 % kalk

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 35°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	07:02:2014 21:00	0	6	0	6	99,8	99,9	100,2	2357	1368	2360	53,8	5,4	55	5,5	0,2	
B						100,4	99,8	100	2387	1395	2380	56,2	5,6				
A	08:02:2014 09:15	0	18	15	18,25	100,5	99,9	100,3	2397	1393	2380	227,5	22,7	225,95	22,45	0,3	
B						100,6	100,4	100,1	2407	1403	2380	224,4	22,2				
A	08:02:2014 14:40	0	23	55	23,916667	100,2	99,4	100,1	2397	1402	2400	269,5	27,1	267,95	26,75	0,5	
B						100,6	100,4	100	2404	1404	2380	266,4	26,4				
A	10:02:2014 15:08	3	15	9	87,15	100,8	99,8	100	2416	1412	2400	442,4	44	441,6	43,95	....	
B						100,5	99,8	100	2409	1413	2400	440,8	43,9				
A	21:02:2014 09:41	13	19	57	331,95	99,8	100,4	100	2418	1415	2410	702,7	70,7	731,3	73,3	4,1	
B						100,3	99,8	100,1	2404	1407	2400	759,9	75,9				
A	20.03.2014 14.19	41	0	35	984,58333	100,2	100	100	2450	1417	2450	805,2	80,4	794,75	79,2	1,6	
B						100,6	99,9	100	2401	1436	2390	784,3	78				

Resept

Sement mengde	20,441 kg
Grus (8-16)	41,502 kg
Vannmengde	7,641 kg
Silikainnhold	0,818 kg
Kalkmengde	0
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	0,30 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	0,164 kg

Generell info

Sement type	Anl. FA
Støypedato	03:02:2014 14:10
Synk	18
Luftinnhold	2,20 %
Betong temperatur	19
Herde temperatur	20

Anlegg FA 5 % kalk

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 20°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	08:02:2014 09:28	0	18	28	18,466667	100,2	101,1	100,2	2433	1422	2400	139	13,7	141,8	13,95	0,4	
B						100,4	101,2	100	2439	1427	2400	144,6	14,2				
A	09:02:2014 14:50	2	14	50	62,833333	100,6	99,3	100,1	2416	1418	2420	300,1	30	300,8	30	....	
B						100,9	99,7	100	2420	1417	2410	301,5	30				
A	10:02:2014 15:23	3	15	23	58	100,5	100,2	100,1	2408	1411	2390	365,2	36,3	371,35	36,9	0,9	
B						100,4	100,2	100,1	2409	1409	2390	377,5	37,5				
A	14:02:2014 14:51	7	14	51	182,85	100,8	100,8	100,1	2448	1440	2410	489,8	48,2	490,55	48,65	0,7	
B						100,3	99,7	100,2	2422	1420	2420	491,3	49,1				
A	21:02:2014 09:32	14	9	33	345,55	99,6	100,3	100,2	2399	1404	2400	610,2	61,1	606,3	60,65	0,6	
B						100	100,1	100	2404	1409	2400	602,4	60,2				
A	20:03:2014 14:11	41	0	27	984,45	99,7	99,8	100	2396	1402	2410	794,9	79,9	807,95	80,9	1,4	
B						100,7	99,6	100	2420	1420	2410	821	81,9				

Resept

Sement mengde	20,441 kg
Grus (8-16)	41,502 kg
Vannmengde	7,641 kg
Silikainnhold	0,818 kg
Kalkmengde	0
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	0,30 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	0,164 kg

Generell info

Sement type	Anl. FA
Støypedato	03:02:2014 14:10
Synk	18
Luftinnhold	2,20 %
Betong temperatur	19
Herde temperatur	6

Anlegg FA 5 % kalk

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 6°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	09:20:2014 14:30	2	14	31	62,516667	100,1	99,4	100	2403	1413	2410	170,9	17,2	170	17	0,3	
B						100,1	100,8	100,2	2422	1413	2400	169,1	16,8				
A	10:02:2014 15:40	3	15	40	87,666667	100,6	100,3	100	2414	1418	2390	252,1	25	262,25	25,95	1,3	
B						101,2	100,1	100,1	2417	1416	2380	272,4	26,9				
A	12:02:2014 14:36	4	23	51	119,85	100,4	99,2	100,1	2403	1409	2410	351,9	35,3	350,1	34,95	0,6	
B						100,2	100,6	100,1	2419	1419	2400	348,3	34,6				
A	14:02:2014 14:57	7	14	58	182,96667	100,2	100,3	100,1	2434	1430	2420	412,2	41	408,35	40,75	0,4	
B						100	100	100	2407	1411	2410	404,5	40,5				
A	21:02:2014 09:25	13	19	40	331,66667	100,1	100,7	100,2	2427	1429	2400	502,7	49,9	509,25	50,6	1,0	
B						100,3	100,3	100	2420	1418	2410	515,8	51,3				
A	20:03:2014 14:03	41	0	19	984,31667	102	100,4	99,9	2457	1444	2400	644,4	62,9	651,95	63,85	1,3	
B						101,7	100,1	99,8	2422	1427	2380	659,5	64,8				

Resept

Sement mengde	18,624
Grus (8-16)	41,502
Vannmengde	7,614
Silikainnhold	0,745
Kalkmengde	1,862
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	0,30 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	78,2g

Generell info

Sement type	Anl. FA
Støypedato	07.02.14 14:30
Synk	18
Luftinnhold	1,40 %
Betong temperatur	21,7
Herde temperatur	20

Anlegg FA 10 % kalk

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 20°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	18:02:2014 12:10	0	21	41	21,683333	101,7	99,8	100,1	2435	1425	2400	180,5	17,8	177,6	17,65	0,2	
B						100	100,1	100	2412	1415	2410	174,7	17,5				
A	19:02:2014 15:12	2	0	43	48,716667	100,4	99,9	100	2427	1425	2420	326,8	32,6	318	31,75	1,2	
B						100,1	100	100,1	2436	1405	2430	309,2	30,9				
A	20:02:2014 13:51	2	23	22	71,366667	100,2	99,7	100,1	2400	1405	2400	372,5	37,3	377,45	37,75	0,6	
B						100,6	99,6	100	2407	1414	2400	382,4	38,2				
A	24:02:2014 13:32	6	23	3	167,05	100,5	99,7	99,9	2434	1434	2430	509,2	50,8	499,45	49,7	1,6	
B						101,5	99,3	100	2438	1434	2420	489,7	48,6				
A	05:03:2014 12:03	15	22	34	382,56667	100,4	100	100,1	2427	1428	2410	666,5	66,4	662,3	65,8	0,9	
B						100,3	100,7	100,2	2468	1455	2440	658,1	65,2				
A	17:03:2014 13:54	27	23	24	671,4	99,9	99,9	100	2408	1415	2410	762,7	76,4	764,55	76,5	0,2	
B						100,4	99,6	99,9	2418	1421	2420	766,4	76,6				

Cem III- B 0 % kalk

Resept

Sement mengde	20,866
Grus (8-16)	
Vannmengde	7,735
Silikainnhold	0,835
Kalkmengde	0
Sand (0-8)	47,588
Vanninnhold grus	0,3
Vanninnhold sand	2,5
SP stoff	114

Generell info

Sement type	Cem III- B
Støypedato	06.02.14 15:00
Synk	25
Luftinnhold	0,9
Betong temperatur	23
Herde temperatur	35

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 35°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	06:02:14 00:00				0	100,6	99,9	99,9	2434	1424	2420	27,1	2,7	25,8	2,57		
B						99,6	101,5	100,2	2435	1425	2400	24,5	2,44				
A	07:02:2014 09:19	0	18	19	18,32	100	100,6	100,2	2450	1436	2430	184,9	18,4	186,75	18,6	0,3	
B						100,3	100,2	100,3	2421	1414	2400	188,6	18,8				
A	07:02:2014 15:16	1	0	16	24,27	101,1	102,1	99,8	2433	1417	2360	249,7	24,2	223,9	21,8	3,4	
B						100,8	101,2	100,1	2471	1440	2420	198,1	19,4				
A	09:02:2014 16:09	3	16	9	88,15	102,5	100,1	100,1	2492	1463	2430	558,9	54,5	561,85	55,1	0,9	
B						101,4	100	100	2449	1433	2420	564,8	55,7				
A	20:02:2014 10:17	13	19	17	331,3	100,5	100,3	100	2439	1425	2420	784,2	77,8	771,5	75,6	3,1	
B						100,4	103	100,3	2489	1459	2400	758,8	73,4				
A	06:03:2014 17:48	29	4	49	700,8	99,8	100,8	100	2431	1425	2420	764,3	76	784,2	77,2	1,7	
B						102,2	100,3	99,9	2456	1435	2400	804,1	78,4				

Cem III- B 0 % kalk

Resept

Sement mengde	20,866
Grus (8-16)	
Vannmengde	7,735
Silikainnhold	0,835
Kalkmengde	0
Sand (0-8)	47,588
Vanninnhold grus	0,3
Vanninnhold sand	2,5
SP stoff	114

Generell info

Sement type	Cem III- B
Støypedato	06.02.14 15:00
Synk	25
Luftinnhold	0,9
Betong temperatur	23
Herde temperatur	35

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 20°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	07:02:2014 09:32	0	18	32	18,53	100,6	101,2	100	2461	1440	2420	99,6	9,8	99,6	9,8	...	
B						100,2	101,2	100,2	2423	1411	2390	99,6	9,8				
A	08:02:2014 15:02	2	0	2	48,03	100,4	102,4	100,2	2476	1451	2400	251,7	24,5	249,9	24,45	...	
B						100,9	100,7	100,2	2453	1430	2410	248,1	24,4				
A	09:02:2014 15:33	3	15	33	87,55	102	99,9	102	2459	1442	2370	355,8	34,9	351,85	34,65	0,4	
B						101,5	99,6	100	2450	1441	2420	347,9	34,4				
A	13:02:2014 15:13	7	0	13	168,2	99,2	100,7	100	2422	1421	2420	573,8	57,4	565	56,55	1,2	
B						99,2	100,7	100,1	2417	1419	2420	556,2	55,7				
A	20:02:2014 10:05	13	19	5	331,1	98,9	102,5	100	2452	1434	2420	694	68,5	695,25	69	0,7	
B						100	100,2	100,1	2473	1452	2470	696,5	69,5				
A	06:03:2014 16:26	29	3	26	699,4	101,5	100	100	2470	1446	2430	804,2	79,2	804,6	79,4	0,2	
B						101,6	99,6	100	2470	1454	2440	805	79,6				

Cem III- B 0 % kalk

Resept

Sement mengde	20,866
Grus (8-16)	
Vannmengde	7,735
Silikainnhold	0,835
Kalkmengde	0
Sand (0-8)	47,588
Vanninnhold grus	0,3
Vanninnhold sand	2,5
SP stoff	114

Generell info

Sement type	Cem III- B
Støypedato	06.02.14 15:00
Synk	25
Luftinnhold	0,9
Betong temperatur	23
Herde temperatur	35

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 6°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	08:02:2014 14:51	0	23	51	23,85	100,1	101,3	100	2447	1439	2410	113,9	11,2	115	11,3	0,1	
B						100	101,8	100	2451	1435	2410	116,1	11,4				
A	09:02:2014 15:09	3	0	9	72,15	102	99,7	100,1	2463	1495	2420	157	15,4	159,45	15,6	0,3	
B						102	100,2	100,1	2457	1441	2400	161,9	15,8				
A	11:02:2014 15:03	5	0	4	120,1	99,9	100,2	100,8	2429	1427	2410	219,9	22	224,95	22,4	0,6	
B						99,8	101	100,1	2455	1439	2430	230	22,8				
A	13:02:2014 14:56	6	23	56	167,9	100,6	99,8	99,9	2418	1417	2410	280,4	27,9	280,85	28	0,1	
B						99,9	100,1	99,9	2452	1444	2450	281,3	28,1				
A	20:02:2014 09:58	13	18	58	331	99,9	99,8	100	2485	1467	2490	435,1	43,9	429,05	43,1	1,2	
B						99	101	99,9	2482	1465	2490	423	42,3				
A	06:03:2014 17:06	29	4	10	700,2	102,3	100,2	100	2485	1460	2420	552,8	53,9	542,9	52,9	1,4	
B						102,7	100	100	2486	1460	2420	533	51,9				

Cem III- B 5 % kalk

Resept

Sement mengde	19,837
Grus (8-16)	
Vannmengde	8,01
Silikainnhold	0,793
Kalkmengde	0,992
Sand (0-8)	47,404
Vanninnhold grus	2 %
Vanninnhold sand	0,30 %
SP stoff	114

Generell info

Sement type	Cem III- B
Støypedato	18.02.14 13:30
Synk	19
Luftinnhold	1,9
Betong temperatur	21,5
Herde temperatur	35

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 35°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	18:02:2014 20:20	0	5	35	5,583	101,1	100,3	100	2421	1408	2390	44,9	4,4	46,4	4,55	0,2	
B						102,1	100,4	100	2448	1427	2390	47,9	4,7				
A	19:02:2014 07:55	0	1 8	26	18,43	100,4	102,1	100	2429	1410	2370	171,9	16,8	169,35	16,65	0,2	
B						100,2	101	100,1	2423	1410	2390	166,8	16,5				
A	19:02:2014 15:26	1	1	56	25,93	101,5	100,2	100	2425	1411	2380	252,5	24,8	256,6	25,15	1,1	
B						101,6	100,5	100	2436	1420	2390	260,7	25,5				
A	21:02:2014 14:06	3	0	36	72,6	100	101,4	100	2431	1418	2400	511,6	50,5	516,8	51	0,7	
B						101,2	100,2	100	2442	1425	2410	522	51,5				
A	25:02:2014 15:14	7	1	44	169,7	101	100	100	2419	1410	2400	634,6	62,8	639,95	63,05	0,3	
B						102,1	99,9	99,9	2453	1437	2410	645,3	63,3				
A	04:03:2014 12:50	13	2 3	21	335,4	101	100	100	2429	1416	2410	676,9	67	681,45	67,35	0,5	
B						101,4	99,9	100,2	2435	1420	2400	686	67,7				

Cem III- B 5 % kalk

Resept

Sement mengde	19,837
Grus (8-16)	
Vannmengde	8,01
Silikainnhold	0,793
Kalkmengde	0,992
Sand (0-8)	47,404
Vanninnhold grus	2 %
Vanninnhold sand	0,30 %
SP stoff	114

Generell info

Sement type	Cem III- B
Støypedato	18.02.14 13:30
Synk	19
Luftinnhold	1,9
Betong temperatur	21,5
Herde temperatur	20

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 20°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	19:02:2014 07:48	0	18	18	18,3	100,3	98,8	100,3	2419	1410	2430	76,2	7,7	75,45	7,5	0,3	ujevn kant
B						100,3	102,5	100,4	2402	1396	2330	74,7	7,3				
A	20:02:2014 13:06	1	23	36	47,6	99,7	100,2	100,2	2395	1398	2390	196,9	19,7	205,5	20,5	1,1	
B						100,6	100,1	100	2385	1389	2370	214,1	21,3				
A	21:02:2014 13:53	3	0	24	72,4	99,5	99,7	100,2	2367	1375	2380	330,5	33,3	320,65	32,2	1,6	
B						99,5	100,4	100,1	2392	1396	2390	310,8	31,1				
A	25:02:2014 14:25	7	0	56	168,9	100,1	100,6	100,2	2406	1404	2380	522,5	51,9	523,6	51,95	0,1	
B						100,8	100,1	100,2	2402	1403	2380	524,7	52				
A	04:03:2014 12:38	13	23	9	335,2	99,8	100,6	100,2	2387	1393	2370	662,2	66	650,25	65,05	1,3	
B						99,9	99,7	100,2	2383	1389	2390	638,3	64,1				
A	18:03:2014 15:24	28	15	24	687,4	100,4	100,2	100,5	2414	1412	2390	722,7	71,8	724,2	71,95	0,3	
B						100,2	100,3	100,4	2414	1412	2390	725,7	72,1				

Cem III- B 5 % kalk

Resept

Sement mengde	19,837
Grus (8-16)	41,502
Vannmengde	8,01
Silikainnhold	0,793
Kalkmengde	0,992
Sand (0-8)	47,404
Vanninnhold grus	2 %
Vanninnhold sand	0,30 %
SP stoff	114

Generell info

Sement type	Cem III- B
Støypedato	18.02.14 13:30
Synk	19
Luftinnhold	1,9
Betong temperatur	21,5
Herde temperatur	6,00

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 6-7°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	20:02:2014 13:10	1	2 3	40	47,67	100,4	99,9	100	2395	1393	2390	92,8	9,3	93,4	9,3	....	
B						100,8	100,3	100,2	2400	1400	2370	94	9,3				
A	21:02:2014 13:59	3	0	29	72,48	100,4	99,9	100,1	2401	1408	2390	125,4	12,5	128,35	12,9	0,5	
B						99	99,9	100	2392	1408	2420	131,3	13,3				
A	23:02:2014 13:36	5	0	6	120,1	100,2	100,4	100	2414	1398	2400	191,6	19	200,9	19,9	1,3	
B						100	100,9	100,1	2417	1397	2390	210,2	20,8				
A	25:02:2014 14:41	7	1	12	169,2	100	100	100	2389	1389	2390	252,7	25,3	258,1	25,85	0,8	
B						100	100	99,8	2394	1389	2400	263,5	26,4				
A	04:03:2014 12:44	13	2 3	14	335,2	100,1	100,4	100	2394	1400	2390	432,6	43,1	434,25	43,25	0,2	
B						100,1	100,3	100,1	2391	1394	2380	435,9	43,4				
A	18:03:2014 15:30	28	1 5	30	687,5	100,2	99,7	100,2	2388	1396	2390	549,4	55	551,7	55,2	0,3	
B						100,3	99,7	100,2	2381	1384	2380	554	55,4				

Cem III- B 10 % kalk

Resept

Sement mengde	18,941
Grus (8-16)	41,502
Vannmengde	7,757
Silikainnhold	0,758
Kalkmengde	1,894
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	2,50 %
Vanninnhold sand	0,30 %
SP stoff	46,8 g

Generell info

Sement type	Cem III- B
Støypedato	19:02:2014 13:50
Synk	16
Luftinnhold	2,00 %
Betong temperatur	16,9
Herde temperatur	20

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 20°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	alder [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	20:02:2014 07:50	0	18	0	18	99,8	100,3	100	2407	1395	2400	62,4	6,2	64	6,4	0,3	
B						99,7	99,8	100	2428	1412	2440	65,6	6,6				
A	21:02:2014 14:12	2	0	23	48,38	100,7	100,1	100,3	2425	1414	2400	188,6	18,7	191,7	18,95	0,4	
B						101	100,2	100,2	2431	1413	2400	194,8	19,2				
A	22:02:2014 13:30	2	23	41	71,68	100,1	100,4	100,3	2415	1406	2400	291,9	29	292,7	29,1	0,1	
B						100,4	100	100,5	2418	1407	2400	293,5	29,2				
A	26:02:2014 14:41	7	14	41	182,7	100,5	100,3	100,1	2449	1430	2430	506,4	50,2	505,15	50,25	0,1	
B						100	100,1	100	2425	1417	2420	503,9	50,3				
A	05:03:2014 11:18	13	21	28	333,5	100,5	100,4	100,1	2437	1425	2410	622	61,6	622,55	61,6	0,1	
B						100,5	100,7	100,3	2444	1427	2410	623,1	61,6				
A	19:03:2014 15:15	28	15	15	687,3	101	100,3	100,1	2426	1415	2390	716,2	70,7	714,3	70,55	0,2	
B						101	100,2	100,1	2404	1399	2370	712,4	70,4				

Resept

Sement mengde	20,937
Grus (8-16)	41,502
Vannmengde	7,846
Silikainnhold	0,837
Kalkmengde	0
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	3,00 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	0,167

Generell info

Sement type	Aalborg rapid
Støypedato	05:02:2014 13:16
Synk	20
Luftinnhold	2,00 %
Betong temperatur	23,3
Herde temperatur	35

Aalborg Rapid 0%

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 35°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	Alder tot. [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	05:02:2014 19:13	0	4	57	4,95	101,9	100,1	100,3	2476	1448,7	2420	141,1	13,8	143,15	14,05	0,3	
B						101,5	100,3	99,9	2457	1438,4	2420	145,2	14,3				
A	06:02:2014 08:20	0	18	4	18,07	100,8	99,7	100,1	2421	1409,6	2410	390,2	38,8	389,05	38,6	0,3	
B						99,8	101,1	100	2447	1430,6	2420	387,9	38,4				
A	06:02:2014 13:34	0	23	18	23,30	101,1	100	99,9	2451	1430	2430	440,4	43,6	455,55	45,1	2,2	
B						100,7	100,2	100	2457	1440,5	2430	470,7	46,6				
A	08:02:2014 13:15	2	23	59	71,98	99,8	100,5	100	2455	1438,6	2450	614,9	61,3	633,4	63	2,4	
B						99,9	100,8	100	2441	1428,8	2420	651,9	64,7				
A	19:02.2014 16:33	14	3	17	339,28	101	100,1	100	2463	1446,2	2440	824,5	81,6	802,25	78,95	3,7	
B						102,3	99,9	100	2487	1460,1	2430	780	76,3				
A	05:03:2014 11:08	27	21	52	669,87	100	101	100,4	2455	1436,7	2420	700,4	69,3	745,2	73,7	6,2	
B						100,1	101,1	100,3	2449	1434,4	2410	790	78,1				

Resept

Sement mengde	20,937
Grus (8-16)	41,502
Vannmengde	7,846
Silikainnhold	0,837
Kalkmengde	0
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	3,00 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	0,167

Generell info

Sement type	Aalborg rapid
Støypedato	05:02:2014 13:16
Synk	20
Luftinnhold	2,00 %
Betong temperatur	23,3
Herde temperatur	20

Aalborg Rapid 0%

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 20°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	Alder tot. [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	06:02:2014 13:43	1	0	34	24,57	100,3	100,9	100,1	2449	1436,7	2420	216,1	21,4	280,65	27,95	9,3	dårlig utstøpt terning
B						100,7	99,5	100	2442	1429,7	2440	345,2	34,5				
A	07:02:2014 13:49	2	0	33	48,55	100,6	99,9	99,8	2434	1429,8	2430	522,5	52	518,6	51,5	0,7	
B						101,1	99,9	99,9	2452	1438,9	2430	514,7	51				
A	08:02:2014 13:02	2	23	46	71,77	99,9	100,3	100,4	2411	1412	2400	573,3	57,2	581,85	57,75	0,8	
B						100,3	100,9	100,1	2451	1436	2420	590,4	58,3				
A	12:02:2014 13:16	7	0	1	168,02	99,3	100,5	100,1	2422	1416,8	2420	730,5	73,2	693,95	69,2	5,6	
B						99,2	101,6	100,1	2459	1444,5	2440	657,4	65,2				
A	19:02:2014 16:10	14	2	54	338,90	101,2	99	100	2431	1420,9	2430	786,4	78,5	810,55	80,6	3,0	
B						101,2	99,7	99,9	2446	1439,9	2430	834,7	82,7				
A	05:03:2014 10:56	27	21	40	669,67	99,9	99,3	100,2	2398	1406,6	2410	829,8	83,6	829,5	82,55	1,5	
B						101,5	100,2	100,1	2501	1472,8	2460	829,2	81,5				b kloss hadde ledning

Resept

Sement mengde	20,937
Grus (8-16)	41,502
Vannmengde	7,846
Silikainnhold	0,837
Kalkmengde	0
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	3,00 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	0,167

Generell info

Sement type	Aalborg rapid
Støypedato	05:02:2014 13:16
Synk	20
Luftinnhold	2,00 %
Betong temperatur	23,3
Herde temperatur	6

Aalborg Rapid 0%

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 6°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	Alder tot. [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	07:02:2014 13:31	2	0	15	48,25	101,3	100,1	100	2438	1429,6	2400	336,1	33,1	338,8	33,5	0,5	
B						100,8	99,9	100	2440	1433,1	2420	341,5	33,9				
A	08:02:2014 12:56	2	23	40	71,67	100,5	100,4	100,2	2448	1436	2420	458,2	45,4	464,2	45,7	0,4	
B						100,4	101,8	100,2	2451	1435,7	2390	470,2	46				
A	10:02:2014 13:21	5	13	21	133,35	101	100,1	100	2444	1431,4	2420	569	53,6	568,55	54,8	0,2	
B						101,2	100,3	100	2445	1433	2410	568,1	56				
A	12:02:2014 13:00	6	23	45	167,75	100	100,4	100	2437	1431,3	2430	650,1	64,8	638,4	63,55	1,7	
B						99,8	100,8	99,8	2452	1444,1	2440	626,7	62,3				
A	19:02:2014 15:55	14	2	39	338,65	101,5	100,4	100	2468	1499,5	2420	733,7	72	689,1	68	0,5	
B						101,6	100,2	100	2443	1434,7	2430	644,5	64				mulig indre skade
A	06:03:2014 17:24	29	4	8	700,13	100	101	100,4	2455	1437,1	2420	767,9	76	810,8	80	5,7	
B						101,6	100	100	2462	1443,4	2420	853,7	84				

Resept

Sement mengde	19,941
Grus (8-16)	41,502
Vannmengde	7,822
Silikainnhold	0,798
Kalkmengde	0,997
Sand (0-8)	41,502
Vanninnhold grus	0,30 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	78,1g

Generell info

Sement type	Aalborg rapid
Støypedato	20:02:2014 14:40
Synk	13
Luftinnhold	2,50 %
Betong temperatur	22,2
Herde temperatur	35

Aalborg Rapid 5%

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 35°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	Alder tot. [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	20:02:2014 20:13	0	5	34	5,57	99,9	100,9	100,2	2414	1407,8	2390	136,8	13,6	135	13,5	0,1	
B						100,5	99,1	100,1	2380	1384,9	2390	133,2	13,4				
A	21:02:2014 08:45	0	18	5	18,08	100,3	100	100,1	2412	1409,1	2400	409,6	40,8	408,15	40,6	0,3	
B						100,3	100,3	100,1	2415	1406,1	2400	406,7	40,4				
A	21:02:2014 14:51	1	14	52	38,87	102,4	100,4	100,1	2484	1439	2410	461,3	44,9	468,45	45,5	0,9	
B						102,8	100,4	100	2484	1451,4	2410	475,6	46,1				
A	23:02:2014 14:43	3	0	4	72,07	100	101,6	100	2415	1432	2380	664,1	65,4	663,75	65,5	0,2	
B						100,8	100,3	100	2415	1412,5	2390	663,4	65,6				
A	06:03:2014 17:57	14	3	18	339,30	102	100,4	100	2457	2465,7	2410	802,5	78,4	803,05	78,55	0,2	
B						102	100,1	100	2465	2464,9	2410	803,6	78,7				
A	20:03:2014 13:38	27	22	58	670,97	101,4	101,3	100,1	2462	1445	2390	852,4	83	867,95	85,05	2,9	
B						101,2	100,2	99,9	2445	1567,2	2410	883,5	87,1				

Resept

Sement mengde	19,941
Grus (8-16)	41,502
Vannmengde	7,822
Silikainnhold	0,798
Kalkmengde	0,997
Sand (0-8)	41,502
Vanninnhold grus	0,30 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	78,1g

Generell info

Sement type	Aalborg rapid
Støypedato	20:02:2014 14:40
Synk	13
Luftinnhold	2,50 %
Betong temperatur	22,2
Herde temperatur	20

Aalborg Rapid 5%

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 20°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	Alder tot. [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	21:02:2014 08:58	0	18	18	18,30	102,2	100,5	100	2461	1441,3	2400	286,2	27,9	284,95	27,7	0,2	
B						100,3	102,7	100	2479	1448,5	2410	283,7	27,5				
A	22:02:2014 14:14	1	23	35	47,58	99,9	100,5	100,1	2408	1410,1	2400	530	52,8	537,05	53,45	0,9	
B						100,1	100,5	100	2406	1412	2390	544,1	54,1				
A	23:02:2014 14:26	2	23	47	71,78	101,1	100,3	100,4	2484	1464,3	2440	649,7	64,1	618,05	60,75	4,7	
B						102,3	99,9	100	2452	1434	2400	586,4	57,4				grusras
A	28:02:2014 13:49	7	14	48	182,80	101,6	100,2	100	2492	1473,4	2450	784,3	77	765	75,35	2,4	
B						101,7	99,5	100	2448	1439,9	2420	745,7	73,7				
A	06:03:2014 16:11	14	1	32	337,53	100	100	99,9	2422	1421	2420	882,3	88,2	881,05	87,2	1,5	
B						102	100,1	100,1	2485	1459,2	2430	879,8	86,2				
A	20:03:2014 13:47	27	23	7	671,12	100,5	99,8	100	2424	1423,5	2420	942,2	93,9	931,95	92,25	2,3	
B						101,8	99,9	100	2480	1461,3	2440	921,7	90,6				

Resept

Sement mengde	19,941
Grus (8-16)	41,502
Vannmengde	7,822
Silikainnhold	0,798
Kalkmengde	0,997
Sand (0-8)	41,502
Vanninnhold grus	0,30 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	78,1g

Generell info

Sement type	Aalborg rapid
Støypedato	20:02:2014 14:40
Synk	13
Luftinnhold	2,50 %
Betong temperatur	22,2
Herde temperatur	6

Aalborg Rapid 5%

testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 6°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	Alder tot. [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	22:02:2014 14:19	1	23	40	47,67	100,5	100,5	100	2466	1444,9	2440	367,9	36,4	364,9	35,8	0,8	
B						100,8	101,9	100,4	2512	1478,8	2440	361,9	35,2				
A	23:02:2014 14:13	2	23	33	71,55	101,8	100	100	2486	1460,6	2440	468,8	46,1	477,05	47,2	1,6	
B						100,4	100	100	2486	1463,2	2480	485,3	48,3				
A	27:02:2014 14:39	7	14	40	182,67	101,6	100,2	100	2468	1443,9	2420	573,9	56,4	601,9	59,1	3,8	
B						101,9	100,1	100,3	2475	1455,7	2420	629,9	61,8				
A	04:03:2014 13:01	11	22	22	286,37	100,7	102,2	100,1	2513	1480,8	2440	698,2	67,8	707,75	69,75	2,7	
B						100	100	100,1	2460	1446,6	2460	717,3	71,7				
A	06:03:2014 17:17	14	2	38	338,63	100,7	100,7	100,1	2477	2476,6	2440	743,3	73,3	742,05	72,7	0,9	
B						102,6	100,2	99,9	2502	2501,5	2440	740,8	72,1				
A	20:03:2014 13:56	27	23	16	671,27	102,3	100,5	100	2497	1468,6	2430	848,6	82,5	841,9	82,3	0,3	
B						101,6	100,1	99,9	2486	1464,1	2450	835,2	82,1				

Resept

Sement mengde	19,035
Grus (8-16)	41,502
Vannmengde	7,0185
Silikainnhold	0,761
Kalkmengde	1,904
Sand (0-8)	47,636
Vanninnhold grus	0,30 %
Vanninnhold sand	2,50 %
SP stoff	0,152

Generell info

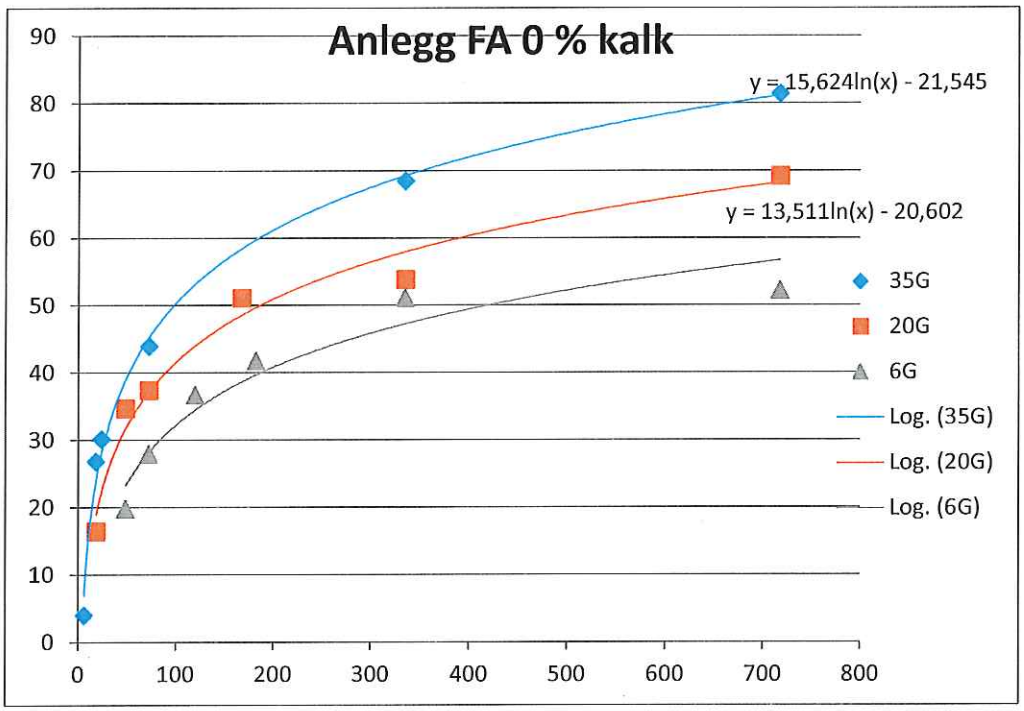
Sement type	Aalborg rapid
Støypedato	21:02:2014 14:30
Synk	12
Luftinnhold	2,40 %
Betong temperatur	23,5
Herde temperatur	20

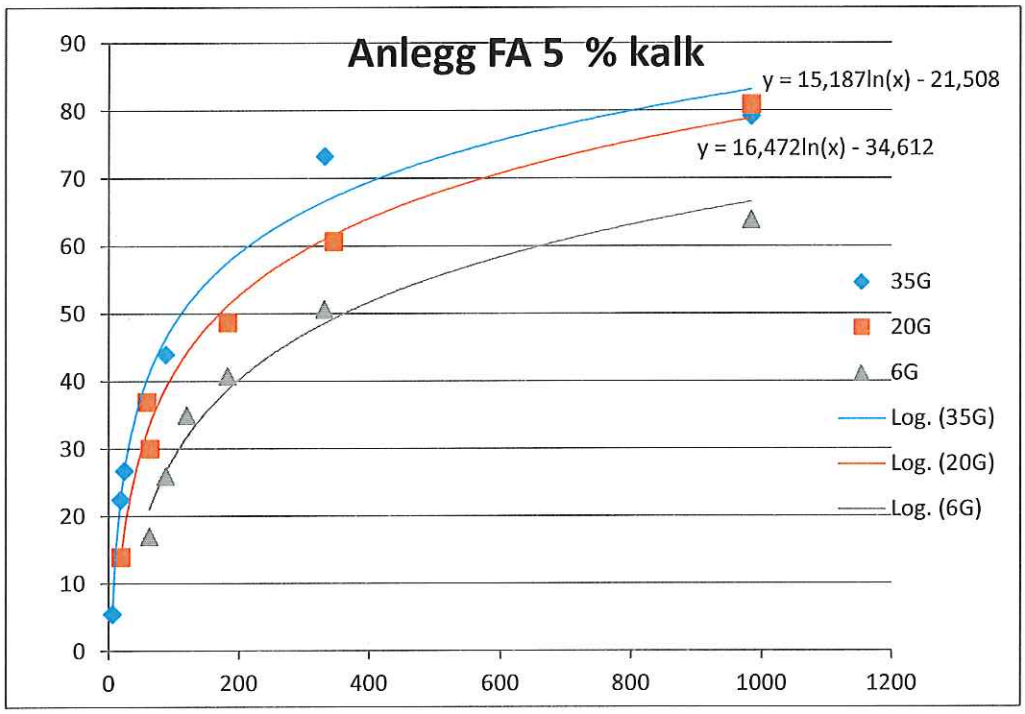
Aalborg Rapid 10%

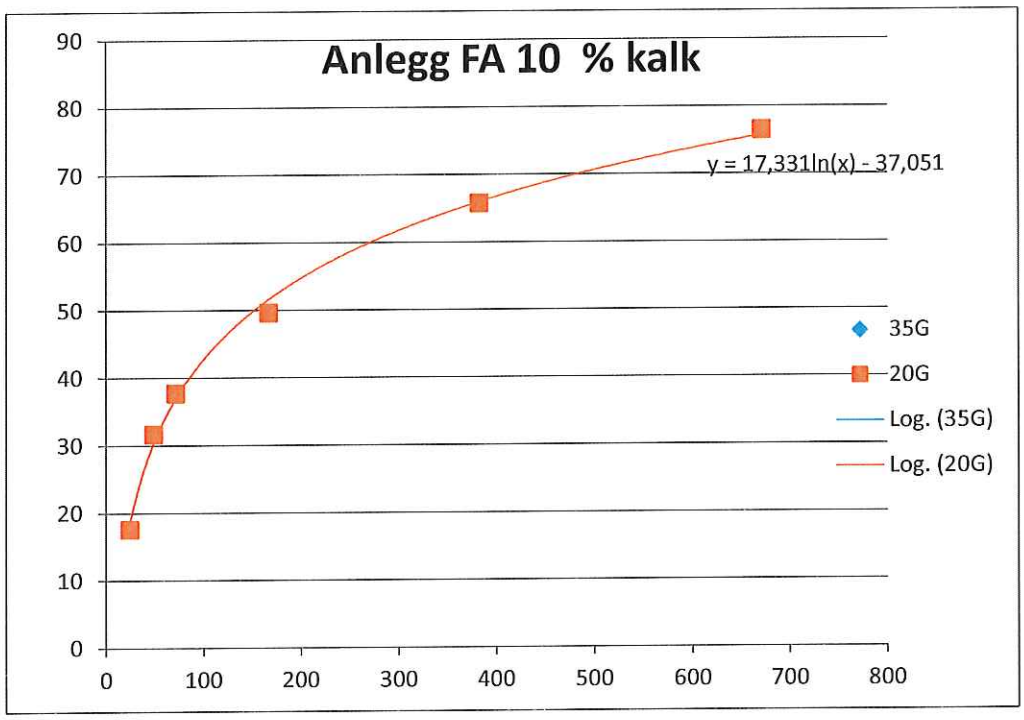
testemne	Testtid	Alder				Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik	Merknader/ kommentarer
Temp: 20°C	[dd:mm:åå tt:mm:ss]	[d]	[t]	[m]	Alder tot. [timer]	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]		
A	22:02:2014 08:48	0	18	19	18,31667	101,2	100,2	100	2452	1436,9	2420	312,2	30,8	315,85	31,3	0,7	
B						100	100,6	100,1	2446	1431,7	2430	319,5	31,8				
A	23:02:2014 13:56	2	23	26	71,43333	102,2	100,3	100	2462	1441,6	2400	523,1	51	500,75	48,8	3,1	
B						102,1	100,5	99,9	2470	1446,8	2410	478,4	46,6				
A	24:02:2014 13:15	2	22	45	70,75	101	100,2	100	2469	1451,2	2440	625,9	61,8	619,45	61,15	0,9	
B						101,1	100,2	100	2475	1456,4	2440	613	60,5				
A	28:02:2014 13:49	7	13	49	181,8167	101,5	100,4	100	2476	1452,6	2430	749,7	73,6	740,55	72,8	1,1	
B						101,3	100,3	100	2470	1448,3	2430	731,4	72				skadd hjørne på terning
A	21:03:2014 14:42	28	0	12	672,2	102,1	99,9	99,9	2478	1455,5	2430	847,8	83,1	854,1	84	1,2	
B						101,9	99,5	99,9	2452	1439,7	2420	860,4	84,9				

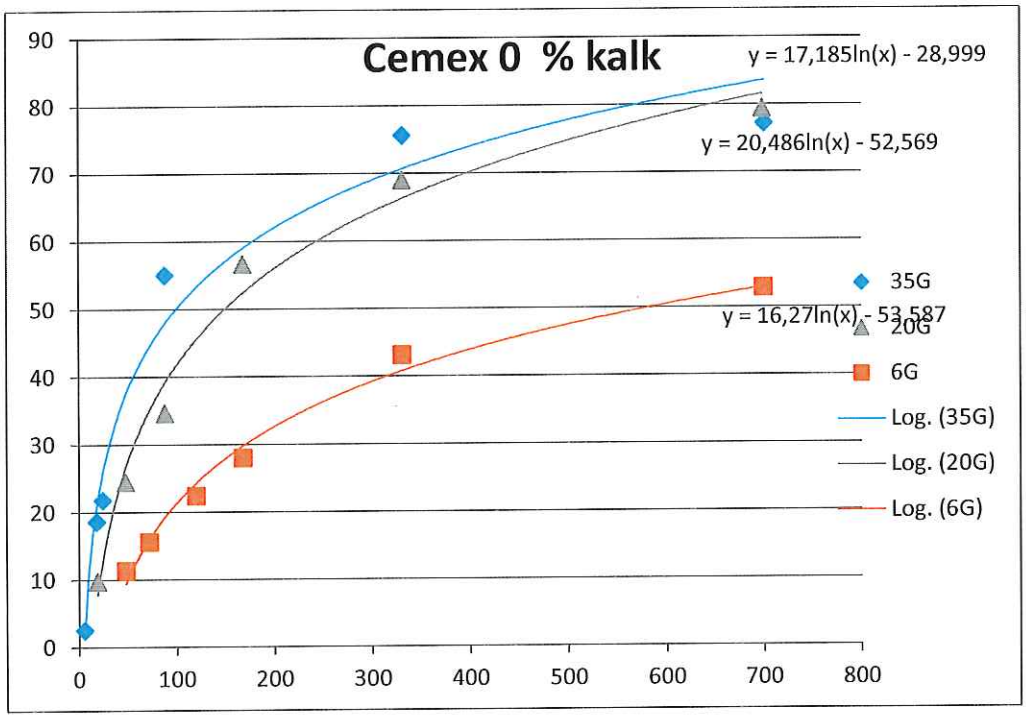
VEDLEGG 3: GRAF OVER TRYKKFASTHET

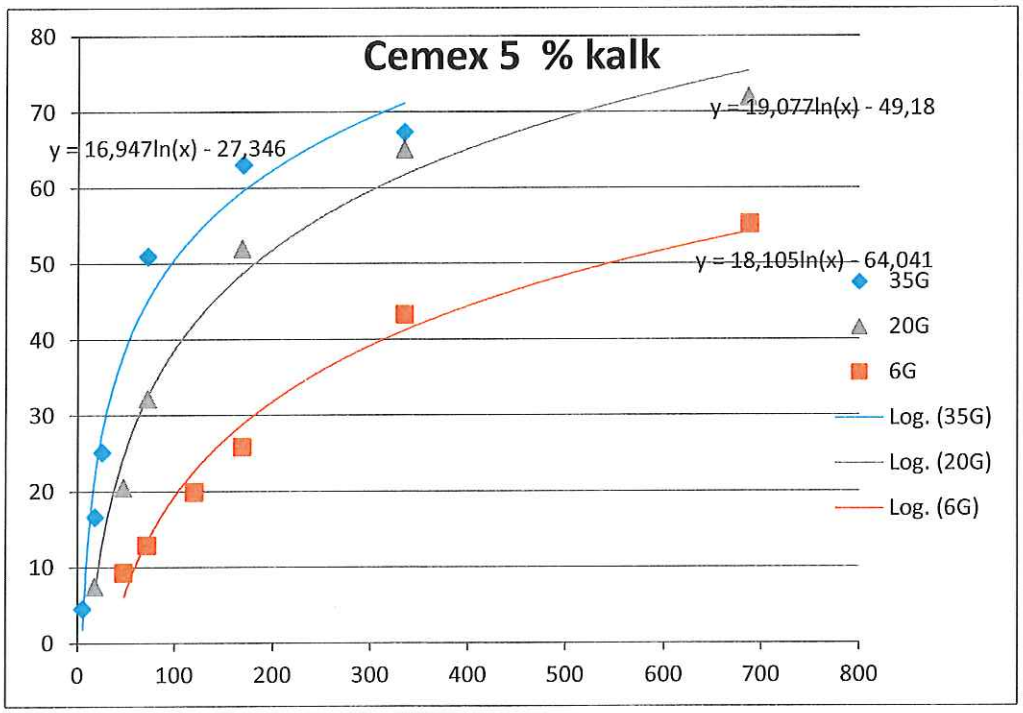
I dette vedlegget vises grafer over trykkfasthetsutvikling i forskjellige herdetemperatur som en funksjon av tid.

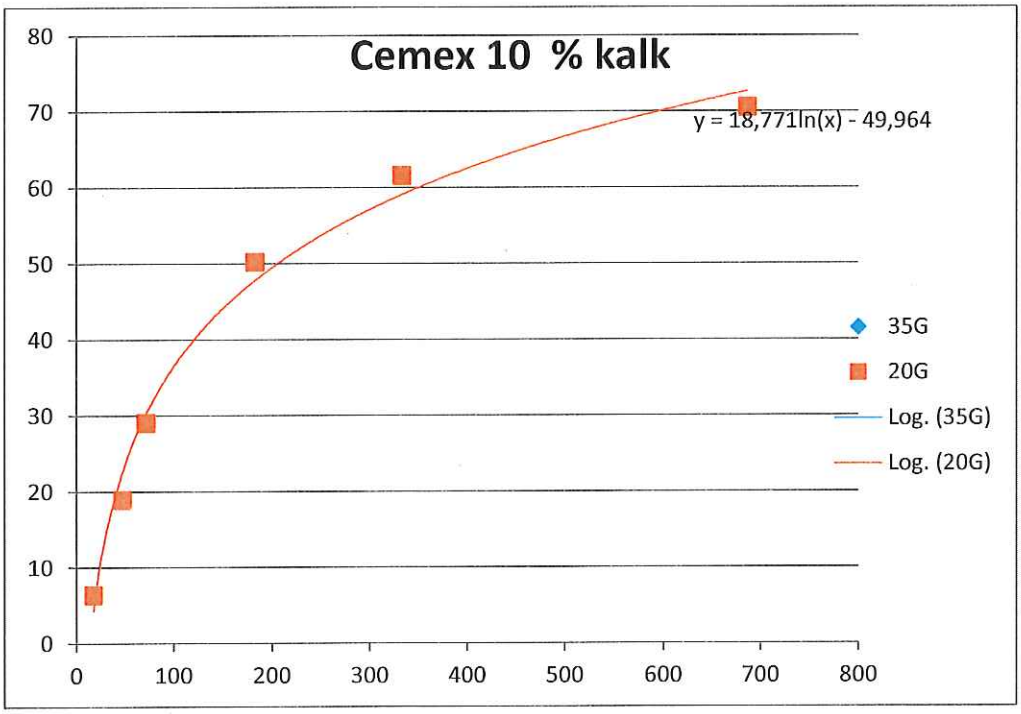

Anlegg FA 0 % kalk
y = 15,624ln(x) - 21,545
y = 13,511ln(x) - 20,602
35G
20G
6G
Log. (35G)
Log. (20G)
Log. (6G)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
100
200
300
400
500
600
700
800

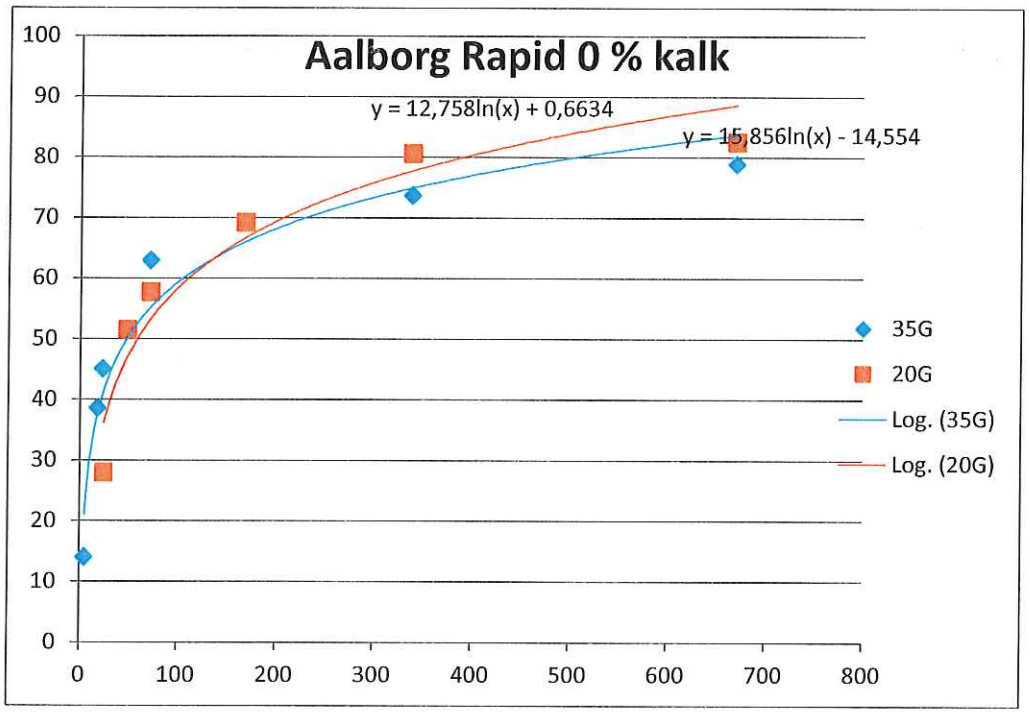

Anlegg FA 5 % kalk
y = 15,187ln(x) - 21,508
y = 16,472ln(x) - 34,612
35G
20G
6G
Log. (35G)
Log. (20G)
Log. (6G)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
200
400
600
800
1000
1200

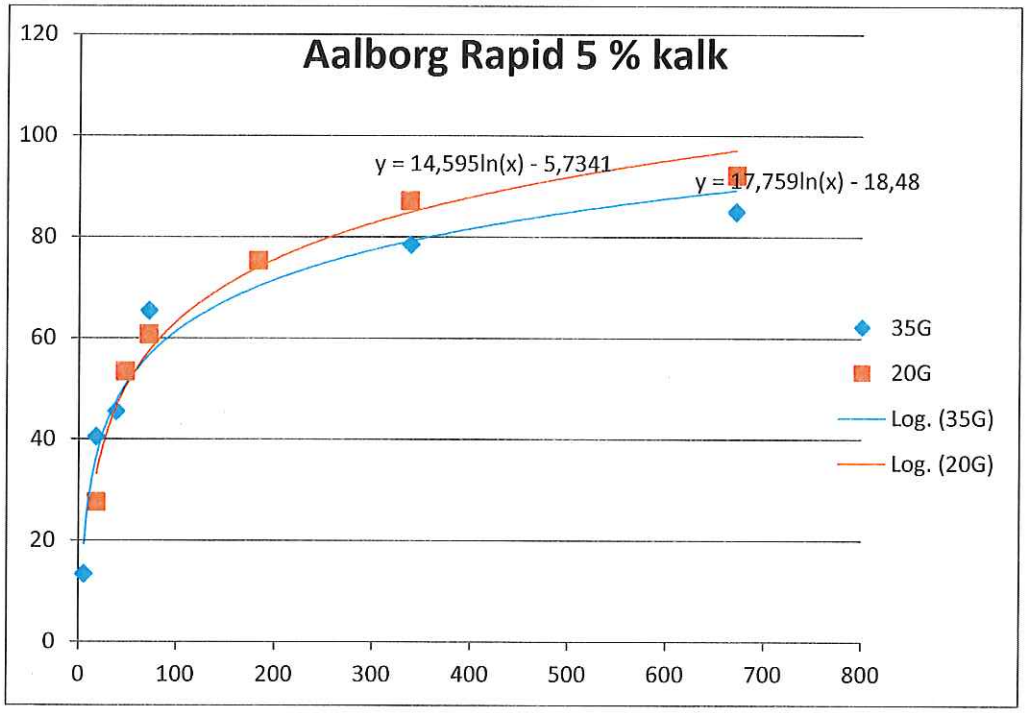

Anlegg FA 10 % kalk
y = 17,331ln(x) - 37,051
35G
20G
Log. (35G)
Log. (20G)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
100
200
300
400
500
600
700
800

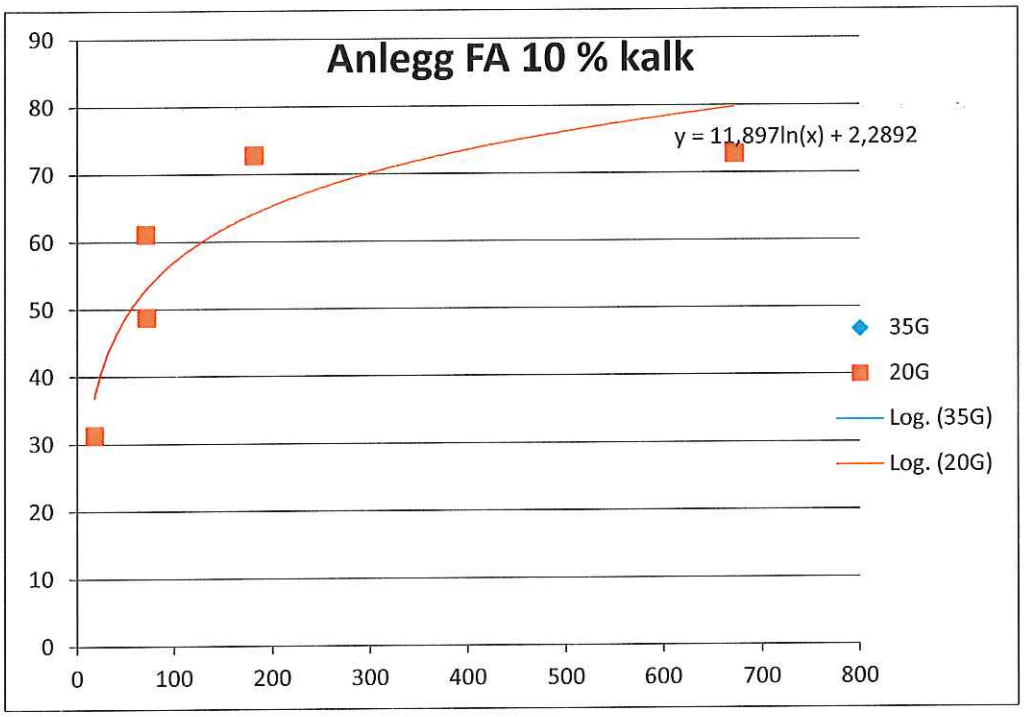

Cemex 0 % kalk
y = 17,185ln(x) - 28,999
y = 20,486ln(x) - 52,569
y = 16,27ln(x) - 53,587
35G
20G
6G
Log. (35G)
Log. (20G)
Log. (6G)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
100
200
300
400
500
600
700
800


Cemex 5 % kalk
y = 16,947ln(x) - 27,346
y = 19,077ln(x) - 49,18
y = 18,105ln(x) - 64,041
35G
20G
6G
Log. (35G)
Log. (20G)
Log. (6G)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
100
200
300
400
500
600
700
800


Cemex 10 % kalk
y = 18,771ln(x) - 49,964
35G
20G
Log. (35G)
Log. (20G)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
100
200
300
400
500
600
700
800


Aalborg Rapid 0 % kalk
y = 12,758ln(x) + 0,6634
y = 15,856ln(x) - 14,554
35G
20G
Log. (35G)
Log. (20G)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
100
200
300
400
500
600
700
800

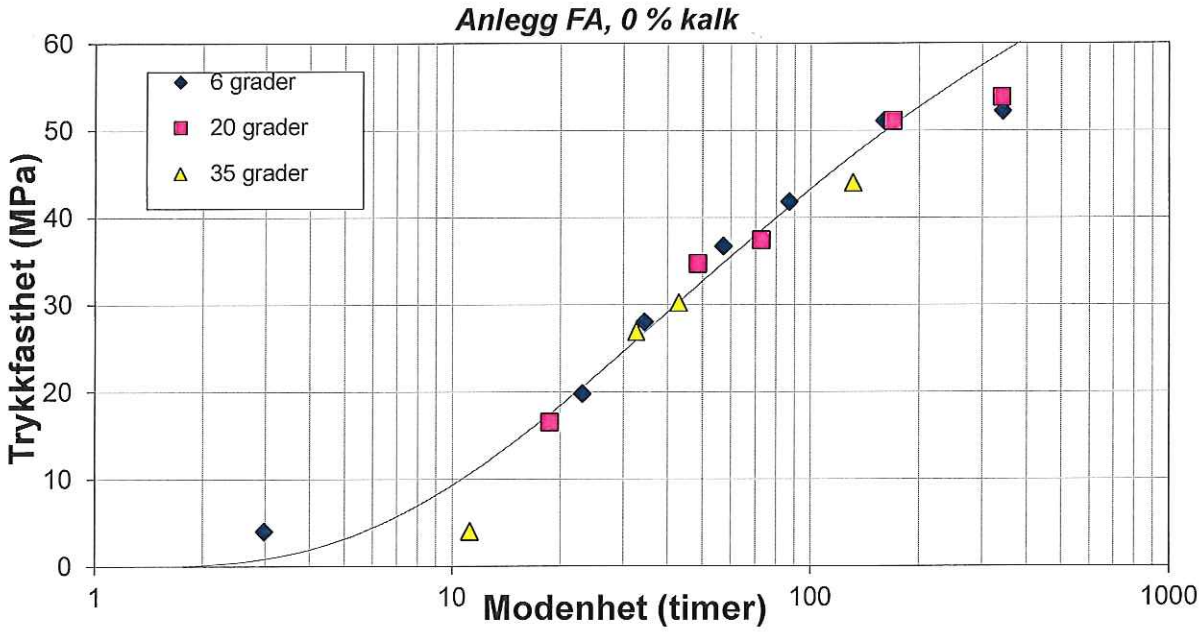

Aalborg Rapid 5 % kalk
y = 14,595ln(x) - 5,7341
y = 17,759ln(x) - 18,48
35G
20G
Log. (35G)
Log. (20G)
0
20
40
60
80
100
120
0
100
200
300
400
500
600
700
800

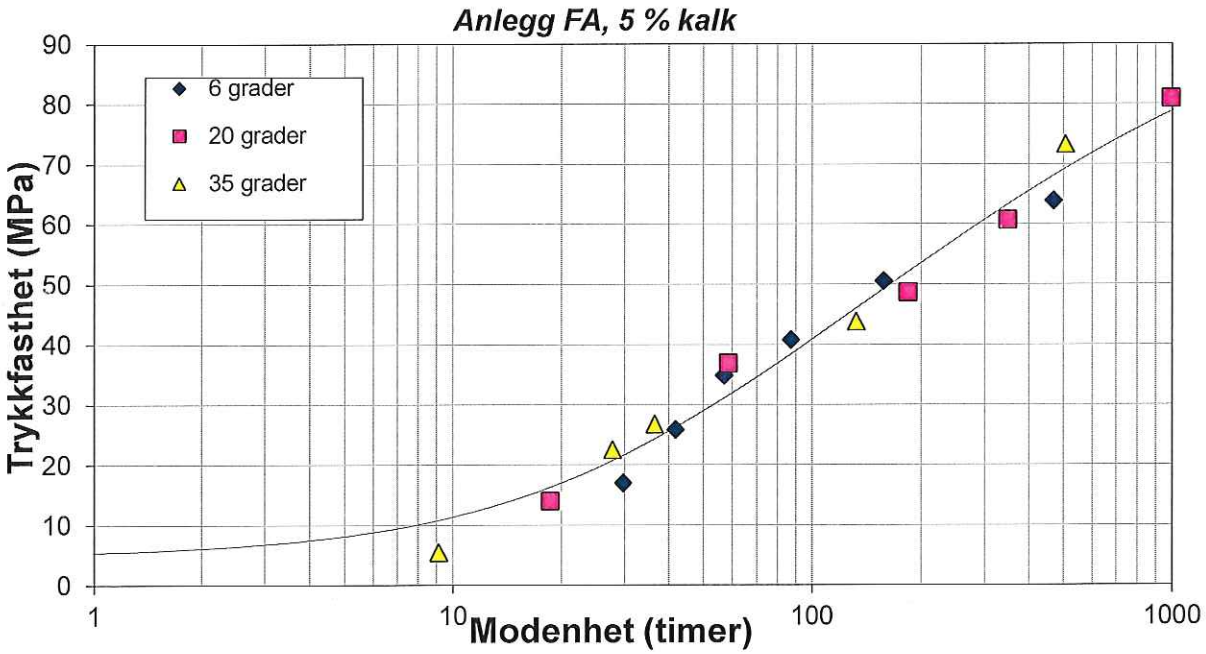

Anlegg FA 10 % kalk
y = 11,897ln(x) + 2,2892
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
35G
20G
Log. (35G)
Log. (20G)

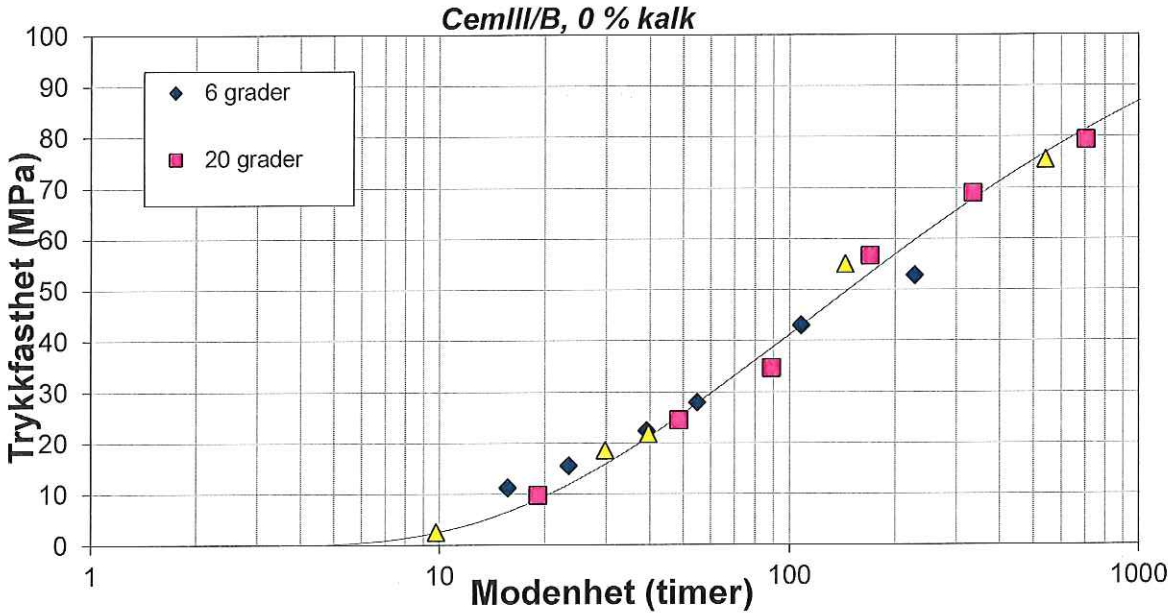
VEDLEGG 4: GRAF OVER MODENHET

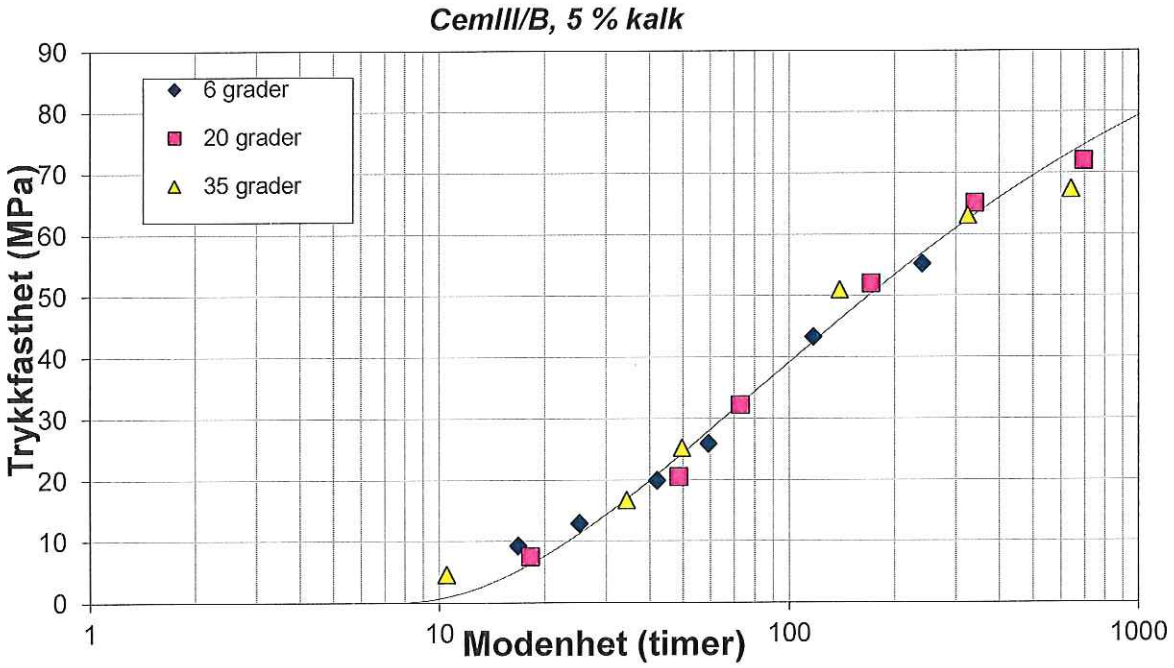
Modenhetsgrafene i dette vedlegget framkommer av trykkfasthetene som vises i Vedlegg 4. Figurene viser tilpasninger samt rådata. Figurene er utarbeidet i et regneark som er laget av Sverre Smedplass i Skanska. Modenhet for blandinger med 10 % kalkerstatning vises ikke, grunnet kun en referanseserie. En referanseserie gir ikke et sammenligningsgrunnlag og er dermed uvesentlig for denne rapporten.

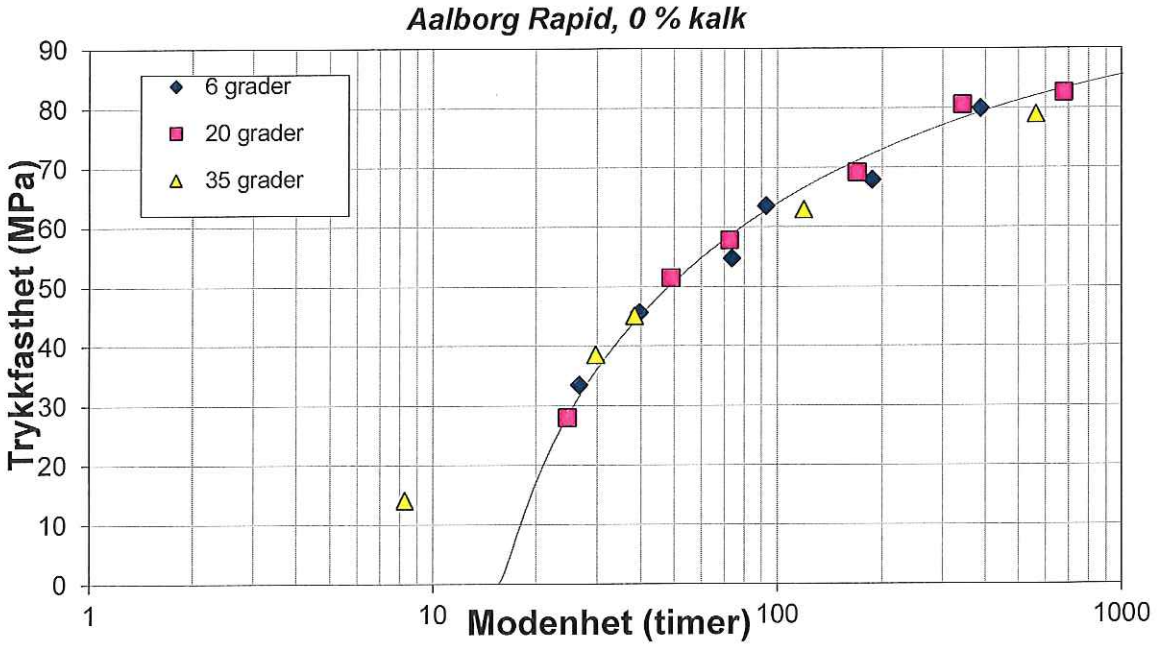
I alle figurene vises en grå graf som er en tilpasning av egenskapsfunksjonen for hver blanding.

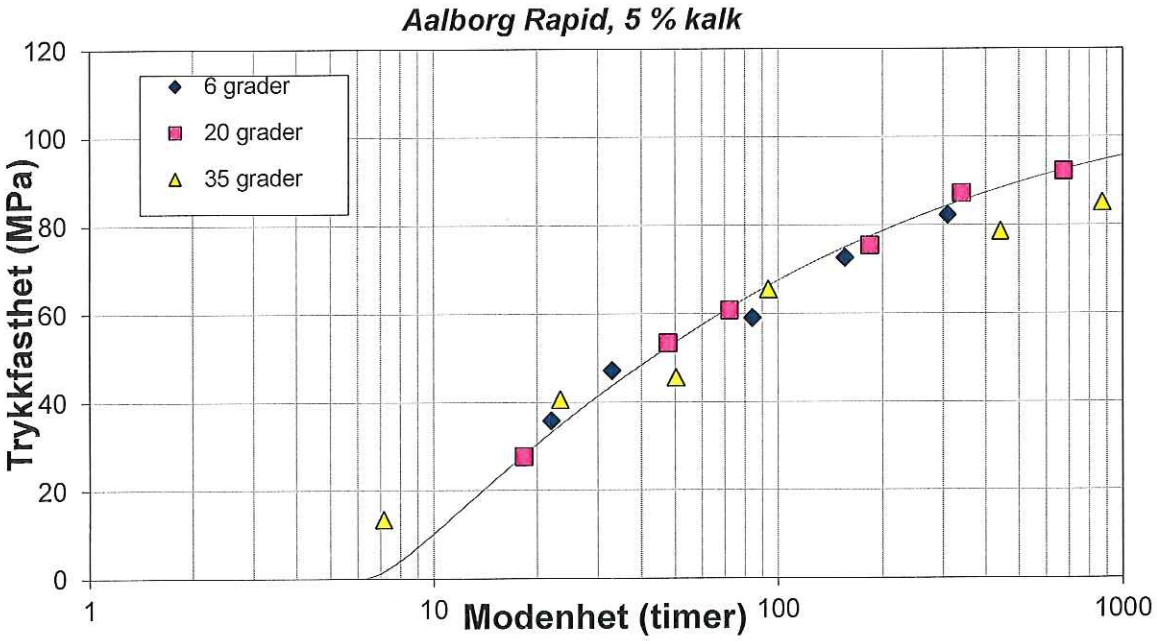

Anlegg FA, 0 % kalk
6 grader
20 grader
35 grader
Trykkfasthet (MPa)
0
10
20
30
40
50
60
1
10
100
1000
Modenhet (timer)


Anlegg FA, 5 % kalk
6 grader
20 grader
35 grader
Trykkfasthet (MPa)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
1
10
100
1000
Modenhet (timer)


CemIII/B, 0 % kalk
6 grader
20 grader
Trykkfasthet (MPa)
Modenhet (timer)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
1
10
100
1000


CemIII/B, 5 % kalk
6 grader
20 grader
35 grader
Trykkfasthet (MPa)
Modenhet (timer)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
1
10
100
1000


Aalborg Rapid, 0 % kalk
6 grader
20 grader
35 grader
Trykkfasthet (MPa)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
1
10
100
1000
Modenhet (timer)


Aalborg Rapid, 5 % kalk
6 grader
20 grader
35 grader
Trykkfasthet (MPa)
0
20
40
60
80
100
120
1
10
100
1000
Modenhet (timer)

VEDLEGG 5: DATABLAD FOR FORSØKETS KALKSTEINSMEL (BETOFILL)

Produktdatablad
Betofill VK 150

Franzefoss Miljøkalk AS
Postboks 53
NO-1309 Rud
Telefon : **+47 05255** miljokalk@kalk.no
Fax : **+47 67 15 20 01** www.kalk.no

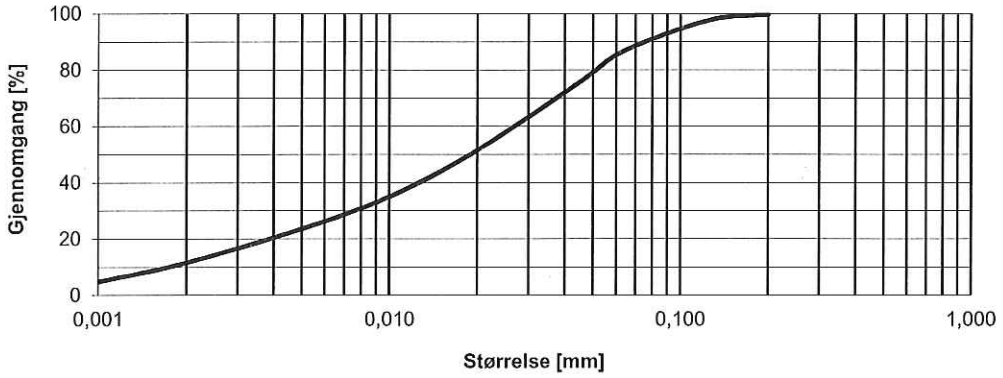
FRANZEFOSS MILJØKALK

Materiale:	Kalk		**Produsent:**	Verdalskalk AS, avd Havna
	$CaCO_3$	> 98%	**Råmaterial:**	Kalkstein fra Tromsdalen i Verdal
Reg.nr.:	CE godkjent, 1111-CPD-0108		**Fremstilt:**	Nedmaling av kalkstein
	REACH	-		

Anvendelse: Tilslag for betong
Krav: NS-EN 12620

Parameter		Metode	Enhet	Statistikk		Krav		
				Snitt	s	L	H	Toleranse +/-
CaO	Kalsiumoksid	WD-XRF	[%]	55,2	0,15	-	-	
MgO	Magnesiumoksid		[%]	0,4	0,01	-	-	
Ca	Kalsium	Beregnet fra	[%]	39	-	-	-	
Mg	Magnesium	WD-XRF	[%]	0,2	-	-	-	
Klorider		Våtkjemisk	[%]	<0,005	-	-	-	
Syreløselige Sulfater			[%]	0,03	-	-	-	
Totalt innhold av svovel			[%]	0,30	-	-	-	
Alkali silika reaktivitet			[%]	0	-	-	-	
Vanninnhold		NS-EN 12048	[%]	<0,2	-	-	-	
Masstetthet		Pyknometer	[kg/dm^3]	2,7	-	-	-	
0,001 mm		Microtrac	[%]	4,8	0,4	-	-	
0,002 mm			[%]	12	0,5	-	-	
0,005 mm			[%]	24	0,7		-	
0,010 mm			[%]	35	0,9	-	-	
0,020 mm			[%]	52	0,8	-	-	
0,045 mm			[%]	76	0,6	-	-	
0,063 mm			[%]	87	0,7	70	100	
0,125 mm			[%]	98	0,6	85	100	
0,200 mm			[%]	100	0,3	-	-	

Kornfordeling



Råmateriale:	Råmaterialet er et naturprodukt med variasjoner innenfor visse grenser
Levering:	Bulk, 1000kg sekk, 25kg sekk
Volumvekt:	1,2 [kg/dm^3]
Lagring:	Ingen merknad
SDS:	Se produktets sikkerhetsdatablad for informasjon angående helse, miljø og sikkerhet. Les denne informasjonen og iverksett eventuelle sikkerhetstiltak før produktet tas i bruk.

VEDLEGG 6: DATABLAD FOR ANLEGG FA

TEKNISK DATABLAD

Anlegg sement FA

Tekniske data

Norcem Anleggsement FA tilfredsstiller kravene til Portland flygeaskesement.

NS-EN 197-1-CEM II/A-V 42,5 N

Kjemiske data

Egenskap	Retningsgivende verdier	Krav ifølge NS-EN 197-1
Finhet (Blaine)	390 m^2/kg	
Alkali (ekv Na_2O_{ekv})*	0,6 %	
Flyveaskeinnhold	17%	6 - 20%
Sulfat (SO_3)	2,7%	≤ 2 - 3 %
Klorid	< 0,0 85 %	≤ 0,1%
Vannløselig Cr^{6+}	< 2ppm	≤ 2 ppm
Spesifikk vekt	2,99 kg/dm^3	

*Alkali innhold i klinkerdel

Fysikalske data

Egenskap	Retningsgivende verdier	Krav ifølge NS-EN 197-1
Trykkfasthet 1 døgn	15 MPa	
Trykkfasthet 2 døgn	24 MPa	≥ 10 MPa
Trykkfasthet 7 døgn	37M Pa	
Trykkfasthet 28 døgn	55 MPa	≥ 42,5 MPa ≤ 62,5 MPa
Begynnende bindetid	165 min	≥ 60 min
Ekspansjon	1mm	≤ 10 mm

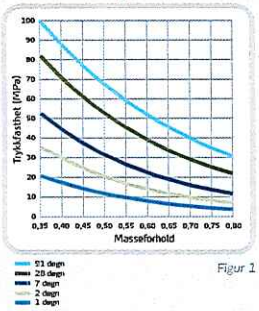
NORCEM

www.norcem.no

Odgårdsreklamebyrå - 08/2008

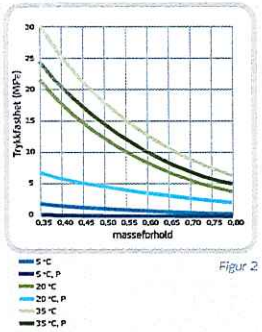
Norcem Anleggsement FA er en spesialsement for anleggskonstruksjoner. Sementen kan brukes i alle eksponerings-, bestandighet- og fasthetsklasser. Den er spesielt tilpasset norske forhold for bruk i bestandighetsklasse M45 og MF45 eller strengere. Sementen er godt tilpasset for bruk i konstruksjoner med krav til høy sluttfasthet. Anleggsement FA kan benyttes i kombinasjon med alkalireaktivt tilslag. Sementen har relativt lav varmeutvikling og er velegnet for bruk i massivere konstruksjoner. Sementen har meget gode støpelighet og bestandighetsegenskaper.

Fasthetsutvikling



Figur 1

Tidligfasthet



Figur 2

Fasthetsutvikling

Fasthetsutvikling er en sentral egenskap for planlegging, styring og utførelse av alle betongarbeider. Fasthetsutviklingen er avhengig av sementtype, masseforhold, herdebetingelser (temperatur, tid og fuktighet) og eventuell bruk av tilsetningsmaterialer eller –stoffer. I figur 1 er vist trykkfasthetsutviklingen som funksjon av masseforhold og alder ved 20°C vannlagring for betong med Norcem Anleggsement FA.

Tidligfasthet

Tidligfastheten i betong er meget avhengig av temperatur og eventuell dosering av tilsetningsstoff med retarderende effekt. I figur 2 er vist trykkfasthet i betong etter 1 døgn med forskjellig masseforhold med og uten 1% plastiserende tilsetningsstoff (P-stoff) med Anleggsement FA. Prøvene er lagret ved 95% luftfuktighet ved varierende temperatur.

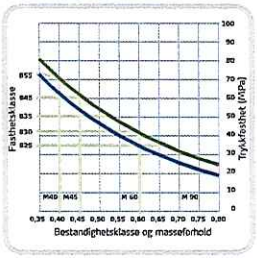
Fasthetsklasse – masseforhold

Med normal, god styring av betongproduksjonen er det behov for en overhøyde på ca. 5 MPa ved de ulike fasthetsklassene for å produsere med tilstrekkelig sikkerhet mot undermålere. Anleggsement FA gir følgende retningsgivende verdier for største masseforhold i ulike fasthetsklasser for betong uten luftinnføring.

Fasthetsklasse	B30	B35	B45	B55
Største masseforhold	0,57	0,52	0,45	0,38
Største masseforhold med 5% silika				0,40

Tabell 1

Bestandighetsklasse



Figur 3

Motstand mot alkalireaksjoner

Norcem Anleggsement FA kan brukes sammen med alkalireaktivt tilslag. Sementen kommer inn under regel 4.2 (2008-05-28 Addendum) i Norsk Betongforenings publikasjon 21 samt Vedlegg C (Rev 6) til publikasjonen (se www.betong.net). Sementen lages med klinker inneholdende 0,6% Na_2O_{ekv}. Alkalier fra flygeasken utelates ved beregning av ekvivalent alkali innhold pr m³ betong. Siden sementen inneholder minimum 17% flygeaske, regnes ekvivalent alkali innhold pr m³ betong fra Anleggsement FA ut på følgende måte:

Na_2O_{ekv} (kg/m³) = Sementmengde (kg/m³)·0,006·(1-0,17)

Maksimalt tillatt Na_2O_{ekv} innhold iht. NB 21 er 3,0 kg/m³ betong.

Bestandighetsklasse

NS-EN 206-1 klassifiserer betongens miljøpåvirkning i eksponeringsklasser. I nasjonalt tillegg til denne standarden er de ulike eksponeringsklassene gruppert i seks bestandighetsklasser med krav til betongens maksimale masseforhold (se tabell 3). Tabell 2 viser anbefalt kombinasjoner av bestandighets- og fasthetsklasser. Retningsgivende verdier for største masseforhold i de ulike fasthetsklassene er gitt i tabell 1. I figur 3 er vist sammenhengen mellom bestandighetsklasse og fasthetsklasse, i et variasjonsbelte forårsaket av ulike produksjonsforutsetninger. Figuren gjelder for Anleggsement FA uten luftinnføring.

Anbefalte kombinasjoner

Bestandighetsklasse M45	Fasthetsklasse B35 eller høyere
Bestandighetsklasse M40	Fasthetsklasse B45 eller høyere
Statens vegvesen SV 40	Fasthetsklasse B45 eller høyere
Statens vegvesen SV 30	Fasthetsklasse B45 eller høyere

Tabell 2

VEDLEGG 7: DATABLAD FOR AALBORG RAPID

aalborgportland
CEMENTIR HOLDING

YDEEVNEDEKLARATION

Nr. 02 / Juli 2013

1. Byggevaretype:

Portlandcement EN 197-1

2. Byggevareidentifikation:

RAPID® cement / RAPID® AALBORG CEMENT®

Portlandcement CEM I 52,5 N (LA)

3. Byggevarens tilsigtede anvendelse(r):

Anvendes til fremstilling af beton, mørtel mv.

4. Fabrikantens navn og adresse:

Aalborg Portland A/S, Rørdalsvej 44, 9100 Aalborg

5. Navn og adresse på den bemyndigede repræsentant:

Ikke relevant

6. Systemerne for vurdering og kontrol af konstansen af byggevarens ydeevne (AVCP):

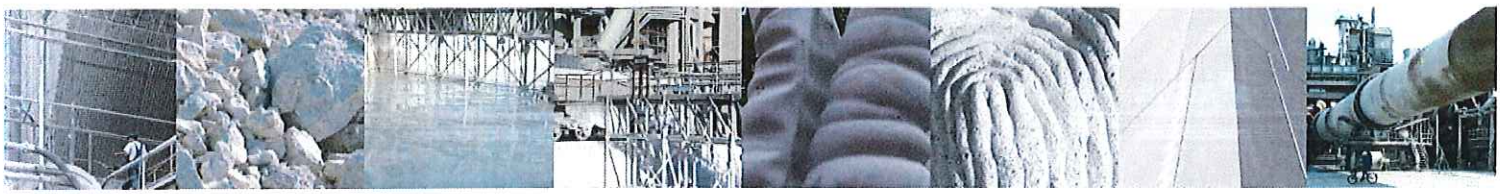
System 1+

7. Notificeret Organ's opgave:

Notificeret produktcertificeringsorgan Bureau Veritas Certification, Identifikationsnummer 0615 - har udført

bestemmelse af produkttyperne på grundlag af prøvning, prøveudtagning og den indledende inspektion af fabriksanlæggets produktionskontrol, den løbende overvågning, overensstemmelse og evaluering af fabrikkens produktionskontrol, og har udstedt overensstemmelsescertifikat/ydeevneerklæring.

Senest opdateret: 2013-06-30



8. Deklareret ydeevne

Alle egenskaber for Portlandcement CEM I 52,5 N (LA) iht. standarden er opfyldt.

Egenskaber	Deklarerede værdier	Krav i DS/EN 197-1
1-døgnsstyrke	19 - 25 MPa	Ingen
2-døgnsstyrke	30 - 38 MPa	≥ 20 MPa
7-døgnsstyrke	47 - 55 MPa	Ingen
28-døgnsstyrke	63 - 71 MPa	≥ 52,5 MPa
Begyndende afbinding	110 - 170 min	≥ 45 min
Sulfat som SO_3	2,9 - 3,5 %	≤ 4,0 %
Chlorid	≤ 0,04 %	≤ 0,10 %
C_3A	≤ 8 %	Ingen
Vandopløseligt chromat	≤ 2 mg/kg	≤ 2 mg/kg *(Krav i EU Direktiv 2003/53/EC)*
Absolut densitet	3090 - 3190 kg/m^3	Ingen

For hver egenskab er angivet et variationsområde, som er fastlagt således, at sandsynligheden for, at en værdi falder udenfor, er mindre end 5 %.

9. Ydeevnen for den byggevare, der er anført i punkt 1 og 2, er i overensstemmelse med den deklarerede ydeevne i punkt 8.

Denne ydeevnedeklaration udstedes på eneansvar af den fabrikant, der er anført i punkt 4.

Aalborg, den 30. juni 2013

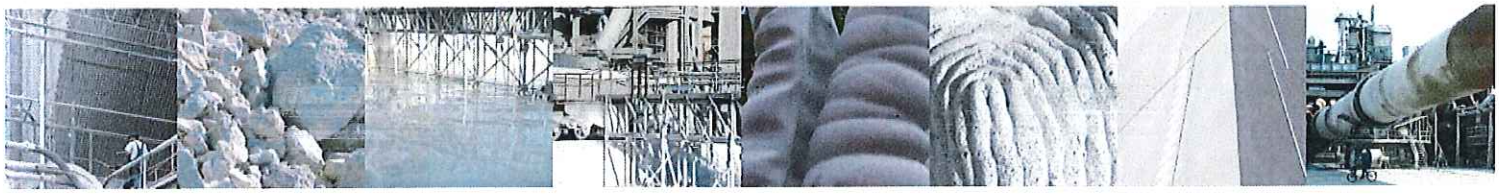
Underskrevet for og på vegne af producenten af:

.....

Birgit Jensen, Kvalitets- og Arbejdsmiljøchef, Aalborg Portland A/S

Væsentlig egenskab iht. DS/INF 135	Deklareret værdi	Krav
Alkaliindhold	≤ 0,6 %	≤ 0,6 %

Senest opdateret: 2013-06-30



VEDLEGG 8: DATABLAD FOR CEMEX CEMIII/B

CEMEX CEM III/B 42,5 N

Tekniske data

Tilfredsstiller kravene ihht. EN 197-1: CEM III/B 42,5 N
Produktet er sertifisert (CE-merket) ihht. EN 197-1 av VDZ, Tyskland.

Egenskaper

Tilsetning
CEMEX CEM III/B 42,5 N kan brukes med tilsetningsstoffer, luftinnføringsmidler, silika, flygeaske og slagg. Prøveblandinger bør alltid foretas for å sikre riktig dosering.

Forsiktighetsregler ved bruk av sement
Tørt sementpulver har ingen skadelig effekt på tørr hud. Fuktig sement virker aggressiv på hud, og på slimhinner i øyne, nese og svelg.

- Bruk derfor hansker, støvmaske og vernebriller hvor det er fare for sprut.
- Sement på hud vaskes bort med såpe og rikelig rent vann. Sørg for grundig vask etter arbeidstidens slutt. Hvis det oppstår hud irritasjon, kontakt lege.

Har man fått sement i øynene:
- Skyll snarest med rikelig med vann.
- Ikke gni.
- Kontakt lege.

Har man fått sement i nese, svelg eller mage.
- Drikk rikelige mengder med rent vann.
- Kontakt lege.

Typiske data:

Kjemiske egenskaper		vekt %
Kalk	(CaO)	48
Silisium oksyd	(SiO_2)	31
Aluminium oksyd	(Al_2O_3)	10
Jern	(Fe_2O_3)	0,9
Magnesium oksyd	(MgO)	3,8
Sulfat	(SO_3)	2,2
Kalium oksyd	(K_2O)	0,64
Natrium oksyd	(Na_2O)	0,23
Alkali ekv.	(Na_2Oekv)	0,66
C_3A		-
Glødetap		1,2
Uløselig rest		0,2
Vannnløslig klorid	(Cl^-)	<0,08
Vannnløslig krom	$Cr^{(VI)}$	<2 mg/kg

Fysiske data		
Finhet (blaine)		470 m^2/kg
Densitet		2,95 g/cm^3
Bulkdensitet		1,1 g/cm^3
Andel slagg		Ca 75%
Bindetid		250 min
Ekspansjon		<1,0 mm
Trykkfasthet	1 d	4,8 MPa
	2 d	12 MPa
	28d	53 MPa

CE
0840

CEMEX WestZement GmbH
Kaiser-Wilhelm-Strasse-100
D-47166 Duisburg
Werk Duisburg-Schwelgem

0840-CPR-4440-340200-04
EN 197-1
CEM III/B 42,5 N

CEMEX AS
Tel +473102101
www.cemex.no

Grønland 70
N-3045 DRAMMEN

VEDLEGG 9: RESULTATER FOR VÅT/TØRR-TESTING

testemne	Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik
VÅT	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]	
1	100,6	99,9	100	2401	1398	2390	784,3	78	838,53	83,0	3,4
2	101,4	99,9	99,9	2451	1436	2420	832,1	82,1			
3	101,3	100,2	100	2430	1413	2390	834,7	82,2			
4	100,7	100,1	100	2470	1417	2450	789,9	78,4			
5	101	100	100	2432	1419	2410	903,5	89,5			
6	100,8	99,8	100	2418	1412	2400	843,4	83,8			
7	101,5	100	100,1	2418	1411	2380	826,3	81,4			
8	101,2	99,3	100	2421	1417	2410	864,4	86			
9	101,5	100,1	100,1	2405	1398	2360	867	85,3			
10	100,9	100,1	100,2	2415	1409	2390	839,7	83,1			

testemne	Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik
1 TIME TØRK	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]	
1	101,1	100	100	2413	1406	2390	783,9	77,5	788,26	77,8	8,1
2	101	101,5	100	2410	1405	2350	865,6	84,4			
3	100,5	100,1	100,5	2441	1430	2410	840,6	83,6			
4	101	99,8	100	2425	1408	2410	821,4	81,5			
5	101,5	100	100	2417	1403	2380	819,2	80,7			
6	100,7	100,9	100	2435	1424	2400	735,3	72,4			
7	101,3	100,1	100,3	2404	1394	2360	824	81,3			
8	101	100,1	100,2	2418	1405	2390	577,9	57,2			
9	101,5	100	100,1	2438	1418	2400	787,6	77,6			
10	100,9	100,1	100,3	2424	1413	2390	827,1	81,9			

testemne	Størrelse kloss			Vekt		Masse forhold	Trykk fasthet	Betong fasthet	Snitt trykk fasthet	Snitt betong fasthet	Standard avvik
24 TIMER TØRK	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Høgde [mm]	Tørr [g]	Våt [g]	[Kg/m3]	Test [kN]	Test [mPa]	snitt [kN]	snitt [mPa]	
1	100	101,5	99,9	2424		2390	856,4	84,4	861,23	85,2	3,5
2	100	100,2	100	2389		2380	903,9	90,2			
3	101,6	99,9	99,9	2411		2380	819,5	80,7			
4	101,2	99,8	99,8	2397		2370	894,2	88,5			
5	101,3	100,4	100,4	2427		2390	837,2	82,3			
6	101,2	99,9	99,9	2423		2390	836,6	82,8			
7	100,6	99,8	100,1	2407		2400	910,5	90,7			
8	101,3	99,3	99,9	2407		2400	861	85,6			
9	101,1	99,4	100	2400		2390	827,5	82,3			
10	101,8	100,3	100	2436		2390	865,5	84,8			