



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Master i teknologi/siv.ing - Bygg Konstruksjoner og materialer	Vår semesteret, 2014 Åpen Konfidensiell
Forfatter: Gad Ndizeye (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså Veileder(e): Kjell Tore Fosså	
Tittel på masteroppgaven: Engelsk tittel: Fasthet-/temperaturutvikling i Betong	
Studiepoeng:	
Emneord: Betong Hydratisering Pozzolan Fasthetsutvikling Temperaturutvikling Temperaturgradienter Riss Varmeutvikling	Sidetall: 84 + vedlegg/annet: 82 + CD Stavanger, 30.06.2014 dato/år

Innhold

Forord	6
1 Sammendrag	7
2 Innledning	8
3 Hensikt	10
4 Teori	11
4.1. Bakgrunn for laboratorieforsøk og analyse	11
4.2. Materialer	12
4.2.1. Tilslag	12
4.2.2. Bindemidler for betong	13
4.2.3. Tilsetningsstoff	19
4.3. Betongherding og hydratisering av sement	20
4.3.1. Betonghydratasjon	20
4.3.2. Sementhydratisering	20
4.4. Betongens ulike faser under herding	24
4.4.1. Ferskefase	24
4.4.2. Herdefase	25
4.4.3. Bruksfasen	25
4.5. Arrhenius funksjon, Hastighetsfunksjon, aktiveringsenergi og modenhet	25
4.5.1. Arrhenius-funksjon	25
4.5.2. Hastighetsfunksjon	26
4.5.3. Aktiveringsenergi	26
4.5.4. Modenhetsmodell	27
4.6. Egenskapsfunksjoner	28
4.6.1. Varmeutvikling i betong	28
4.6.2. Varmeledningsloven/ Fouriers lov	33
4.6.3. Fasthetsutvikling i betong	34
4.7. Spenninger og rissdannelse på grunn av temperaturgradienter	36
4.7.1. Temperaturgradienter	37
4.7.2. Temperaturtøyning	38
4.7.3. Spenningsoppbygging	38
4.7.4. Spenninger i indre fastholding	39
4.7.5. Spenninger i ytre fastholding	39
5 Plan for laboratorieforsøk	41

6. Gjennomføring av laboratorieforsøk	43
6.1. Blandematrise	43
6.2. Resept	45
6.3. Utstysrliste	46
7. Metode	47
7.1. Blandeprosedyre	47
7.2. Utførte tester på fersk betong	48
7.2.1. Synktest	48
7.2.3. Utbredelsesprøving	49
7.2.4. Densitet på fersk betong	50
7.2.5. Luftmåling	51
7.3. Tester utført på herdnet betong	52
7.4.1. Regnearket «herdekasse»	53
7.4.2. Regneark for simulering av betongegenskaper i en vegg	55
8. Resultater og diskusjoner	57
8.1. Egenskaper for fersk betong	57
8.1.1. Diskusjon av synk- og utbredelses resultater	58
8.1.2. Diskusjon av luftinnhold	60
8.1.3. Diskusjon av densitet	61
8.1.4. Diskusjon av SP-dosering	62
8.2. Egenskaper for hardnet betong	63
8.2.1. Egenvekt	63
8.2.2. Trykktestresultater samt diskusjoner for alle blandinger	64
8.2.3. Parametere for varmeutvikling fra «Herdekassa»	69
8.2.4. Varmeparametere sett mot materialesammensetning	72
8.2.5. Temperaturdifferanser i betongen	74
8.2.6. Sammenligning av sementer	75
8.2. Eksempler på utdata fra simuleringsark	76
8.3.1. Modenhetsberegninger	76
8.3.2. Aktiveringsenergi	77
8.3.3. Varmeutvikling	77
8.3.4. Varmetap	78
8.3.5. Temperaturutvikling	80
9. Konklusjon	81
10. Eventuelle feilkilder og avvik	82
11. Referanser	83

12. Vedlegg	85
A Diagrammer for trykktestresultater samt 3 dagers målt temperatur.....	85
B Seriediagram for sammenliknet trykktestresultater	102
C Trykktester i originalformat	106
D Temperaturutvikling for alle blandinger.....	124
E Resepter.....	136
F Beskrivelse av regnearket «Herdekasse»	154

Oversikt over figurer i rapporten

Figur 1 Sement og flyveaske	13
Figur 2 Mikroskopisk bilde av sement, flyveaske og silikastøv	15
Figur 3 Mikroskopisk bilde (rundeform) av flyveaske	16
Figur 4 Mikroskopisk bilde av silikastøv	17
Figur 5 Varmeutvikling for sement med forskjellig finhet, ved v/b-forhold 0,40 [11].....	21
Figur 6 Isoterm varmeutvikling for en portlandsement ved forskjellige temperaturer [6]	23
Figur 7 Prinsippskisse for betongens ulike faser samt temperaturutvikling [31].....	24
Figur 8 Relativ reaksjonshastighet H ved ulike betongtemperaturer [30].....	26
Figur 9 Varmeutvikling ved hydratisering av portlandsement [6].....	28
Figur 10 Varmeutvikling som funksjon av temperatur, v/b-forhold 0,40 [11]	29
Figur 11 Fasthetsutvikling og masseforhold for forskjellige sementer [30]	35
Figur 12 Temperaturfordeling gjennom en 200 mm vegg ved lufttemperatur på 5 °C [11]	37
Figur 13 Opprissing i en betongvegg støpt på et stivt fundament [13]	38
Figur 14 Rissmønster på grunn av ytre fastholding [13].....	40
Figur 15 Blandemaskin	47
Figur 16 Synkprøving.....	48
Figur 17 Utbredelsesprøving	49
Figur 18 Synk- og utbredelses påvogn	49
Figur 19 Merking av terninger før lagring i vannbad.....	50
Figur 20 Typisk trykktest for ved 15 timer	52
Figur 21 Trykkmaskin.....	52
Figur 22 Måling av temperatur under betongherding	53
Figur 23 Synk og utbredelse.....	58
Figur 24 Luftinnhold	60
Figur 25 Densitet for fersk betong	61
Figur 26 Mengde SP stoff	62
Figur 27 Trykktestresultater grafisk	65
Figur 28 Trykktestresultater for referanseresept	67
Figur 29 Tre dagers temperaturutvikling for referanseresept.....	68
Figur 30 Bindemiddelmengde	70
Figur 31 Total varmeutvikling	71
Figur 32 Adiabatisk temperaturendreing.....	74
Figur 33 Simulert modenhet i en betongvegg	76
Figur 34 Simulert aktiveringsenergi i en betongvegg	77
Figur 35 Simulert varmeutvikling i en vegg	78
Figur 36 Simulert varmetap i en betongvegg.....	79
Figur 37 Simulering av temperaturutvikling i en betongvegg	80
Figur 38 Simulert temperaturutvikling i en betongvegg	80

Oversikt ove tabeller I rapporten

Tabell 1 Hovedklinkermineralene for portlandsement.....	14
Tabell 2 Varmeledningsevne for en del materialer [30]	31
Tabell 3 Varmemotstand for en del forskaling [30]	31
Tabell 4 Eksempler på absorpsjonstall ved stråling [30]	32
Tabell 5 Oppreissingsmekanismer	36
Tabell 6 Forsøksplan	41
Tabell 7 Oversikt over blandematrise	43
Tabell 8 Inndata i regnearket for egenskapssimulering	56
Tabell 9 Fersk betongegenskaper	57
Tabell 10 Egenvekt for alle terdninger	63
Tabell 11 Oversikt over trykktestresultater	64
Tabell 12Varmeparametre	69
Tabell 13Varmeparametre og materialsammensetning.....	72

Forord

Denne masteroppgaven handler om betongteknologi og er skrevet våren 2014 ved Universitetet i Stavanger (Uis). Hovedoppgaven regnes som det avsluttende kapitlet til masterstudiet i Bygg, med fordypning i konstruksjoner og materialer. Oppgaven er gitt av UiS og Kjell Tore Fosså, som er fagansvarlig og veileder.

Masterstudiet har vært et krevende men spennende og lærerikt program med betongfag som en av mine interesser. Jeg hadde lenge tenkt og ønsket å fordype meg i betong, og når oppgaven ble publisert på Uis sin nettside gjennom «It's learning» grep jeg sjansen umiddelbart.

Det er stadig ønskelig med forskning på mange av betongegenskaper, for å kunne dokumentere og tilfredsstille de kravene som et hvert byggverk krever. Trykkfasthet er et av de viktige områder det blir ofte forsket på, innen betongen. Oppgaven vil bli utført med hovedfokus på fasthet samt temperaturutvikling som følge av pozzolanbruk.

Denne masteroppgaven er skrevet med god hjelp fra veilederen Kjell Tore Fosså, gjennom samtaler og diskusjoner og hans enorme erfaring og kunnskaper om temaet. Samdar Kakay har hjulpet med anskaffelse av nødvendige laboratorieutstyr, forklaring av deres bruk, samt andre tilfällende praktiske utfordringer. Takk til de ovennevnte for å stille opp når jeg trengte dem.

Særlig takk til medstudent Jesper Bruneau Simonsen for god hjelp og støtte til utvikling av et regneark for simulering av betongegenskaper i en betongvegg.

1 Sammendrag

Betong som byggemateriale har vært i stadig endring eller utvikling gjennom årene. Betongen blir anvendt til bygging av konstruksjoner til ulike formål og i varierte utforminger. For å tilfredsstillte bruksformål, må konstruksjonens betong oppfylle gitte egenskaper. Bestemte betongegenskaper kan oppnås og dokumenteres ved å utføre grundige studier og forskninger på betongen.

Fasthet er et av områder der det blir mest forsket på. Fasthetsutvikling og temperaturutvikling er nær knyttet sammen. Temperaturutviklingen og fasthetsutviklingen på den andre side er i hovedsak styrt av egenskapene i bindemiddel, det vil si sement og pozzolaner. Ved å velge og kombinere eller erstatte sement med pozzolaner, er det mulig å få en relativ lav fasthets- og varmeutvikling i betongen. Bruk av pozzolaner gir også god støpelighet i betongen. På fersk betong vil SP-stoff hjelpe til å tilfredsstillte en del egenskaper som synk- og synkutbredelsesmål.

I tillegg til konstruksjonens utforming spiller også bindemiddelet stor rolle når det gjelder temperaturgradienter. Når temperaturen blir høy under herding, kan det medføre store temperaturgradienter. Disse temperaturgradienter vil føre til spenningsoppbygging inne i betongen, noe som kan føre til rissdannelse. Riss i konstruksjonen er noe som bør unngås fordi det går utover konstruksjonens kvalitet og bestandighet.

Oppgavens går ut på å bruke forskjellige pozzolaner i forskjellige mengder, som sementerstatning, og å gjennomføre en del betongblandinger i laboratoriet. Temperatur gjennom tre døgn blir registrert for bruk i beregninger og simulering av betongegenskaper. For hver blanding blir egenskaper på fersk og herdnet betong målt. Teoridelen vil konsentrere seg om litteraturstudie innen pozzolaner, herdingsteknologi, temperaturutvikling, fasthetsutvikling, hydratiseringsreaksjoner, temperaturgradienter spenninger og riss.

Et Exel regneark skal brukes til å beregne temperatur om til adiabatisk temperaturutvikling. Programmet vil også bli brukt til å beregne modenhet for hver blanding, samt nødvendige varmeparametere til bruk i program for simulering av egenskaper i en betongkonstruksjon. Programmet vil kunne simulere modenhet, varmeutvikling, aktiveringsenergi, varmetap og temperatur i konstruksjonen.

2 Innledning

Betong er en blanding av stein, sand, sement, vann og tilsetningsstoff. Sammensetning i betongen blir beregnet etter den såkalte «partikkel-matriks modellen». Matriksmengde består av sementpasta sammen med partikler med diameter mindre enn 0,125 mm, inkludert tilsetningsmaterialer også kjent som pozzolaner. Partikler med diameter større enn 0,125 mm utgjør partikkelfasen.

En annen parameter av stor betydning på betong er vann-sement forhold (v/c -tall) eller også kjent som vann-bindemiddel forhold (v/b). Selv om tilsetningsstoff er lavt med tanke på samlet betongens volum og sammensetning, spiller det en stor rolle på betongens egenskaper, særlig støpelighet og konsistens. Det er svært viktig når en proporsjonerer betong etter partikkel -matriks modellen å unngå separasjon for en gitt betongblanding. Med separasjon i betongsammenheng betyr det at tunge partikler som sand og stein synker mot bunnen mens sementpasta stiger mot overflaten på grunn av densitetsforskjeller. Dette er ikke ønskelig da det kan gi uheldig effekt for både bestandighet og fasthet i betongen. [3]

Fasthetsutvikling i betongen blir i stor grad styrt av temperaturen i betong og bindemidlets egenskaper. For eksempel ønsker man en høy tidlig fasthet i en del betongbygninger, men det er også svært viktig at fastheten oppnås under kontrollert temperaturforhold for at kvaliteten på konstruksjonen ikke svekkes. For eksempel høyt sement- og vanninnhold kan føre til at betongen sprekker både som følge av uttørkningssvinn og temperaturdifferanser [3]. Temperaturgradienter er også styrt i stor grad av bindemiddelet samt konstruksjonens utforming.

Bruk av pozzolaner i betong er ikke bare knyttet til egenskaper men kan også bli sett på som en fordel miljømessig. Produksjon av sement er energikrevende, medfører det mye utslipp som er miljøskadelig. Dermed blir det miljøvennlig med mindre produksjon og forbruk av sement. En måte å redusere sementinnhold i betongen og gjøre betongproduksjon såkalt «grønn» er bruk av flyveaske. En annen måte å redusere sementinnhold er anvendelse av silikastøv.

Oppgaven er delt inn i to hoveddeler:

Teoridel som går ut på å studere litteratur, å bruke programvare i Excel til beregning av modenhet basert på målt temperatur, og å simulere betongegenskaper i en tenkt betongvegg. Den praktiske delen omfatter blanding av betong i laboratoriet med forskjellige typer og mengder pozzolaner. Laboratoriearbeidet inkluderer også måling av temperatur for hver blanding samt prøving av egenskaper i både fersk og herdnet betong.

3 Hensikt

Hensikt med oppgaven er å identifisere effekten av pozzolaner (flyveaske og silikastøv) på betongens varme- og fasthetsutvikling. Redusert mengden sement og økt pozzolaninnhold vil teoretisk kunne gi en lavere temperaturutvikling som vil være fordelaktig med hensyn på eventuelle spenninger og riss i en betongkonstruksjon. Mindre temperaturgradienter vil gi mindre spenninger, som vil føre til lavere rissiko for riss konstruksjonen.

Arbeidsomfanget er å:

- Undersøke effekten av pozzolaner på temperatur- og fasthetsutvikling
- Gjennomgå årsak til spenningsdannelse i tverrsnittet og nær støpeskjøt
- Utvikle et program for simulering av betongegenskaper i en betongkonstruksjon

For å nå målet skal en litteraturstudie gjennomføres og en del betongblandinger skal utføres i laboratoriet. En 3 dagers temperaturutvikling i betongen skal måles.

4 Teori

4.1. Bakgrunn for laboratorieforsøk og analyse

For å oppnå målet som oppgaven setter, skal en studere litteratur og forstå teori bak bestanddeler for betong. Til litteraturstudium er hovedfokus satt på bindemidler, siden de i stor grad påvirker temperaturgradienter i betong i tillegg til utforming av konstruksjon. Bindemidler inngår i de reaksjoner som foregår i betongen under hydratisering. Hydratasjon av sement er i stor grad avhengig av temperatur i betongen [2] (kap.6.3.5). For at kvaliteten på en betongkonstruksjon skal opprettholdes, er det viktig å ha temperaturutvikling og dermed temperaturgradienter under kontroll. De 2 siste nevnte er betongsegenskaper som kan gi spenninger som medfører riss i en betongkonstruksjon. Riss i betongen er ikke ønskelig sett fra bygningsestetikk synspunkt, men også fordi riss kan føre til redusert fasthet og økt vedlikeholdskostnader [13] (kap.1).

4.2. Materialer

Til gjennomføring av blandinger i laboratoriet blir det brukt tilslag fra Velde i størrelsesorden 0-16, to varianter av sement, to pozzolantyper og tilsetningsstoff.

4.2.1. Tilslag

Tilslag er en fellesbetegnelse for sand og stein i betong [1] (kap.1.1). Det finnes både naturtilslag og tilslag fra knust stein. Tilslaget har effekt på både herdet og fersk betongsegenskaper. I sin natur finnes det lett, fint og grovt tilslag. Tilslagets- og bindemidlets egenskaper og sammensetninger, samt forholdet mellom tilslaget og bindemidler påvirker i høy grad betongens støpelighet.

Begrepet støpelighet kan ikke defineres entydig, men kan forklares gjennom tre hovdelementer; stabilitet, mobilitet og komprimerbarhet. Stabilitet er betongens evne til å ta vare på sin homogenitet som den får ved sluttblanding. betongs homogenitet eller ensartet betyr at betongen forblir den samme enten den er upåvirket eller er utsatt for ytre påkjenninger som transport, støpning i form og komprimering [3] (kap2.2). Kjennetegn på manglende stabilitet kan være separasjon. Mobilitet i sin tur er definert som betongens evne til bevegelse ved ytre påkjenninger [3] (2.3). Komprimerbarhet er betongens evne til å fylle form eller forskalling [3] (kap2.4).

Det kan by på utfordringer for en gitt betong å oppfylle den ene egenskap uten å forstyrre den andre. Løsningen kan være justering av tilslagssiktekurve, bruk av luftinnførende eller plastiserende tilsetningsstoff. Dette ligger utenfor ramme til denne masteroppgaven dermed vil det ikke bli gitt noe beskrivelse av dette.

I denne betongen for denne hovedoppgaven er det brukt følgende tilslag:

- Forsand 0-8 mm
- Velde 8-11 mm
- Velde11-16 mm

Før tilslaget ble brukt, ble det gjennomført en siktekurveprøving for å sammenligne den mot siktekurvene fra UiS. Hensikten med siktekurvene for de 3 tilslagstyper var å plottes i regnearket til resept eller betongproporsjonering. Det har også bidratt til å forsikre seg at tilslagsstørrelse stemte med indikasjoner på siloen eller sekken.

4.2.2. Bindemidler for betong

De vanligste bindemidler for betong er sement og pozzolaner. Bindemidler for betong har som rolle å binde sammen tilslag eller betongens bestanddeler. Neste avsnitt handler om bindemidler og hvilke egenskaper det tilfører betong.

4.2.2.1 Sement



Figure 1 Sement og flyveaske

Hovedbindemiddel for betong er sement. Sement kan defineres som et finmalt uorganisk materiale som reagerer med vann og danner sementpasta [3] (kap1.1), [20]. Norge har en lang erfaring i produksjon av sement og bruk av betong. Hoved råvaren for produksjon av sement er kalkstein. For å produsere en sement av god kvalitet, brukes det kalkstein av god kvalitet. Det vil si at kalkstein med en høy andel av kalsiumkarbonat er godt materiale for sement. Andre bestanddeler som trenges til sementproduksjon er kvart, gips og bauxitt i mindre mengde [20].

4.2.2.1.1. Historikk

I Norge startet den første sementproduksjon 1841 på Nordre Langøen innerst i Oslofjorden, og på Bagaas Brug ved Akerselven. 20 år senere måtte disse grunderfabrikkene stenge, fordi sementen deres ikke tilfredstilte den samme kvalitet til importert sement [12].

I 1892 startet A/S Christiania Portland Cementfabrikk med produksjon av Portland sement ute for Oslo. Dalen Portland Cementfabrikk ble etablert i 1916 og startet produksjon av sement i 1919 ved Brevik i Telemark.

I 1918 ble Nordland Portland Cement stiftet, og produksjonen begynte i 1920 i Kjøpsvik, Nordland. [12] [9].

4.2.2.1.2. Sementkomponenter

Tabell 1 viser de 4 hovedklinkermineralene for portlandsementer [1] (kap5.3):

Table 1 Hovedklinkermineralene for portlandsement

Kjemisk benevnelse	Mineralogisk benevnelse	Kjemisk sammensetning	Forkortelse
Trikalsiumsilikat	Alit	3CaO. SiO ₂	C ₃ S
Dikalsiumsilikat	Belit	2CaO. SiO ₂	C ₂ S
Trikalsiumaluminat	Aluminat	3CaO. Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tertrakalsiumaluminoferrit	Ferritt	4CaO. Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Sekundære sementkomponenter

I tillegg til de fire nevnte kommer det andre mineral i mindre skala; som fri kalk CaO, magnesiumoksid MgO, natriumoksyd Na₂O og kaliumoksyd K₂O. Disse bidrar også betydelig på sementens egenskaper.

Alkalioksyder utgjør en veldig liten andel av portlandsement. Andelen er mindre enn ca. 1,2 %, men har en god del effekt på hydratisering av sement og følgelig betongherding. Når alkaliinnhold stiger, blir tidligfasthet framskyndt og sluttfastheten minker. Det skal vises forsiktighet ved bruk av tilslag som er alkalireaktivt. Dette kan reagere med sementens opprinnelig alkalier og forme alkaliskelgel. Dette stoffet ekspanderer i fuktig miljø og resultatet kan bli rissdannelse. [6]

I denne hovedoppgaven skal det under betongblanding brukes Norcem Standardsement. Sementen skal enten inneholde flyveakse fra fabrikanten eller skal flyveasken tilsettes i laboratoriet.

4.2.2.1.3. Norcem Standardsement

Denne type sementen blir brukt i vanlig konstruksjoner. I følge produsenten er standardsementen tilpasset norsk værforhold og byggeskikk. Sementen kan brukes til produksjon av betong i alle eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasser.

4.2.2.1.4. Norcem Standardsement FA

Dette er en annen variant av standardsement med stort sett samme anvendelsesområde. Forkortelsen FA stammer fra flyveaske, og sementen er tilsatt 20 % flyveaske. Sammen med alkalireaktivt tilslag, gir Standard FA bestandig betong. [5], [24]

Typiske standardsementens egenskaper er [25]:

- Høy tidligfasthet
- Moderat sluttfasthet
- Moderat varmeutvikling
- God støpelighet

4.2.2.2. Pozzolaner

Pozzolaner tilsettes i betong for å redusere sementmengde. Sementreduksjon i betongen medfører utgifts- og utslippsreduksjon. Det vil si at jo mindre produsert sement, desto mindre utslipp i form av CO₂. Pozzolaner består av flyveaske og silikastøv. De to pozzolaner er generelt kuleformede små partikler med amorf struktur, noe som gir dem gode reaktivitets egenskaper. Med amorf struktur betyr det uordnet struktur.

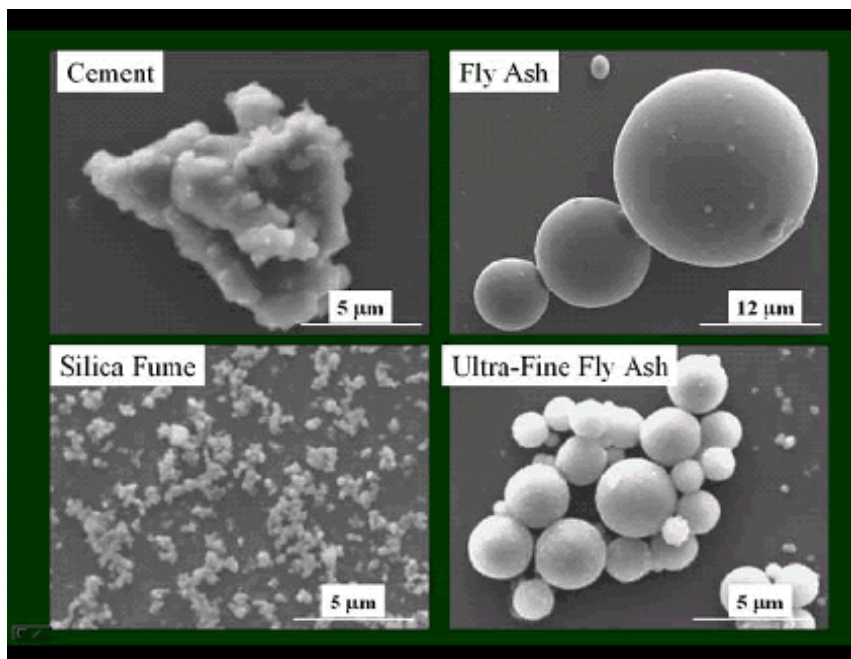
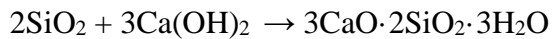


Figure 2 Mikroskopisk bilde av sement, flyveaske og silikastøv

Figur 5 viser sammenlikning mellom sement og pozzolaner (silika og flyveaske] ut ifra formen og størrelsen.

I prinsipp skjer pozzolanreaksjoner på samme måte for begge, og er som følger [1]:



Silika + kalsiumhydroksyd \rightarrow C-S-H

I Norge er de mest brukte pozzolaner i betongen flyveaske og silikastøv. I laboratorieforsøket ble disse brukt i forskjellige prosentvis av sementmengde.

4.2.2.2.1. Flyveaske

Flyveaske er et fint, pulverformet materiale som er fremstilt ved brenning av kull under produksjon av elektrisitet. Pulveret består hovedsakelig av ikke-brennbar uorganisk materiale, men også inneholder noe karbon som er resten fra delvis forbrenning av kull [26]. Flyveaksen som brukes i Norcem i produksjon av Standardsement FA blir produsert i Danmark og Polen [5] (kap.5.2.6). Flyveaskens densitet er på 2300 kg/m^3 og blainfinhet ligger i intervallet $300 - 450 \text{ m}^2/\text{kg}$.

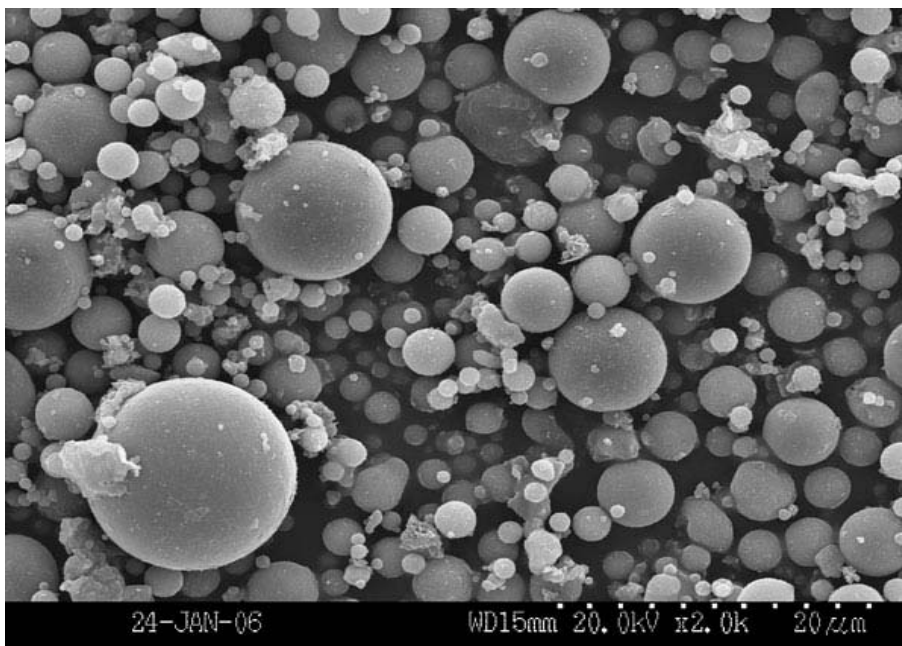


Figure 3 Mikroskopisk bilde (rundeform) av flyveaske

Flyveaske partikler er stort sett sfærisk formet og er gråfarget som sement. Den sfæriske form av flyveaske er et resultat fra dannelsen av små smeltede dråper etter hvert som asken passerer gjennom kjelen. Flyveaske blir anvendt som tilsetningsmateriale til portlandsement for å kontrollere fuktighetsinnholdet og varmeutviklingen i betong. Flyveaskens lavere hydratiseringsvarme enn portlandsements gjør at produktet er godt egnet til bruk i bygging av massive betongtverrsnitt. På den måten kan fare for riss og sprekker i massive konstruksjoner (som kraftstasjoner, dammer, oljerigger, og så videre reduseres) [16], [15].

I noen land er Flyveaske klassifisert primært basert på dens kjemiske sammensetning. I følge ASTM-standard (American Society for Testing and Materials) er flyveaske delt to klasser: C og F. ASTM klasse C flyveaske har en relativt høy kalsium-, natrium-og magnesium-innhold. Den kalsiumbærende varianten gir klasse C sementegenskaper når det blandes med vann [19], [15] (kap.3.1). Den egenskapen gjør at flyveasken kan brukes i stedet for portlandsement for visse anvendelser som for eksempel jordstabilisering. ASTM klasse F flyveaske har lite kalsiuminnhold og vanligvis en høyere silisiumoksyd og jern-innhold [15] (kap 3.1).

Bruk av flyveaske i betong reduserer risiko for at fersk betong blør. Dette skyldes sin høy finhet sin vannreducerende effekt.

Uforbrent kull (karbon) i flyveaske er vanligvis skadelig fordi det absorberer luftinnførende tilsetningsstoffer fra fersk betong. Disse tilsetninger anvendes for å forbedre betongens motstand mot fryse-tine skade [19].

En annen viktig egenskap ved flyveaske er den totale partikkel-størrelse. Mindre partikler gir flyveasken en større reaktivitet i betong sammenlignet med større partikler. Således, en høy kvalitet klasse C eller klasse F flyveaske til betong bør ha et lavt karboninnhold og en høy andel av små blanke partikler. Innholdet av SiO_2 i flyveaske ligger rundt 50 %, mens Al_2O_3 og Fe_2O_3 til sammen ligger rundt 30 % [6], [18], [22].

4.2.2.2.2. Silika støv



Figur 1 Silikastøv [22]

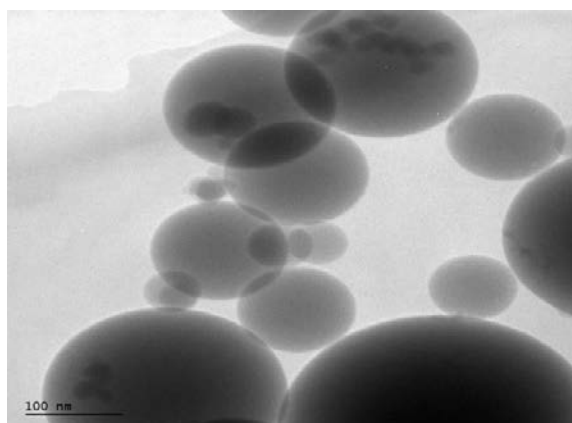
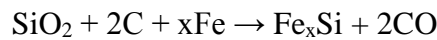


Figure 4 Mikroskopisk bilde av silikastøv

Silika støv eller mikro silika er et biprodukt fra fremstilling av FeSi- og Si- metaller i smelteovn. Innholdet av SiO₂ i silika ligger rundt 90 %, samt små mengder av aluminium, jern, kalsium og alkalier. Reaksjonen i ovnen kan forenkles slik [27]:



Mikrosilikas pozzolanereaksjon er mer temperaturfølsom enn sementens reaksjon med vann [30].

Produktet var tidligere sett på som et avfallsstoff, men siden 50' årene ble de påvist at mikro silika kan ha vitale effekter på betongens egenskaper. Mikro silikas gode egenskaper på betong skyldes først og fremst dens kuleformede struktur, med en gjennomsnittlig diameter på 0,1µm. Silika støv har en absolutt densitet på ca. 2200 kg/m³. Med sin kornstørrelse på ca. 100 ganger mindre enn sementkorn, kan mikro silika fylle opp hulrommene mellom sementkornene.

Dette fører til at de vannfylte hulrommene blir minst mulig, og betongen blir tettere.

Silikastøv er også godt egnet som tilsetningsmateriale i betong, på grunn av dens pozzolaneffekt. Partiklene består av amorf partikler med en stor overflate, som gir en god kjemisk reaksjon med omgivelses ioner. Reaksjonens resultat er identisk med hydratiseringsproduktene i herdnet sementpasta.

Silicastøv har blitt brukt som tilsetningsmaterialet til betong opp til 15 vektprosent av sementen. Den normale doseringen varierer likevel fra 5 til 10 prosent. Med en tilsetning av 15 prosent, kan gi effekt av meget sterkt men sprø betong. Høyere doseringen av silikastøv enn 5 prosent øker vannbehovet i en betongblanding [7], [15].

4.2.3. Tilsetningsstoff

I følge definisjon er tilsetningsstoff som blir tilsatt i betong i små mengder for å modifisere egenskapene på betong, i fersk eller herdnet tilstand. Stoffet kan doseres i intervallet 0 - 5 % av sementmengden [3]. På markedet finnes det i dag mange varianter av tilsetningsstoff, avhengig av hvilke egenskaper som ønskes oppnådd for en gitt betong. Sp-stoff brukes ofte i produksjon av selvkomprimerende betong, SKB. Typer tilsetningsstoff er:

- Vannreducerende/plastifiserende
- Luftinnførende
- Superplastifiserende
- Størkningsakselererende
- Retarderende
- Viskositetsmodifiserende
- Stabiliserende
- Osv

I denne oppgaven er det blitt brukt en type superplastiserende tilsetningsstoff ved navnet Dynamon SN-N.

4.2.3.1. Dynamon SX-N

Dette produktet er produsert av Rescon Mapei, og er ment å tilsettes betong primært for å opprettholde støpelighet. Dette er et veldig effektivt superplastiserende tilsetningsstoff basert på modifisert akrylpolymerer. I følge teknisk datablad har produktet en vannreducerende effekt, og kan opprettholde bearbeidelighet uten å påvirke fasthet. Det kan brukes for å sette ned både vann og sementforbruket uten at betongens mekaniske styrke blir påvirket [26].

Noen av stoffets bruksområder er [26]:

- Vanntett betong
- Betong med særlig krav til støpelighet
- Selvkomprimerende betong
- Frostbestandig betong
- Myk betong til golvstøp

Selv om betongens bearbeidelighet kan opprettholdes, skal det vises forsiktighet ved tilsetting av Dynamoen. Betongen kan fort bli flytende slik at ønskede egenskaper ikke oppnås.

Lavtemperaturer i kombinasjon med store doseringer kan gi retarderende effekt på betong [10], [26].

4.3. Betongherding og hydratisering av sement

4.3.1. Betonghydratasjon

Etter støpning og under herding utvikler styrken seg på betongen under en prosess kjent som hydratisering. Hydratiseringen som består av flere samtlige kjemiske reaksjoner er i stor grad påvirket av temperatur i betongen. For å få et mål på hvor langt reaksjonene har utviklet seg, er det innført begrepet hydratasjonsgrad, α . Flere definisjoner av denne mengden har vært foreslått. Her er hydratiseringsgraden definert som det kjemiske bundne vann, W_n i reaksjonsproduktene dividert med kjemiske bundet vann ved fullstendig hydratisering, W_∞ .

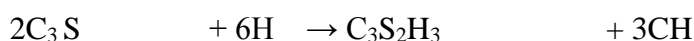
Dette uttrykkes matematisk på følgende måte [8] (kap.2.1): $= \frac{W_n}{W_\infty}$

Økt hydratiseringstiden og hydratiseringshastigheten fører til økt hydratiseringsgraden [27].

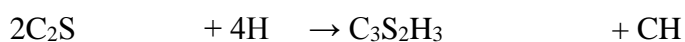
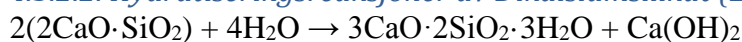
4.3.2. Sementhydratisering

Som nevnt tidligere blir sement sammen med vann kalt sementpasta, og den virker som bindemiddel i betongen. Det er reaksjon mellom vann og sement som kalles hydratisering. Forståelse av hydratiseringsprosess er vesentlig for å skjønne hva som foregår med temperatur-, varme- og fasthetsutvikling i betong. Hydratisering av sement gir betydelig varmetvikling til betong, og hydratiseringsreaksjoner har stor effekt på styrkeutvikling. Høy temperatur fører til rask hydratisering og rask styrke i store betongkonstruksjoner[6]. (kap3.1) Lave temperaturer får sement og vann til å reagere langsomt mens effekten er motsatte når temperatur er høy. Den effekten har både fordeler og ulemper. Det er viktig å huske at en fullstendig hydratisering av sement er umulig å oppnå. Hydratiseringsprosessen foregår hele betongens levetid. Sementens hydratasjonsgrad er avhengig av sementens sammensetning, finhetsgrad og vann-bindemiddelforhold (v/b-forhold) [6]. Bindemiddel omfatter både sement, silika støv og flygeaske, eller kort sagt matriksandel.

4.3.2.1. Hydratiseringsreaksjoner av trikalsiumsilikat ($3CaO \cdot SiO_2$) eller C_3S



4.3.2.2. Hydratiseringsreaksjoner av Dikalsiumsilikat ($2CaO \cdot SiO_2$) eller C_2S



4.3.2.3. Effekt av silika på hydratisering og herding

Mikrosilika påvirker hydratisering fordi den er med på å danne bindemiddel, med en gang det tilsettes vann. Ifølge litteratur, er det påvist at ved kjemisk analyse at porevæske tvinges ut av sementlim som inneholder mikro silika etter en del herdetid [22]. I dag er mikrosilikas innflytelse på betongs hydratiseringsvarme ikke fullt undersøkt. Til tross for det indikerer resultater fra foreløpig undersøkelse at [7]:

- Mikrosilikas kjemiske reaksjoner i sementpasta medfører utvikling av varme
- Mikrosilikas spesifikk varmeutvikling (kg/kJ) i sementpasta er av samme størrelsesorden som (eller litt høyere enn) sements spesifikk varmeutvikling

4.3.2.4. Virkning av sementens finhetsgrad på hydratasjon

Finmalt sement er gunstig for hydratisering. Det er spesifikk overflate og kornfordelingskurve som beskriver sementens finhet. Mens en sement med høy finmalingsgrad vil gi en større hydratasjonsgrad, vil grovmalt sement resultere i lavere hydratasjonsgrad. Økning av finhet eller omgivelsestemperatur fører til økning i hydratiseringshastighete. [6] Figuren nedenfor viser eksempel på varmeutvikling i forhold til finhetsgrad av sementen[5], [11].

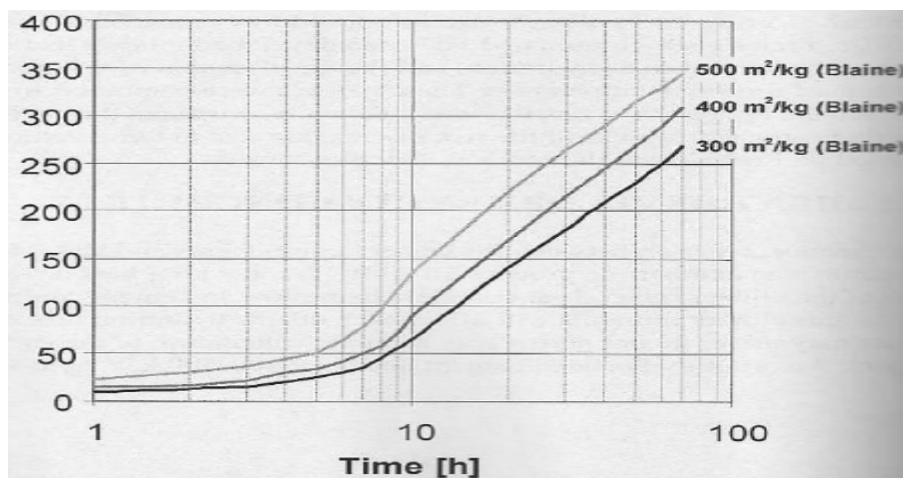


Figure 5 Varmeutvikling for semet med forskjellig finhet, ved v/b-forhold 0,40 [11]

4.3.2.5. Virkning av v/b-forhold på hydratisering

Vann/sement eller vann/bindemiddel forhold er en svært viktig parameter for betongens egenskaper. Hydratiseringsgrad styres i stor grad av dette forholdet [11]. Hvis man tar utgangspunkt i en betongresept med forskjellige v/b-tall, vil høyere forhold resultere i større hydratiseringsgrad, og det laveste vil gi minst hydratiseringsgrad. Konsekvent blir også varmeutvikling større ved høyere v/b-tall [11], men det er sementmengde som har større betydning enn v/c-forhold.

4.3.2.6. Virkning av sementens sammensetning på hydratisering

Hovedmateriale for sementproduksjon kalkstein. I tillegg blir det tilsatt andre mineraler, som kvarts, gips, bauxitt med mange. Vi har tidligere sett at sement blir tilsatt flyveaske.

Flyveasken regulerer sementens herdning, og er dermed på styring av reaksjoner mellom sement og vann. De klinkermineralene til sement, som er tidligere nevnt under historikk, har forskjellige egenskaper. Disse egenskapene har mye å si om hvordan sementen hydratiserer [5]:

- C_3S gir betongen en rask styrkeutvikling, og en høy varmeutvikling og slutfasthet. Disse egenskapene skyldes at det er det mest kalkrike klinkermineralet. Varmeutviklingen ligger rundt 500 kJ/kg ved total hydratisering.
- C_2S har også høy slutfasthet, men inneholder mindre kalk enn C_3S . Både fasthet og varme utvikler seg saktere, med sluttvarme på ca. 260 kJ/kg. Denne lave sluttvarme sier noe om sementhydratisering. Sammenlignet med 500 kJ/kg for C_3S , tyder på at hydratisering av C_2S -holdige sement foregår langsommere.
- C_3A har en hurtig hydratisering, som også fører til hurtig styrkeutvikling. Mineralet har en svært rask utvikling av varmemengde, ca. 900 kJ/kg totalt. Gipsen som tilsettes for å hemme størkning er også med i hydratiseringsproduktene.
- C_4AF har meget lavt effekt på sementens egenskaper. Med en sakt varmemengde og lavt sluttnivå ca. 300 kJ/kg, betyr det også at hydratisering foregår saktere.

Når sementens klinkermineraler reagerer med vann, utvikles det varme. Det blir utviklet for hvert gram portlandsement hydratisert, en varmemengde tilsvarende ca. 400-500 J [2] (6.3.1). Under betongstørkning er dette er en varmemengde som kan medføre en selvoppvarming av betongen nært 100 °C. På den ene siden kan kontrollert egenoppvarming være en fordel for noen betongkonstruksjoner. Egenoppvarmingen kan framskynde betongherding. På et annet vis kan ukontrollert egenoppvarming medføre temperaturforskjeller som kan resultere i rissdannelse eller i at betongen sprekker.

C_3S gir betongen en hurtig fasthetsutvikling og høy slutfasthet [6] (6 1.2)

C_3A reagerer hurtig med vann slik at størkning forekommer etter noen få timer. Ettersom hurtig størkning ofte ikke er ønskelig, blir sementen tilsatt gips. På denne måten kan man forsinke hydratisering av C_3A . Ettringitt spiller vesentlig rolle ved behov for utsettelse av avbindingstiden. C_3A 's bidrag på slutfasthet er begrenset, men er medvirkende for hurtig fasthetsutvikling og høy varmeutvikling.

Blant alle portlandsementsklinkermineralene er C4AF som har lite virkning på sementens fasthetsegenskaper på grunna av dens langsom reaksjon.

De hovedfaktorer som har effekt på portlandsements varmeutvikling er [6]:

- Sementens kjemisk sammensetning
- Sementens finhet
- Temperatur i betongen

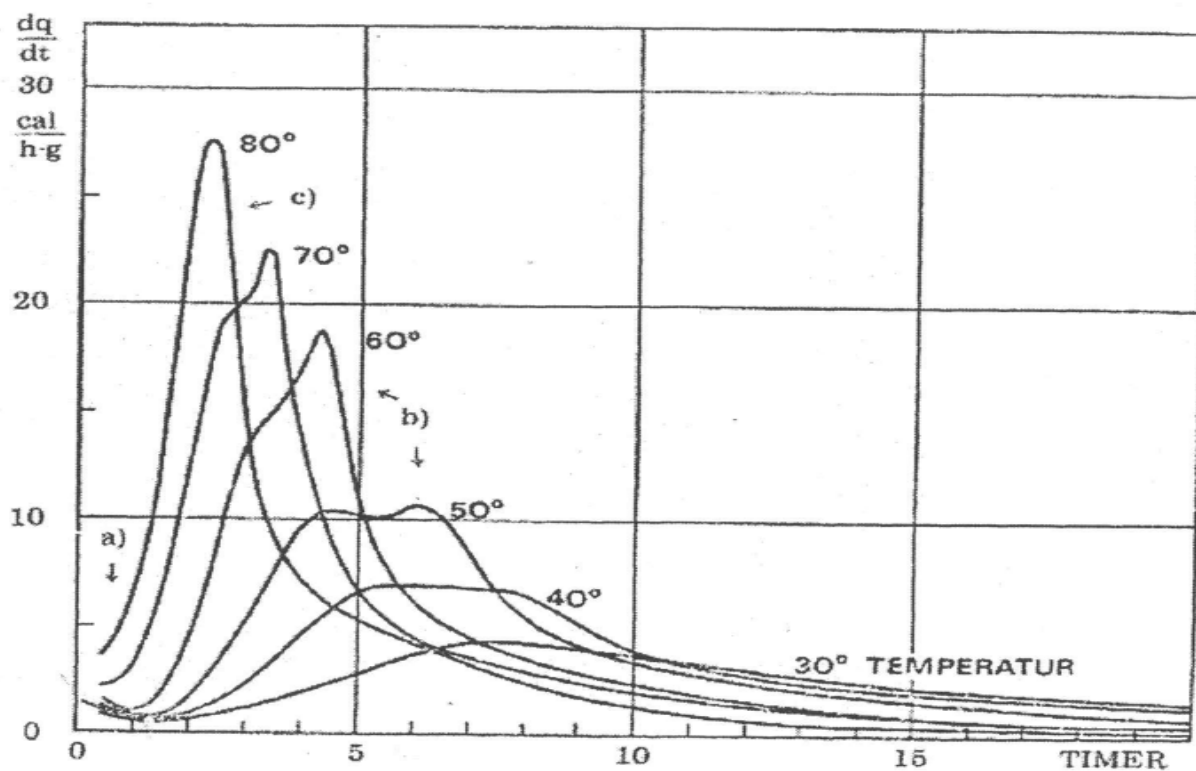


Figure 6 Isoterm varmeutvikling for en portlandsement ved forskjellige temperaturer [6]

Hydratiseringsprosess kan videre forklares ved hjelp av begrepene hastighetsfunksjon og modenhet. Dette kommer senere i rapporten.

4.4. Betongens ulike faser under herding

Herdeprosesshastighet er i stor grad styrt av betongtemperatur. Prosessen forløper hurtigere når betongtemperaturen øker. I motsatte tilfelle er effekten omvendt: senkes betongtemperaturen, forløper herdeprosessen langsommere [30].

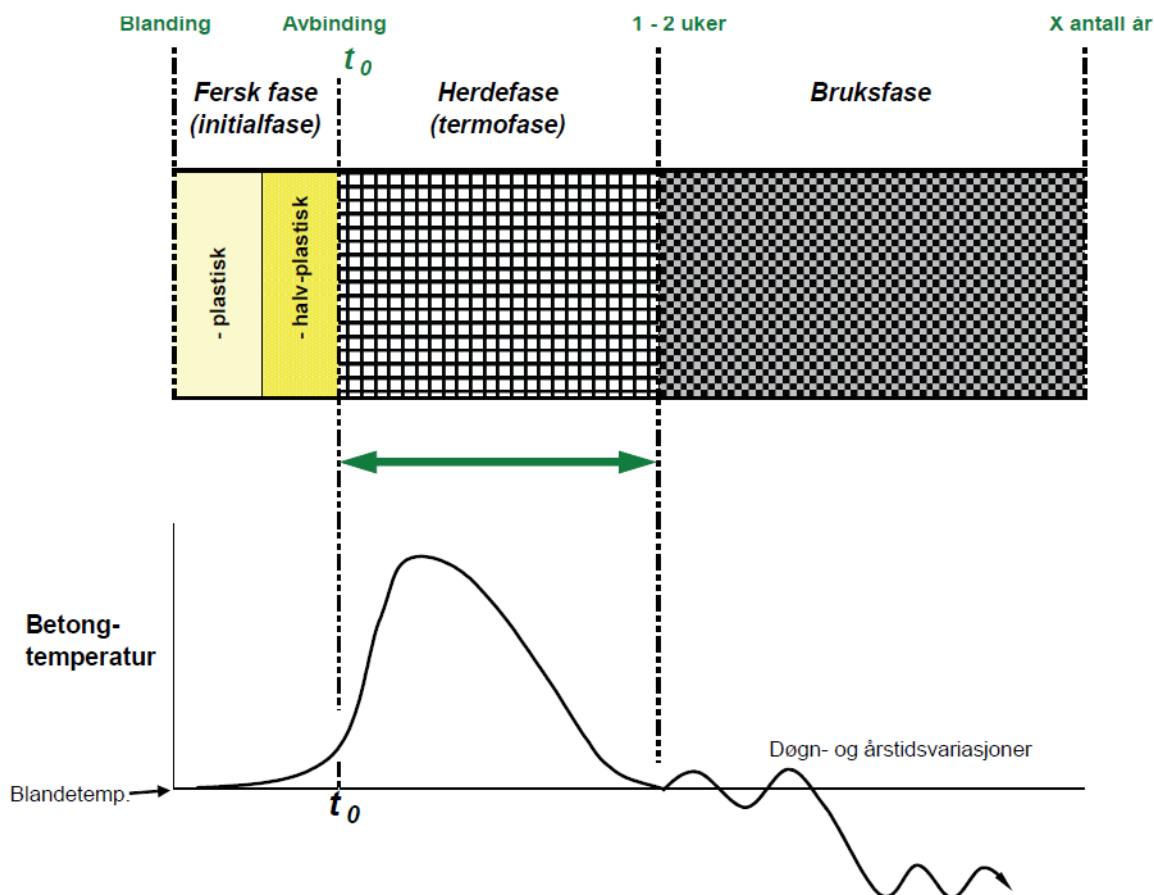


Figure 7 Prinsippkisse for betongens ulike faser samt temperaturutvikling [31]

4.4.1. Ferskefase

Denne fasen strekker seg fra blandingstidspunkt til avbindingstien, t_0 , som diagrammet viser kan den fasen deles inn i to mindre faser, som er plastisk og halv-plastisk. I denne fasen mister betongen gradvis sin mobilitet som følge av at sementpartiklene vokser sammen og konsumerer vann. Fra t_{00} til t_0 reduseres kapasiteten til å tåle tøyninger til et lavest. Perioden varierer fra (0 – typisk 6) til 12 timer, avhengig av temperatur, bindemiddel eller om det er brukt tilsetningsstoff [13].

4.4.2 Herdefase

Herdefasen eller termo-fasen starter fra (6 – 12) timer til 1 eller 2 uker. Denne fasen begynner med en betydelig varme- og styrkeutvikling under herding. Fra her utvikles det meste av betongens langtids egenskaper. Temperaturstigning kan være opp mot 40 °C i massive betongkonstruksjoner. Den høyeste betongtemperatur kan bli oppnådd etter 1 til 2 dager fra støpningstidspunkt. Siden konstruksjonen eller prøvematerialer ikke er varmeisolerert, begynner temperaturen å minke til omgivelsestemperatur, og dette kan ta 1 til 2 uker. For spesielle konstruksjoner kan avkjølingen ta flere måneder [13].

4.4.3. Bruksfasen

Denne fasen starter med rivning av forskallingen. I denne fasen er betongen helt stiv og styrkeutvikling fortsetter, men i svært liten tempo [13].

4.5. Arrhenius funksjon, Hastighetsfunksjon, aktiveringsenergi og modenhet

4.5.1. Arrhenius-funksjon

I kjemisk kinetikk «lære om hastigheten av kjemisk reaksjoner» er Arrhenius funksjon en formel for beskrivelse av hastigheten av en kjemisk reaksjon som en funksjon av temperatur [14].

Jo høyere temperatur desto fortere vil en gitt kjemisk reaksjon bli. Sannsynligheten for at to molekyler kolliderer øker med økende temperatur. Resultatet for den høye kollisjonsfrekvensen vil være økt kinetisk energi som også påvirker reaksjonens aktiveringsenergi [29]. Dette prinsippet gjelder også for betong, sett at hydratiseringsreaksjoner i betongen er temperaturavhengig (se kap.4.3.1).

Ved hjelp av Arrhenius ligning kan man beskrive forholdet mellom temperatur og kjemisk aktivitet for en gitt reaksjon.

Arrhenius ligning [29]:

$$A = Ae^{E_a/(RT)}$$

k = hastighetskonstant

A = frekvensfaktor

E_a = aktiveringsenergi [mol/dm³]

R = universal gasskonstant (8,314 J/mol°C)

T = absolutt temperatur (i Kelvin)

4.5.2. Hastighetsfunksjon

Hastighetsfunksjon $H(\theta)$ kan defineres som et uttrykk som beskriver hastighet for hydratasjon av portlandsement [11]. Uttrykket er en funksjon av temperatur (θ), og er utledet med utgangspunkt i Arrhenius funksjon. Ved forenkling av Arrhenius funksjon kan k skrives som $H(\theta)$ og E_a som $E(\theta)$. Ved $20\text{ }^\circ\text{C}$ som er standard temperatur settes $A = 1$ og T er θ . Funksjonsresultat er uten målenhet, og uttrykkes som følger [17], [1] (kap11.3):

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

$H(\theta)$ = hydratiseringshastighet

$E(\theta)$ = aktiveringsenergi [kJ/mol]

θ = temperatur [$^\circ\text{C}$]

R = gasskonstante, (8,314 J/mol $^\circ\text{C}$)

I dette uttrykket $\frac{1}{293} - \frac{1}{273+\theta}$ er 273 absolutt temperatur i Kelvin og det samme er 293.

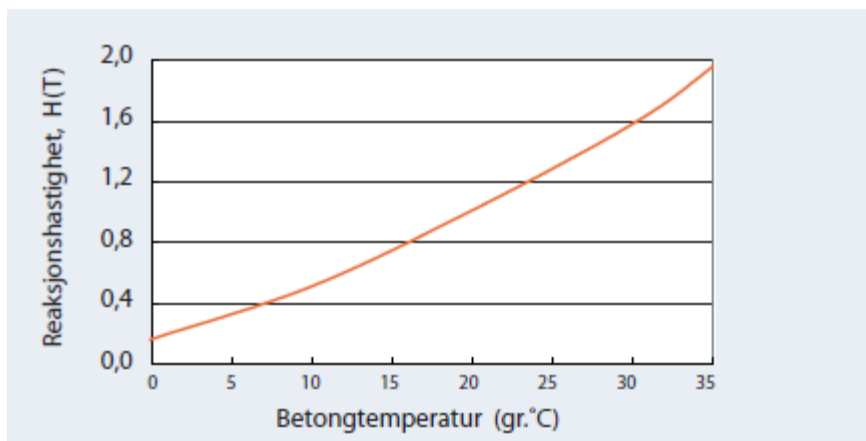


Figure 8 Relativ reaksjonshastighet H ved ulike betongtemperaturer [30]

4.5.3. Aktiveringsenergi

Aktiveringsenergi er den minimumsenergi som kreves for å sette i gang en kjemisk reaksjon [28]. Danskene Freiliseben-Hansen og Pedersen har utviklet en modell for å finne eller estimere aktiveringsenergien $E(\theta)$

$$E = A + B \cdot (20 - \theta) \quad \theta \leq 20\text{ }^\circ\text{C}$$

$$E = A \quad \theta > 20\text{ }^\circ\text{C}$$

Verdiene for konstantene A og B kommer an på sementtype, pozzolanmengde og på noen måte v/b-forholdet. Verdiene ligger mellom 20–40 kJ/mol for A, og 1,0–1,5 kJ/mol $^\circ\text{C}$ for B.

Ved grov tilnærming er det vanlig å sette verdiene [11]:

- $A = 33,5 \text{ kJ/mol}$ og
- $B = 1,47 \text{ kJ/mol} \cdot ^\circ\text{C}$ [11]

4.5.4. Modenhetsmodell

Modenhet, M , som også blir kalt den virtuelle alderen til betongen, blir beregnet som et tidsintegral [1]. I betongen kan modenhet beskrives som den samlet virkning av tid og temperatur å styre fasthetsutvikling i betongen. Modenhetsprinsippet fungerer på den måten at en gitt betong vil ved samme modenhet ha oppnådd samme fasthet uansett hvilken tid- eller temperaturhistorie som resulterer i modenhet [30]. For en aktuell betongstøp kan prosessen følges ved å måle temperatur- og fasthetsutviklingen i selve konstruksjonen ved forskjellige tidspunkt ut fra ønske. Dette kan være vanskelig og kostbart derfor er det naturlig å bruke matematisk modellering i stedet for dette. Det er mulig ved hjelp av modellen å sammenligne herdeprosessen som skjer under forskjellige tid-/ temperaturhistorier med ekvivalent herdetid ved 20°C . Arrhenius funksjon kommer igjen i bildet fordi det trenges å kjenne reaksjonshastighet mellom sement og vann ved forskjellige temperatur [30]. En betong som har herdet ved temperatur θ og herdingen har foregått fra tid t_0 til t har da modenhet blir [1], [11]:

$$M = \int_{t_0}^t H(\theta) dt, \quad \theta = \theta(t)$$

Den totale modenhetet er beregnet som en sum av økning av modenhet for hvert tidsintervall.

$$M = \sum_{i=1}^{i=n} H(t_i) \cdot \Delta t_i$$

Formelen er et forenklet uttrykk av integralet som tyder på at M beregnes numerisk ved å ta en temperaturlogg og splitte det opp i n tidsintervall av varigheten Δt_i . Man finner først gjennomsnittstemperatur θ_i for hvert tidsintervall så blir den tilsvarende hastighet, $H(\theta_i)$ kalkulert. Deretter finner man produkt mellom tidsintervallet Δt_i og hastighetsfunksjonen $H(\theta_i)$, og dette produktet tilsvarer stigningstall i betongens modenhet, ΔM_i .

Matematisk er dette:

$$H(\theta_i) \cdot \Delta t_i = \Delta M_i$$

Til slutt blir den totale modenhet funnet ved å legge sammen de beregnede stigningstallene for modenhet fra alle tidsintervallene.

I den tidlige fasen av herdeforløpet kan både varme- og styrkeutvikling bli beskrevet som en funksjon av modenhet.

4.6. Egenskapsfunksjoner

Egenskapsfunksjoner beskriver betongens egenskaper som varme, temperatur, modenhet, E-modul og fasthet under herdeprosessen.

4.6.1. Varmeutvikling i betong

Varmeutvikling i normal konstruksjonsbetong blir vanligvis styrt av innhold av reaktivt materiale, det vil si sement + silikastøv. Økning av sementinnholdet i betongen medfører økning av varmeutvikling og herdetemperatur [11]. Det er til syvende og sist sementtypen som avgjør hvor mye varme som blir avgitt. Tilsetning av filler, som flyveaske ser ikke ut til å påvirke temperaturutviklingen[36].

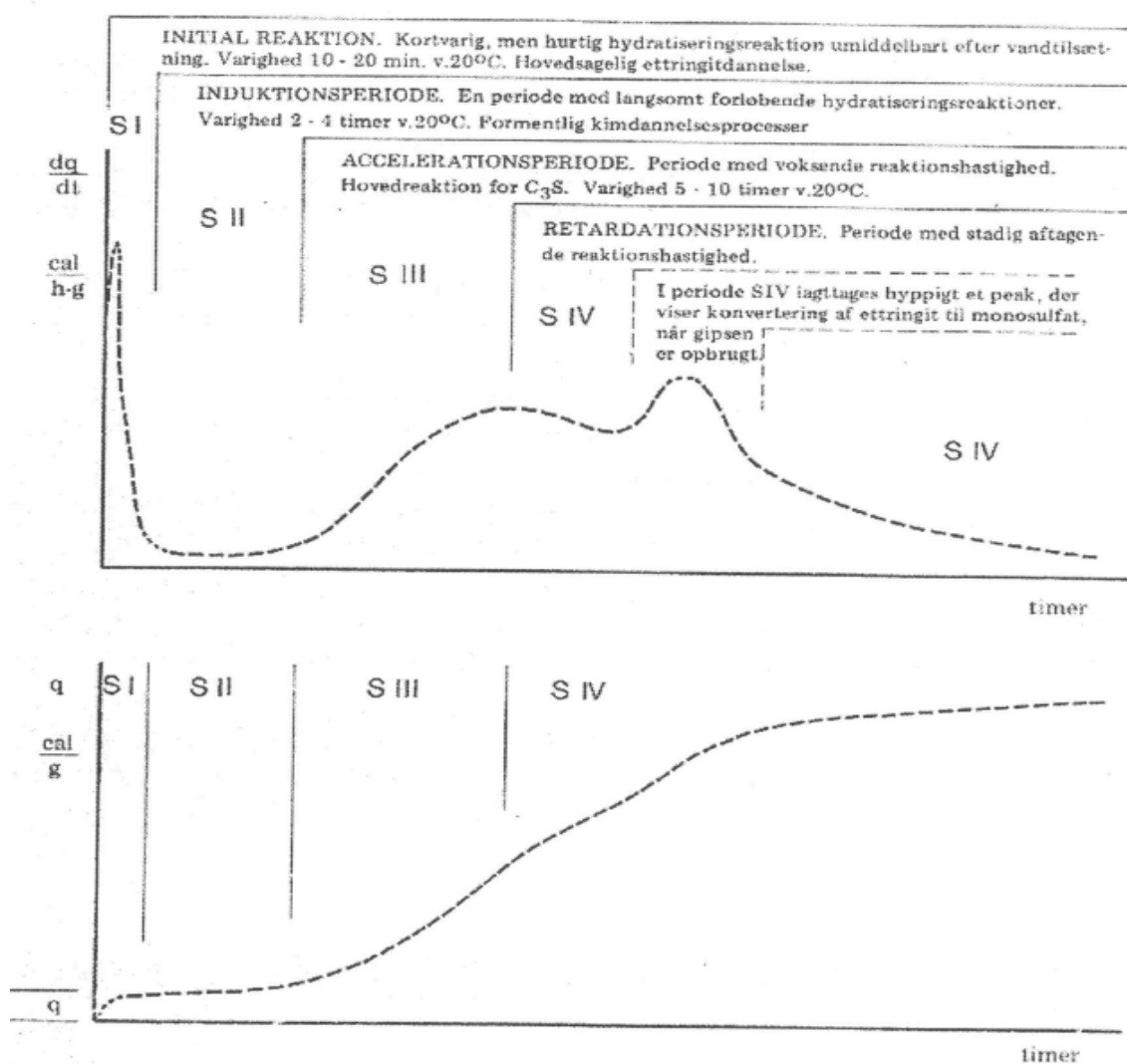


Figure 9 Varmeutvikling ved hydratisering av portlandsement [6]

Fasthet-/temperaturutvikling

- S1 Dette er initiering fasen som varer i 10 – 20 minutter og indikerer begynnelse på reaksjon mellom sement og vann. Her utvikler varme seg på grunn av temperaturutviklingen i bindemiddel og hydratiseringsreaksjoner med klinkermineralene som danner ettringitt. Mengde av varmetutviklingen er omtrent 20 – 30 kJ/kg [6]
- S2 Denne fasen kalles induksjonsperiode og består av langsomme forløpende hydratiseringsreaksjoner og varer i 2 – 4 timer ved 20°C. Her dannes det ettringitt som bremser hydratisering av C3A, mens hydratisering av C3S og C2S fortsetter saktere. De reaksjoner for dannelse av kalsiumsilikathydrater er fremdeles sparsomme. I denne perioden vil samme herding som ved avbindingstiden starte [6].
- S3 Dette er akselerasjonsperiode og karakteriseres av gradvis stigende reaksjonshastighet. Her starter hydratisering av C3S og den reelle asthetsutvikling. Perioden varer 5- 10 timer ved 20 °C, men den er svært temperaturavhengig [6].
- S4 Den siste fasen kalles retardasjonsfase og gjenkjennes av gradvis avtakende reaksjonshastighet. Toppen (se figur 6) viser omdanning av ettringitt til monosulfat etter som gipsen er oppbrukt. [6]

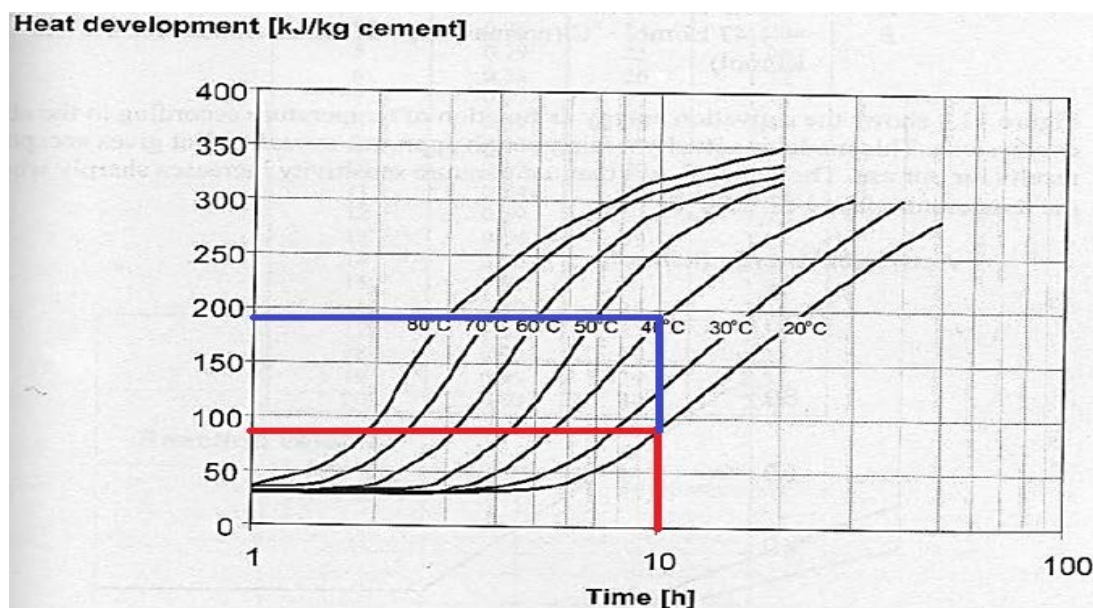


Figure 10 Varmeutvikling som funksjon av temperatur, v/b-forhold 0,40 [11]

Figur 11 viser bilde av hydratasjon i form av varmetutvikling som funksjon av temperatur. Figuren viser en nesten dobling av hydratasjonshastighet ved 40 °C (blå linje) enn ved 20 °C (rød linje). Samtlige avlesninger ved 10 timer viser på y-aksen oppgir en varmemengde på

ca.80 kJ/kg ved 20 °C, og ca.190 kJ/kg ved 40°C [11]. Dette understreker hvor mye temperaturen har å si på hydratiseringsprosessen og fasthetsutviklingen i betong.

Varmeutvikling som en funksjon av modenhet blir beskrevet av et funksjonsuttrykk som følger [36]:

$$Q(M) = Q_{\infty} \cdot e^{[-(\frac{\tau_e}{M})^{\alpha}]}$$

$$Q_{\infty} = \text{totalvarmeutvikling} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ sement} \right)$$

$$\tau_e = \text{retardasjonsparameter (h)}$$

$$\alpha = \text{krumningsparameter}$$

$$M = \text{modenhet}$$

Betongens iboende egenskaper og utstøpingstemperatur avgjør hvor mye varme og fasthet utvikler seg i en gitt bygning [30]. Ved å skjerme betongen mot ekstreme værforhold, ivaretar man betongens iboende egenskaper. I hvilken grad man oppnår dette avgjøres av forholdene på byggeplass. I sammenheng med varmeutvikling er varmetap et vesentlig begrep å nevne.

Det er en fysikk lov at et system hvor det finnes temperaturforskjeller vil det alltid foregå en varmetransport. Varmen vil gå fra steder med høy temperatur til områder med lav temperatur.

Varmetransporten foregår gjennom tre ulike transportmekanismer:

1. Konduksjon
2. Konveksjon
3. Stråling

1. Varmeledning: (også kalt *termisk konduksjon*) er overføring av varme ved termiske støt mellom molekyler langs en temperaturgradient [31]. Prosessen av varmetapet per konduksjon foregår som følger: når varme transporteres gjennom et faststoff, klarer ikke molekylerne å bevege se, dermed begynner de å vibrere. Vibrasjonene føres videre til nabomolekyler ved en kjedereaksjon [35]. For en gitt konstruksjon er varmeledningsmotstanden en konstant størrelse. Størrelsen er avhengig av hvilke materialer konstruksjonen består av og tykkelse på de ulike lagene [30].

Varmeledningsmotstanden $m = d/k$

$d = \text{lagtykkelsen [m]}$

$k = \text{varmeledningsevnen for materialet [kJ/mh°C]}$

Varmeledningsevnen er en materialstørrelse som i stor grad er avhengig av materialets porøsitet og fuktinnhold.

Table 2 Varmeledningsevne for en del materialer [30]

Stål	209,0
Fersk betong	8,4
Herdet betong	5,9
Lettbetong	2,9
Treverk (fuktig)	0,67
Vanlige isolasjonsmaterialer	0,15

Tabell 2 viser en del materialers varmeledningsevne [30].

Table 3 Varmemotstand for en del forskaling [30]

Stålforskaling:	0,00005
Finér 15 mm:	0,022
Finér 22 mm:	0,033
Etafoam 10 mm:	0,067
Vintermatte 50 mm:	0,330
Stål + etafoam 10 mm:	0,067
Finér 15 mm + skumplast 10 mm:	0,089

Tabell 3 viser varmeledningsmotstand for de vanlige forskalingsmaterialer[30].

2. *Konveksjon*: er strømmer som transporter energi i væsker og gasser [33]. Varmetapet som skyldes konveksjon finner sted ved at den varme luften inntil forskallingens utside ledes vekk og erstattes med kaldere luft. Denne luften blir deretter varmet opp av forskalingen før den igjen byttes ut med ny kald luft. Varmekonveksjonsmotsanden (m_k) avhenger av hvor fort varmeovergangen skjer i overflatelaget.

Varmekonveksjonsmotstanden $m_k = 1/a_k$

$a_k =$ konvektivt varmeovergangstall [$\text{kJ}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$]

Varmekonveksjonsmotstanden m_k [$\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kJ}$]

Størrelsen på den konvekative varmestrømmen oppfører seg slik:

- Øker med stigende temperaturdifferanse mellom materialets overflatetemperatur og lufttemperatur
- Øker med økende overflatetemperatur

3. *Stråling*: er overføring av energi i form av bølger som forplanter seg gjennom rommet, eller gjennom et medium [32]. Absorpsjonstall er en parameter knyttet til materiale. Et høyt absorpsjonstall tyder på at et materiale har stor evne til å ta opp varme fra stråling. Dette vil også si at materialet har stor evne til å avgi varme i form av stråling [30]. Tabellen under viser absorpsjonstall ved stråling for gitt materialer.

Table 4 Eksempler på absorpsjonstall ved stråling [30]

Materiale	
Betong	$a = 0,93$
Vann	$a = 0,92$
Treverk	$a = 0,85$
Kobber, blankt	$a = 0,04$
Kobber, oksydert	$a = 0,73$

Tabell 5 viser tilfeldig stoff med deres absorpsjonstall ved stråling [30]

Gitt at varmeledning skjer ved termisk kollisjoner mellom molekylene, skjer varmetransporten i betongen ved denne transportmekanismen. Varmetransporten kan forklares ved hjelp av Fouriers lov.

4.6.2. Varmeledningsloven/ Fouriers lov

Ettersom varme blir produsert i en betongkonstruksjon, vil det alltid være varmeveksling mellom konstruksjonen og omgivelsene rundt den. I følge Fouriers lov, ved stasjonære forhold er varmefluksen i faste stoff og i stillestående væsker proporsjonal med temperaturdifferansen per lengdeenhet i retningen av strømning. Varmeledningsloven blir også kalt Fouriers lov etter dens oppfinner, franske matematiker og fysiker Jose Fourier i 1812 [32]. Loven kan på matematisk form skrives som:

$$J = -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$\Delta T = \text{temperaturforskjell } [^{\circ}\text{C}]$

$\Delta x = \text{en liten legde } [m]$

$k = \text{materialkonstant/ varmeledningsevne } [W / mK]$

$J = \text{varmefluks } [W/m^2]$

$[m^2]$

Minustegnet betyr at varmen minker fordi det er en fysikk lov at varmen forplanter seg fra et varmt legeme til et kaldt legeme. Det samme i et betongtverrsnitt strømmer varmere område til kaldere område.

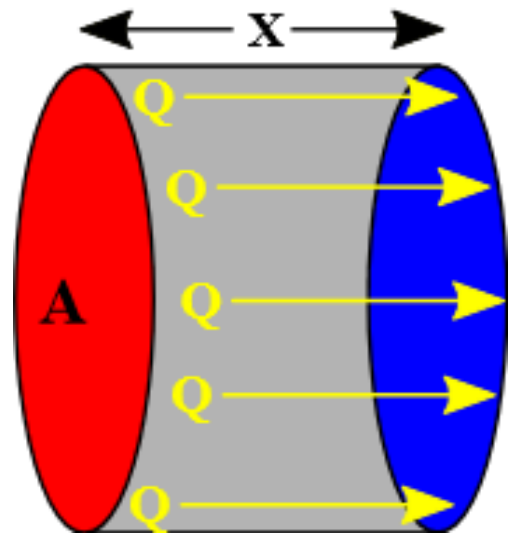
Varmefluksen forteller igjen om hvor mye varme Q som strømmer gjennom en flate A per tidsenhet, og kan skrives som:

$$J = \frac{1}{A} \frac{dQ}{dt}$$

Med dette blir Fouriers loven omskrevet på denne formen:

$$\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

[34]



Figur 2 Endimensjonær/ lineær varmeledning i x-retning [32]

4.6.3. Fasthetsutvikling i betong

For å oppnå god slutfasthet og tetthet, er det svært viktig med gode herdebetingelser, som god fukttilgang og moderat temperatur. Vanligvis blir betongsstyrke prøvd i laboratorium ved bruk av en trykktestmaskin. Til den type testen blir det brukt standardisert terninger på størrelse 100 x 100 x 100 mm, og prøven utføres på 2 terninger for hver prøvingsalder. Man er ofte interessert i tidlige fasthetsutvikling. Derfor kan fastheten testens så tidlig som fra 12 timer, hvis herdingen skjer ved 20 °C. Det kan også gjennomføres prøve ved andre temperaturer enn angitt, alt etter hvilket temperaturforløp man ønsker i en aktuell konstruksjon. Utenfor laboratorium kan man ty til andre metoder for fasthetsundersøkelse. På samme måte som varmeutvikling er fasthetsutvikling en funksjon av modenhet. Funksjonstuttrykk for fasthetsutvikling er identisk som for varmeutvikling. Forskjellen er at konstants verdier er annerledes, og den totale varmeutviklingens konstant blir byttet ut med slutfasthet. Funksjonsuttrykket ser ut som følger:

$$f_c(M) = f_{c\infty} \cdot e^{-\left(\frac{\tau_e}{M}\right)^\alpha}$$

f_c = slutfasthet (MPa)

τ_e = retardasjonsparameter (h)

α = krumningsparameter

M = modenhet

Fasthetsutvikling vil variere avhengig av sementtype og masseforhold. Figur 13 viser fasthetsutvikling ved forskjellige alder (øverst figur) og som funksjon av masseforhold (nederst figur) for forskjellige sementtyper.

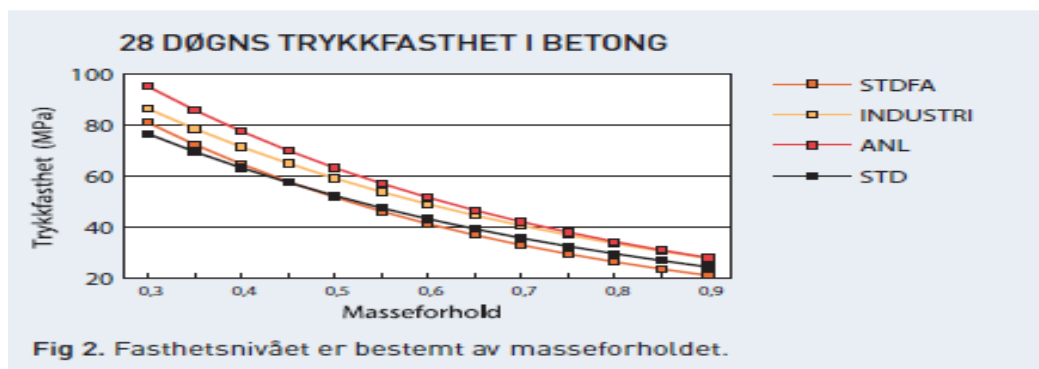
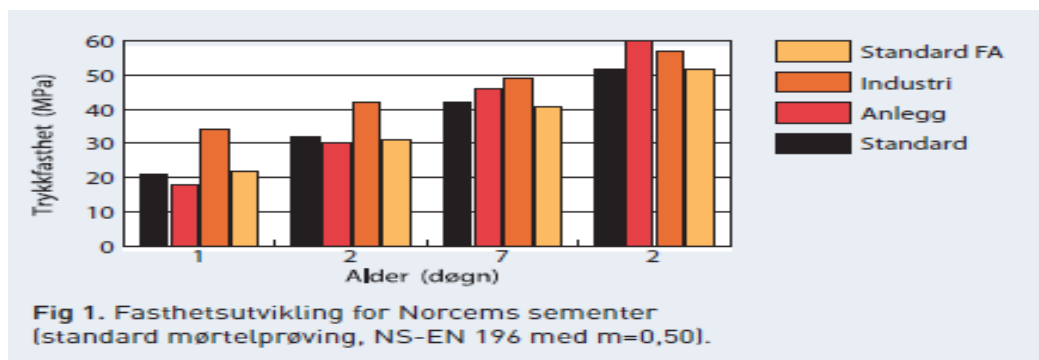


Figure 11 Fasthetsutvikling og masseforhold for forskjellige sementer [30]

Det er viktig å fastslå at de to funksjonsuttrykkene, også kalt egenskapsfunksjonene beskrevet i dette avsnitt har gyldighetsbegrensninger. Funksjonene gir god nøyaktighet for de første timene av et herdeforløp, som omfatter ca. 100 modenhets timer. I tilfelle hvor herding skjer ved høy temperatur, og for mer enn 100 modenhets timer forekommer avvik mellom målte og beregnet egenskapsresultater. Ved høy temperatur oppnår man høyere styrke sammenlignet med samme betong ved lavere temperatur [36].

Faktorer som påvirker betongs styrkeutvikling kan oppsummeres i følgende [12]:

- v/c-tall
- Porøsitet
- Utforming
- Prøvingstidspunkt
- Sementtype og sin finmalingsgrad
- Tilslagetts egenskaper
- Komprimeringsgrad
- Herdeforhold
- Temperaturnivået
- Luftinnblanding

4.7. Spenninger og rissdannelse på grunn av temperaturgradienter

Tidligere i kapittel 3.1 ble det sett at det blir utviklet varme som fører til temperaturendring under betongsstørkning. Herdeprosessen forårsaker spenninger inne i betongen på grunn av den temperaturforskjellen. Riss eller sprekk på betongsoverfalte kan dermed oppstå som følge av indre spenninger. Vanligvis oppstår rissene like etter avforming under avkjøling.

Riss på avformingstidspunktet skyldes av at temperaturen i kjerne av konstruksjonsdelen er maksimal mens overflaten hurtig blir avkjølt [36].

Mekanismer som kan bidra til opprissing kan være de samme eller forskjellige for fersk-, bruks- og for herdefasen. Mekanismene (se tabell 6) kan oppsummeres i tabellform [13]:

Table 5 Oppreissingsmekanismer

Ferskfase	Herdefase	Bruksfase
Plastisk svinn	Termisk utvidelse/sammentrekning	Termisk utvidelse/sammentrekning
Plastisk setning	Autogent svinn	Uttørkingssvinn
	Uttørkingssvinn	

4.7.1. Temperaturgradienter

Det vil alltid oppstå temperaturforskjeller innad i konstruksjonen uansett hvilken form for betongstøping. Forskjellene kan finne sted enten mellom ny og gammel betong eller innen støpeavsnittet. Når avkjøling av betongoverflate foregår raskere enn betongkjernen, vil det føre til strekkspenninger i overflatesoner. Dersom temperaturkontraksjoner bare holdes tilbake i kjernen i betongtverrsnittet og differansen mellom maksimum temperatur og randtemperatur overstiger et visst nivå, vil overflaten risse opp. Ved rask avkjøling som ved riving av forskaling vil temperaturnivået bli satt til 20 °C. Det er teknisk mulig å oppfylle dette kravet ved slanke veggkonstruksjoner. Ved grove eller massive konstruksjoner utsatt for kraftig avkjøling i overflaten, kan det derimot være svært vanskelig eller nærmest umulig å oppfylle kravet. Mer innviklet blir det når temperaturkontraksjonen i tillegg holdes igjen av andre konstruksjonsdeler som vegg mot stivt fundament, fundament mot kaldt fjell eller dekke støpt mot stiv vegg [30].

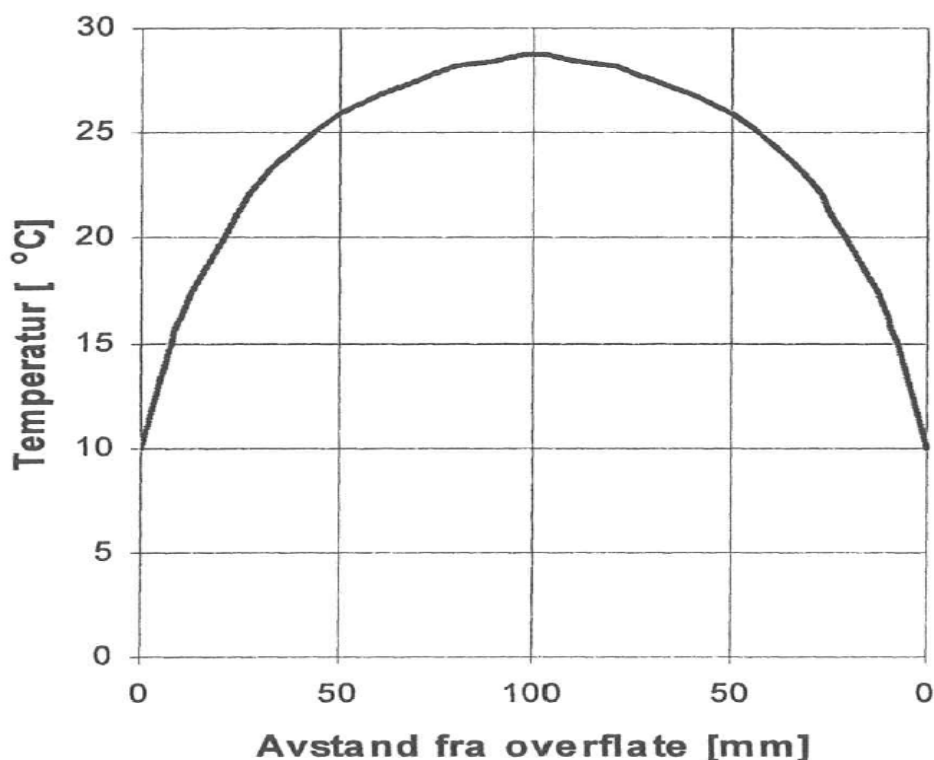


Figure 12 Temperaturfordeling gjennom en 200 mm vegg ved lufttemperatur på 5 °C [11]

4.7.2. Temperaturtøyning

Begrepet temperaturtøyning (ε_θ) kommer inn i bildet på grunn av temperaturendringene ($\Delta\theta$) som ble nevnt i det forrige delkapitlet. Temperaturtøyningen, ε_θ er påvirket av temperaturutvidelseskoeffisient (α_θ). Hovedsakelig er den sistnevnte avhengig av sort sett tilslag, men også av betongens modenhet, fuktinnholdet og temperatur. For norske tilslagstyper ligger koeffisientens verdi mellom $0,7 - 1,2 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$. For både vanlig og armert betong settes α_θ -verdien til $1,0 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ved estimeringsberegninger [33] (E302), [1] (kap.11.3.1). For lettbetong (Light Weight Agregate) skal verdien bestemmes ved eventuell dimensjonering av en betongblanding [33] (E302). For en betong som er utsatt for lave temperaturer skal koeffisienten (α_θ) bestemmes ved materialets relevant tester. I betongen blir temperaturtøyning beregnet etter sammenhengen [1]:

$$\varepsilon_\theta = \alpha_\theta \cdot \Delta\theta$$

4.7.3. Spenningsoppbygging

Eksempel på risstype på grunn av ytre og indre fastholding

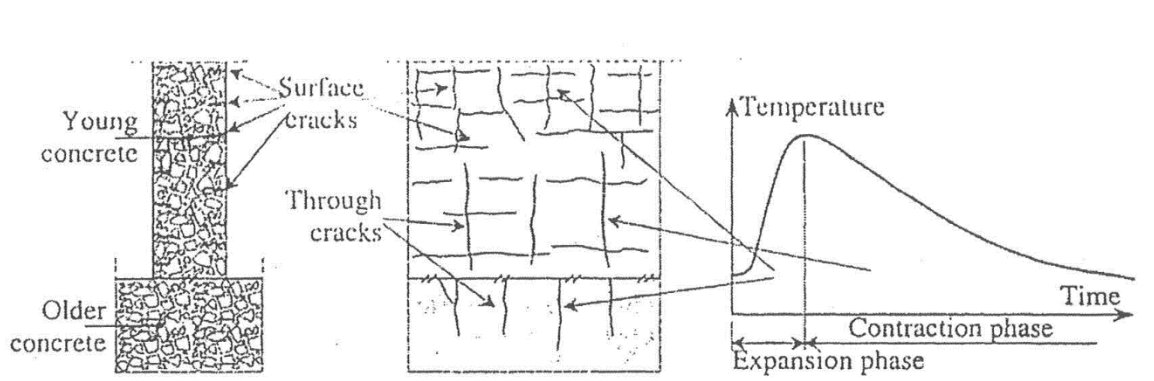


Figure 13 Opprissing i en betongvegg støpt på et stivt fundament [13]

Temperaturfordeling gjennom den aktuelle betongstruktur er ikke jevn. Ved å ta utgangspunkt i figuren ovenfor kan fenomenet forklares som følger:

Figuren på venstre side viser et stivt fundament som eksisterer fra før (older concrete). Den øvre delen er bygd i etterkant (young concrete). Det som vil da skje er at når den øvre delen starter å herde prøver den å trekke seg sammen. På den andre siden vil nedre delen forsøke å motarbeide sammentrekningen. På den måten vil det oppstå spenninger i konstruksjonen som da kan føre til sprekk i eller nær støpeskjøtet.

Diagrammet på venstre side forklares av det som skjer i midtre tverrsnittet på bildet. Temperaturer i konstruksjonens overflater er lavere og stiger mot midten etter hvert som tiden går. Under denne temperaturstigning vil det skje en utvidelse i tverrsnittet (expansion phase). Temperaturstigning vil til slutt oppnå sitt toppunkt. Etter at toppunktet er nådd, vil temperaturen avta igjen og samtidig begynner konstruksjonen å trekke seg sammen (contraction phase).

Noe av hydratiseringsvarme fra sementhydratiseringen blir ikke utnyttet til herding men forsvinner til omgivelsen. Dette resulterer i at konstruksjonens ytre soner og skjøtesoner mot grunnmuren blir kaldere enn indre deler av konstruksjonen. Konsekvensen blir spenninger inne i konstruksjoner, som kommer til synet ved opprissing i overflaten eller inne i konstruksjonen.

4.7.4. Spenninger i indre fastholding

Temperaturforskjeller mellom kjernen i betongveggen og overflaten gir opphav til en tøyingsforskjell, hvorav spenninger oppstår. Man kan erfare strekkspenninger i overflaten, og kompresjonsspenninger innerste i veggen. Fenomenet kalles «indre fastholding» og effekten av dette er å stoppe overflaten fra å bli sammentrukket.

Spenningene kan estimeres ved hjelp av Hooks lov, som følger:

$$\sigma_s = E \cdot \varepsilon_\theta \Rightarrow \sigma_s = E \cdot \alpha_\theta \cdot \Delta\theta$$

E er betongens motstands modul

Temperaturendringen kommer inn i bildet fra delkapitlet «temperaturtøyning» i forrige avsnitt.

Antakeligvis øker risikoen for opprissing ved økning av temperaturforskjell mellom betongkjernen og overflaten, det vil si $\Delta\theta > 20^\circ\text{C}$ [11], (kap.7.2)

Viktigheten av å ha kontroll på temperaturendringene i en betongkonstruksjon er å redusere eller unngå risiko for opprissing, nemlig på grunn av strekkspenninger i overflate.

Ved å anta at betong en E-modul for betong på 15000 MPa og en temperaturendring på 18°C blir spenningen $\sigma_s = E \cdot \alpha_\theta \cdot \Delta\theta = 15000\text{MPa} \cdot 1,2 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C} \cdot 18^\circ\text{C} = 3,24 \text{ Mpa}$

4.7.5. Spenninger i ytre fastholding

Termen «ytre fastholding» betyr at den eksisterende grunnmuren eller tilsvarende, prøver å holde igjen kontraksjon i en nystøpt del ved nedkjøling. Store strekkspenninger i veggen oppstår og dermed risiko for oppsprekking. Rissene som oppstår har en vinkelrett på skjøten

mellom grunnmuren og veggen. Temperaturdifferansen har i slikt tilfelle gitt opphav til mindre betraktelig spenningsutvikling sammenlignet med spenning i indre fastholding. Den nystøpte konstruksjonsdelen ekspanderer forholdsvis fritt, fordi den ikke har klart å styrke seg betydelig.

Rissene på grunn av spenninger i ytre fastholding har maksimal størrelse når temperatur kommer på samme nivå for begge konstruksjonsdelene. Det største problemet med den type riss vil bli varende selv etter lang tid. Dette vekker bekymring fordi det kan skape store problemer med tanke på betongens tetthet og bæreevne. Figur 11 viser eksempel på en type riss. [13]

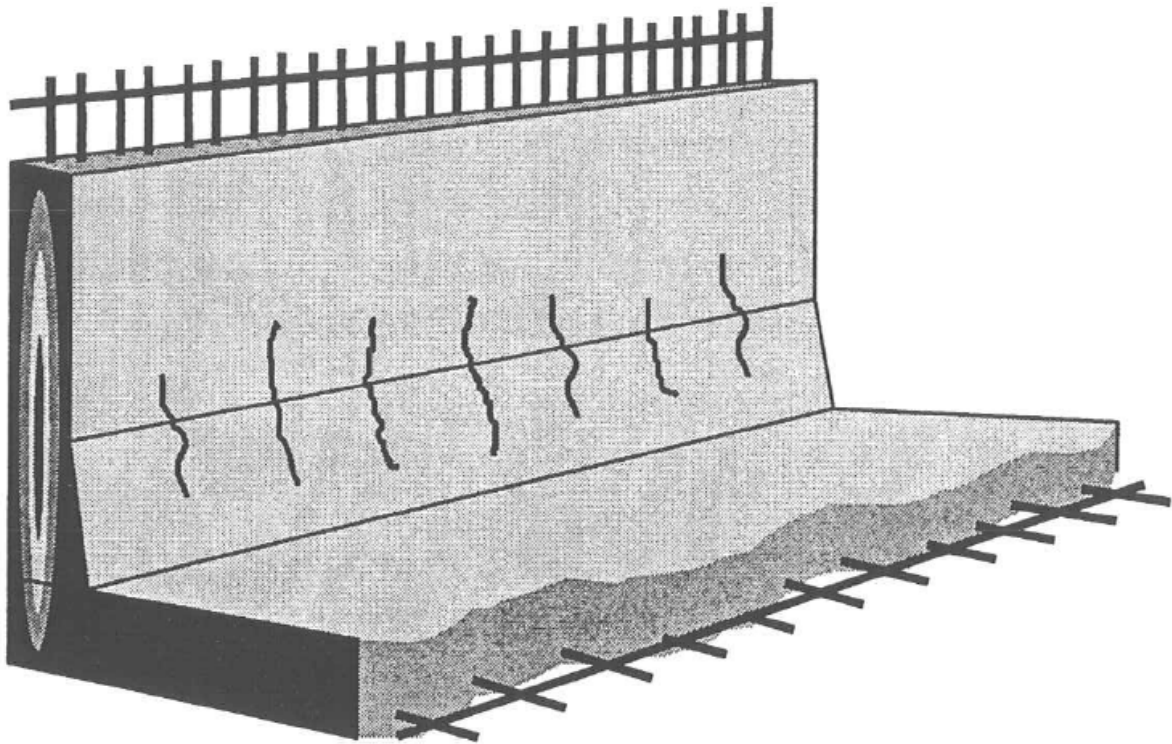


Figure 14 Rissmønster på grunn av ytre fastholding [13]

- Tiltak for unngå eller redusere spenningsoppbygging forårsaket av temperaturdifferanser er [11] (kap.7.3):
- Redusering av sementmengde, som gir mindre varmeutvikling
- Bruk av nedkjølt betong
- Nøye planlagt rivning av forskallingen vis-a-vis varmeutvikling
- Nedkjøling av nystøpte delen ved hjelp av kjølerør
- Effektiv oppvarming av den kjølige konstruksjonsdelen
- Bruk av isolasjon for å få redusert temperaturdifferanser innenfor en støpedel av konstruksjonen

5 Plan for laboratorieforsøk

Table 6 Forsøksplan

Resept/ Blandedato	Testdato							
	15 t	18 t	24 t	2 d	3 d	7 d	14 d	28 d
21.02 S2 0Si S1 0Si-20Fa	22.02	22.02	22.02	23.02	24.02	28.02	07.02	21.03
24.02 S1 0Si-50Fa S1 5Si-10Fa	25.02	25.02	25.02	26.02	25.02	03.03	10.03	24.03
26.02 S1 10Si-0Fa S1 5Si-20Fa	27.02	27.02	27.02	28.02	01.03	05.03	12.03	26.03
28.02 S1 5Si-50Fa S1 10Si-10Fa S1 10Si-20Fa	01.03	01.03	01.03	02.03	03.03	07.03	14.03	28.03
03.03 S1 10Si-50Fa S2 10Si-30Fa S2 10Si	04.03	04.03	04.03	05.03	06.03	10.03	17.03	31.03
04.03 S2 30Fa S2 5Si-30Fa	05.03	05.03	05.03	06.03	07.03	11.03	18.03	01.04
05.03 S1 0Si-0Fa S1 5Si-0Fa	06.03	06.03	06.03	07.03	08.03	12.03	19.03	02.04
07.03 S1 10Si-0Fa S2 5Si	08.03	08.03	08.03	09.03	10.03	14.03	21.03	04.04

Tabell 7 viser en oversikt over utstøpings samt testdatoer for de forskjellige reseptene. Lengst til venstre står det i kolonne nr. 1 resept og utstøpingsdato. Fra kolonne nummer to mot høyre

vises det testdatoer ved forskjellige alder fra 15 timer til 28 dager. Det er brukt noen forkortelser for å kunne skille reseptene fra hverandre på en kort og enkel måte.

Forkortelser som er brukt i tabellen og gjennom hele rapporten er:

S1 = Standard

S2 = Standard FA

Si = Silika støv

Fa = Flyveaske

Eksempel på tolking av slike forkortelser:

S1 10Si-50Fa: Resepten består av standardsement tilsatt 10 % silikastøv og 50 % flyveaske, det betyr prosentvis av sementmengden. Blandematriksvolumet holdes konstant (310 l) for alle blandinger.

6. Gjennomføring av laboratorieforsøk

6.1. Blandematrixe

Table 7 Oversikt over blandematrixe

Resept↓	Silika			Flygeaske			
	0%	5%	10%	0%	10%	20%	50%
1	X (S1)			X			
2		X (S1)					
3			X (S1)				
4					X (S1)		
5						a) (S2) b) (S2+20 Fa)	
6							a) (S1+50Fa) b) (S2+30Fa)
7		X (S1)			X		
8		X (S1)				a) (S2) b) (S1+20 Fa)	
9		X (S1)					a) (S1+50Fa) b.(S2+30Fa)
10			X (S1)		X		
11			X (S1)			a) S2b.(Snd+20)	
12			X				a.(S2+30Fa) b.(S1+50)

Tabell 8 viser en oversikt over blandinger som er gjennomført. Koden S1 betyr standard sement, og S2 betyr standard sement FA. Krysstegn viser prosentandel av pozzolan som er tilsatt hver blanding. Prosentandelene er innført øverst i tabellen mens reseptnummer er lengst til venstre i tabellen. For eksempel S1-0-0 betyr standard sement tilsatt 0 % silika støv og 0 %

flyveaske. Noen resepter er stort sett like, men forskjellen kan være at flyveaske er tilsatt på stedet eller den er ferdig blandet i sementen hos produsent.

I oppgaven skal det bli laget en betong med v/c-tall 0,50 med karakteristisk fasthet på 40 MPa. Resepter og blandingsmatrise er bearbeidet i samarbeid med veilederen. Det er planlagt 18 blandinger med forskjellige mengde pozzolaner gjennom hele prosjektet. For hver blanding kontrolleres konsistens ved synkmål og utbredingsmål. I tillegg skal densitet og luftinnhold til hver blanding måles. For hver serie skal 16 terninger på 100x100x100 [mm] støpes; hvorav 2 til hver testing ved 15, 18, 24 timer, og så 2, 3, 7, 14 og 28 døgn. Det skal også være andel betong i en temperaturisolert kasse på 15 -20 l. Dette prøvestykke betong skal brukes til å registrere temperaturutvikling gjennom 3 dager. Til å begynne med ble det prøvd et totalt volum på 65 l, men volumet ble redusert til 50 l, for dette var tilstrekkelig og akseptabelt i forhold til blandemaskinens kapasitet. En slik reduksjon har ført til mindre betong å kaste.

6.2. Resept

Et betongproporsjoneringsark i Exel ble brukt i oppgaven for å beregne sammensetning av betongens delmaterialer.

Resepten er stort sett lik for alle de 18 utførte blandinger, fordi den tar utgangspunkt i samme matriksvolum, samme mengde tilslag og samme v/c-forhold. Det er bare pozzolanemengde som varierer innenfor matriksvolumet. Ønsket oppnådd volum er på 50 l, v/c-tall på 0,50 og et ønsket matriks volum på 310 l/m³. Når v/c-tall beregnes, skal det tas hensyn til type pozzolaner som brukes. Dette gjør man ved å bruke en såkalt k-faktor eller. Denne k-faktor blir bestemt etter regler som er foreskrevet i NS-EN 206 standarden.

I proporsjoneringsark er også k-faktorer lagd inn, én for silikastøv og en annen for flyveaske. K-faktor for silikastøv er 2, og 0,4 for flyveaske.

Ved bruk av silikastøv er betingelser for valg av k-faktoren som følger:

- Ved spesifisert v/c-forhold $\leq 0,45$: $k = 2,0$
- Ved spesifisert v/c-forhold $> 0,45$: $k = 2$ (Se standarden for unntakstilfelle)

Ved bruk av flyveaske er betingelser for valg av k-faktoren slik:

- CEM I 32,5: $k = 0,2$
- CEM I 42,5 og høyere: $k = 0,4$ (Standard sement er CEM 42,5) [14]. Den k-faktoren har som hensikt å justere vannbehov ved bruk av pozzolaner. Med k-faktoren skal fastheten ved 28 dager bli den samme i betongen med ulike mengde pozzolaner.

For hver blanding ble fuktighet i sanden sjekket og lagt inn i kalkulatoren. Det grove tilslaget ble ikke sjekket for fuktighet, siden det hadde stått lenge innendørs og var derfor tørt. Ved behov for henting av sand eller pukk fra siloer utendørs, måtte det hentes og tørkes i god tid før hver blanding. Man regner likevel alltid med 0,5 % absorbert vann i tilslaget, som ble tatt i proporsjonering av betongen.

6.3. Utstysrliste

Her følger en liste over viktigste utstyr som er brukt:

1. Sikt
2. Blandemaskin
3. Fuktmåler
4. Luftmåler
5. Støpningsform
6. Termometer/ temperaturregister
7. Vannbad
8. Spade
9. Trillebår
10. Bøtter
11. Stålstang
12. Synkkjegle
13. Fallbord
14. Målebånd
15. Høytrykksspyler
16. Temperaturkasser
17. Trykktestmaskin

7. Metode

7.1. Blandeprosedyre

Etter at resepten er utarbeidet, ble materialene veidd opp og helt opp i blandemaskinen.

Blandingsprosedyren som ble brukt var som følger:

- Tørrmasse blandes i 1 minutt
- Vann tilsettes og blanderen går i 2 minutter. Underveis tilsettes også SP-stoff etter behov
- Blanderer stoppes og betongen hviler i 1 minutt
- Betongen blandes igjen i 2 minutter med mer tilsetningsstoff etter behov



Figure 15 Blandemaskin

7.2. Utførte tester på fersk betong

7.2.1. Synktest

Dette er den vanligste måte å måle betongens konsistens på for den ordinær komprimerte betong eller vanlig konstruksjonsbetongen.

For å være gyldig, skal alle blandingene ha et synkmål på $20 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}$. Prøvingen er utført i samsvar med NS-EN 12350-2, og kan oppsummeres som følger:

- Synkkjeglen plasseres på et horisontalt underlag og begge fuktes
- Mens laboranten står på de to fotstøttene, fylles synkkjeglen i 3 like lag
- Hvert lag som utgjør ca. $1/3$ av høyden på synkkjeglen komprimeres med 25 støt ved bruk av en komprimeringsstav i stål. Bunnlaget komprimeres gjennom hele sin dybde men uten å støte mot underlaget
- Det andre laget og det øverste laget komprimeres hvert gjennom sin dybde
- Betongoverflaten avrettes med komprimeringsstaven i en rullende bevegelse
- Underlaget rengjøres for betongsølt
- Forsiktig løftes synkkjeglen loddrett fra betongen i løpet av 2 s til 5 s, og settes på underlaget ved siden av betongen
- Komprimeringsstaven legges på toppen av synkkjeglen og synkmålet tas. Dette målet tilsvarer høyde mellom betongens høyeste punkt og kjeglenshøyde, som vist på figur
- Utbredingsmål blir tatt samtidig, som vist på figur 1.b [6], [1]

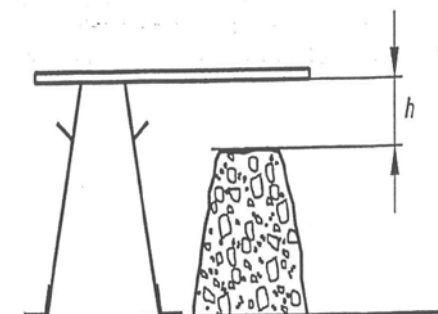


Figure 16 Synkprøving

7.2.3. Utbredelsesprøving

Prosedyren for utbredelsesprøving er til å begynne med lik den for synk. Mens kjeglen løftes og fjernet, synker betongkjeglen og flyter utover i tilnærmet sirkelformet masse. Etter at synkmål er tatt, blir det nå målt diameter på prøven. Som figur viser, blir det målt den minste og største diameteren. Utbredelsesmål blir da middelverdien for diameteren, som beregnes ved å legge sammen d_1 og d_2 og så dele på 2[1].

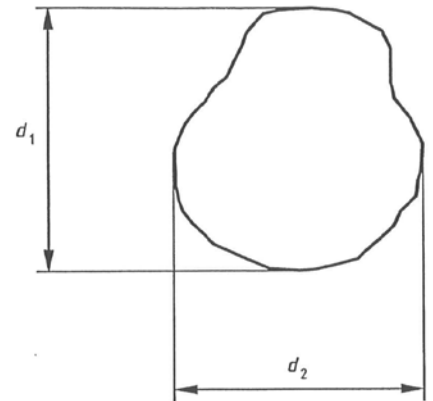


Figure 17 Utbredelsesprøving



Figure 18 Synk- og utbredelses påvogn

7.2.4. Densitet på fersk betong NS-EN 12350-6:2009

Prosedyren for densitetsmåling er som følger:

En tom beholder veies opp

Beholderen fuktes innvendig ved hjelp av en våt svamp

Beholderen fylles opp med prøven i tre like lag, og hvert lag komprimeres jevnt med en stålstav (25 støt). NB: For bunnlaget må det ikke støtes hardt mot bunnen slik at beholderen ikke blir ødelagt. Det andre laget og det øverste laget komprimeres hvert gjennom sin dybde

Overflaten avrettes med en stålstav, og eventuelt betong-søl tørkes bort

En glassplate legges på overflaten for å være sikker på at beholderen ikke er overfylt

Beholderen løftes forsiktig, settes på vekten og veies opp

Nå kan densitet beregnes med formel som følger:

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

m_1 = vekt av full beholder [kg]

m_2 = vekt av tom beholder [kg]

V = volum av beholder [l]

D = densitet [kg/m^3]



Figure 19 Merking av terninger før lagring i vannbad

7.2.5. Luftmåling

Luftmålingen utføres etter prosedyren beskrevet i norsk standart NS-EN 12350-6:2009

- Beholderen fuktes innvendig ved hjelp av en våt svamp
- Beholderen fylles opp med prøven i tre like lag, og hvert lag komprimeres jevnt med en stålstav (25 støt). NB: For bunnlaget må det ikke støtes hardt mot bunnen slik at beholderen ikke blir ødelagt. Det andre laget og det øverste laget komprimeres hvert gjennom sin dybde
- Dunk forsiktig rundt beholder med en gummihammer
- Overflaten avrettes med en stålstav, og eventuelt betong-søl tørkes bort
- Kanten rengjøres grundig med en våt svamp, slik at det skal bli lett å lukke
- Lokket blir satt på og godt festet
- Se for at vannfyllingsventilene er åpne
- Press rent vann gjennom den ene ventilen ved bruk av en spyleflaske, til det kommer rent vann uten luftboble i den andre ventilen og luk den
- Steng så den andre ventilen
- Luftventilen lukkes og luften pumpes ved hjelp av egen pumpe, som figuren viser
- Luften pumpes til nålen passerer viseren ca. 10 mm, og lukkes ved å dreie med klokke pumpehjulet. Nå er det klart for å lese av luftinnhold
- Trykk med tommelfingeren på hendelen og hold i ca. 20 sekunder og slipp hendelen
- Nålen faller litt grand så blir luftinnholdet lest av

Etter at alle tester er utført, blir betongen støpt ut i former, komprimert, avrettet og dekket over med plastposer. Det er svært viktig både på laboratorium og på byggeplass at prøvestykket/konstruksjonen blir dekket for å hindre vannevaporasjon og betongekspansjon.

Det er mange grunner til overflatedekning og noen er [1]:

- Å minimalisere risiko for plastisk svinn
- Å forsikre tilstrekkelig styrke i flateareal
- Å forsikre tilstrekkelig holdbarhet av flateareal
- Beskyttelse fra skadelige klimamessige forhold
- Beskyttelse mot frysing
- Skjerming fra skadelige vibrasjoner, resonans effekter eller ødeleggelser

7.3. Tester utført på herdnet betong

Herdet betongen ble testet bare på to egenskaper, egenvekt på hver terning samt trykktesting. Resultatene blir presentert i både resultatkapittel og i vedlegg



Figure 21 Trykkmaskin



Figure 20 Typisk trykktest for ved 15 timer

7.4. Beregningsprogram

7.4.1. Regnearket «herdekasse»

Beregningsprogrammet «Herdekasse» ble formidlet av veilederen og er et svært nyttig verktøy for beregning av temperatur. For nøyaktig beskrivelse av virkemåte og bruksområdet henvises det til vedlegg [21].

I oppgaven blir dette programmet brukt til å beregne adiabatisk temperaturutvikling. Dette gjøres ved å overføre til regnearket temperaturforløpet for hver resept registrert gjennom 3 dager i laboratoriet. Temperaturen blir omregnet til adiabatisk temperatur samt varmeutvikling i betongen. Dette gjøres ved å tilpasse egenskapsfunksjoner for den danske (eventuelt svensk) modell, og for å beregne total varmemengde, retardasjonsparameter og krumningsparameter. Disse parameterne benyttes når temperaturutvikling i betongen skal simuleres.

Programmet kan også anvendes for en gitt betong til å bestemme [21]:

- Akkumulert isoterm varmeutvikling, kontinuerlig forløp og nøkkeldata
- Modelldata for egenskapsfunksjonen for isoterm varmeutvikling
- Adiabatisk temperaturutvikling
- Avbindingstid på grunnlag av et varmeutviklingskriterium

Bildet under viser herdekasser som brukes under temperaturmåling.



Figure 22 Måling av temperatur under betongherding

Konvertering av egenskapsfunksjoner

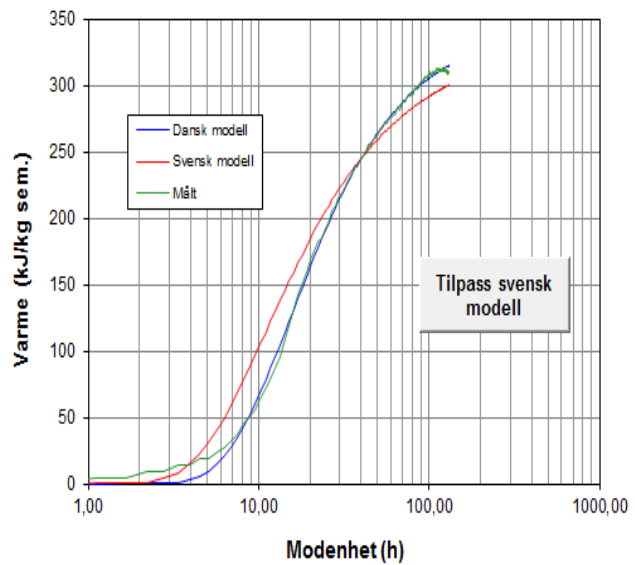
Dansk modell	
Q_∞	344
τ	15,54
α	1,14

$$Q = Q_\infty \cdot e^{\left(-\frac{\tau}{M}\right)^\alpha}$$

Svensk modell	
W_c	360
λ_1	0,323
t_1	29,81
κ_1	1,10

$$Q = W_c \cdot e^{\left(-\lambda_1 \cdot \ln\left(1 + \frac{t}{t_1}\right)\right)^{-\kappa_1}}$$

Kv.sumsav.	#DIV/0!
------------	---------



Figur 5 Utklipp fra Herdekasse-programmet

Figur 29 viser hvordan det ser ut når regnearket «Herdekasse» opererer med dansk og svensk egenskapsfunksjoner. Med de to anvist funksjonene er adiabatisk temperatur, moenhet og totalvarmeutvikling i betongen beregnes.

7.4.2. Regneark for simulering av betongegenskaper i en vegg

Hovedtemaet, for oppgaven er utdypning og forståelse av pozzolans betydning for temperatur- og fasthetsutvikling. I tillegg skal det lages et simuleringsprogram for betongegenskaper. I forbindelse med dette vil et regneark i Exel utvikles. Regnearket skal kunne simulere temperaturforløpet og varmeutvikling i en tenkt betongvegg under herding. For at det skal virke hensiktsmessig, vil programmet trenge en del formler og inndata som består av betongegenskaper og begrensninger. De nødvendige inndata fra og for hver resept er først total varmeutvikling Q_{∞} , krumningsparameter α og retardasjonsparameter τ . Disse blir først beregnet ved hjelp av regnearket «herdekasse», omtalt tidligere i rapporten.

I praksis består en betongvegg ikke bare av betongen, men er sett på som et kompositt materiale eller et sammensatt tverrsnitt. Programmet vil dermed ta hensyn til forskalling og isolasjon i tillegg til veggutforming. Inndata for programmet er:

- Lufttemperatur
- Utstøpingstemperatur
- Totalvarmeutvikling Q_{∞}
- Krumningsparameter α
- Retardasjonsparameter τ
- Varmekapasitet C_p
- Varmeledningsevne k
- Isolasjonsevne for varmeledning
- Isolasjonstykkelse
- Veggtykkelse
- Betongdensitet

Det er gjort noen formforenklinger av veggens det blir regnet på. Veggens høyde og lengde regnes med å være mye større enn veggens tykkelse. Dermed vil høyde og lengde bli sett på som uendelig lang, mens beregninger vil ta i betraktning kun veggtykkelse. Midterst del av tverrsnittet vil regnes som varmeste og på den måten vil varmetapet i tverrsnittet skje i begge retninger høyre og venstre samtidig. Tverrsnittets halve veggtykkelse vil dermed være nok for beregninger, fordi tverrsnittet er symmetrisk om senteret. Indre randbetingelse vil være veggens senter, og ytre grensebetingelse vil være isolasjonsmateriale. Videre vil veggens bli delt i mindre enheter eller seksjoner for at det blir enklere å følge temperaturutvikling i hver seksjon. Enda mindre enheter hadde gjort veggens undersøkelse nøyaktigere. Data skal

Fasthet-/temperaturutvikling

registreres for hvert tiende minutt eller kortere tidsintervall. Forenklingen gjort her betrakter varme som konstant i høyde og lengderetning. Noen parametere å bruke er tilfeldig valgt. Isolasjonstykkelse er for vanlig finér med tykkelse 22m m (se tabell 3) med varmeledningsevne på 0,15 KJ/mh⁰C, betongens varmeledningsevne settes lik 2,9 KJ/mh⁰C som for lett betong (se tabell 2) og spesifikk varme for betong settes lik for gips, 1,09 KJ/mh⁰C. Transmisjonstallet blir oppdatert automatisk for hver seksjon og beregnes etter uttrykket:

$$K = \frac{k}{\frac{t}{22}} + \frac{k}{t}$$

og dette gir

$$K = \frac{2,9}{\frac{0,7}{22}} + \frac{2,9}{0,022} = 95,29 \text{ kJ/mh}^{\circ}\text{C}$$

t = veggtykkelse og 22 er antall veggseksjoner.

Ved rand er beregningene annerledes fordi randsonen regnes å bestå av bare isolasjonstykkelse. Det brukes finérplater med tykkelse 0,022 m og har varmeledningsevne på 0,15 KJ/mh⁰C. Dette gir:

$$K = \frac{k}{t} = \frac{0,15}{0,022} = 6,82 \text{ kJ/mh}^{\circ}\text{C}$$

Table 8 Inndata i regnearket for egenskapssimulering

INPUT		
Utsøpings temp	°C	21,00
Luft temp	°C	8,00
T	kJ/kg	18,01
A	kJ/kg	0,72
Q	kJ/kg	406,00
Sement + Silika	kg/m ³	336,00
K	kJ/mh ⁰ C	2,90
Cp	kJ/mh ⁰ C	1,09
Isolasjon	kJ/mh ⁰ C	0,150
Veggtykkelse	M	0,70
Isolasjonstykkelse	M	0,022
Denistet	kg/m ³	2400

Varmetap	
Transmisjonstall	
K	
Rand	6,82
1/10	95,29
2/10	95,29
3/10	95,29
4/10	95,29
5/10	95,29
6/10	95,29
7/10	95,29
8/10	95,29
9/10	95,29
Senter	95,29

Tabell 8 viser inndata brukt i simuleringsprogram for referanseressept.

8. Resultater og diskusjoner

8.1. Egenskaper for fersk betong

Table 9 Fersk betongegenskaper

Resept	Synk [mm]	Utbredelse [mm]	Luft %	Densitet fersk betong [$\frac{kg}{m^3}$]	Sp-stoff [g]	
1	S1-0Si-0Fa	190	325	1,8	2400	58
2	S1-0Si-10Fa	200	350	1,4	2393	38
3	S1-0Si-20Fa	185	330	1,1	2392	50
4	S1-0Si-50Fa	210	420	1,0	2409	190
5	S2-0Si	190	345	0,5	2392	17
6	S2-0Si30Fa	195	330	1,5	2407	65
7	S1-5Si-0Fa	195	335	2,0	2395	35
8	S1-5Si-10Fa	200	410	0,7	2410	155
9	S1-5Si-20Fa	200	405	1,0	2382	130
10	S2-5Si-30Fa	195	335	1,2	2408	40
11	S1-5Si-50Fa	210	415	1,3	2397	168
12	S2-5Si	200	350	0,8	2373	30
13	S2-10Si	200	355	0,6	2365	23
14	S1-10Si-0Fa	200	355	1,2	2367	16
15	S1-10Si-10Fa	190	380	1,5	2389	70
16	S1-10Si-20Fa	200	355	1,5	2390	45
17	S2-10Si-30Fa	195	345	1,5	2377	78
18	S1-10Si-50Fa	190	370	2,8	2354	98

Tabell 9 viser oppnådde testresultater på ferske betong: synk, synkutbredelse, luftinnhold, densitet og tilsetningsstoff. Gul viser gruppe 1, grønn viser gruppe 2 og lilla viser gruppe 3. Gruppene er bestemt ut fra innholdet av silikastøv som prosent av sementmengde i hver betongblanding.

Gul = Uten tilsatt silikastøv

Grønn = Tilsatt 5 % silikastøv

Lilla = 10 % silikastøv

8.1.1. Diskusjon av synk- og utbredelses resultater

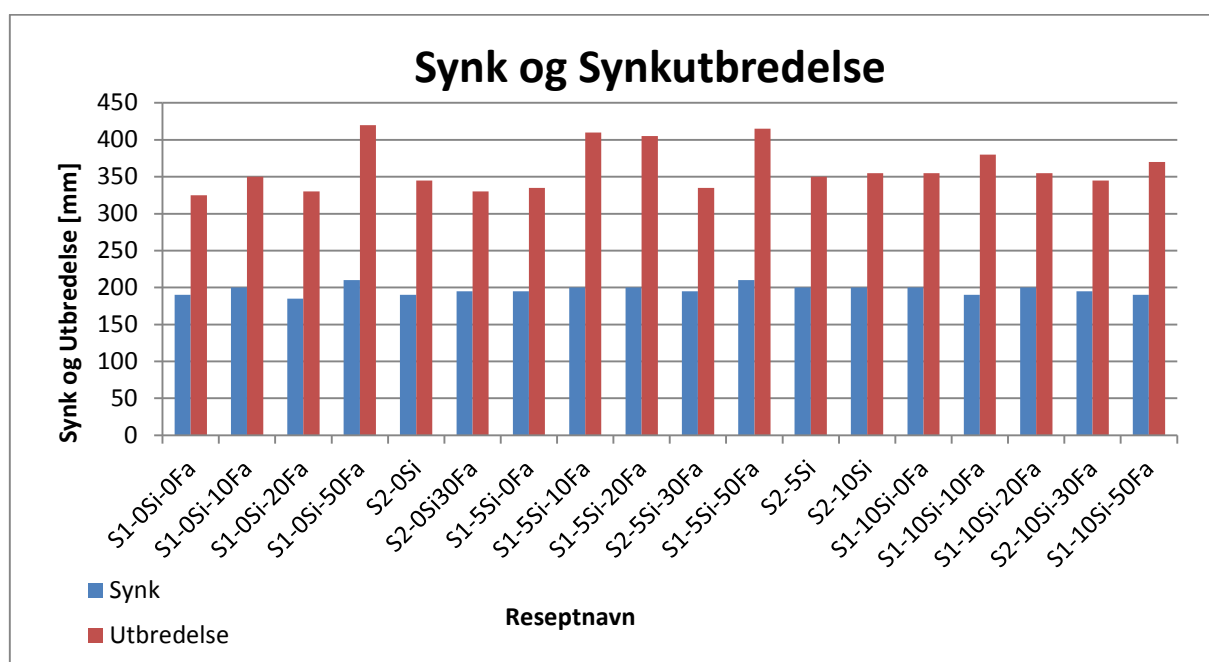


Figure 23 Synk og utbredelse

Stolpediagrammet viser mål for synk (blå stolpe) mot synkutbredelse (rød stolpe) for alle betongblandinger.

Synkmålene er som forventet fordi målene ligger mellom 185 mm og 210 mm, og dette er nært kravet som er 200 mm \pm 20 mm. Målene for utbredelse varierer mye, men det virker som det er sammenheng mellom synk og synk-utbredelse.

Målene for utbredelse varierer og ligger mellom 320 mm og 420 mm. Målene kan deles i 2 grupper; den ene gruppen med lavt mål og den andre med høyt mål.

I den første gruppe med lavt mål ligger synk-utbredelsen mellom 325 mm og 345 mm. Disse tallene kan henge sammen med synk, fordi tilsvarende synk er stort sett lavt og ligger mellom 185 mm og 195 mm. Unntak er 2 resepter, S1-10Si-10Fa og S1-10Si-50Fa som har lavt synk (190 mm) men med relativt høy synk-utbredelse på henholdsvis 380 mm og 370 mm.

Den andre gruppe med høyt mål med synk- utbredelse i intervallet fra 350 mm til 420 mm og en synk fra 200 mm til 210 mm. I denne kategorien er det også noen blandinger som skiller seg ut særlig på utbredelse og de har som forventet en høy synk. Disse reseptene er S1-0Si-50Fa og S1-5Si-50Fa med samme synk på 210 mm og utbredelse på henholdsvis 420 mm og 415 mm.

Det ser ut som sement og pozzolan kan ha påvirket utbredelse av betongen. Alle reseptene med S2 (Standardsement Fa) ligger under kategori med lav utbredelsesmål (330 mm – 350 mm).

8.1.2 Diskusjon av luftinnhold

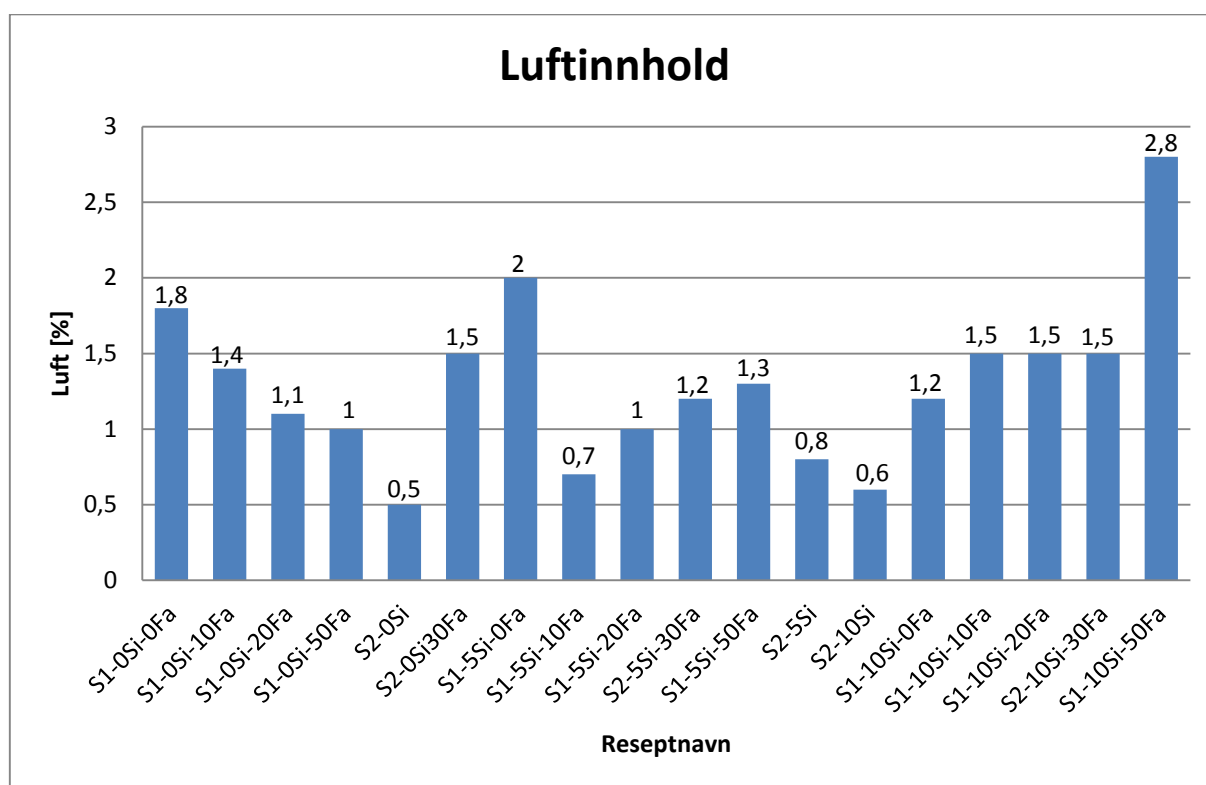


Figure 24 Luftinnhold

Tre resepter har et relativt høyt luftinnhold; S1-0Si-0Fa med 1,8 % luft, S1-5Si-0Fa med 2,0 % luft og S1-10Si-50Fa med 2,8 %. Mulig årsak for høyere luftprosent kan være lengre blandetid enn andre resepter. I enkelt tilfeller er det brukt lengre tid på blanding enn det som ble beskrevet under blandeprosedyre. Dette på grunn av forsiktig tilsetning av SP-stoff for å oppnå ønsket synkmål (180 – 220 mm). Andre årsaker som feil avlesning eller feil i selve utstyret kan ikke utelukkes.

Videre er det også 4 resepter som utmerker seg med veldig lavt luftinnhold på under 1 %. Disse er S1-5Si-10Fa med 0,7 %, S2-0Si med 0,5 %, S2-5Si med 0,8 % luft og S2-10Si med 0,6 % luft. Årsaken til dette kan være at blandetiden ble relativt kort, fordi dosering av SP-stoff og følgelig ønsket synk var omtrent 200 mm som ønsket, altså det motsatte fra tilfelle med høyt luftinnhold.

Resten av reseptene har et luftinnhold på mellom 1 og 1,5 %, og den lille variasjon kan gjøre at man utelukker feil knyttet til luftbøtten som er brukt. Det er tross alt ikke kommet fram noe oppsiktsvekkende tall på luftinnholdet. Naturlig luft i betong vil normalt ligge i området 1-2 % [30].

8.1.3 Diskusjon av densitet

Densiteten på ferske betongen som ble blandet i laboratoriet varierer ikke veldig mye for alle reseptene. Bare 3 av 18 blandinger har densitet under 2370 kg/m^3 , og spesielt for dem er at de har en forholdsvis høy synk. Resultatet viser som forventet at høyt luftinnhold (2,8 & i S110Si-10Fa) har gitt lavest egenvekt. De andre variasjoner kan rett og slett skyldes ujevn komprimering, avrettingsmåte eller feil i oppveiling.

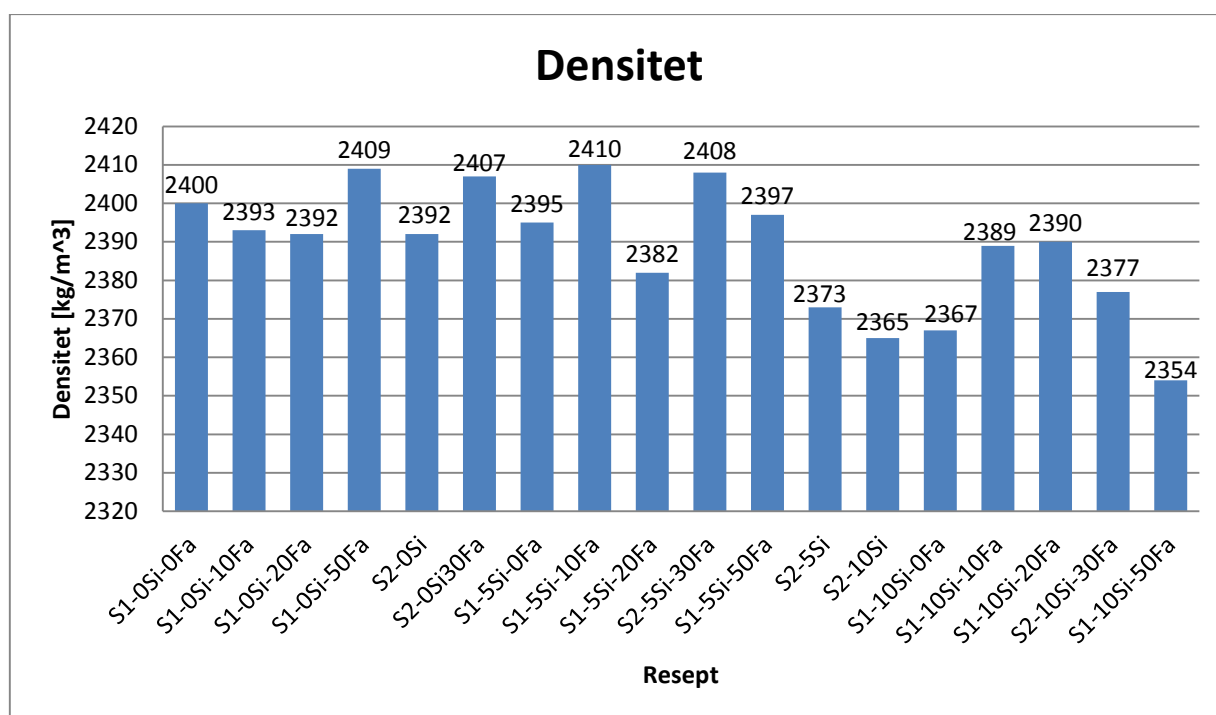


Figure 25 Densitet for fersk betong

8.1.4 Diskusjon av SP-dosering

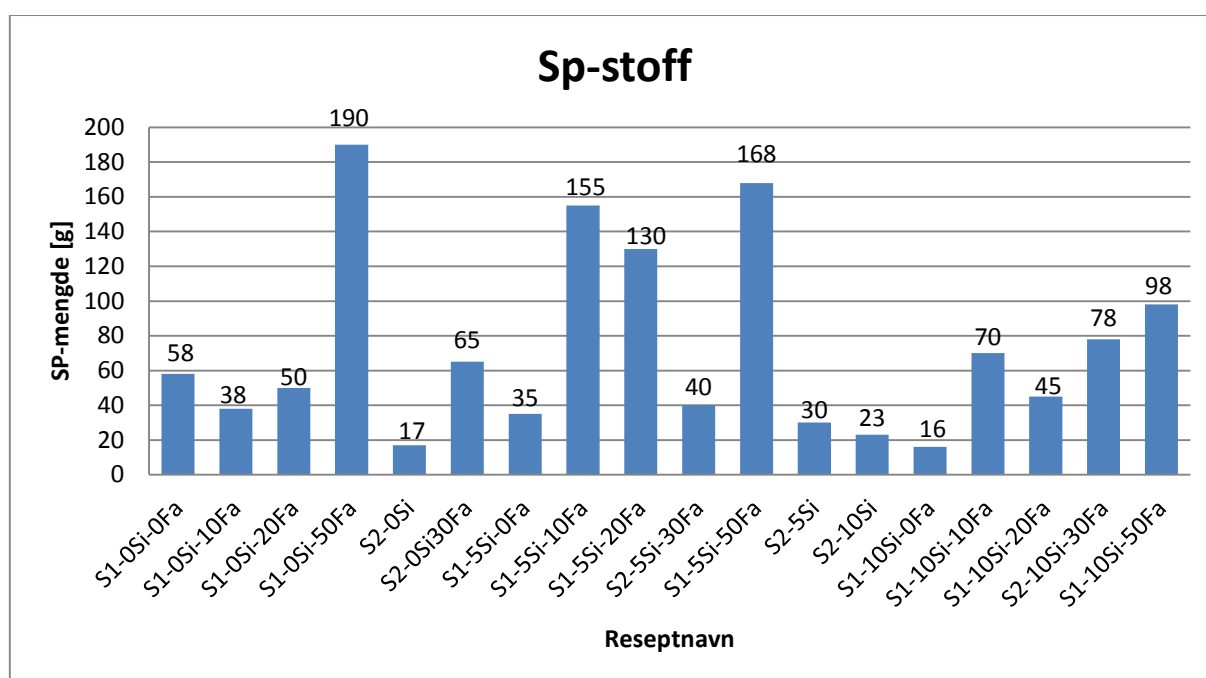


Figure 26 Mengde SP stoff

Det kan ikke med stor sikkerhet oppgis årsak til bruk av mer eller mindre mengde SP, basert på bare sementtype. Det er i tillegg brukt silika støv og flyveaske, enten alene eller i kombinasjon. Tross alt er det 4 resepter som har krevd svært høy SP-dosering for å oppnå ønskede synk. Disse er S1-0Si-50Fa med 190 g SP, S1-5Si-10Fa med 155 g SP, S1-5Si-20Fa med 130 g SP og S1-5Si-50Fa med 168 g SP. Det som kommer tydelig fram med alle de 4 reseptene er at de har en høy prosentandel flyveaske, bortsett fra én av dem. Resultatene viser at økt innhold av flyveaske ser ut til å ha medført et økt behov av SP, noe som ikke var forventet. I litteraturen viser derimot at flyveaske reduserer behovet for bruk av SP-stoff på grunn av den runde kornformen til FA.

8.2. Egenskaper for hardnet betong

8.2.1. Egenvekt

Table 10 Egenvekt for alle terdninger

Resept	Egenvekt [kg/m ³]															
	15t		18t		24t		2d		3d		7d		14d		28d	
S1-0Si-0Fa	2420	2410	2428	2418	2421	2410	2418	2414	2422	2409	2420	2408	2419	2414	2400	2410
S1-0Si-10Fa	2418	2408	2421	2426	2424	2420	2415	2410	2401	2410	2419	2406	2418	2421	2423	2411
S1-0Si-20Fa	2375	2376	2387	2367	2392	2391	2392	2410	2376	2403	2422	2390	2388	2390	2395	2398
S1-0Si-50Fa	2415	2418	2430	2420	2430	2420	2428	2426	2430	2421	2426	2428	2430	2432	2422	2428
S2-0Si	2410	2393	2364	2364	2392	2388	2406	2401	2410	2415	2402	2391	2435	2420	2422	2420
S2-30Fa	2423	2414	2407	2420	2420	2406	2412	2416	2423	2412	2424	2434	2418	2418	2417	2424
S1-5Si-0Fa	2366	2388	2374	2368	2376	2381	2398	2400	2424	2428	2407	2390	2406	2405	2402	2420
S1-5Si-10Fa	2381	2389	2400	2398	2396	2399	2410	2412	2426	2424	2430	2421	2411	2406	2412	2409
S1-5Si-20Fa	2403	2410	2418	2412	2418	2416	2388	2410	2418	2414	2430	2427	2413	2398	2423	2430
S2-5Si-30Fa	2401	2401	2411	2413	2414	2406	2425	2427	2419	2418	2412	2408	2430	2433	2428	2430
S1-5Si-50Fa	2412	2416	2405	2410	2416	2418	2418	2402	2427	2423	2394	2384	2380	2405	2422	2401
S2-5Si	2424	2422	2418	2410	2413	2413	2422	2425	2424	2430	2420	2414	2430	2433	2400	2406
S2-10Si	2423	2417	2420	2416	2428	2420	2429	2430	2432	2428	2431	2421	2430	2433	2428	2431
S1-10Si0Fa	2410	2402	2402	2404	2354	2396	2402	2412	2422	2412	2423	2419	2414	2422	2415	2420
S1-10Si10Fa	2430	2420	2433	2423	2422	2415	2435	2416	2417	2403	2428	2430	2405	2417	2421	2431
S1-10Si-20Fa	2435	2428	2435	2430	2432	2426	2432	2426	2434	2421	2433	2430	2427	2437	2430	2420
S2-10Si-30Fa	2420	2415	2420	2413	2408	2420	2427	2430	2433	2423	2430	2419	2427	2438	2420	2426
S1-10Si-50Fa	2418	2400	2400	2405	2401	2404	2402	2400	2391	2403	2397	2384	2438	2416	2413	2393

Tabell 11 viser egenvekt for hver terning før den ble trykktestet.

8.2.2. Trykktestresultater samt diskusjoner for alle blandinger

Table 11 Oversikt over trykktestresultater

Resept		Trykkfasthet [MPa]							
		15t	18t	24t	2d	3d	7d	14d	28d
1	S1-0Si-0Fa	11,2	14,2	19,7	31,8	35,7	42,1	44,7	51,7
2	S1-0Si-10Fa	5,69	8,39	14,6	28,2	35,1	40,2	45,9	50,6
3	S1-0Si-20Fa	2,88	5,07	8,83	16,2	20,7	28,2	32,4	37,9
4	S1-0Si-50Fa	1,51	2,61	7,51	15,8	22,5	31,3*	33,5	39,2
5	S2-0Si	1,50	2,44	5,12	11,7	16,7	25,8	32,2	40,2
6	S2-0Si-30Fa	8,10	12,2	16,3	23,4	28,1	31,0	34,4	47,1
7	S1-5Si-0Fa	4,99	7,72	13,7	24,6	28,9	35,0	40,4	48,3
8	S1-5Si-10Fa	2,18	3,27	7,24	16,2	22,0	29,8*	33,6	40,6
9	S1-5Si-20Fa	2,88	4,71	7,65	14,9	19,8	26,7	32,3	35,6
10	S2-5Si-30Fa	4,29	6,46	11,5	18,7	22,5	25,2	30,2	43,2
11	S1-5Si-50Fa	4,10	5,94	11,1	21,2	26,0	33,9	41,5	52,2
12	S2-5Si	3,70	6,42	10,1	17,2	22,2	25,1	30,7	40,1
13	S2-10Si	1,45	2,59	4,67	9,45	12,0	14,8	17,9	25,4
14	S1-10Si-0Fa	3,07	4,31	7,93	16,6	23,1	26,9	31,0	38,5
15	S1-10Si-10Fa	0,08	6,07	10,7	18,0	24,3	31,0	36,3	45,6
16	S1-10Si-20Fa	3,12	5,78	9,43	15,3	19,5	26,6	31,8	41,2
17	S2-10Si-30Fa	3,20	6,12	11,1	19,1	22,5	28,7	34,4	47,1
18	S1-10Si-50Fa	1,85	2,36	5,80	14,4	18,7	26,1	32,9	42,5

Tabell 11 viser trykktestresultater for 15, 18, 24 timer og 2,3, 7, 14 og 28 dager.

* Testet ved 10 dagers alder

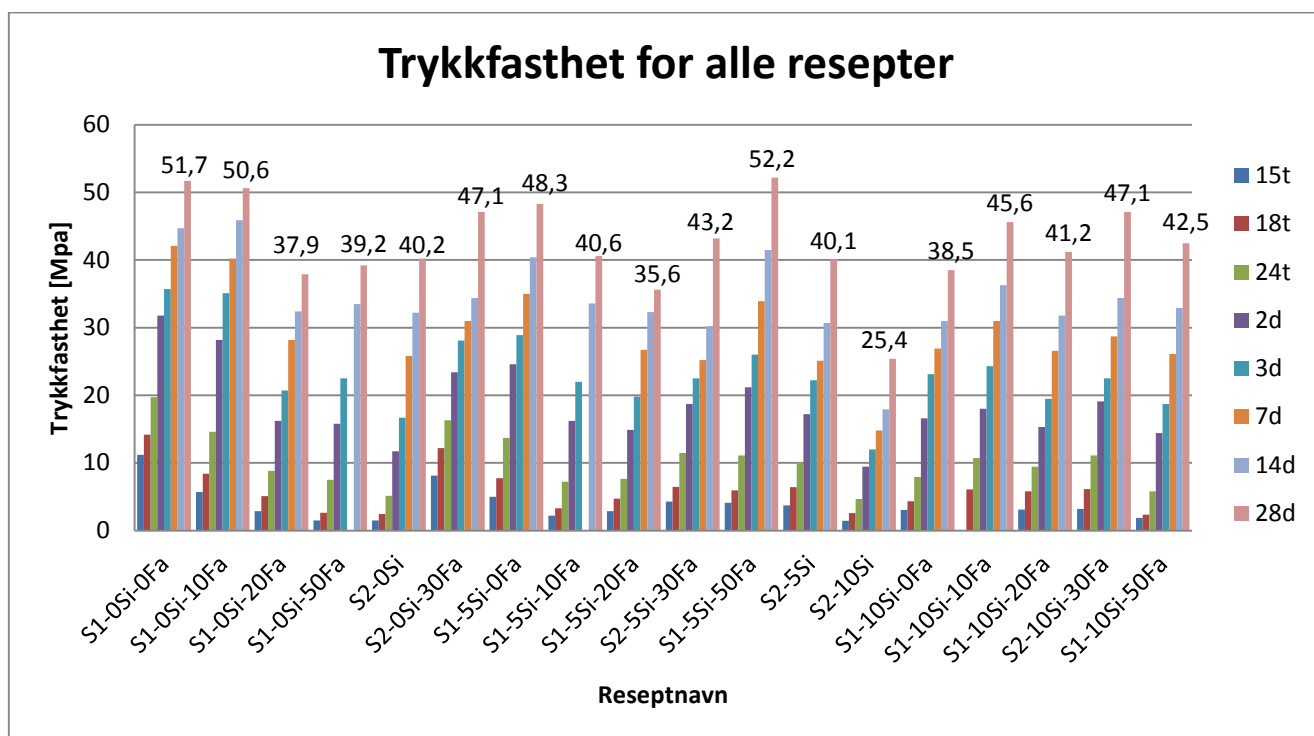


Figure 27 Trykktestresultater grafisk

Figur 27 viser den oppnådde trykkfasthet i form av stolpediagram for alle betongblandinger.

Fastheten for 28 dager kan leses av direkte på toppen av hver søyle.

Det var forventet samme fasthetsresultater ved 28 dager. Hovedårsak for lik fasthet ved 28 dager er bruk av fasthetsfaktor k i proporsjoneringsark. Selv om det ble tilsatt forskjellige mengder og typer pozzolaner, er k -faktorens rolle å justere vannbehovet slik at fastheten skal bli den samme ved 28 døgns alder [1] (kap7.2). I tillegg ble det brukt samme type sement til alle betongblandinger. Enten flyveaske i sementen var ferdig blandet hos produsenten eller om den måtte tilsettes på laboratoriet, skulle det gi omtrent likt resultat. Gitt også at v/c -tallet, betongvolumet og bindemiddelvolumet holdes konstant, skulle styrkeresultater være omtrent like. Til tross for at det var forventet for alle reseptene likt fasthetsresultat ved 28 døgn, viser reseptene forskjellige resultater.

Gruppe 1 med 0 % tilsatt silikastøv

1. Resept nr.1 (referanseresept) i resultats tabell (S1-0Si-0Fa) har ganske høy fasthet, 11,2 MPa ved først test (15 timer) og følgelig høy fasthet, 51,7 MPa ved 28 dagers alder.

2. Resept nr.2 i tabellen (S1-0Si-10Fa) har høy fasthet, 50,6 MPa ved 28 dagers alder enn den første. Fastheten ved 15 timers alder er nesten halvparten av resept nr.1. Fasthetsduksjonen kan skyldes effekt av de 10 % tilsatt flyveaske.
3. Resept nr.3 (S1-0Si-20Fa) har enda lavere fasthet ved 15 timers alder, 2,8 MPa. Dette kan virke logisk fordi flyveaske andel har økt. Også langtids fasthet, 28 dager, er fastheten lavere, 37,9. Grunnen kan være at flyveaskeandel blitt enda høyere det vil si 20 %.
4. Resept nr. 4 og 5 (S1-0Si-50Fa og S2-0Si-30Fa) består av Standardsement FA og med største andel flyveaske viser laveste resultat ved 15 timers alder, men 28 døgns alder er ikke den laveste.

Gruppe 2 med 5 % tilsatt silikastøv

1. Reseptene viser en moderat fasthetsutvikling fra 15 timers alder. Ved 28 dagers alder viser disse 2: S1-5Si-0Fa og S1-5Si-50Fa høy fasthet, på henholdsvis 48,3 og 52, 2 MPa. Det er ikke sannsynlig at den høyeste andel Fa, 50 % kan ha forårsaket den høyeste trykkfasthet ve 28 dager. Mulige årsak kan være temperaturutvikling eller herdeforhold.

Gruppe 3 med 10 % tilsatt silikastøv

2. Resept nr.3 (S2-10Si) har vist uventet resultater når det gjelder trykkfasthet. På 15 timers alder viser den en grei fasthet på 1,45 MPa. Etter det, viser den en svært liten fasthetsutvikling i forhold til resten av reseptene. Den ender opp med 25,4 MPa ved 28 dagers alder. Dette er ca. 28,7 % lavere enn den neste laveste 28 dagers fasthet, og er ca. 51, 3 % lavere enn høyeste 28 dagers alder. Et så stort avvik er ikke lett å begrunne, men det kan skyldes effekt av en eller annen type forurensning på betongen. En annen årsak kan ligge i sementen som er brukt til den aktuelle resepten. Siden noen sementsekker hadde stått lenge åpnet eller i bønne i laboratoriet, kan man ha fått opp i andre ingredienser i form av støv. Hvorfor det har skjedd den eneste blandingen rart. En annen årsak til så lite fasthetsutvikling kan ha med vannmengden som er brukt. Dette er alvorlig fordi betong er veldig sensitiv og v/c-forhold har stor effekt på betongen. Det kan hende at det ble gjort feil under vannoppveining på grunn av lesefeil, og dette har ført til bruk av for mye vann. Mer enn nødvendig vannbruk kan bevises av et lite SP.

Kun 23 g SP ble tilsatt og dette er blant de laveste doseringer i prosjektet. Den laveste dosering er på 16 g, men forskjellen er at i den tilhørende resept er det brukt Standardsement uten flyveaske.

- Den siste resept som er verd å si noe om er resept nr.15 (S1-10Si-10Fa) se tabell 12. Den har svært lav styrke på 0,08 MPa ved 15 timers alder, men ved 18 timers test viser den en betydelig fasthetsutvikling (6,07 MPa). 28 dagers fasthet er 45,6 MPa og ser grei ut i forhold til resten av reseptene. Det kan hende at den testserien har blitt dårligere komprimert. Det kan også hende at testen har blitt utført 1 eller 2 timer for tidlig på grunn av feil time telling fra støpe-tidspunkt.

På den ene siden er resultatene kommentert eller begrunnet basert på observerbare eller fysiske egenskaper. På den andre siden kan de oppnådde fasthetsresultatene tolkes på grunnlag av temperaturutvikling som et resultat av pozzolanbruk. Eksempel på trykktestresultat samt tilhørende temperaturkurve for en tilfeldig valgt blanding.

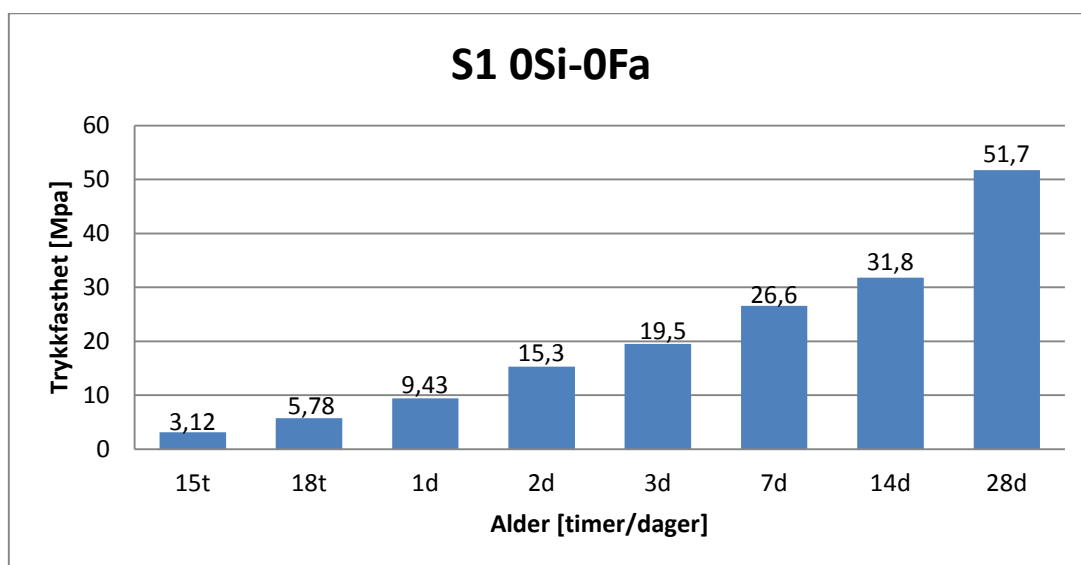


Figure 28 Trykktestresultater for referanseressept

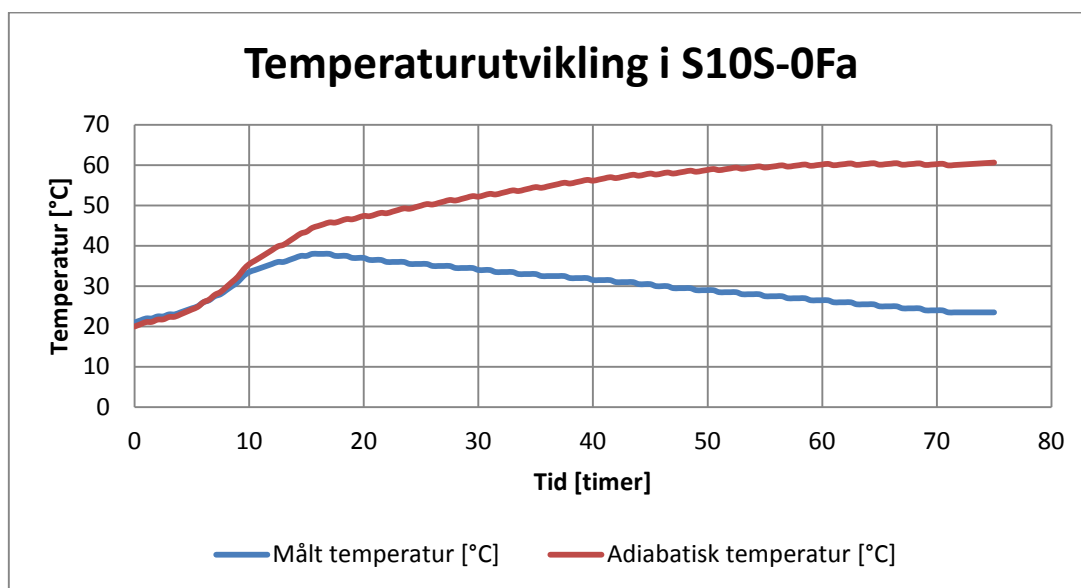


Figure 29 Tre dagers temperaturutvikling for referanseresept

Stolpediagrammet (figur 28) viser fasthetsutvikling, og linjediagrammet (figur 29) viser 3-dagers temperaturutvikling. Den blåe kurven viser målt temperatur i temperaturboksen. De første 15 – 18 timer stiger kurven fortere men etter at toppunktet er oppnådd, begynner temperaturen å synke igjen på grunn av at betongen avgir varme til omgivelsene. Varmetapet skyldes hovedsakelig at temperaturkassen ikke er godt isolert. Hadde den vært uten varmetap, så ville temperaturen holde seg konstant på maksimal temperatur som den røde kurven viser i figur 29.

Den røde kurven viser det motsatte tilfelle. Den viser det adiabatisk temperaturforløpet, som et idealisert tilfelle av hvordan temperaturen hadde vært i boksen, dersom boksen var helt varmeisolert. Det høyeste nivået blir oppnådd, så flater kurven ut som en rett linje. Resten av resultater og grafer er presentert som vedlegg.

8.2.3. Parametere for varmeutvikling fra «Herdekassa»

Table 12 Varmeparametre

Resept	Bindemiddel: sement + silika [kg/m ³]	Q_{∞}	τ	α	Δt boks [°C]	Δt adiabat [°C]	
1	S1 0Si-0Fa	336	406	18,01	0,73	17,0	24,4
2	S1 0Si-10Fa	314	386	11,93	0,85	21,5	28,8
3	S1 0Si-20Fa	295	288	17,42	1,15	16,5	23,1
4	S1 0Si-50Fa	249	278	13,18	1,60	15,5	21,8
5	S2 0Si	329	313	18,49	1,51	19,5	28,2
6	S2 0Si-30Fa	273	299	16,44	1,24	14,0	22,0
7	S1 5Si-0Fa	340	356	16,06	1,02	17,5	26,8
8	S1 5Si-10Fa	319	388	13,14	1,00	14,6	25,6
9	S1 5Si-20Fa	301	380	17,22	1,17	20,5	29,4
10	S2 5Si-30Fa	280	304	13,62	1,50	17,0	20,0
11	S1 5Si-50Fa	257	300	15,15	1,72	17,5	23,5
12	S2 5Si	333	389	14,51	1,04	23,5	32,8
13	S2 10Si	337	321	18,18	0,95	16,5	23,7
14	S1 10Si-0Fa	343	344	15,54	1,14	21,0	29,2
15	S1 10Si-10Fa	324	337	15,38	1,10	19,5	28,2
16	S1 10Si-20Fa	306	344	14,63	1,06	18,0	25,1
17	S2 10Si-30Fa	286	304	13,88	1,56	29,0	24,2
18	S1 10Si-50Fa	264	315	15,84	1,25	15,0	20,2

Tabell 12 viser nødvendige parametere: total varmeutvikling Q_{∞} , krumningsparameter α og retardasjonsparameter τ for simulering av temperatur i en betongvegg.

I tabellen er det spesielt tre parametere som skal diskuteres fordi de er avhengig av hverandre.

Den totale utviklede varmemengden, temperaturendring og den totale bindemiddelmengde.

Generelt ser det ut at jo større bindemiddelvolumet desto større temperaturendring og høyere varmemengde. En del resepter gir likevel motsatt effekt enn det som var forventet. Dette kan skyldes herdeforhold og omgivelsestemperatur. Resepten S1-5Si-50Fa med

bindemiddelmengde på 257 kg/m^3 viser en temperaturendring på $17,5$ mens resepten S2-5Si-30Fa med mengden bindemiddel på 280 viser en $1,5$ lavere temperaturendring. Generelt burde temperaturendring ikke være større enn $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [1] (kap.13.8.2). Det kan ikke utelukkes feil i utstyret for temperaturmåling, eller feil i bruk av herdekasse-programmet.

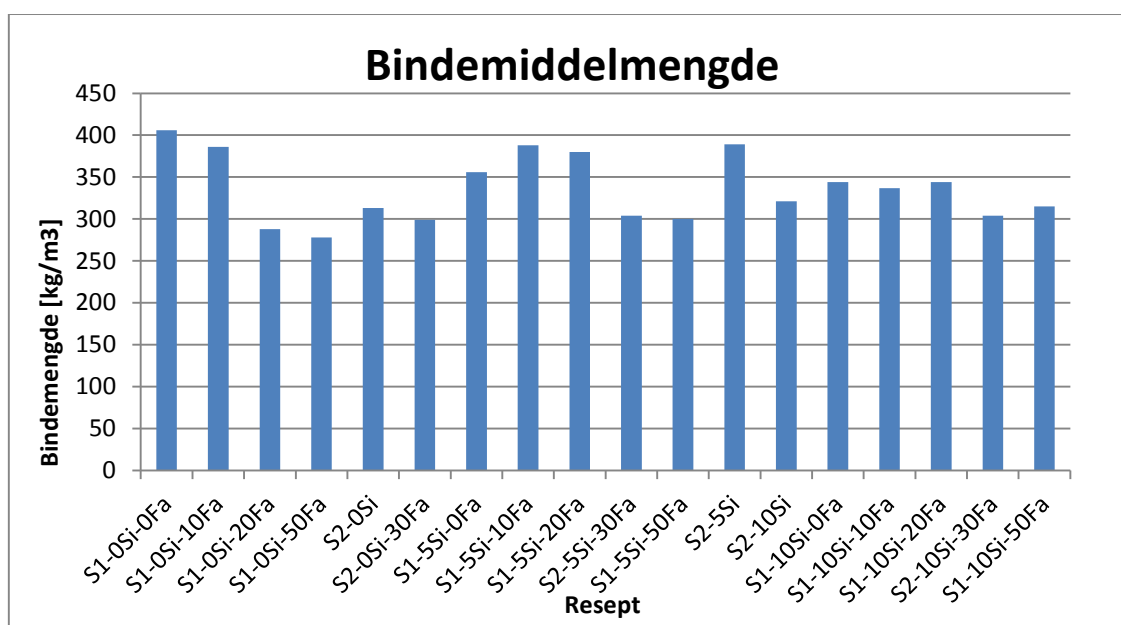


Figure 30 Bindemiddelmengde

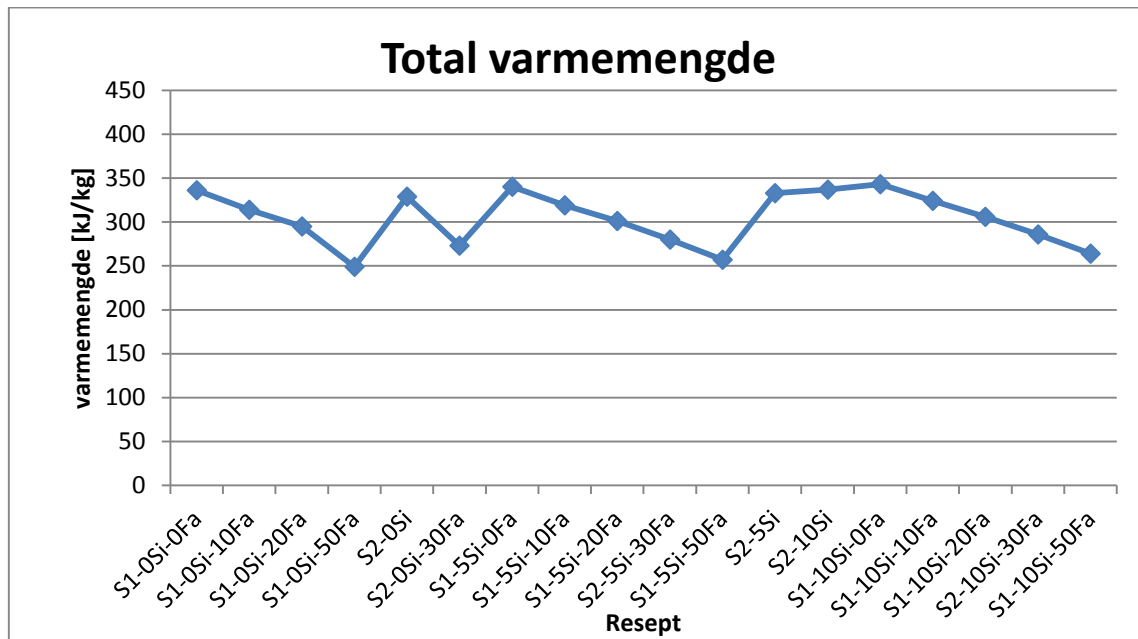


Figure 31 Total varmeutvinling

Det er tydelig sammenheng mellom figur 33 og figur 34. Etter hvert som bindemiddelmengden avtar eller stiger (se stolpediagrammet, figur 33), svinger varmekurven (se fig 34) ned eller opp.

8.2.4. Varmeparametere sett mot materialesammensetning

Table 13 Varmeparametre og materialsammensetning

Blanding	Q_{∞}	τ	α	Sement [kg/m ³]	Silika [kg/m ³]	Flyveaske [kg/m ³]	Densitet [kg/m ³]
S1 0Si-0Fa	406	18,01	0,73	336	0,00	0,00	2400
S1 0Si-10Fa	386	11,93	0,85	314	0,00	31,4	2393
S1 0Si-20Fa	288	17,42	1,15	295	0,00	59,0	2392
S1 0Si-50Fa	278	13,18	1,60	249	0,00	125	2409
S2 0Si	313	18,49	1,51	329	0,00	0,00	2392
S2 0Si-30Fa	299	16,44	1,24	273	0,00	81,8	2407
S1 5Si-0Fa	356	16,06	1,02	309	15,5	0,00	2395
S1 5Si-10Fa	388	13,14	1,00	319	14,5	29,0	2409
S1 5Si-20Fa	380	17,22	1,17	274	13,7	54,7	2382
S2 5Si-30Fa	304	13,62	1,50	255	12,7	76,4	2408
S1 5Si-50Fa	300	15,15	1,72	234	11,7	116,8	2397
S2 5Si	389	14,51	1,04	303	15,1	0,00	2373
S2 10Si	321	18,18	0,95	280	28,0	0,00	2365
S1 10Si-0Fa	344	15,54	1,14	286	28,6	0,00	2368
S1 10Si-10Fa	337	15,38	1,10	270	27,0	27,0	2389
S1 10Si-20Fa	344	14,63	1,06	255	25,5	51,1	2390
S2 10Si-30Fa	315	15,84	1,25	220	22,0	110	2364
S1 10Si-50Fa	304	13,88	1,56	239	23,9	71,6	2377

Tabell 13 viser varmeparametere mot sementmengden og pozzolan. Ved å ta utgangspunkt i resept 1 eller referanseresept S1-0Si-0Fa, består den av standard sement uten verken sillikastøv eller flyveaske. Den inneholder største sementmengde, og største total varmeutvikling. Selv om det ikke foreligger andre resultat som er dokumentert fra tidligere å sammenlikne med, ser det ut som de fleste resultater følger et fast mønster. Jo høyere sementinnhold, desto høyere Q_{∞} -verdien er forventet.

Tidligere i teorien (4.3.2) ble det sett at hydratisering av sement fører til varmeutvikling, og at med høyt v/c-forhold oppnår man hurtigere og bedre hydratisering[6], [20]. Et v/c-tall på 0,5 som brukes i oppgaven er relativt høyt og dette kan ha ført til en god hydratisering og kan være en årsak til høye verdier av totale varmeutvikling Q_{∞} .

Ved å bruke den første resepten i tabellen (se tabell 13) som referanse, er det forventet en økning eller minskning av Q_{∞} -verdien som følge av sementmengde. Det viser seg å ikke stemme fullstendig, og grunnen kan være at den totale varmen avhenger også av herdebetingelser og omgivelsestemperatur. I laboratoriet kan det hende at temperatur svingte opp og ned, etter hvert som porten ble åpnet og lukket. Det samme kunne skje med temperatur i herdekassen og dette har hatt effekt på varmeutviklingen.

Ved tilfeldig måling ble det lest av (med forbehold om feil i måleinstrument) lav temperatur ned mot 16°C i vannbadet som ble brukt til lagring av terninger.

Temperaturmåling viser høyere resultater i de fleste blandinger tilsatt mikrosilika enn i de andre. Det kan likevel ikke bekreftes at de store temperaturutviklinger skyldes bare bruk av silika. Andre årsaker kan forellige. Det kan for eksempel være at temperatur rundt herdekassen eller i rommet ikke ble holdt konstant og på 20°C som først antatt gjennom hele 3 dagers periode.

Når det gjelder flyveaske viser det seg at den har reduserende effekten på temperaturutvikling. Der hvor det tilsettes mest eller bare flyveaskken har det blitt registrert lave temperaturer. Dette gjelder følgende resepter: S1-0Si-50Fa, S1-0Si-20Fa, S2-30Fa, S1-10Si-50Fa. Maksimal registrert temperatur i de blandingsene er henholdsvis (34°C), (34,7°C), (35,5°C) og (35,5°C). Alle disse tallene visere lavere maks temperatur enn i de blandingsene med lavere eller ingen flyveaske tilsatt. I resepten S1-5Si-50Fa har høyt innhold av flyveaske, men viser høy maks temperatur 37,5°C. Grunnen til at temperatur er høy kan være at tilhørende bindemiddelvolum er også høyt.

8.2.5. Temperaturdifferanser i betongen

Temperaturgradienter kan være avhengig av pozzolanbruk. Gradientene vil være med å avgjøre hvor høy eller lav fastheten i betongen blir, i tillegg til andre faktorer som sementmengde, v/c-forhold osv. Dette kan også forklares av selve formelen for fasthetsberegning. Fastheten er en funksjon av modenhet, og den sistnevnte er også avhengig av temperatur. Ved hjelp av diagram, kan det være lett å sammenligne temperaturgradienter mellom reseptene. Sammenligningen vil basere seg på både den målte og adiabatiske temperaturen.

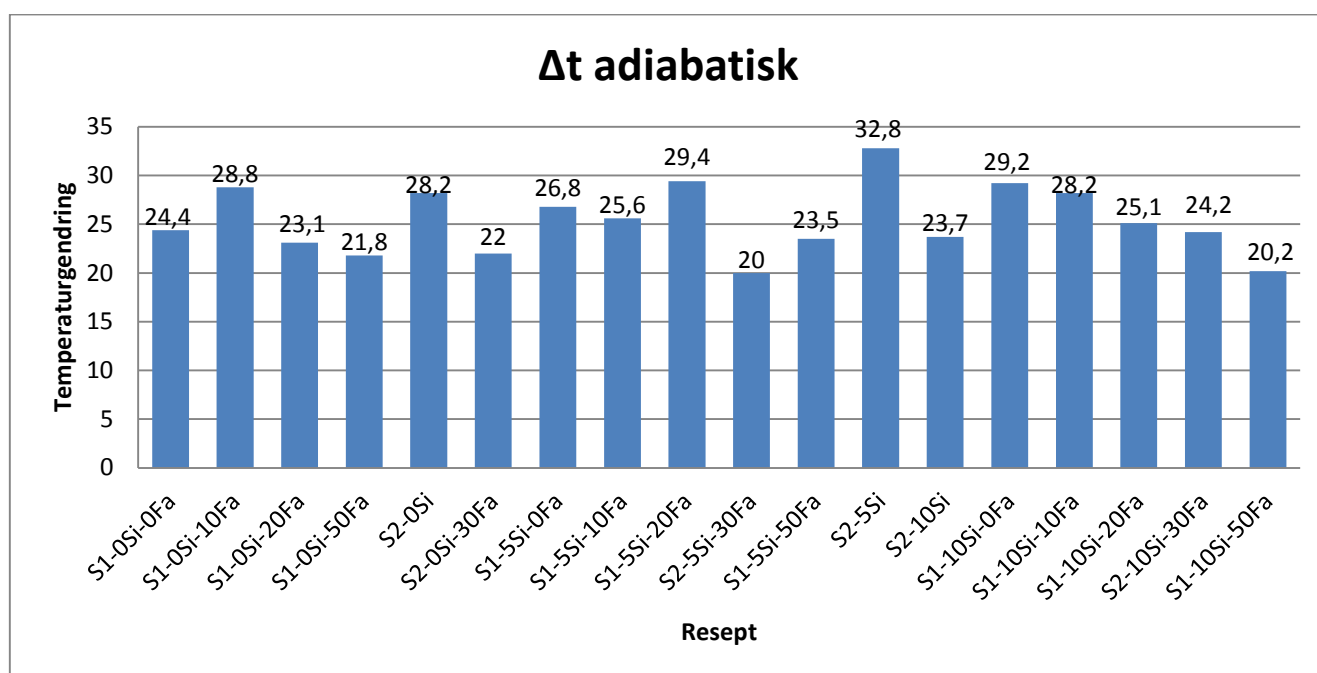


Figure 32 Adiabatisk temperaturendreing

Det som tydelig kommer fram i figur 32 er at temperaturendringer minker når flyveaske øker.

Eksempler:

1. Reseptene S1-0Si-10Fa, S1-0Si-20Fa og S1-0Si-50Fa øker FA gradvis. Det er ikke tilsatt silikastøv i disse reseptene. Tilsvarende temperaturendringer er henholdsvis 28,8 °C, 23,1 °C og 21,8 °C.
2. Reseptene S1-10Si-0Fa, S1-10Si-10Fa og S1-10Si-50Fa har konstant mengde silikastøv men FA øker gradvis. Temperaturendringene er henholdvis 29,2 °C, 28,2 °C, og 20,2 °C.

Dette stemmer godt med kunnskap fra teorien om at bruk av pozzolaner i betongen kan styre temperaturgradienter.

8.2.6. Sammenligning av sementer

Det ble brukt ren standardsement og standardsement FA. Basert på fyveaskeinnhold kan resultater fra to resepter S2-0Si og S1 0Si-20Fa sammenlignes. Disse to er innholdsmessig generelt like med en liten forskjell. Forskjellen er at i den ene resept S1 0Si-20Fa er flyveakse tilsatt i laboratoriet, mens flyveaske er ferdig blandet fra produsenten i S2-0Si. Den største forskjell finnes i temperaturutvikling. Temperaturendringer er 16,5 og 19,5 for henholdsvis S1 0Si-20Fa og S2-0Si (se tabell 13). Følgelig er fasthetsutvikling ved 28 døgn høyere S2-0Si enn i S1 0Si-20Fa (se tabell 12). Fastheten er omtrent like ved 14 dager, mens fra 15 timers til 7 timers viser S2-0Si høyere fasthetsutvikling enn S1 0Si-20Fa gjør (se tabell 12).

8.2. Eksempler på utdata fra simuleringsark

I dette kapitlet blir det presentert resultater fra simuleringsprogrammet som ble utviklet. Resultatet viser betongegenskaper med hensyn til modenhet, aktiveringsenergi, varmetap varmeutvikling og temperaturutvikling. Beregningene tar utgangspunkt i inngangsparametere fra referanseresept S1 0Si-0Fa (se kap.7.4.2).

8.3.1. Modenhetsberegninger

Modenhet er beregnet for hver 1/6 time. Likevel kan beregningene foretas for kortere tidsintervall, noe som vil gi nøyaktigere tall. Siden modenheten blir beregnet på integralt vis, vil uttrykket integreres fra 0 til 1/6. Modenhetsberegning gis ved uttrykket som følger (se kap 4.5.4):

$$M = \int_0^{1/6} e^{\frac{E(\theta)}{R} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273+\theta} \right)} dt$$

		MODENHET									
Timer	Senter	9/10	8/10	7/10	6/10	5/10	4/10	3/10	2/10	1/10	Rand
0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
0,17	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
0,33	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
0,50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69
0,67	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
0,83	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,04
1,00	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,21
1,17	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,39
1,33	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,56
1,50	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,74

Figure 33 Simulert modenhet i en betongvegg

Figur 33 viser et utklipp fra simuleringsregnearket og viser simulering av modenhet i en betongvegg, for de 10 første målinger. Modenheten øker gradvis med tiden og den beregnes kumulativt. Det vil si at modenhet for den aktuelle seksjonen beregnes og så legges det til modenheten fra den forrige seksjonen. Den endrer seg ikke betydelig fra rand til sentrum

8.3.2. Aktiveringsenergi

Aktiveringsenergien $E(\theta)$, blir beregnet seksjon per seksjon av betongveggen etter et fast tidsintervall. Den energien er avhengig av temperatur derfor blir den endret gradvis etter hvert som temperaturen synker. Uttrykket for beregning er som følger (kap.4.5.3):

$$E(\theta) = A + B \cdot (20 - \theta) \quad \theta \leq 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$E = A \quad \theta > 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Timer	Senter	Aktiveringsenergi										
		9/10	8/10	7/10	6/10	5/10	4/10	3/10	2/10	1/10	Rand	
0,00	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500
0,17	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500
0,33	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500
0,50	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500
0,67	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500
0,83	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500
1,00	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500
1,17	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500
1,33	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500
1,50	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500

Figure 34 Simulert aktiveringsenergi i en betongvegg

Figur 34 viser et utklipp fra utviklet regnearket og viser simulering av aktiveringsenergi i en betongvegg for de 10 første målinger.

Aktiveringsenergien holder seg konstant ved temperatur på $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ eller høyere, men stiger med når temperatur synker. Grunnen er at det kreves mer energi ved lav temperatur for reaksjonene å komme i gang ved høy temperatur. Men er reaksjonen kommet i gang så vil bare temperatur stige og reaksjonene foregå uten behov for mer energi.

Ved starttiden er aktiveringsenergien lik i alle seksjoner i veggen. Grunnen er at støpetemperatur også er konstant lik $20 \text{ } ^\circ\text{C}$.

8.3.3. Varmeutvikling

Varmeutviklingen blir beregnet etter dette uttrykket (se kap4.6.1):

$$Q(M) = Q_\infty \cdot e^{-\left(\frac{\tau_e}{M}\right)^\alpha}$$

Uttrykket viser at dette er en funksjon av modenhet. Resten av parameterne er tidligere brukt som inndata i regnearket for simulering og stammer fra regnearket «herdekasse». I dette uttrykket for varmeutvikling kommer også bindemengden i bildet, siden den totale utviklede varme, Q_∞ avhenger av den mengden. Resultatet i kg/m^3 blir regnet om til kg/m^2 ved å

gange med bredde for hver veggseksjon. På denne måten blir varmeutviklingsformel som følger:

$$Q(M) = Q_{\infty} \cdot e^{-\left(\frac{\tau_e}{M}\right)^{\alpha}} \cdot \frac{b}{22}$$

$\frac{b}{22}$ = bredde per antall seksjoner veggen er delt opp i

Varmeutvikling											
Timer	Senter	9/10	8/10	7/10	6/10	5/10	4/10	3/10	2/10	1/10	Rand
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.50	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
0.67	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
0.83	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.85
1.00	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22	4.21	4.16
1.17	7.97	7.97	7.97	7.97	7.97	7.97	7.97	7.97	7.97	7.95	7.83
1.33	13.32	13.32	13.32	13.32	13.32	13.32	13.32	13.32	13.31	13.26	13.04
1.50	20.36	20.36	20.36	20.36	20.36	20.36	20.36	20.35	20.33	20.24	19.87
1.67	29.11	29.11	29.11	29.11	29.11	29.11	29.11	29.11	29.07	28.91	28.34

Figure 35 Simulert varmeutvikling i en vegg

Figur 35 viser et utklipp fra simuleringsregnearket og viser varmeutvikling i en betongvegg for de 10 første målinger. Figuren viser at varmetapet er lik 0 i senter og de nærmeste veggseksjoner, og øker om rand. Grunnen til en slik økning er at veggen er kaldere i ytre seksjoner enn innover i veggen.

8.3.4. Varmetap

Varmetapet i veggen regnes med å skje ved konduksjon/ varmeledning siden konstruksjonen er i direkte kontakt med omgivelsene (kap.4.6.1). Ved konduksjon blir varmetapet større når lufttemperatur er lav og hvis luften er i bevegelse [37]. Dette er gjenspeilet i tabellen nedenfor der varmetapet er lik 0 i senter og 74,88 på rand. I randsoner stiger varmetapet gradvis som tiden går.

$$Q = \frac{k}{l} \cdot A \cdot \Delta\theta \quad [38]$$

Der

Q = mengde varme gjennom veggen [kJ/m²h⁰C]

Fasthet-/temperaturutvikling

$k = \text{varmeledningsevne [kJ/mh}^0\text{C]}$

$l = \text{veggtykkelse [m]}$

$A = \text{tverrsnitsareal [m}^2\text{]}$

$\Delta\theta = \text{temperaturendring [}^0\text{C]}$

Formelen kan omformuleres og omskrivingen fører til Fouriers lov. Dette gjøres ved å regne med varmeoverføringen per arealenheter som følger:

$$\frac{Q}{A} = -\frac{k}{l} \cdot \Delta\theta$$

Sammenlignet med Fouriers funksjon: $\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$

og ved å gjøre dette:

$\Delta x \rightarrow l$; og $\Delta T \rightarrow \Delta\theta$ og integrere høyre side med hensyn på tid blir resultatet som følger:

$$\frac{Q}{A} = -k \cdot (\theta_1 - \theta_2) \cdot t$$

På denne måten kommer fram uttrykket for beregning av varmetap. Siden varmetapet beregnes seksjon per seksjon, må i den endelige formelen for varmetapet legges til varmemengden fra forrige seksjonen. Dette fører til følgende uttrykket:

$$q = -k \cdot (\theta_1 - \theta_2) \cdot t + Q_{i-1}$$

												Varmetap	
Timer	Senter	9/10	8/10	7/10	6/10	5/10	4/10	3/10	2/10	1/10	Rand		
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,77		
0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,82	29,34		
0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	7,34	43,75		
0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1,73	12,99	58,03		
0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,39	3,57	19,44	72,19		
0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,93	5,99	26,48	86,25		
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,23	1,73	8,94	33,99	100,23		
1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,48	2,82	12,35	41,89	114,15		
1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,13	0,85	4,20	16,19	50,13	128,04		
1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,24	1,35	5,86	20,42	58,66	141,92		

Figure 36 Simulert varmetap in betongvegg

Figur 36 viser et utklipp fra regnearket og er simulering av varmetap i en betongvegg for de 10 første målinger.

8.3.5. Temperaturutvikling

Temperaturen i veggen blir simulert etter formelen:

$$\theta = \theta_{\text{utstøping}} + \frac{Q_{\text{varmeutv.}} - Q_{\text{varmetap}}}{C_p \cdot \rho \cdot l}$$

Timer	Temperatur											Rand	
	Senter	9/10	8/10	7/10	6/10	5/10	4/10	3/10	2/10	1/10			
0,00	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
0,17	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,8
0,33	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,7
0,50	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,9	20,6
0,67	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,9	20,5
0,83	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,8	20,4
1,00	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,8	20,3
1,17	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,0	21,0	21,0	21,0	20,7	20,3
1,33	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,0	21,0	20,7	20,2
1,50	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,1	21,0	21,0	20,7	20,2

Figure 37 Simulering av temperaturutvikling i en betongvegg

Figur 33 er et utklipp fra regnearket og viser simulering av temperatur i en betongvegg for de 10 første målinger

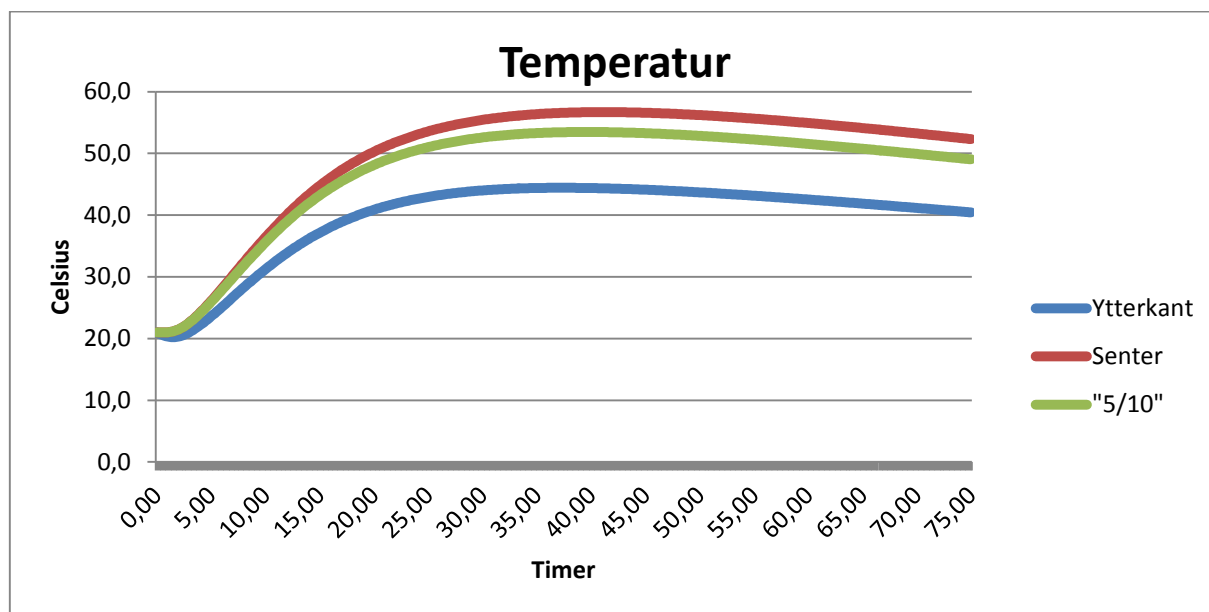


Figure 38 Simulert temperaturutvikling i en betongvegg

Utklippet viser simulering av temperaturutvikling i en betongvegg. Grafen i figur 38 (se rød kurve) angir høyeste temperaturutvikling i senter. Temperaturen blir litt mindre i seksjonen 5/10 av veggen og laveste ved rand.

9. Konklusjon

Det er utført 18 serier/ blandinger i laboratoriet, hvor pozzolaninnholdet er variert. Tilsatt silikastøv i prosent av sementmengden er 0 %, 5 % og 10 %. Tilsatt flyveaske er 0 %, 10 %, 20 %, 30 % og 50 %. Tilsetning av pozzolan har ført til mindre bruk av sement.

Matriksmengden, totalvolumet og partikkelmengden er konstant. SP-stoff og pozzolanmengde er variert.

- Resultatet viser at temperaturutviklingen er størst i de blandingerne med størst mengde sement. Flyveask har vist at temperaturøkningen avtar proporsjonalt med økt mengde tilsatt flyveaske.
- Silikastøv har vist noe høyere temperaturutvikling enn flyveask har vist.
- Bruk av pozzolan har gitt god støpelighet i betongen.
- Tilsetning av SP-stoff har bidratt til å oppå ønskede synk og synkutbredelse.
- Det er ikke funnet et fast system i fasthetsmålingene, men totalt 13 av 18 blandinger viser en fasthet mellom 40 og 52 MPa.
- Et regneark for simulering av betongegenskaper er blitt utviklet. Ved hjelp av programmet er det mulig å beregne bindemiddelsammensetning avhengig av bruksområde og klimaforhold. Regnearket kan beregne aktiveringsenergi, temperatur-, varme-, og fasthetsutvikling i betongen.

Generelt vil det være mulig å bytte ut sement med pozzolan (silikastøv og/ flyveaske). På den måten vil det påvirke hydratiseringsreaksjoner slik at herdetemperatur og temperaturgradienter reduseres. Redusert temperaturgradienter vil medføre at spenninger i en konstruksjon blir mindre og følgelig risiko for riss vil minke. Resultatet vil være en betongkonstruksjon av god kvalitet og lavere vedlikeholdsutgifter.

10. Eventuelle feilkilder og avvik

Det er en blanding som skiller seg betraktelig ut med veldig lav fasthet. Mest sannsynlig kan det ved feil oppveining være brukt mye vann under blanding. Forskjeller i 28 dagers trykkfasthet kan delvis skyldes temperaturforhold i vannbadet . Temperaturen kan ha vært mye lavere enn 20°C som kreves, fordi ved tilfeldig prøving ble det lest av 16°C på måleinstrumentet.

Store temperaturutviklinger kan skyldes feil i selve instrument for temperaturmåling i herdekassen.

For reseptene S1-0Si-50Fa og S1-5Si-10Fa ble 7 dagers trykktest ikke utført, men gjeldende trykktest ble foretatt etter 10 dager på grunn av feil i som var gjort i testeplanen.

11. Referanser

- [1] TKT 4213 Betongteknologi 1 – UM1
- [2] Pensumbok i faget BYGG 600TKT: TKT 4215 Concrete Technology 1 ISBN 82-7482-098-3
- [3] TKT 4213 Betongteknologi 1 – UM3
- [4] TKT 4213 Betongteknologi 1 – UM4
- [5] TKT 4213 Betongteknologi 1 – UM5
- [6] TKT 4213 Betongteknologi 1 – UM6
- [7] TKT 4213 Betongteknologi 1 – UM7
- [8] TKT 4213 Betongteknologi 1 – UM8
- [9] TKT 4213 Betongteknologi 1 – UM9
- [10] TKT 4213 Betongteknologi 1 – UM10
- [11] TKT 4213 Betongteknologi 1 – UM11
- [12] [http://no.wikipedia.org/wiki/Sement Lastet ned](http://no.wikipedia.org/wiki/Sement_Lastet_ned) Lastet ned mars 2014
- [13] TKT 4213 Betongteknologi 1 – UM13
- [14] Norsk standard: NS-EN 206-1:2000+NA2007
- [15] High- Performance Concrete E & FN SPON, ISBN 0 41919270 0
- [16] <http://www.heidelbergcement.com/no/no/norcem/semmenttyper/Flyveaske.htm> Lastet ned mars 2014
- [17] http://www.vegvesen.no/attachment/390431/binary/669561?fast_title=Flyveaske+og+k-faktor.pdf Lastet ned mars 2014
- [18] <https://www.google.no/#q=fly+ash> Lastet ned mars 2014
- [19] <http://www.caer.uky.edu/kyasheducation/flyash.shtml> Lastet ned mars 2014
- [20] <http://no.wikipedia.org/wiki/Sement#R.C3.A5varefremstilling> Lastet ned mars 2014
- [21] Vedlegg E KS 14-05-04-138 «Herdekasse»
- [22] <http://www.indiamart.com/precision-drawell/micro-silica.html> Lastet ned mars 2014
- [23] http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_d%27Arrhenius Lastet ned mars 2014
- [24] http://www.heidelbergcement.com/no/no/norcem/semmenttyper/standard_fa.htm Lastet ned mars 2014
- [25] <http://www.heidelbergcement.com/no/no/norcem/semmenttyper/standardsement.htm> Lastet ned mars 2014

[26]

<http://www.brosjyreakriv.no/coBuilderDocuments/getfile?&dokid=746601&code=MTAwMjkyJTJGRHluYW1vbiUyMFNYLU4ucGRm&ext=.pdf>

Lastet ned april 2014

[27]

<http://www.byggmek.lth.se/fileadmin/byggnadsmekanik/publications/tvsm3000/web3057.pdf> Lastet ned mai 2014

[28] <http://sv.wikipedia.org/wiki/Aktiveringsenergi> Lastet ned mai 2014

[29] http://en.wikipedia.org/wiki/Arrhenius_equation Lastet ned juni 2014

[30] http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/FECC97E1-A475-4324-8074-6A3D4A10C082/0/Herdningsteknologi_net.pdf Lastet ned juni 2014

[31] <http://no.wikipedia.org/wiki/Varmeledning>) Lastet ned juni 2014

[32] <http://no.wikipedia.org/wiki/Str%C3%A5ling> Lastet ned juni 2014

[33] <http://no.wikipedia.org/wiki/Konveksjon>) Lastet ned juni 2014

[34] http://no.wikipedia.org/wiki/Termisk_konduksjon#Fouriers_lov_6.6.14 Lastet ned juni 2014

[35] Thermal transmission: http://www.arca53.dsl.pipex.com/index_files/tt1.htm Lastet ned juni 2014

[36] <http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Arkiv/Rapporter/Foredrag9.pdf> April 2014

Lastet ned juni

[37] <http://sml.snl.no/temperaturregulering#menuitem2> Lastet ned juni

[38] http://www.arca53.dsl.pipex.com/index_files/tt1.htm Lastet ned juni

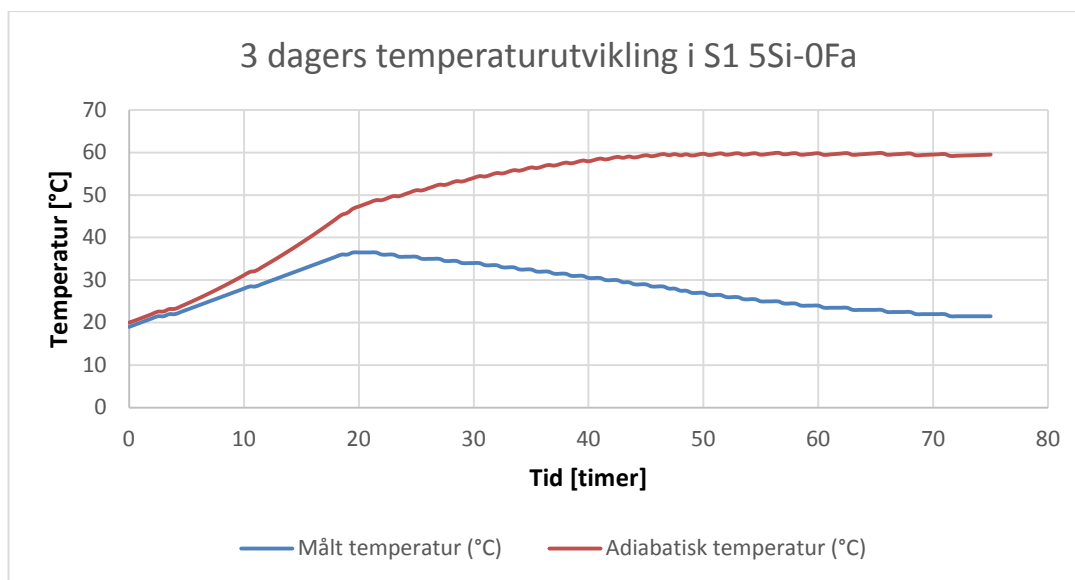
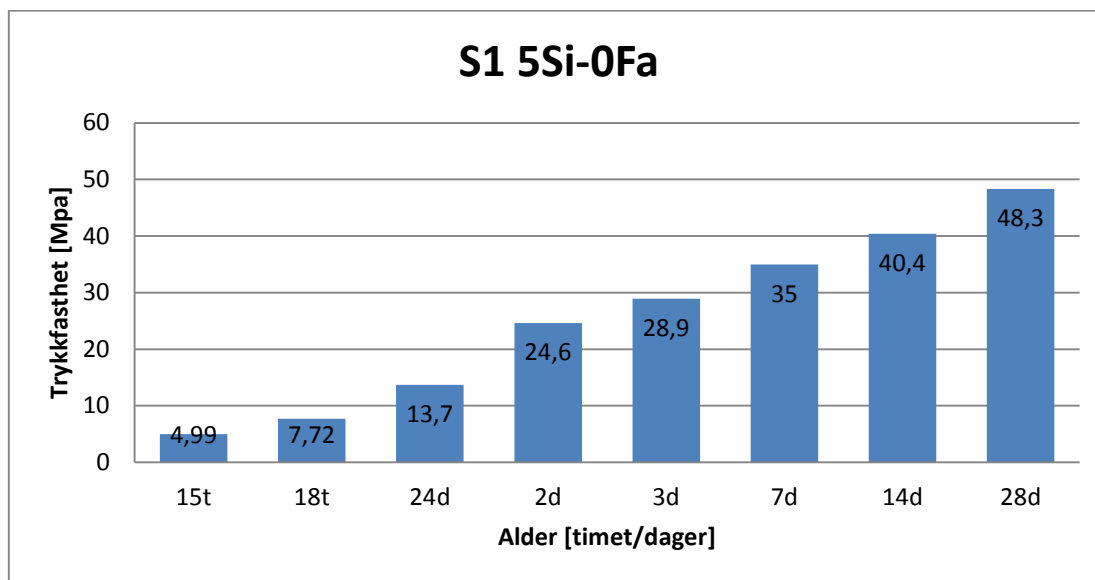
[39]

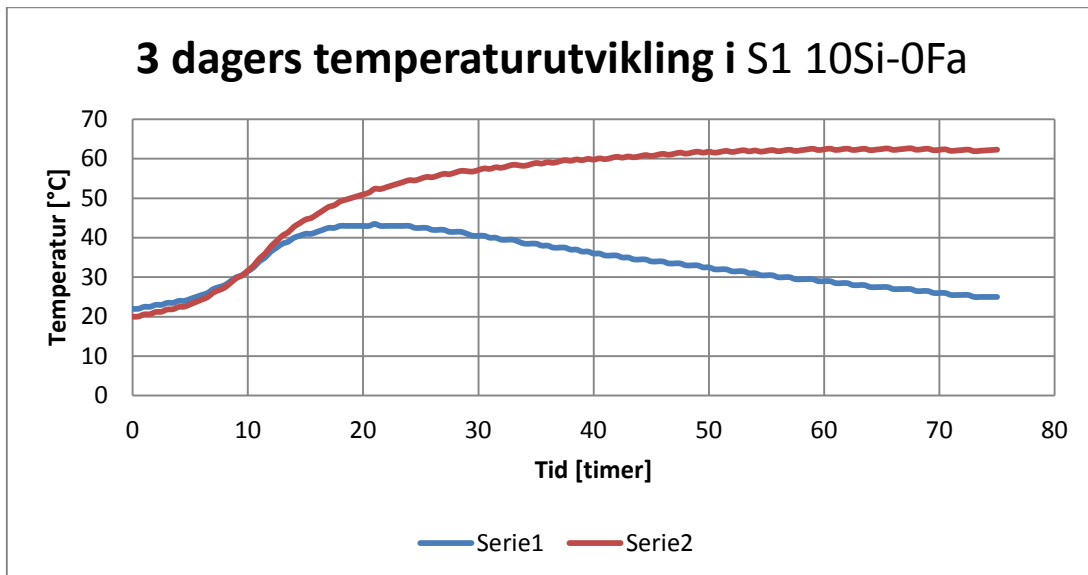
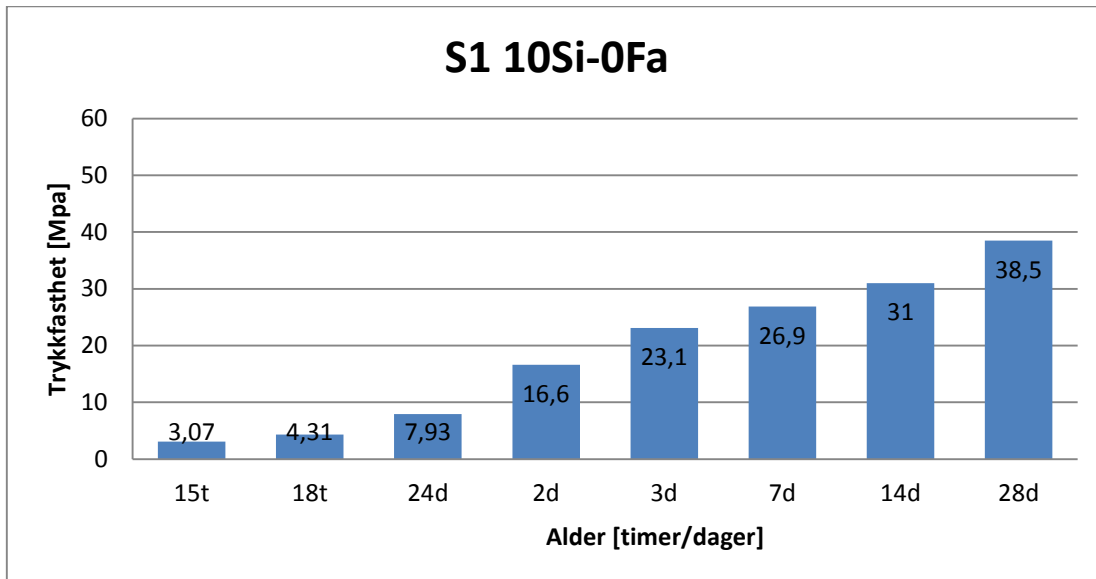
<https://www.google.no/search?q=fly+ash&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=IXadU62s>

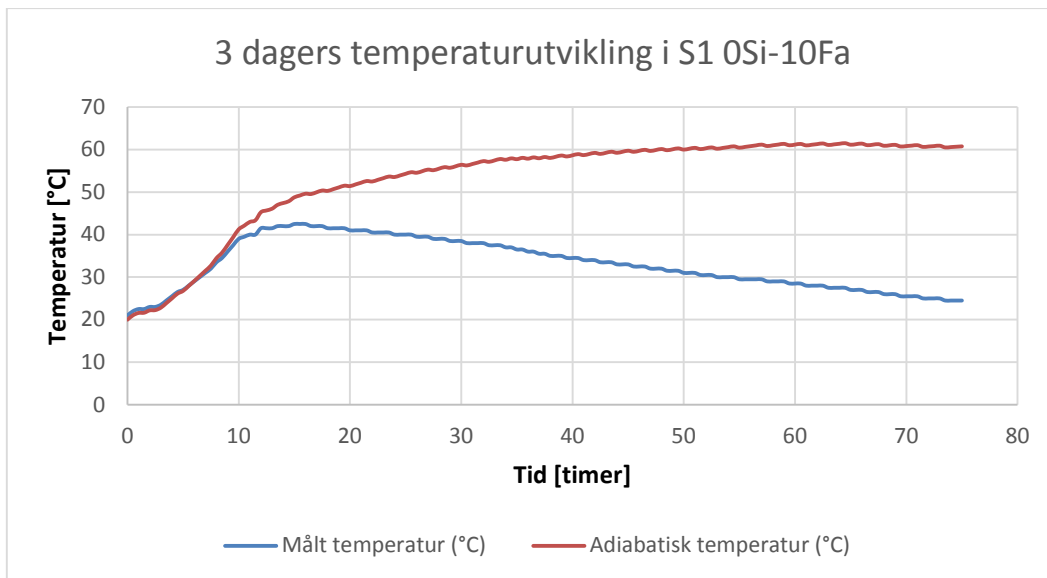
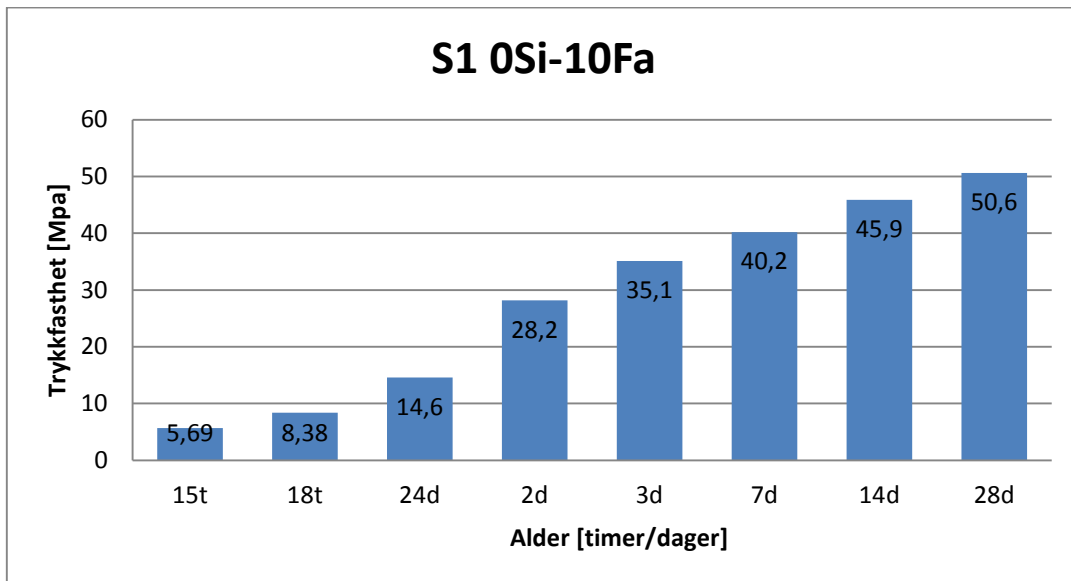
[BMXiPJSIgLgE&ved=0CAYQ_AUoAQ&biw=1680&bih=930#q=silica+fume&tbm=isch](https://www.google.no/search?q=fly+ash&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=IXadUBMXiPJSIgLgE&ved=0CAYQ_AUoAQ&biw=1680&bih=930#q=silica+fume&tbm=isch)

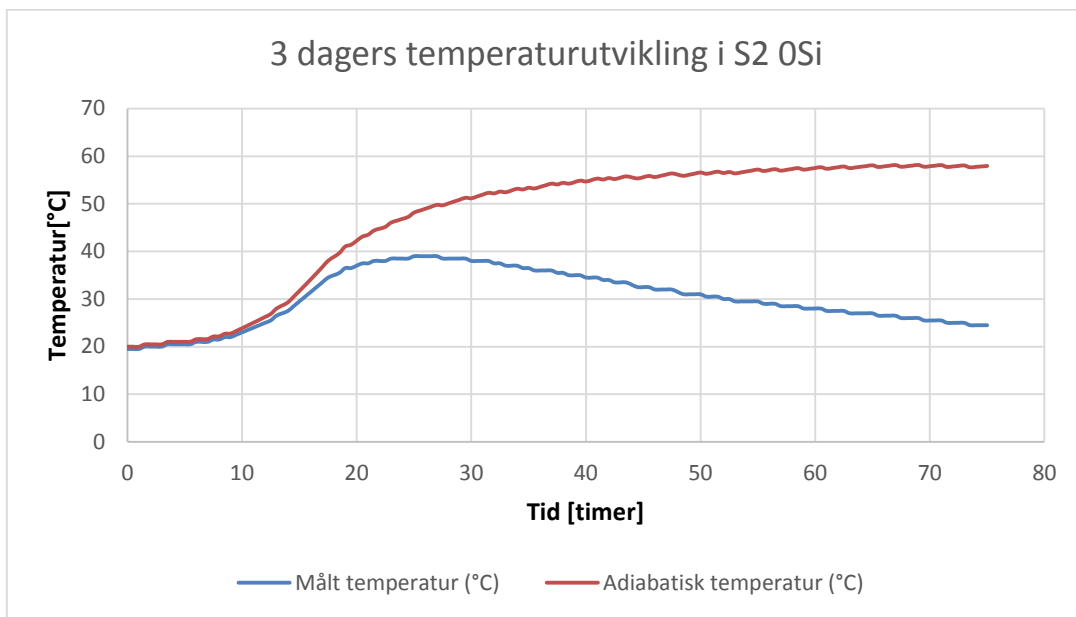
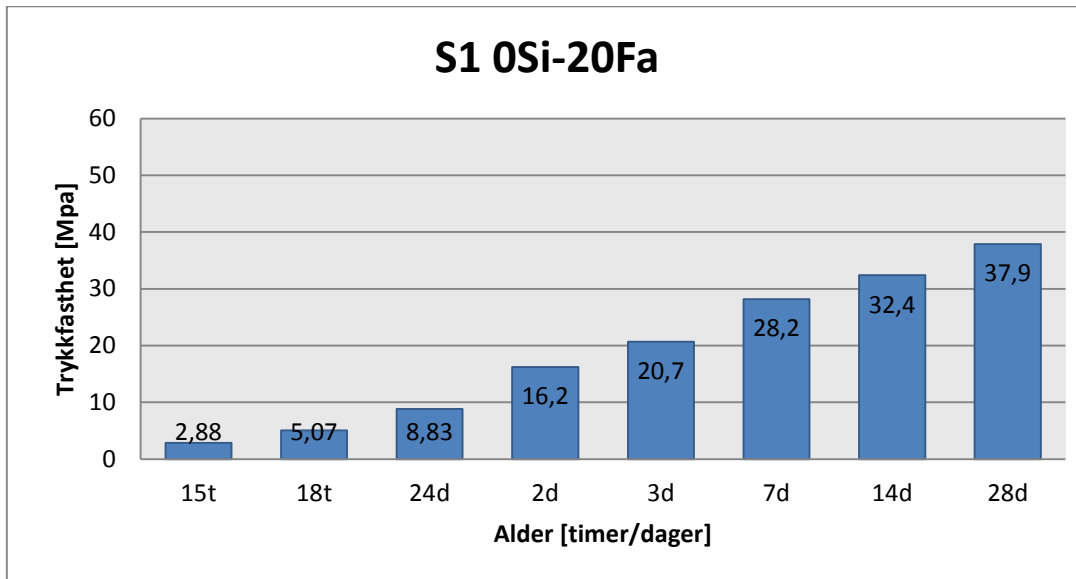
12. Vedlegg

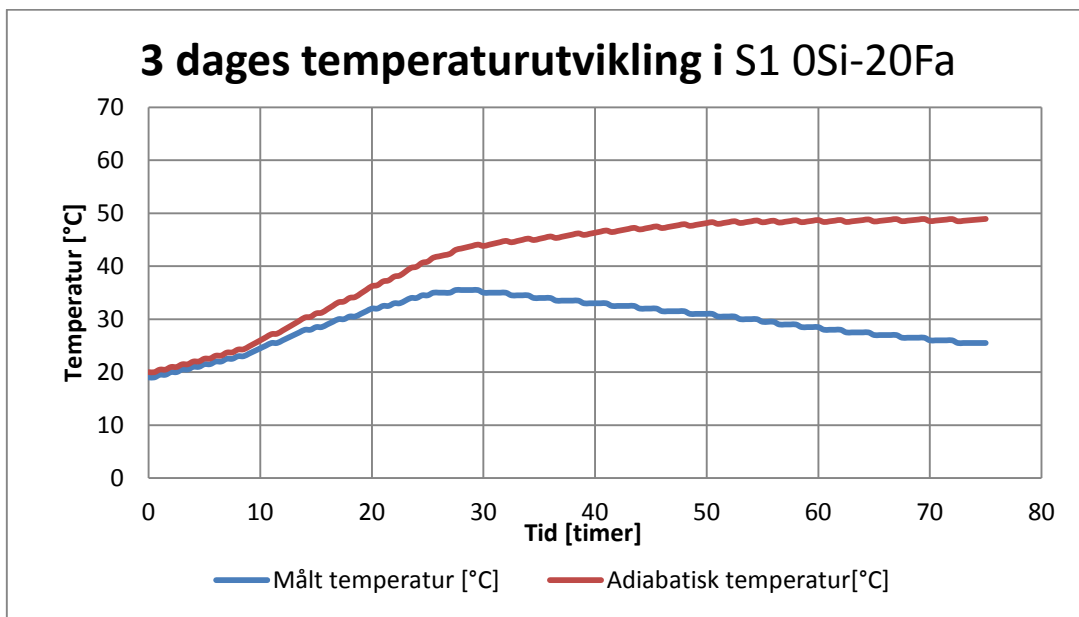
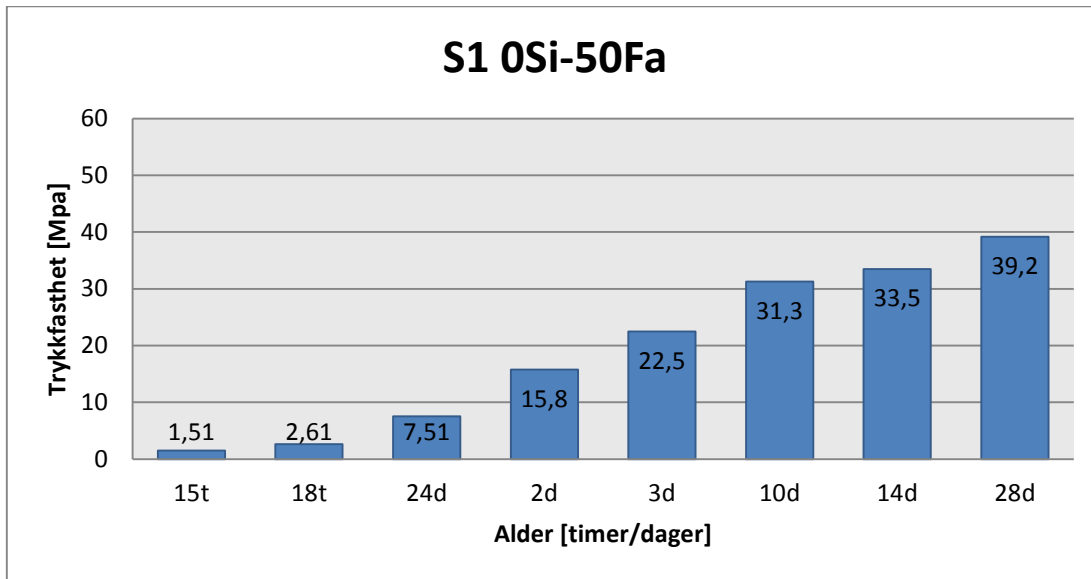
A Diagrammer for trykktestresultater samt 3 dagers målt temperatur

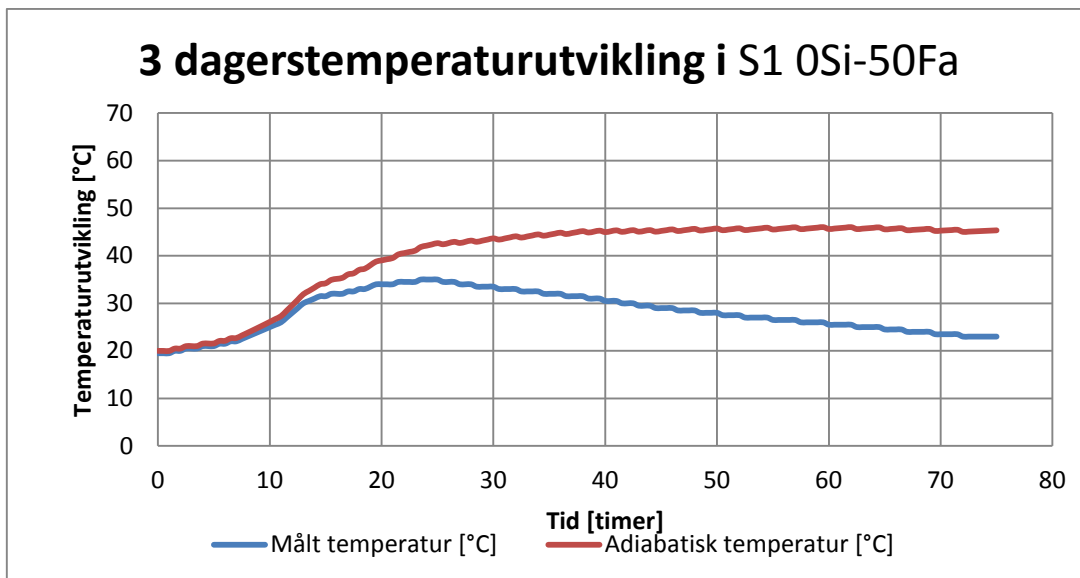
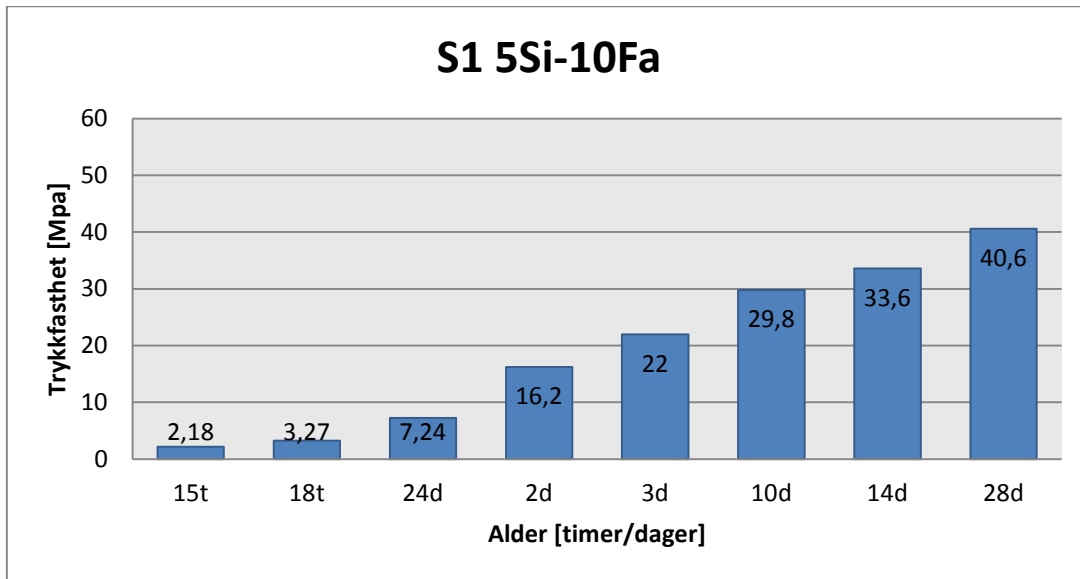


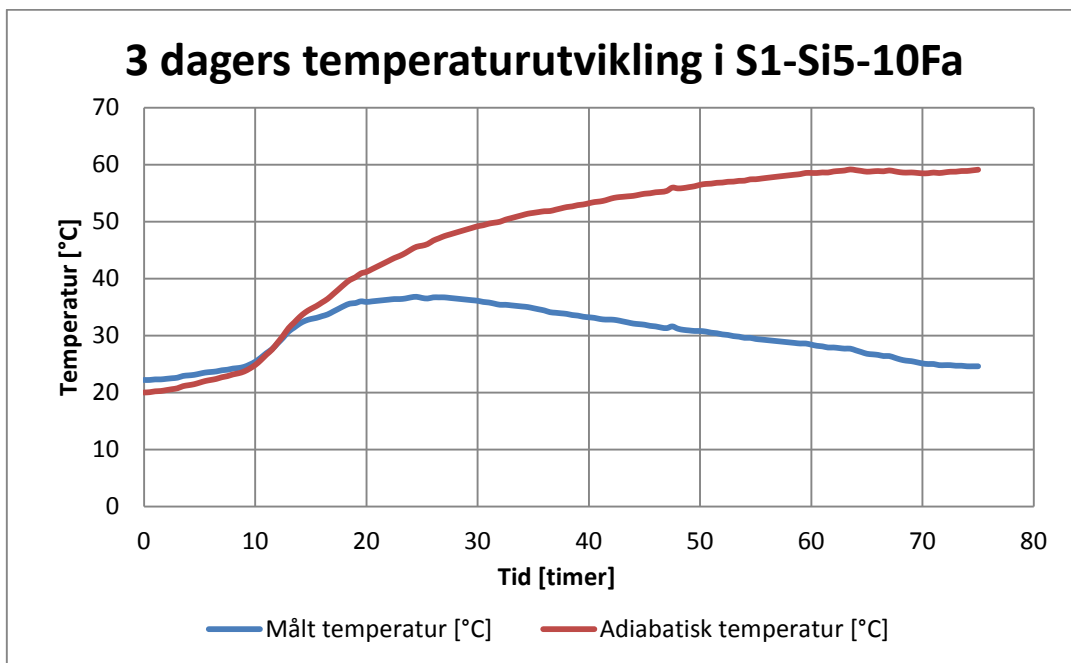
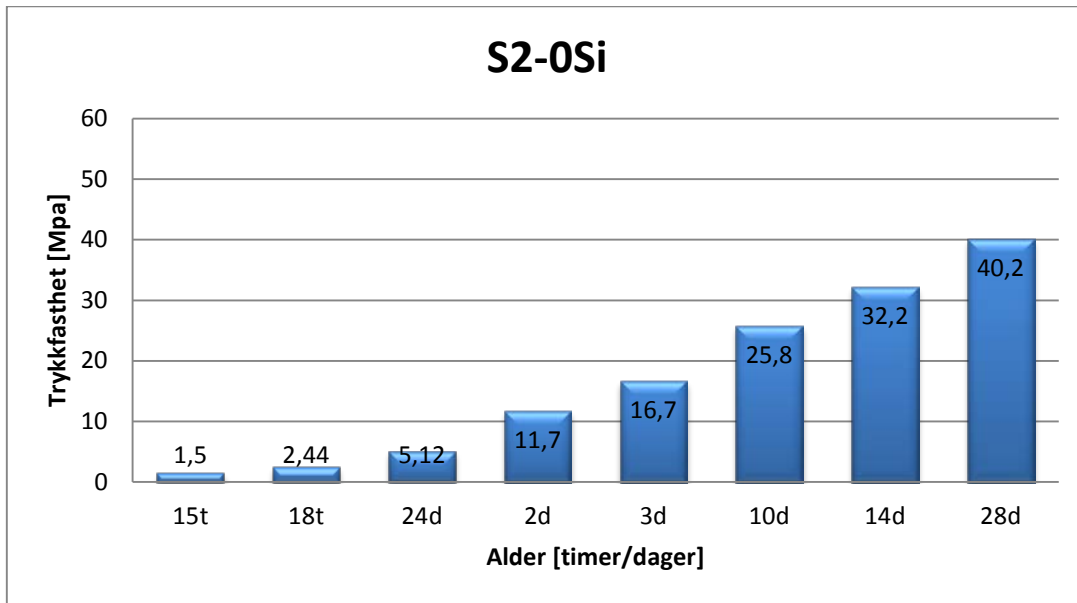


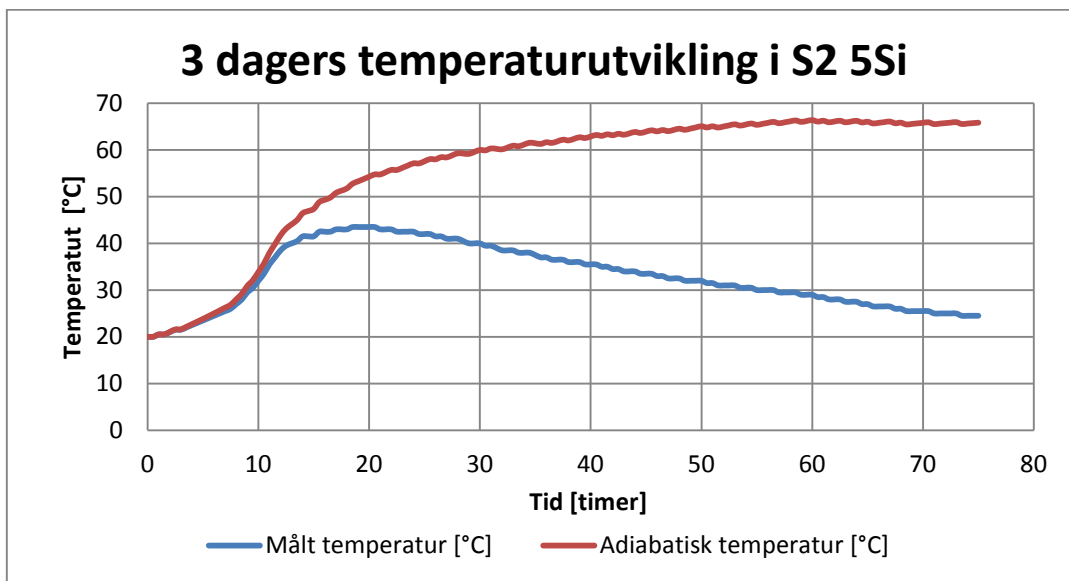
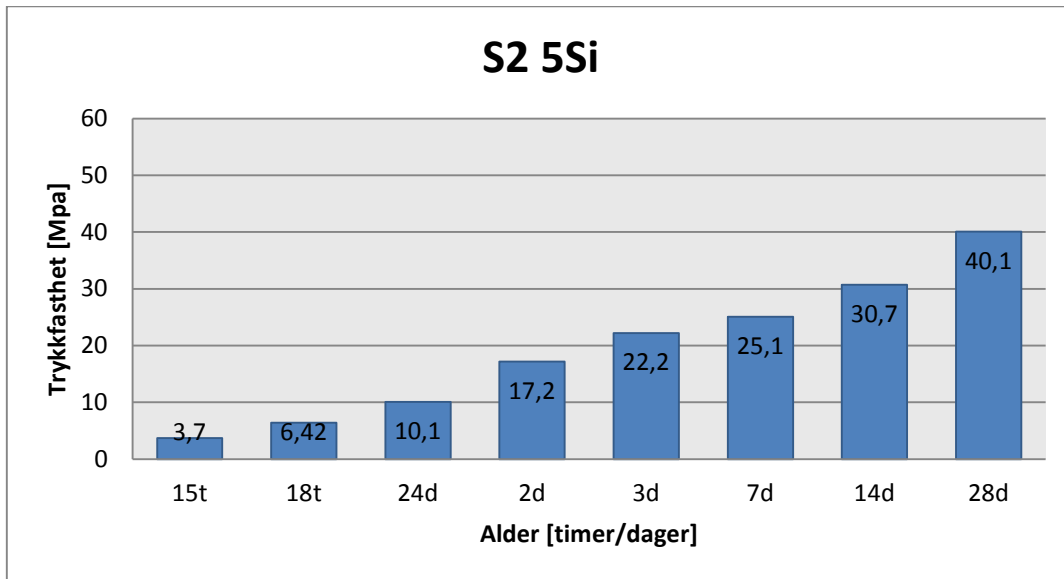


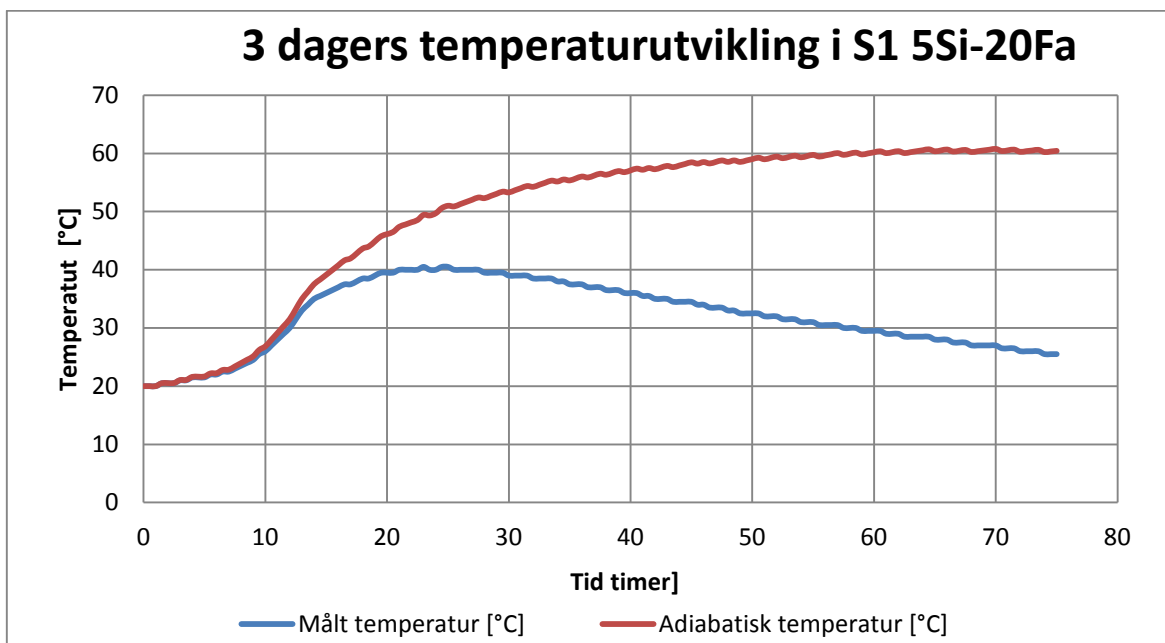
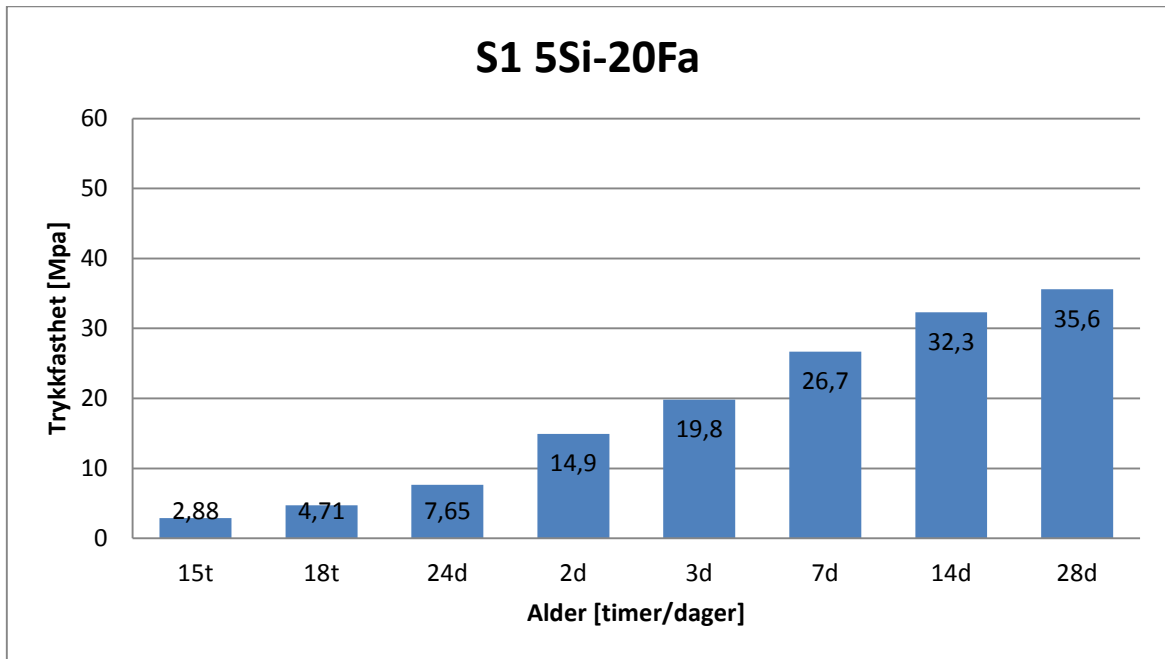


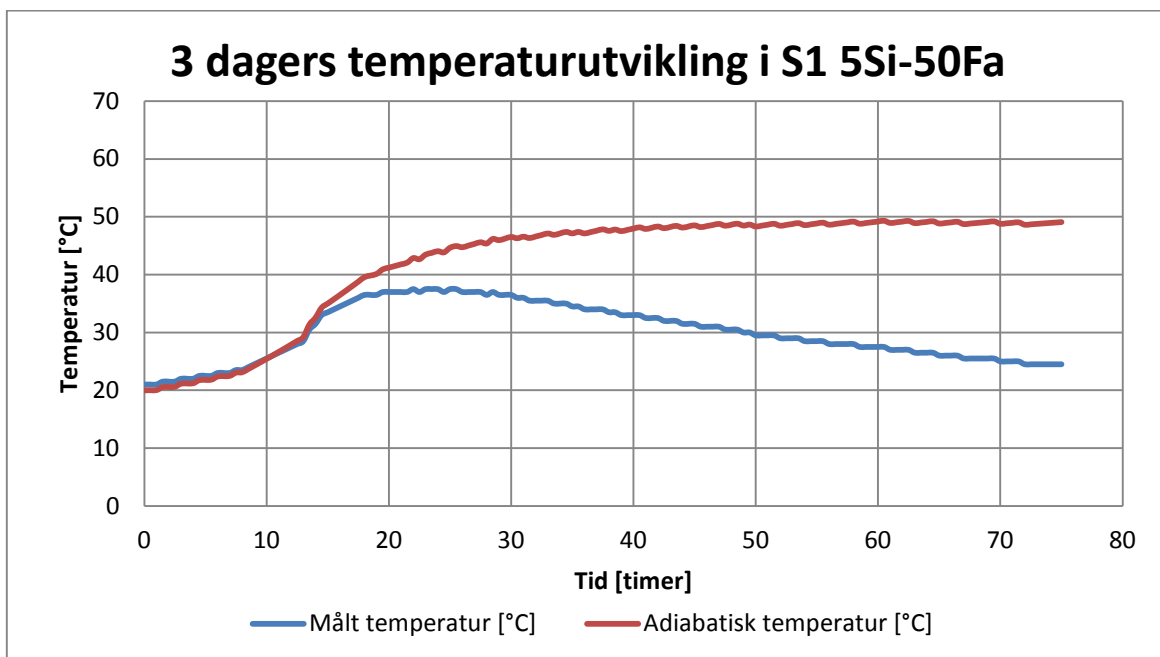
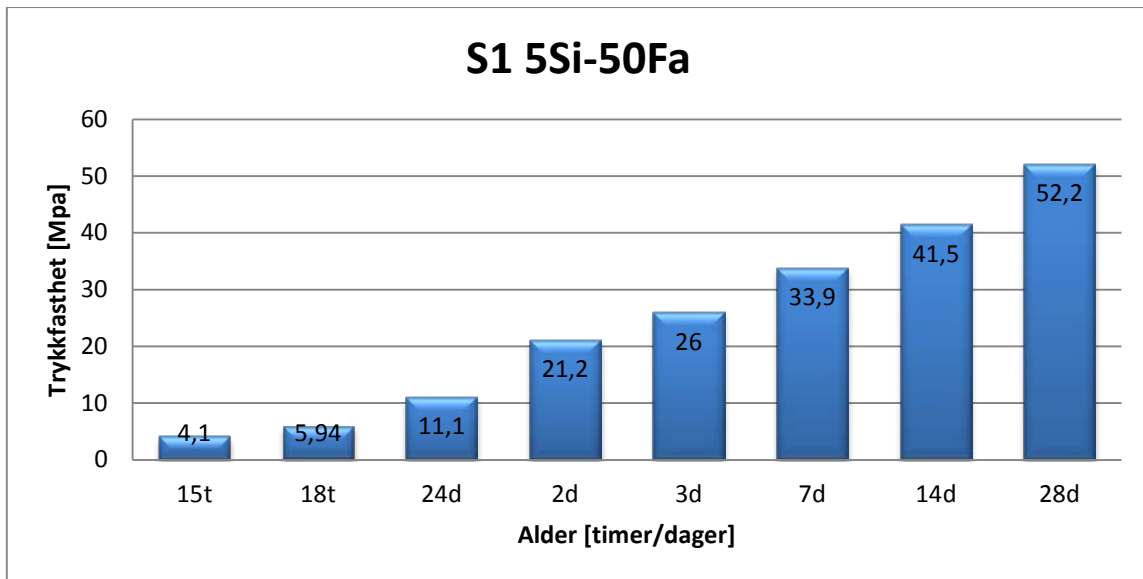


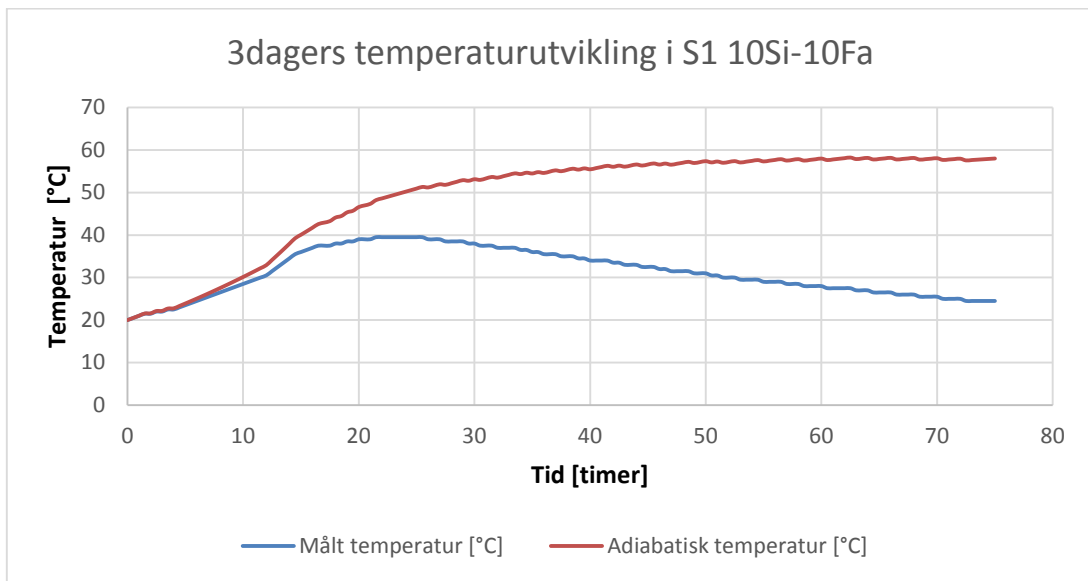
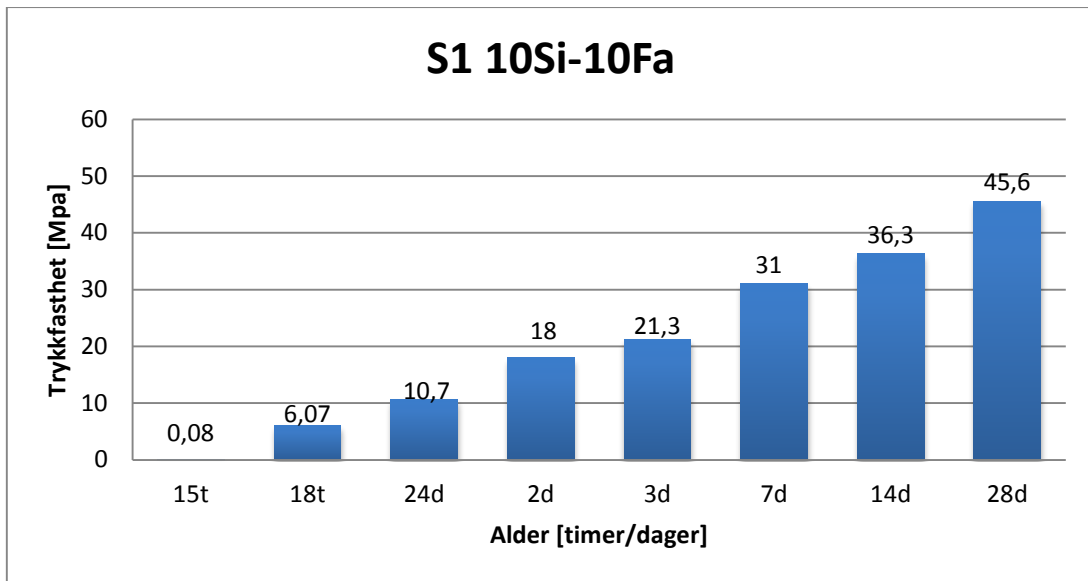


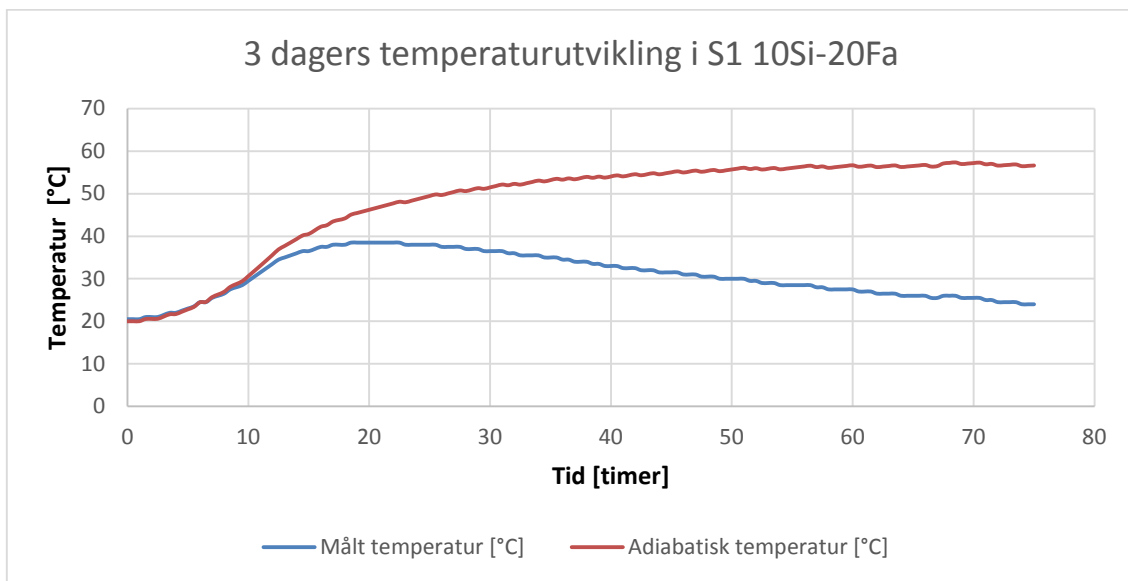
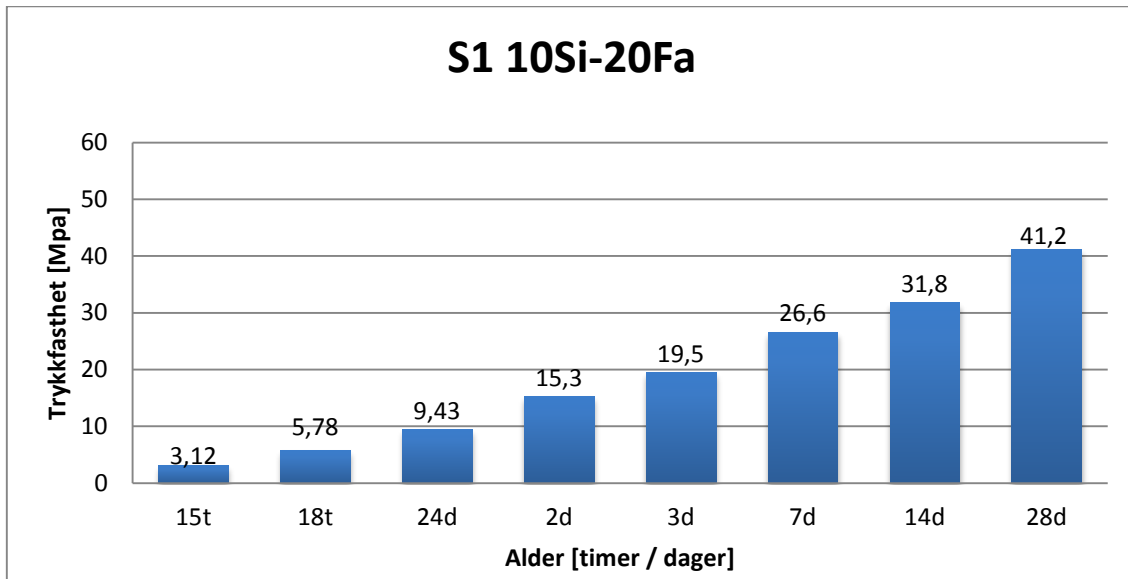


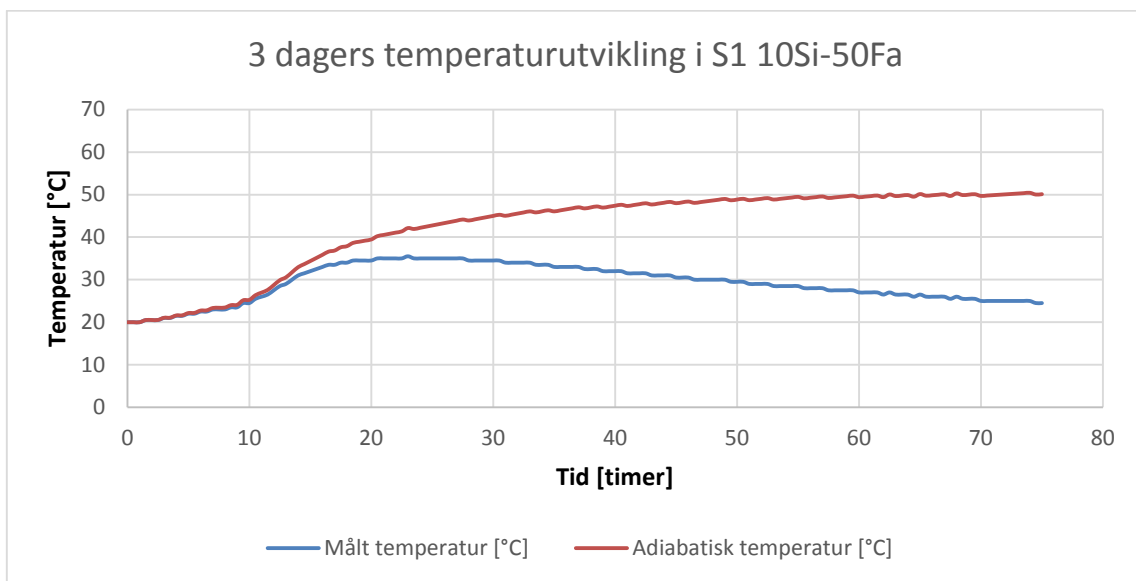
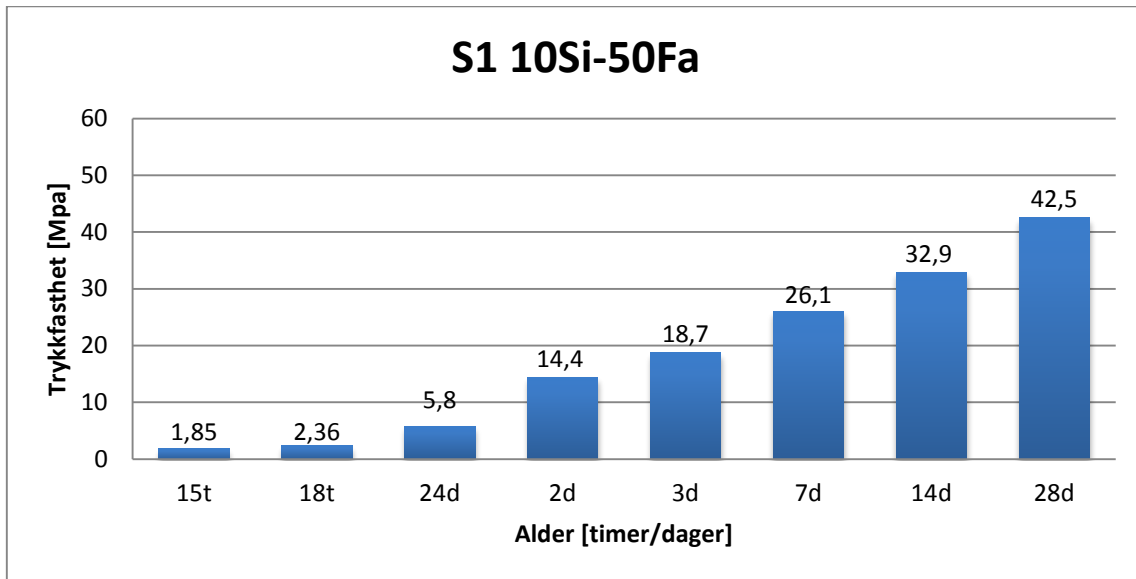


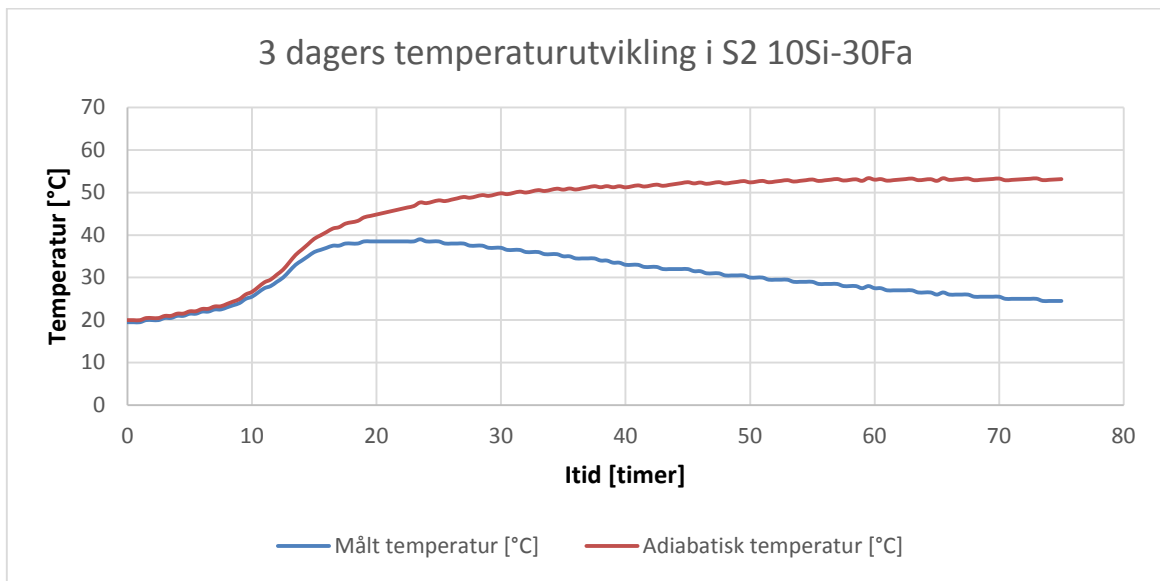
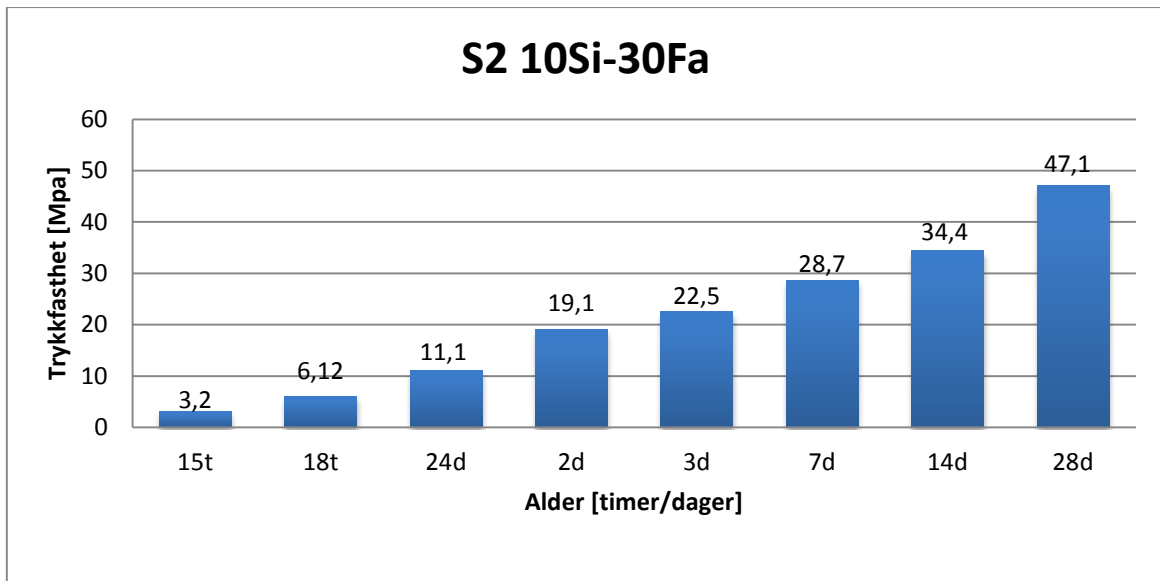


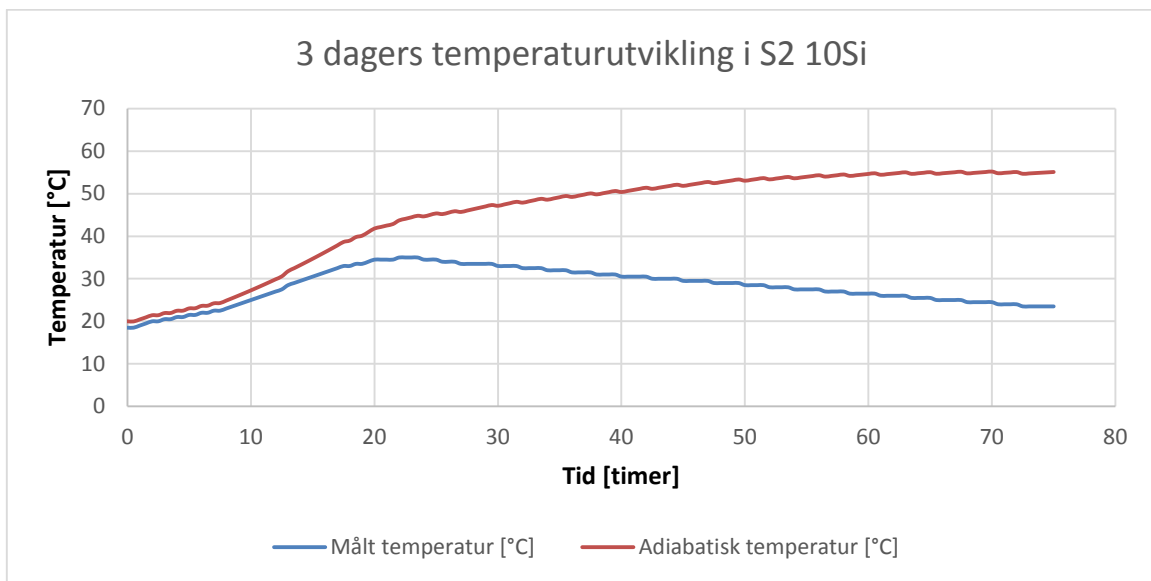
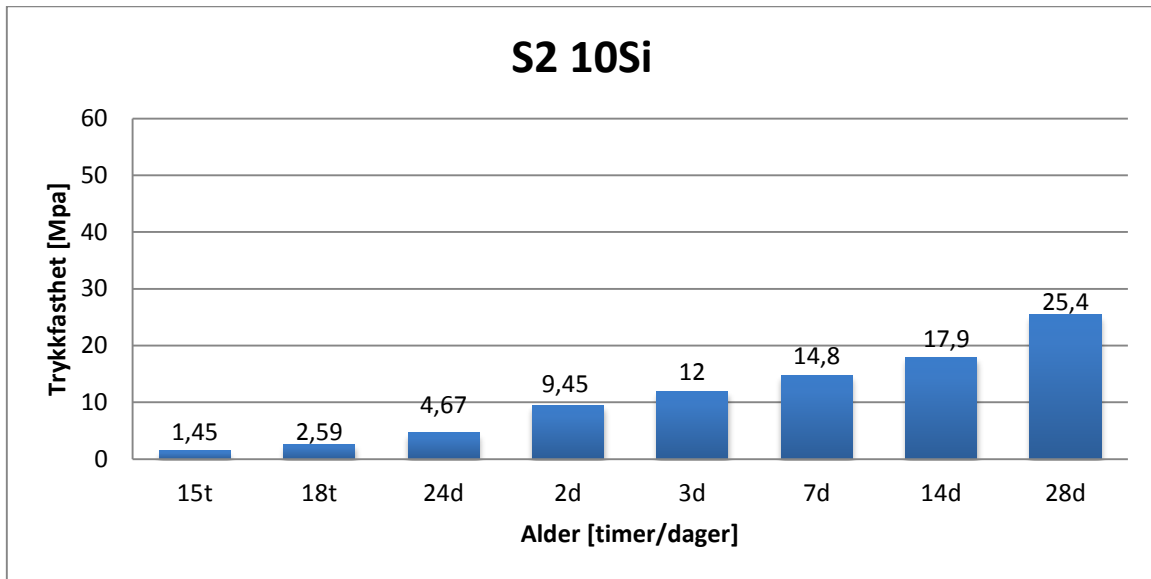


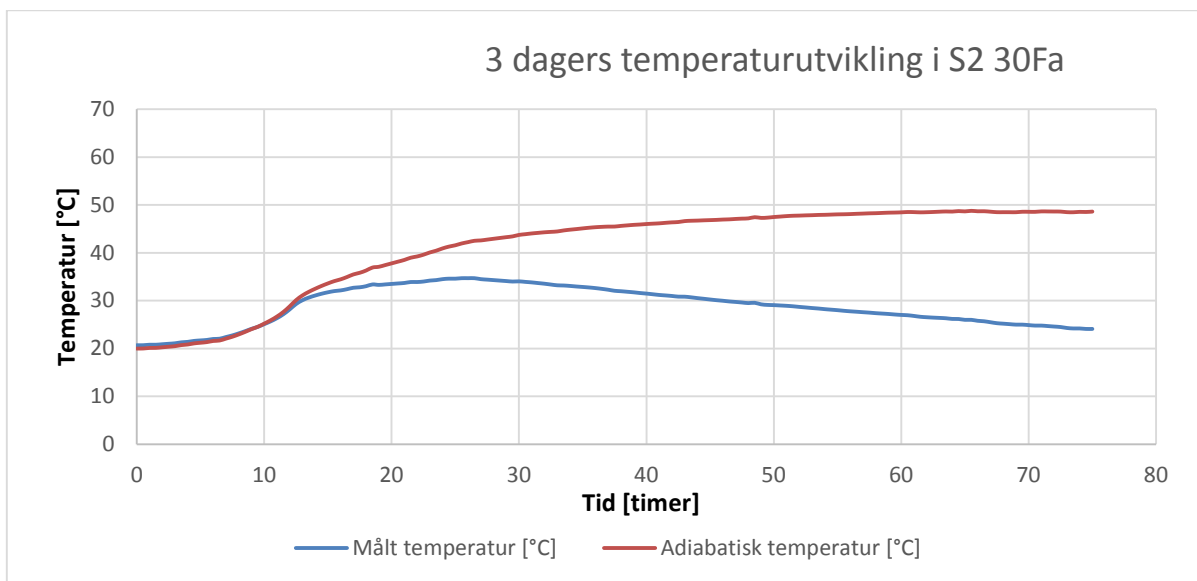
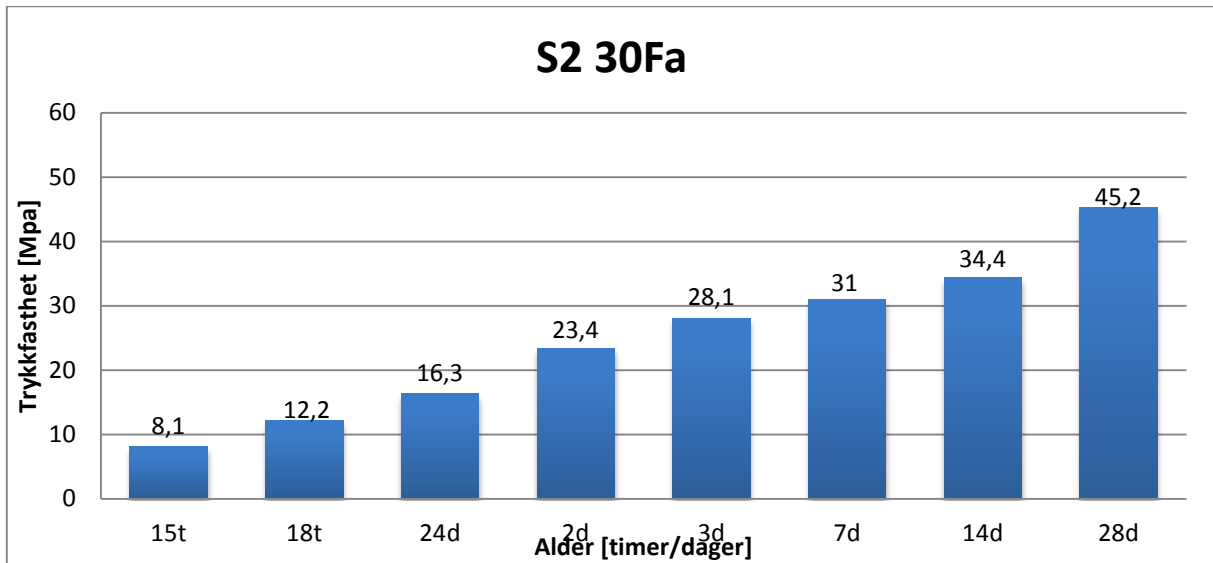


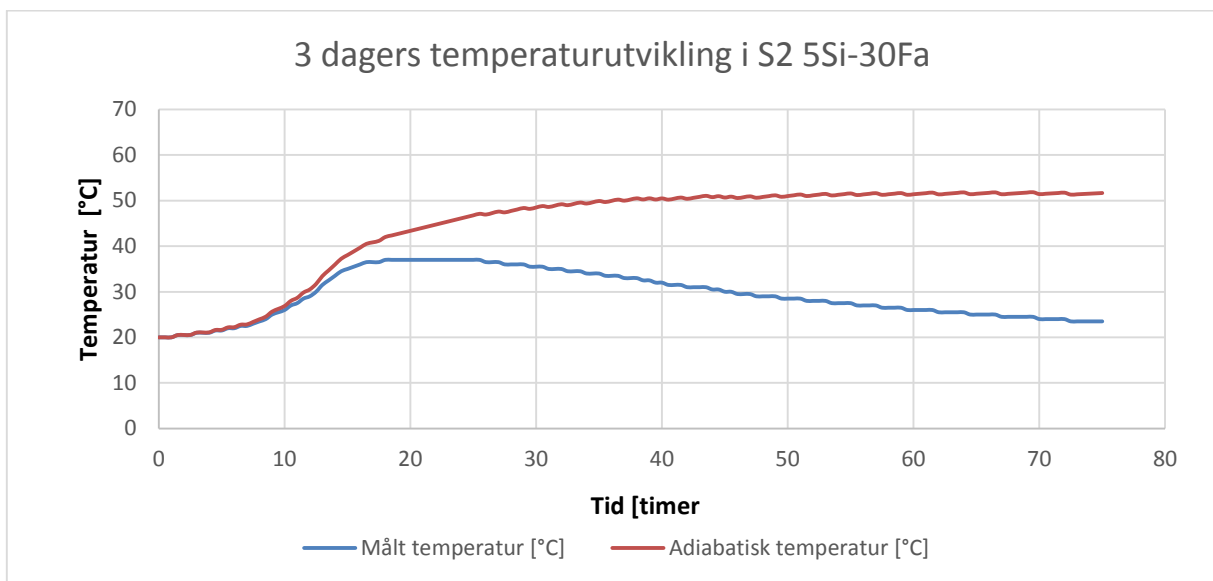
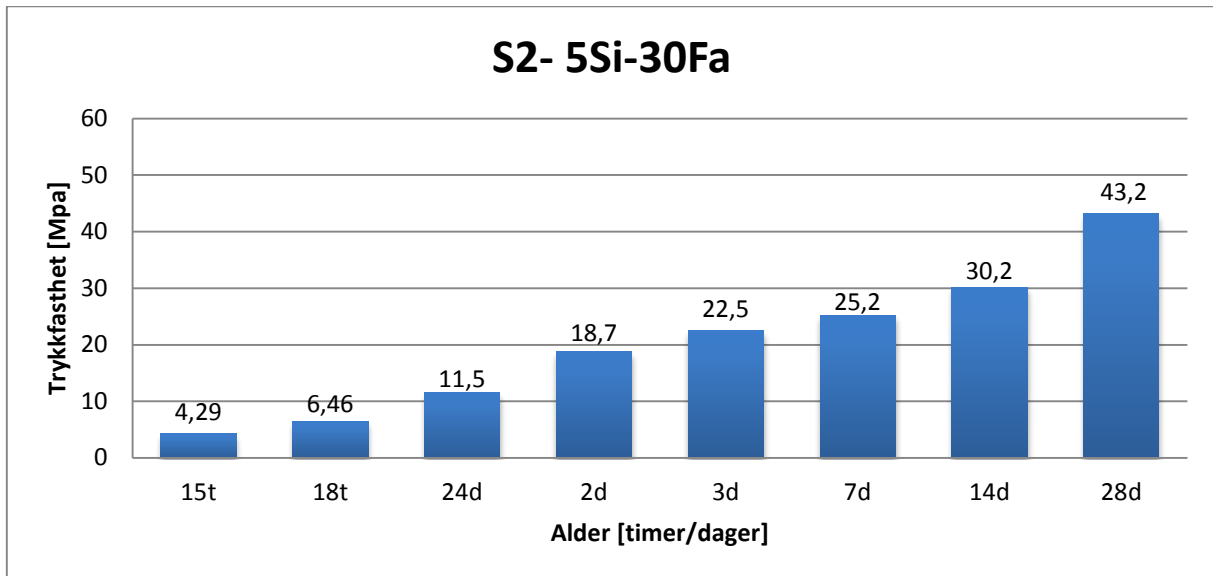




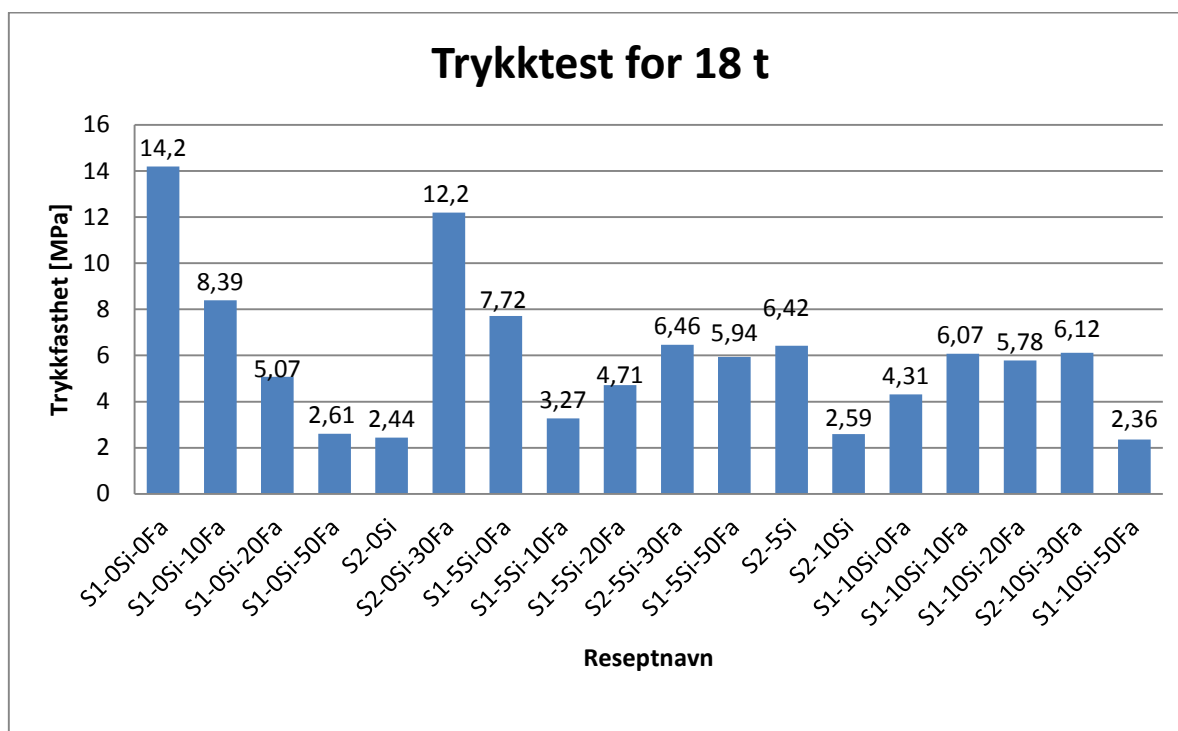
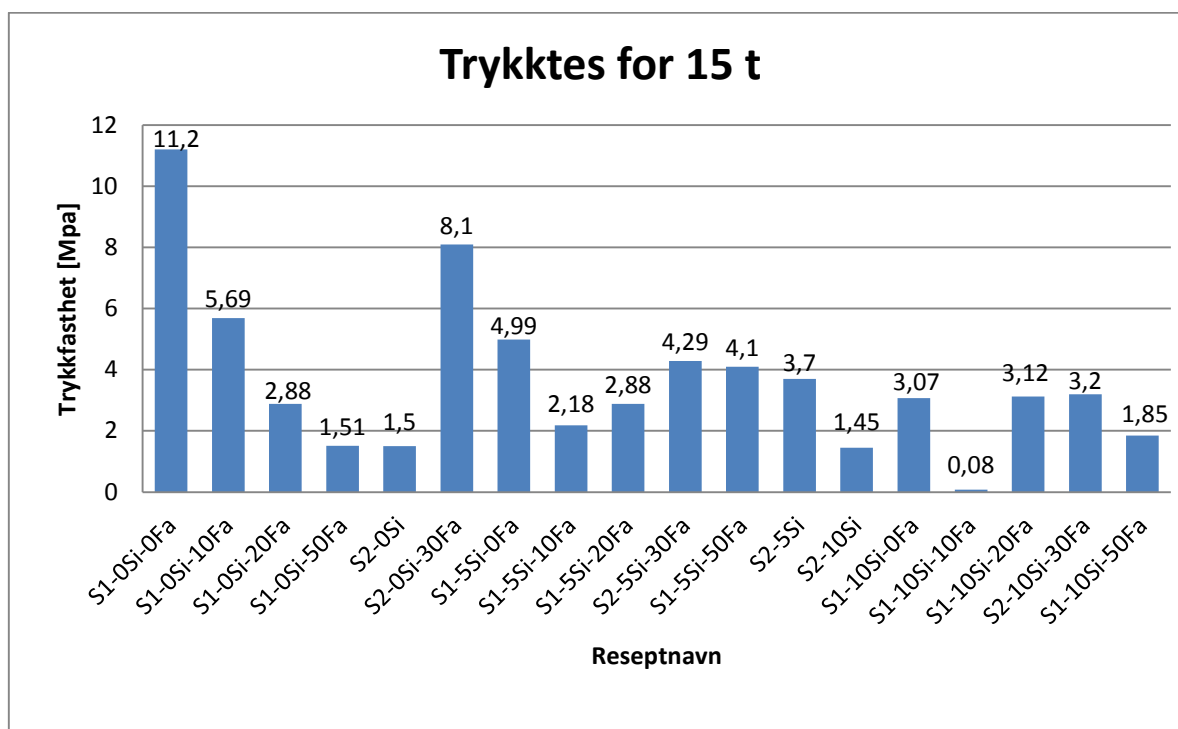


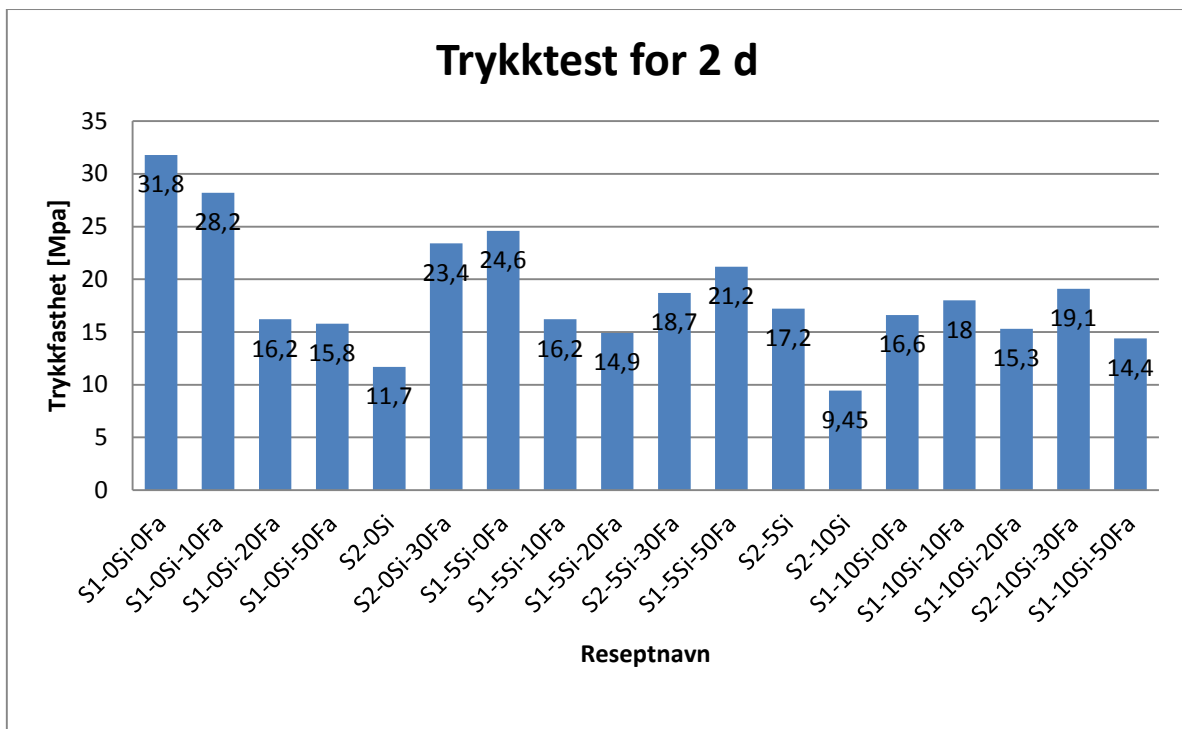
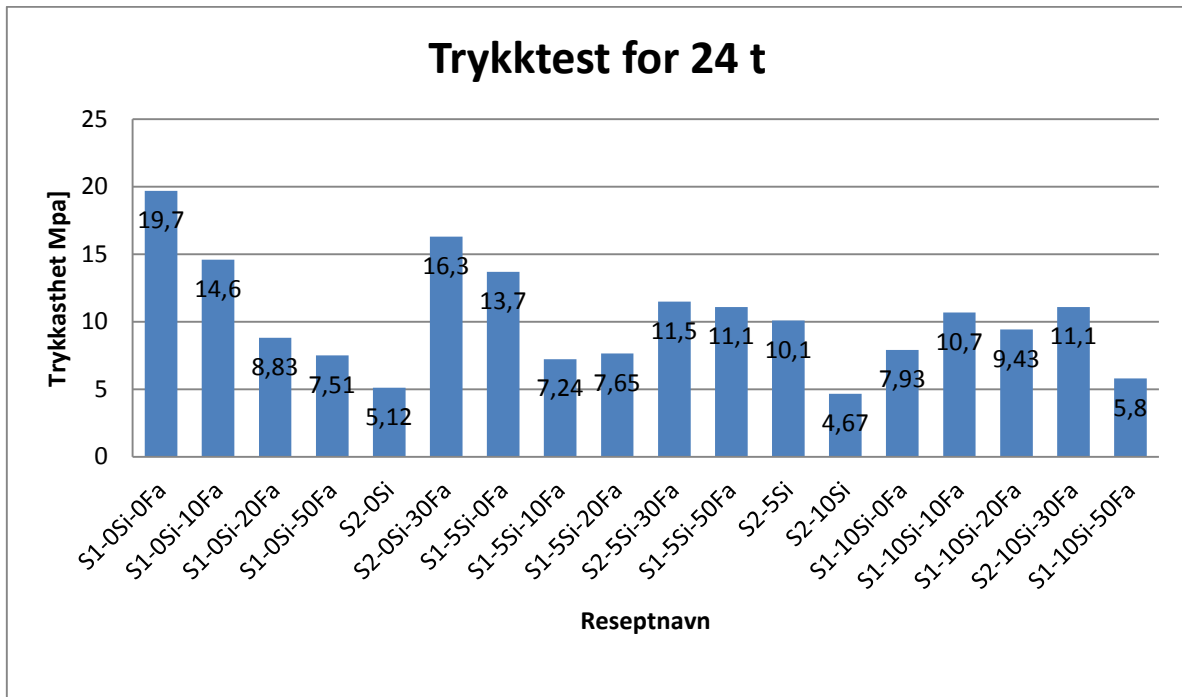


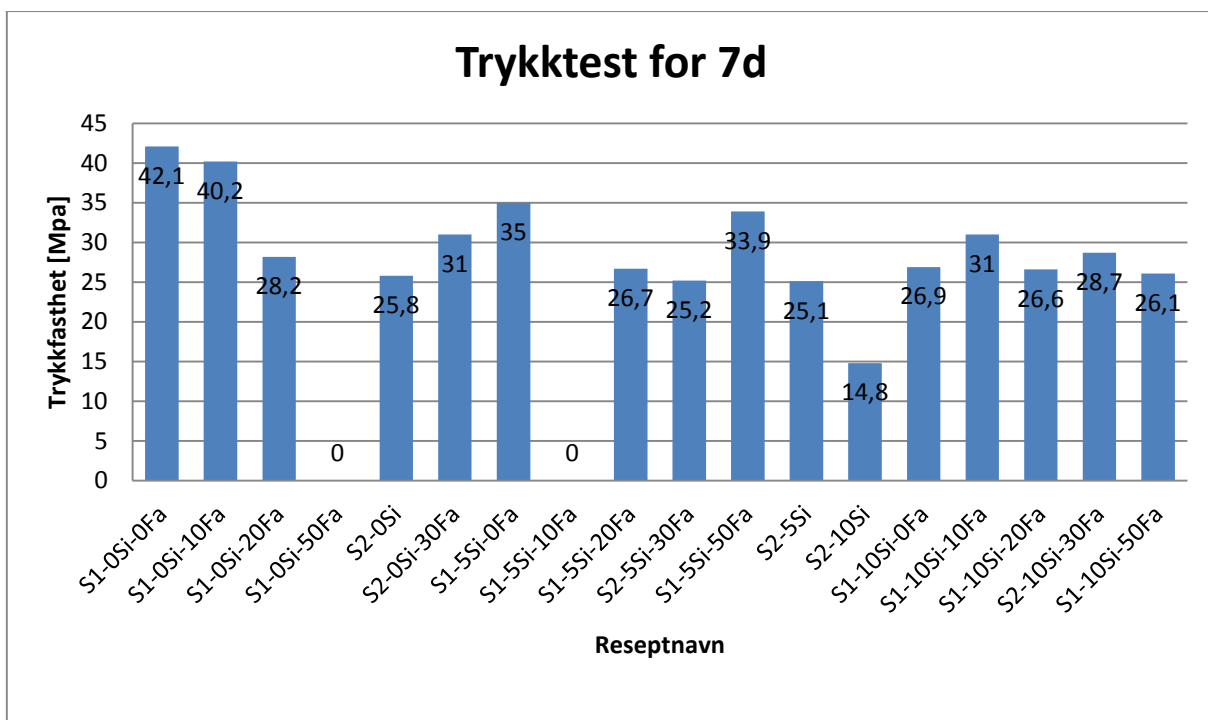
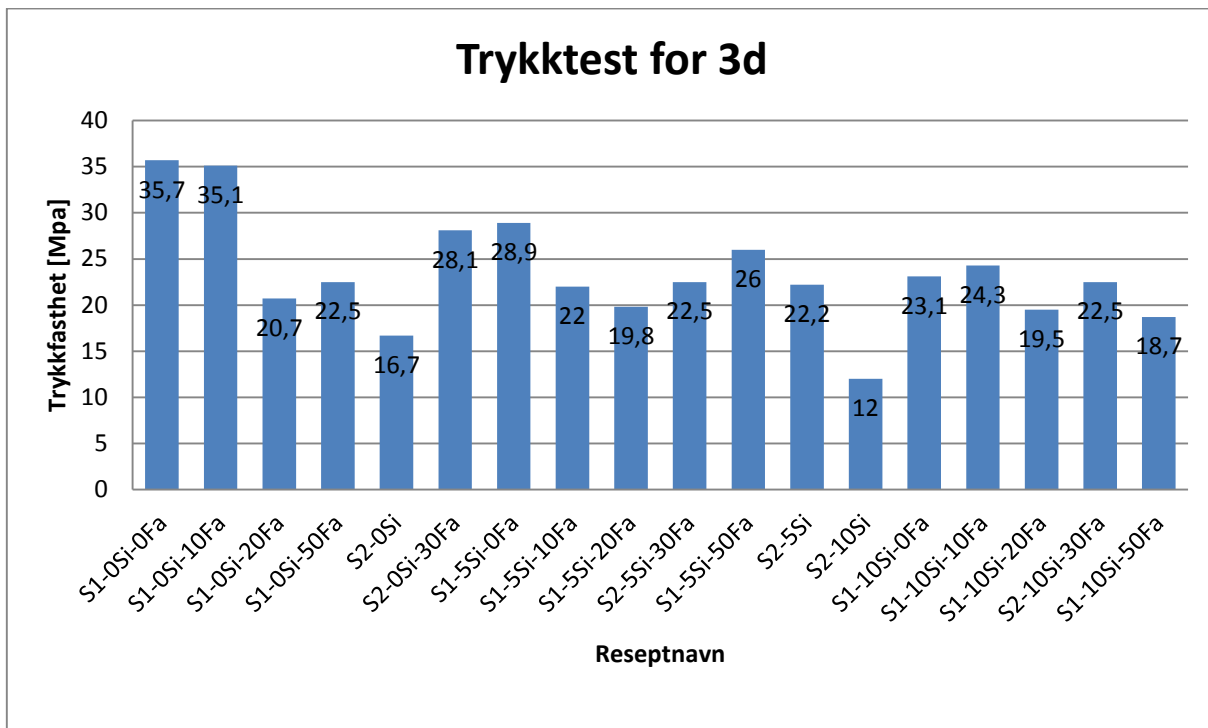


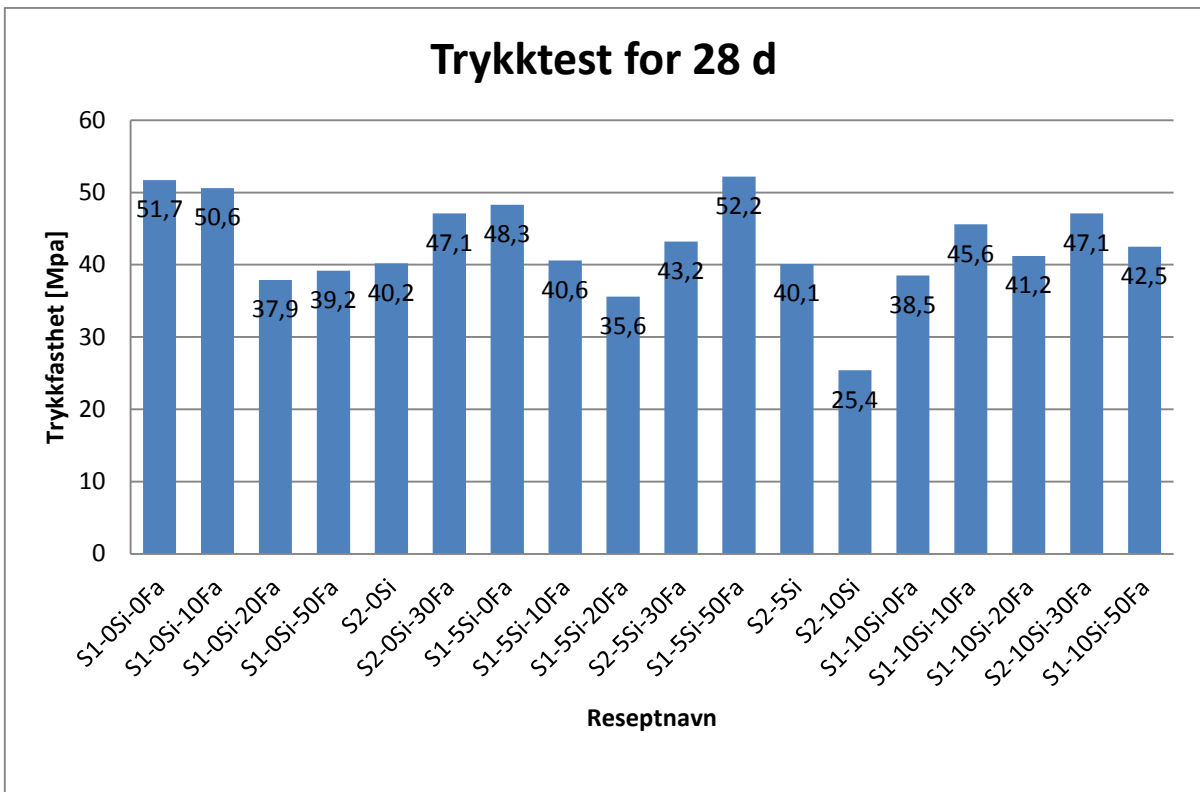
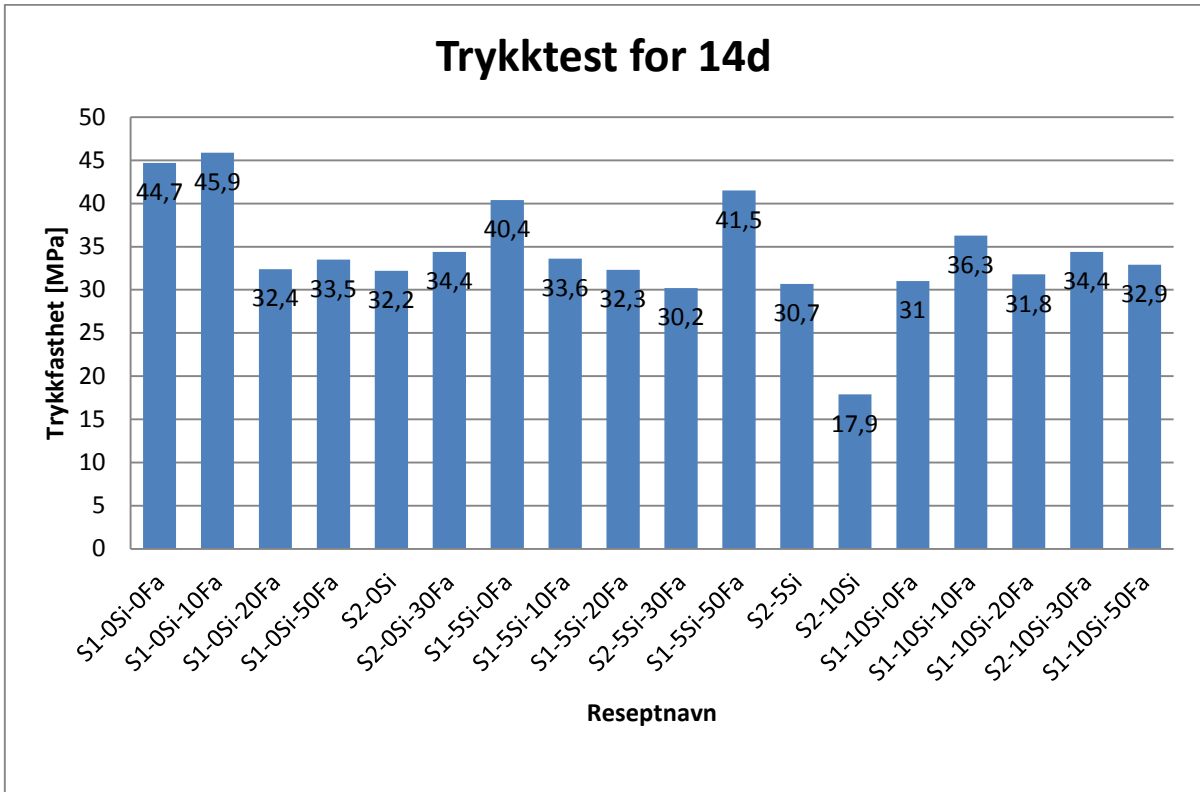


B Seriediagram for sammenliknet trykktestresultater







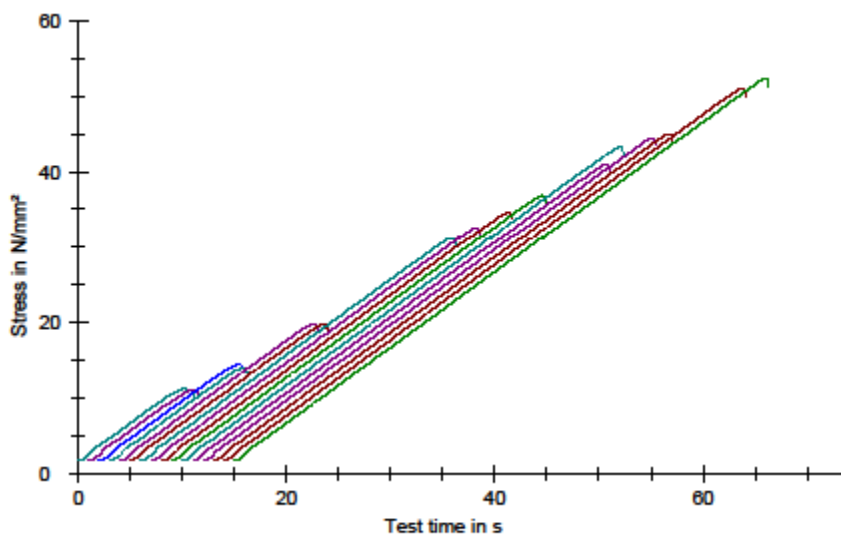


C Trykktester i originalformat

Resultater: Blandig 1

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
186	Bla1-15t	112,21	11,22	100,0	100,0	100,0
187	Bla1-15t*	111,08	11,11	100,0	100,0	100,0
190	Bla1-18t	144,00	14,40	100,0	100,0	100,0
191	Bla1-18t*	139,18	13,92	100,0	100,0	100,0
202	Bla1-24t	196,86	19,69	100,0	100,0	100,0
203	Bla1-24t*	197,60	19,76	100,0	100,0	100,0
216	Bla1-2d	311,18	31,12	100,0	100,0	100,0
217	Bla1-2d*	324,56	32,46	100,0	100,0	100,0
248	Bla1-3d	345,88	34,59	100,0	100,0	100,0
249	Bla1-3d*	367,86	36,79	100,0	100,0	100,0
286	Bla1-7d	432,11	43,21	100,0	100,0	100,0
287	Bla1-7d*	408,83	40,88	100,0	100,0	100,0
313	Bla1-14d	444,17	44,42	100,0	100,0	100,0
314	Bla1-14d*	449,87	44,99	100,0	100,0	100,0
362	Bla1-28d	510,02	51,00	100,0	100,0	100,0
363	Bla1-28d*	523,25	52,32	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



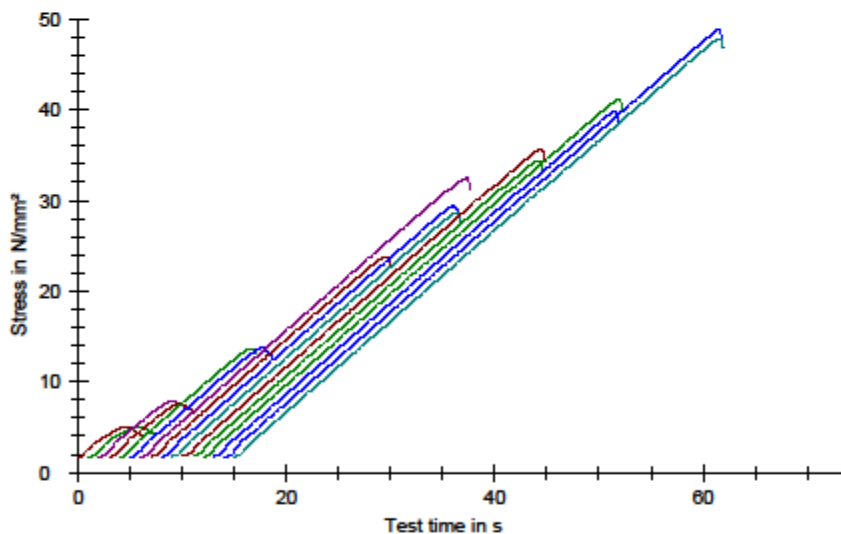
Statistikk:

Series	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
n = 16					
\bar{x}	313,67	31,37	100,0	100,0	100,0
s	144,50	14,45	0,0	0,0	0,0
v	46,07	46,07	0,00	0,00	0,00

Resultater: Blanding 2

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
188	Bla2-15t	50,10	5,01	100,0	100,0	100,0
189	Bla2-15t*	49,62	4,96	100,0	100,0	100,0
192	Bla2-18t	78,59	7,86	100,0	100,0	100,0
193	Bla2-18t*	75,79	7,58	100,0	100,0	100,0
214	Bla2-24t	136,51	13,65	100,0	100,0	100,0
215	Bla2-24t*	137,71	13,77	100,0	100,0	100,0
217	Bla2-2d*	324,56	32,46	100,0	100,0	100,0
218	Bla2-2d	237,32	23,73	100,0	100,0	100,0
250	Bla2-3d	293,50	29,35	100,0	100,0	100,0
251	Bla2-3d*	285,18	28,52	100,0	100,0	100,0
288	Bla2-7d	356,08	35,61	100,0	100,0	100,0
289	Bla2-7d*	343,14	34,31	100,0	100,0	100,0
315	Bla2-14d	410,73	41,07	100,0	100,0	100,0
316	Bla2-14d*	397,57	39,76	100,0	100,0	100,0
364	Bla2-28d	487,57	48,76	100,0	100,0	100,0
365	Bla2-28d*	477,95	47,79	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



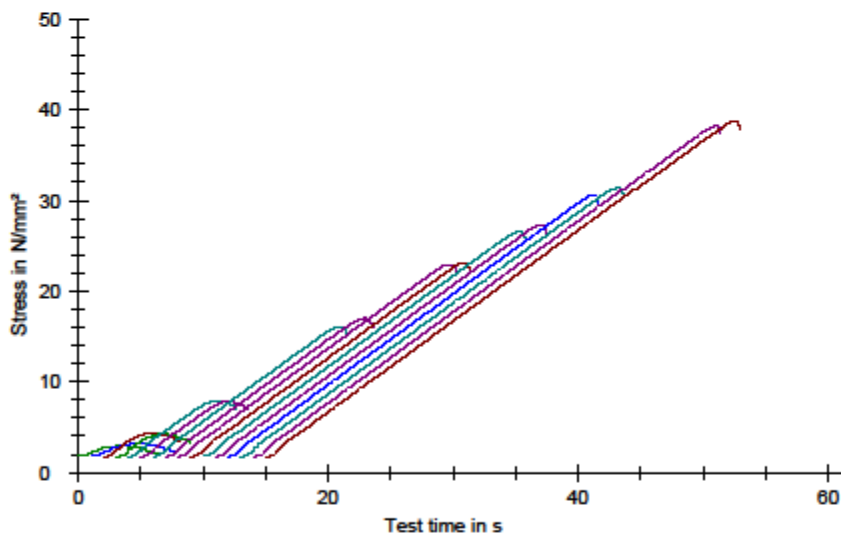
Statistikk:

Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	258,87	25,89	100,0	100,0	100,0
s	152,50	15,25	0,0	0,0	0,0
v	58,91	58,91	0,00	0,00	0,00

Resultater: Blanding 3

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
234	Bla3-15t	29,56	2,96	100,0	100,0	100,0
235	Bla3-15t*	31,76	3,18	100,0	100,0	100,0
238	Bla-18t	43,46	4,35	100,0	100,0	100,0
239	Bla-18t*	42,78	4,28	100,0	100,0	100,0
246	Bla3-24t	79,77	7,98	100,0	100,0	100,0
247	Bla3-24t*	78,83	7,88	100,0	100,0	100,0
256	Bla3-2d	160,91	16,09	100,0	100,0	100,0
257	Bla3-2d*	170,52	17,05	100,0	100,0	100,0
272	Bla3-3d	229,66	22,97	100,0	100,0	100,0
273	Bla3-3d*	231,54	23,15	100,0	100,0	100,0
296	Bla3-7d	266,05	26,60	100,0	100,0	100,0
297	Bla3-7d*	272,88	27,29	100,0	100,0	100,0
321	Bla3-14d	306,18	30,62	100,0	100,0	100,0
322	Bla3-14d*	314,26	31,43	100,0	100,0	100,0
368	Bla3-28d	382,18	38,22	100,0	100,0	100,0
367	Bla3-28d*	387,76	38,78	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



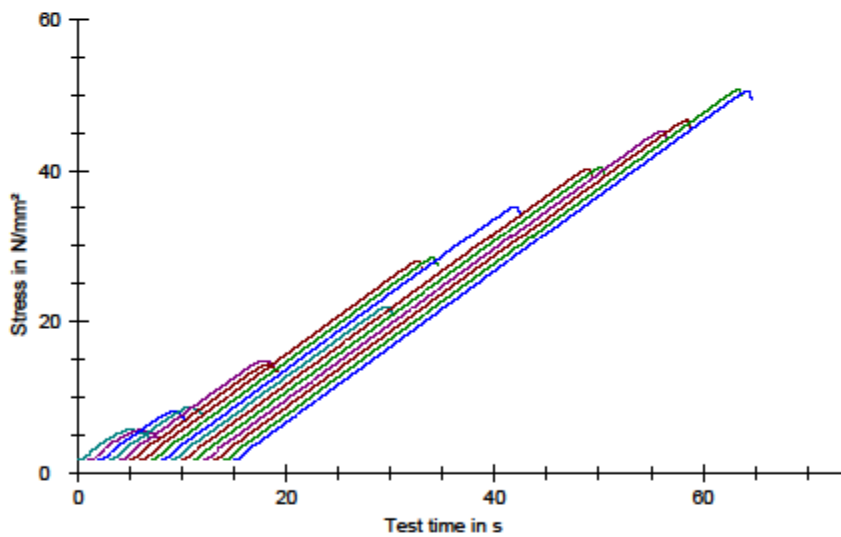
Statistikk:

Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	189,26	18,93	100,0	100,0	100,0
s	126,65	12,66	0,0	0,0	0,0
v	66,92	6,692	0,00	0,00	0,00

Resultater: Blanding 4

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
236	Bla4-15t	57,08	5,71	100,0	100,0	100,0
237	Bla4-15t*	56,68	5,67	100,0	100,0	100,0
240	Bla4-18t	80,73	8,07	100,0	100,0	100,0
241	Bla4-18t*	86,91	8,69	100,0	100,0	100,0
252	Bla4-24t	148,99	14,90	100,0	100,0	100,0
253	Bla4-24t*	143,10	14,31	100,0	100,0	100,0
258	Bla4-2d	279,14	27,91	100,0	100,0	100,0
259	Bla4-2d*	283,76	28,38	100,0	100,0	100,0
275	Bla4-3d*	351,55	35,16	100,0	100,0	100,0
276	Bla4-3d	219,37	21,94	100,0	100,0	100,0
298	Bla4-7d	401,37	40,14	100,0	100,0	100,0
299	Bla4-7d*	403,15	40,32	100,0	100,0	100,0
323	Bla4-14d	452,41	45,24	100,0	100,0	100,0
324	Bla4-14d*	466,33	46,63	100,0	100,0	100,0
388	Bla4-28d	506,98	50,70	100,0	100,0	100,0
389	Bla4-28d*	504,84	50,48	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



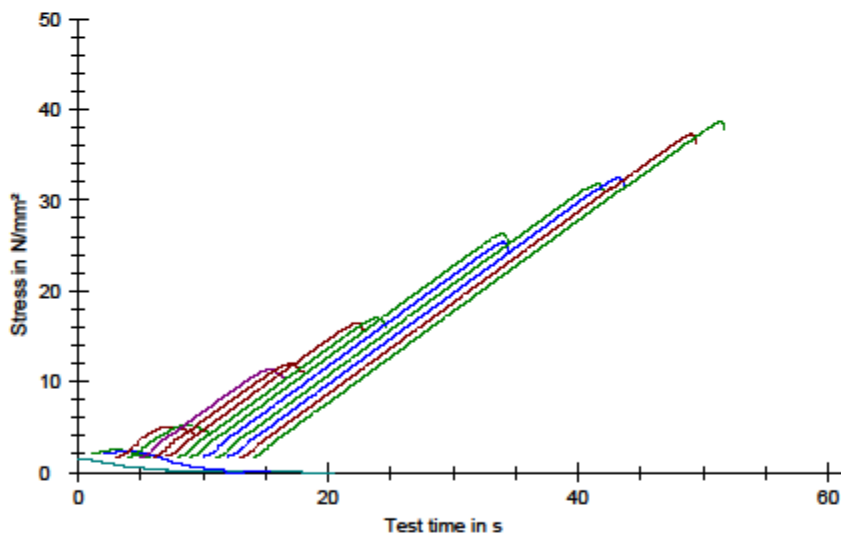
Statistikk:

Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	277,85	27,78	100,0	100,0	100,0
s	166,85	16,69	0,0	0,0	0,0
v	60,10	60,10	0,00	0,00	0,00

Resultater: Blanding 5

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
30	Bla5-15t*	14,98	1,50	100,0	100,0	100,0
33	Bla5-18t	25,09	2,51	100,0	100,0	100,0
34	Bla5-18t*	23,89	2,37	100,0	100,0	100,0
37	Bla5-24t	50,59	5,06	100,0	100,0	100,0
38	Bla5-24t*	51,81	5,18	100,0	100,0	100,0
51	Bla5-2d	113,87	11,39	100,0	100,0	100,0
52	Bla5-2d*	119,26	11,93	100,0	100,0	100,0
57	Bla5-3d	164,05	16,40	100,0	100,0	100,0
58	Bla5-3d*	170,07	17,01	100,0	100,0	100,0
103	Bla5-7d	262,81	26,28	100,0	100,0	100,0
104	Bla5-7d*	253,45	25,35	100,0	100,0	100,0
224	Bla5-14d	317,91	31,79	100,0	100,0	100,0
225	Bla5-14d*	325,01	32,50	100,0	100,0	100,0
341	Bla5-28d	372,75	37,27	100,0	100,0	100,0
342	Bla5-28d*	386,34	38,63	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



Statistikk:

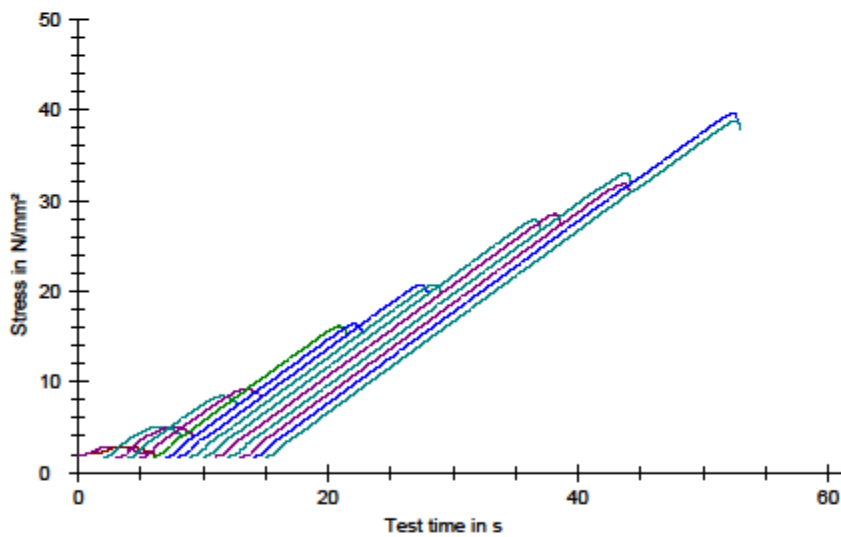
Series	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
n = 15					
\bar{x}	176,78	17,68	100,0	100,0	100,0
s	133,40	13,34	0,0	0,0	0,0
v	75,46	75,46	0,00	0,00	0,00

Testen utført av: Gad Ndizeye

Resultater: Blanding 6

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
31	Bla6-15t	29,02	2,90	100,0	100,0	100,0
32	Bla6-15t*	28,53	2,85	100,0	100,0	100,0
35	Bla6-18t	50,94	5,09	100,0	100,0	100,0
36	Bla6-18t*	50,56	5,06	100,0	100,0	100,0
45	Bla6-24t	84,77	8,48	100,0	100,0	100,0
46	Bla6-24t*	91,90	9,19	100,0	100,0	100,0
53	Bla6-2d	161,08	16,11	100,0	100,0	100,0
54	Bla6-2d*	163,85	16,39	100,0	100,0	100,0
59	Bla6-3d	206,59	20,66	100,0	100,0	100,0
60	Bla6-3d*	207,53	20,75	100,0	100,0	100,0
105	Bla6-7d	278,72	27,87	100,0	100,0	100,0
106	Bla6-7d*	285,17	28,52	100,0	100,0	100,0
226	Bla6-14d	330,18	33,02	100,0	100,0	100,0
227	Bla6-14d*	318,70	31,87	100,0	100,0	100,0
343	Bla6-28d	396,38	39,64	100,0	100,0	100,0
344	Bla6-28d*	388,11	38,81	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



Statistikk:

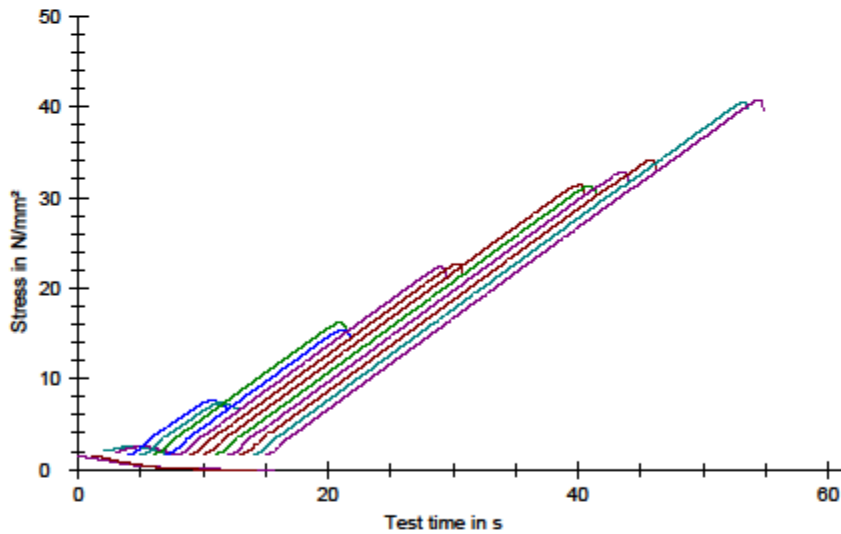
Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	192,00	19,20	100,0	100,0	100,0
s	128,71	12,87	0,0	0,0	0,0
v	67,03	67,03	0,00	0,00	0,00



Resultater: Blanding 7

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
61	Bla7-15t	14,76	1,48	100,0	100,0	100,0
62	Bla7-15t*	15,46	1,55	100,0	100,0	100,0
65	Bla7-18t	25,88	2,59	100,0	100,0	100,0
66	Bla7-18t*	26,41	2,64	100,0	100,0	100,0
69	Bla7-24t	76,52	7,65	100,0	100,0	100,0
70	Bla7-24t*	73,62	7,36	100,0	100,0	100,0
73	Bla7-2d	162,00	16,20	100,0	100,0	100,0
74	Bla7-2d*	154,76	15,48	100,0	100,0	100,0
91	Bla7-3d	223,83	22,38	100,0	100,0	100,0
92	Bla7-3d*	226,75	22,67	100,0	100,0	100,0
198	Bla7-10d	313,91	31,39	100,0	100,0	100,0
199	Bla7-10d*	312,26	31,23	100,0	100,0	100,0
262	Bla7-14d	328,48	32,85	100,0	100,0	100,0
263	Bla7-14d*	341,05	34,11	100,0	100,0	100,0
339	Bla7-28d	405,48	40,55	100,0	100,0	100,0
340	Bla7-28d*	407,17	40,72	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



Statistikk:

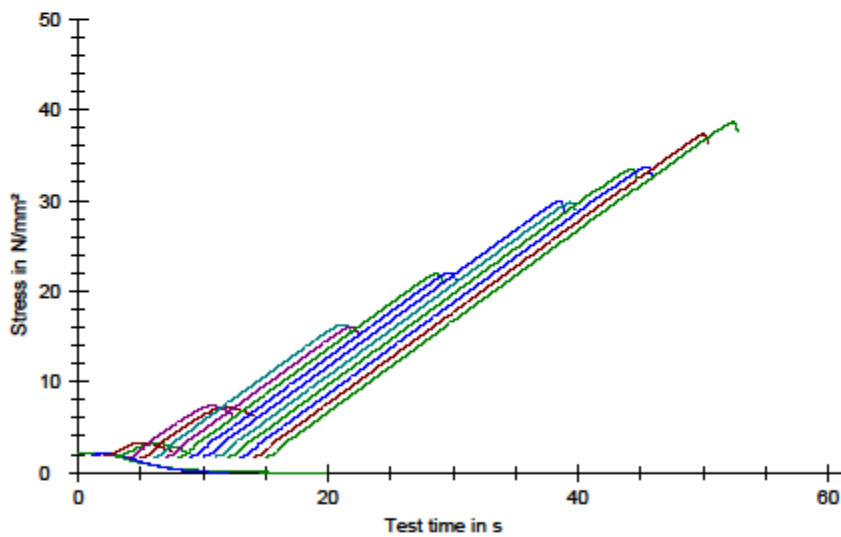
Series	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
n = 18					
x	194,27	19,43	100,0	100,0	100,0
s	144,09	14,41	0,0	0,0	0,0
v	74,17	74,17	0,00	0,00	0,00



Resultater: Blanding 8

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
63	Bla8-15t	22,36	2,24	100,0	100,0	100,0
64	Bla8-15t*	21,19	2,12	100,0	100,0	100,0
67	Bla8-18t	33,52	3,35	100,0	100,0	100,0
68	Bla8-18t*	31,94	3,19	100,0	100,0	100,0
71	Bla8-24t	73,32	7,33	100,0	100,0	100,0
72	Bla8-24t*	71,57	7,16	100,0	100,0	100,0
75	Bla8-2d	163,17	16,32	100,0	100,0	100,0
76	Bla8-2d*	160,89	16,09	100,0	100,0	100,0
93	Bla8-3d	219,05	21,91	100,0	100,0	100,0
94	Bla8-3d*	220,38	22,04	100,0	100,0	100,0
200	Bla8-10d	299,23	29,92	100,0	100,0	100,0
201	Bla8-10d*	297,82	29,78	100,0	100,0	100,0
264	Bla8-14d	334,16	33,42	100,0	100,0	100,0
265	Bla8-14d*	337,49	33,75	100,0	100,0	100,0
341	Bla8-28d	372,75	37,27	100,0	100,0	100,0
342	Bla8-28d*	386,34	38,63	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



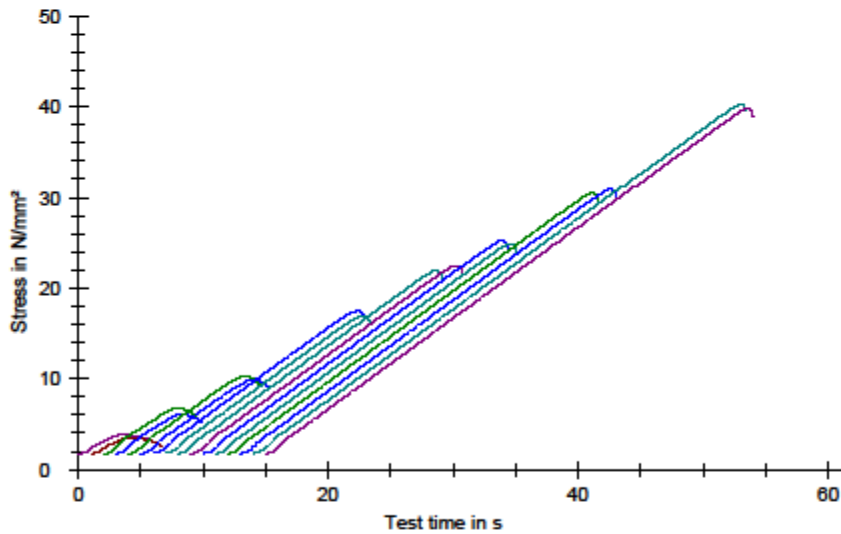
Statistikk:

Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	190,32	19,03	100,0	100,0	100,0
s	135,42	13,54	0,0	0,0	0,0
v	71,15	7,15	0,00	0,00	0,00

Resultater: Blanding 9

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
242	Bla9-15t	38,74	3,87	100,0	100,0	100,0
243	Bla9-15t*	35,20	3,52	100,0	100,0	100,0
244	Bla9-18t	67,70	6,77	100,0	100,0	100,0
245	Bla9-18t*	60,74	6,07	100,0	100,0	100,0
254	Bla9-24t	103,50	10,35	100,0	100,0	100,0
255	Bla9-24t*	99,10	9,91	100,0	100,0	100,0
260	Bla9-2d	174,99	17,50	100,0	100,0	100,0
261	Bla9-2d*	169,44	16,94	100,0	100,0	100,0
276	Bla9-3d	219,37	21,94	100,0	100,0	100,0
277	Bla9-3d*	225,00	22,50	100,0	100,0	100,0
300	Bla9-7d	252,73	25,27	100,0	100,0	100,0
301	Bla9-7d*	248,94	24,89	100,0	100,0	100,0
326	Bla9-14d	305,30	30,53	100,0	100,0	100,0
327	Bla9-14d*	309,20	30,92	100,0	100,0	100,0
370	Bla9-28d	402,99	40,30	100,0	100,0	100,0
371	Bla9-28d*	398,56	39,86	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



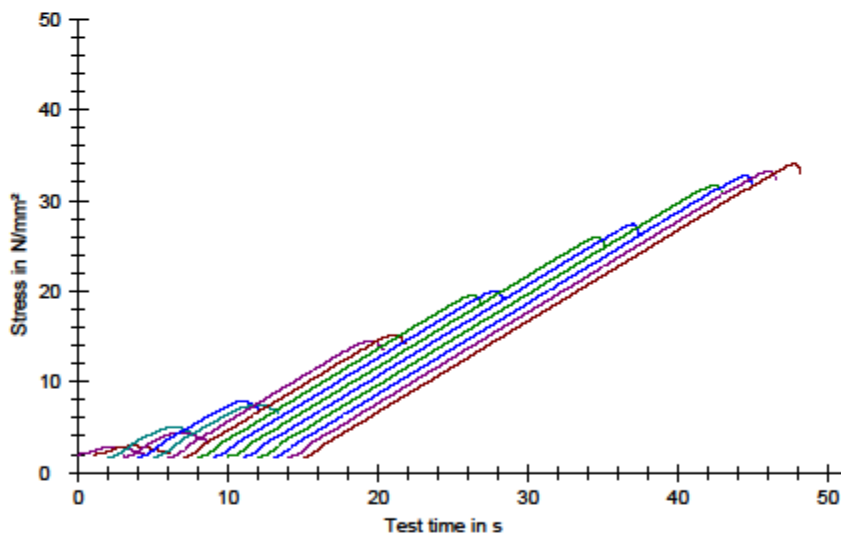
Statistikk:

Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	194,47	19,45	100,0	100,0	100,0
s	121,23	12,12	0,0	0,0	0,0
v	62,34	62,34	0,00	0,00	0,00

Resultater: Blanding 10

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
81	Bla10-15t	28,00	2,80	100,0	100,0	100,0
82	Bla10-15t*	29,56	2,96	100,0	100,0	100,0
85	Bla10-18t	50,20	5,02	100,0	100,0	100,0
86	Bla10-18t*	43,99	4,40	100,0	100,0	100,0
89	Bla10-24t	78,61	7,86	100,0	100,0	100,0
90	Bla10-24t*	74,47	7,45	100,0	100,0	100,0
101	Bla10-2d	146,02	14,60	100,0	100,0	100,0
102	Bla10-2d*	152,09	15,21	100,0	100,0	100,0
123	Bla10-3d	195,52	19,55	100,0	100,0	100,0
124	Bla10-3d*	200,19	20,02	100,0	100,0	100,0
184	Bla10-7d	259,62	25,96	100,0	100,0	100,0
185	Bla10-7d*	273,67	27,37	100,0	100,0	100,0
284	Bla10-14d	317,61	31,76	100,0	100,0	100,0
285	Bla10-14d*	327,43	32,74	100,0	100,0	100,0
334	Bla10-28d	332,89	33,29	100,0	100,0	100,0
335	Bla10-28d*	340,30	34,03	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



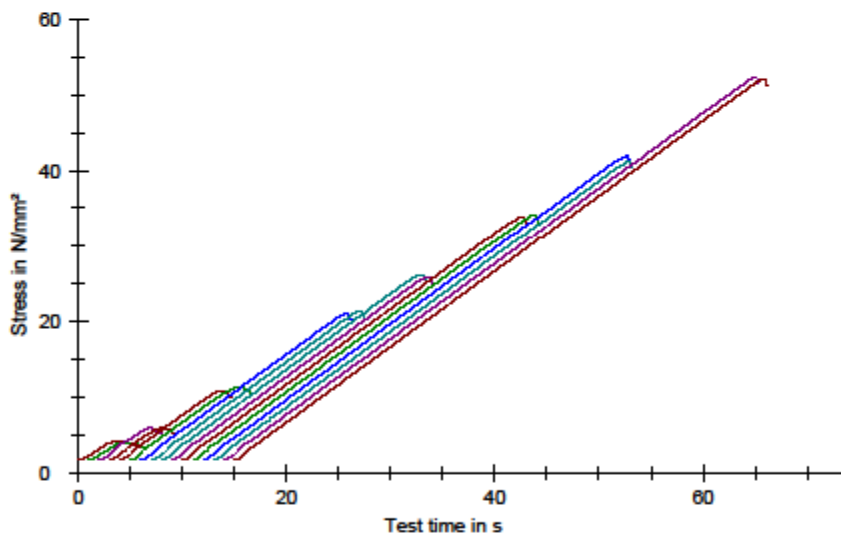
Statistikk:

Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	178,14	17,81	100,0	100,0	100,0
s	118,29	11,83	0,0	0,0	0,0
v	66,40	66,40	0,00	0,00	0,00

Resultater: Blanding 11

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
107	Bla11-15t	41,64	4,16	100,0	100,0	100,0
108	Bla11-15t*	40,29	4,03	100,0	100,0	100,0
111	Bla11-18t	59,35	5,93	100,0	100,0	100,0
112	Bla11-18t*	59,43	5,94	100,0	100,0	100,0
117	Bla11-24t	108,37	10,84	100,0	100,0	100,0
118	Bla11-24t*	114,14	11,41	100,0	100,0	100,0
129	Bla11-2d	210,06	21,01	100,0	100,0	100,0
130	Bla11-2d*	213,03	21,30	100,0	100,0	100,0
135	Bla11-3d	261,76	26,18	100,0	100,0	100,0
136	Bla11-3d*	258,01	25,80	100,0	100,0	100,0
228	Bla11-7d	338,06	33,81	100,0	100,0	100,0
229	Bla11-7d*	340,52	34,05	100,0	100,0	100,0
290	Bla11-14d	418,80	41,88	100,0	100,0	100,0
291	Bla11-14d*	411,41	41,14	100,0	100,0	100,0
348	Bla11-28d	522,72	52,27	100,0	100,0	100,0
347	Bla11-28d*	520,36	52,04	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



Statistikk:

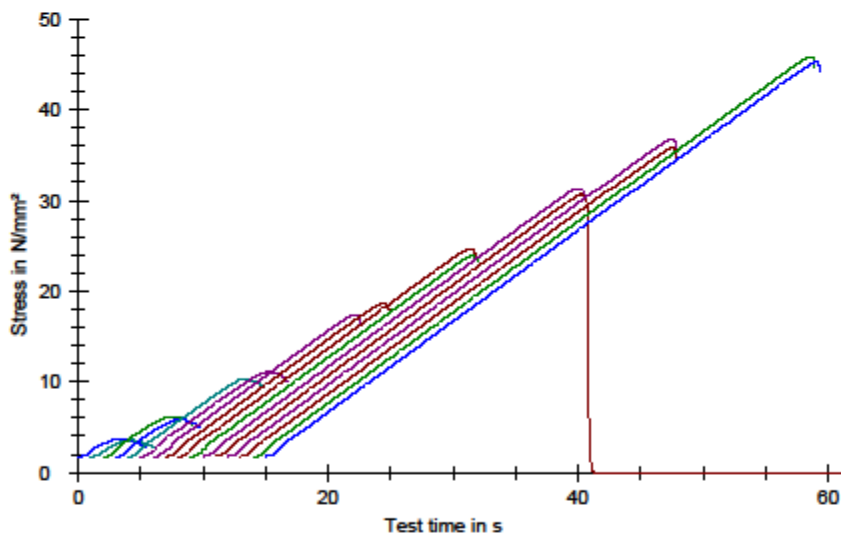
Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	244,87	24,49	100,0	100,0	100,0
s	167,19	16,72	0,0	0,0	0,0
v	68,28	68,28	0,00	0,00	0,00



Resultater: Blanding 12

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
109	Bla12-15t	36,99	3,70	100,0	100,0	100,0
110	Bla12-15t*	35,81	3,58	100,0	100,0	100,0
113	Bla12-18t	62,33	6,23	100,0	100,0	100,0
114	Bla12-18t*	59,09	5,91	100,0	100,0	100,0
125	Bla12-24t	103,87	10,39	100,0	100,0	100,0
126	Bla12-24t*	110,80	11,08	100,0	100,0	100,0
131	Bla12-2d	173,45	17,35	100,0	100,0	100,0
132	Bla12-2d*	186,74	18,67	100,0	100,0	100,0
137	Bla12-3d	246,40	24,64	100,0	100,0	100,0
138	Bla12-3d*	238,87	23,89	100,0	100,0	100,0
232	Bla12-7d	312,69	31,27	100,0	100,0	100,0
233	Bla12-7d*	306,73	30,67	100,0	100,0	100,0
292	Bla12-14d	367,59	36,76	100,0	100,0	100,0
293	Bla12-14d*	357,60	35,76	100,0	100,0	100,0
348	Bla12-28d	458,57	45,86	100,0	100,0	100,0
349	Bla12-28d*	452,54	45,25	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



Statistikk:

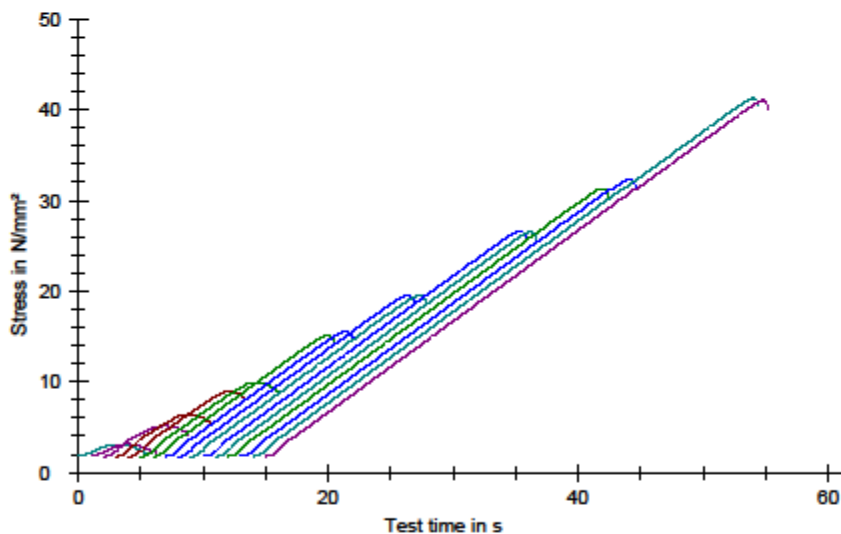
Series n = 16	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	219,38	21,94	100,0	100,0	100,0
s	145,08	14,51	0,0	0,0	0,0
v	66,13	66,13	0,00	0,00	0,00



Resultater: Blanding 13

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
115	Bla13-15t	31,03	3,10	100,0	100,0	100,0
116	Bla13-15t*	31,35	3,13	100,0	100,0	100,0
121	Bla13-18t	51,36	5,14	100,0	100,0	100,0
122	Bla13-18t*	64,26	6,43	100,0	100,0	100,0
127	Bla13-24t	89,51	8,95	100,0	100,0	100,0
128	Bla13-24t*	99,18	9,92	100,0	100,0	100,0
133	Bla13-2d	151,18	15,12	100,0	100,0	100,0
134	Bla13-2d*	155,49	15,55	100,0	100,0	100,0
139	Bla13-3d	195,27	19,53	100,0	100,0	100,0
140	Bla13-3d*	195,46	19,55	100,0	100,0	100,0
230	Bla13-7d	266,01	26,60	100,0	100,0	100,0
231	Bla13-7d*	265,05	26,51	100,0	100,0	100,0
294	Bla13-14d	312,97	31,30	100,0	100,0	100,0
295	Bla13-14d*	323,08	32,31	100,0	100,0	100,0
350	Bla13-28d	412,70	41,27	100,0	100,0	100,0
351	Bla13-28d*	410,43	41,04	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



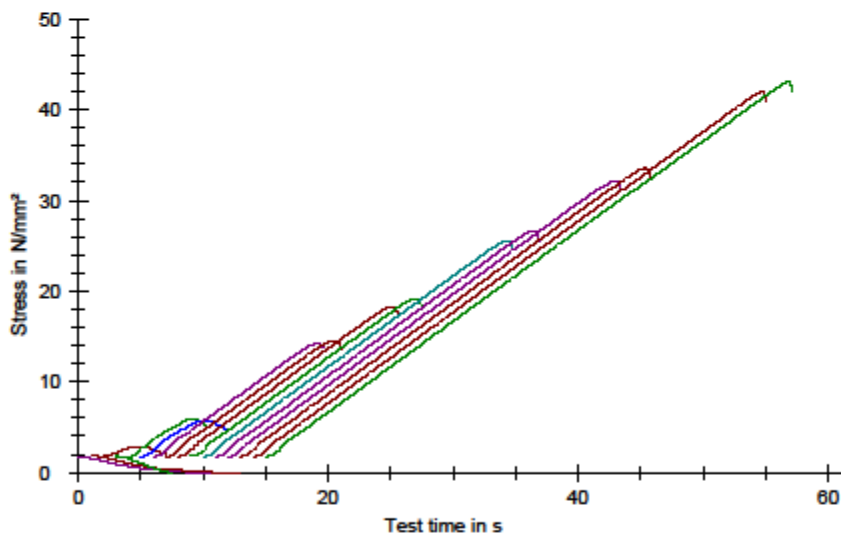
Statistikk:

Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	190,90	19,09	100,0	100,0	100,0
s	128,84	12,88	0,0	0,0	0,0
v	67,49	6,749	0,00	0,00	0,00

Resultater: Blanding 14

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
141	Bla14-15t	17,97	1,80	100,0	100,0	100,0
142	Bla14-15t*	19,07	1,91	100,0	100,0	100,0
147	Bla14-18t	28,80	2,88	100,0	100,0	100,0
148	Bla14-18t*	18,39	1,84	100,0	100,0	100,0
153	Bla14-24t	59,24	5,92	100,0	100,0	100,0
154	Bla14-24t*	56,70	5,67	100,0	100,0	100,0
171	Bla14-2d	142,92	14,29	100,0	100,0	100,0
172	Bla14-2d*	145,56	14,56	100,0	100,0	100,0
208	Bla14-3d	182,69	18,27	100,0	100,0	100,0
209	Bla14-3d*	191,56	19,16	100,0	100,0	100,0
266	Bla14-7d	255,34	25,53	100,0	100,0	100,0
267	Bla14-7d*	266,55	26,66	100,0	100,0	100,0
302	Bla14-14d	321,63	32,16	100,0	100,0	100,0
303	Bla14-14d*	335,60	33,56	100,0	100,0	100,0
352	Bla14-28d	419,64	41,96	100,0	100,0	100,0
353	Bla14-28d*	430,53	43,05	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



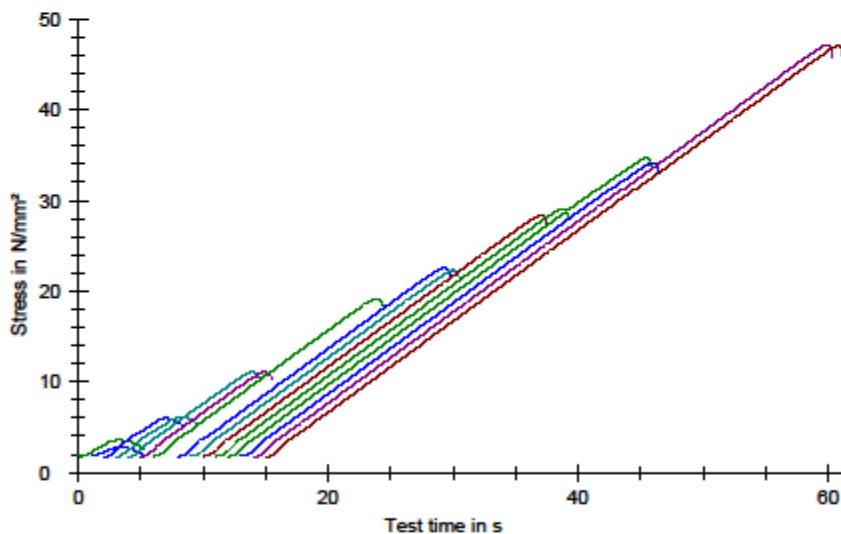
Statistikk:

Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	180,76	18,08	100,0	100,0	100,0
s	144,05	14,40	0,0	0,0	0,0
v	79,89	79,89	0,00	0,00	0,00

Resultater: Blanding 15

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
143	Bla15-15t	35,81	3,58	100,0	100,0	100,0
144	Bla15-15t*	28,10	2,81	100,0	100,0	100,0
149	Bla15-18t	60,30	6,03	100,0	100,0	100,0
150	Bla15-18t*	62,05	6,21	100,0	100,0	100,0
155	Bla15-24t	111,14	11,11	100,0	100,0	100,0
156	Bla15-24t*	111,09	11,11	100,0	100,0	100,0
173	Bla15-2d	191,02	19,10	100,0	100,0	100,0
174	Bla15-2d	-	-	100,0	100,0	100,0
210	Bla15-3d	226,09	22,61	100,0	100,0	100,0
211	Bla15-3d*	222,87	22,29	100,0	100,0	100,0
268	Bla15-7d	283,90	28,39	100,0	100,0	100,0
269	Bla15-7d*	290,84	29,08	100,0	100,0	100,0
304	Bla15-14d	346,97	34,70	100,0	100,0	100,0
305	Bla15-14d*	341,82	34,18	100,0	100,0	100,0
358	Bla15-28d	471,57	47,16	100,0	100,0	100,0
357	Bla15-28d*	470,42	47,04	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



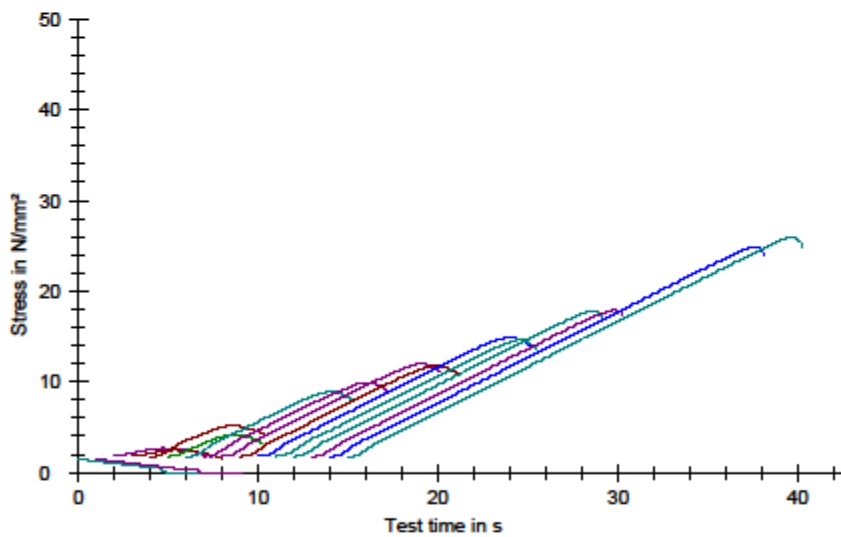
Statistikk:

Series	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
n = 18					
x	216,93	21,69	100,0	100,0	100,0
s	149,22	14,92	0,0	0,0	0,0
v	68,78	68,78	0,00	0,00	0,00

Resultater: Blanding 16

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
145	Bla16-15t	14,57	1,46	100,0	100,0	100,0
148	Bla16-15t*	14,48	1,45	100,0	100,0	100,0
151	Bla16-18t	26,84	2,68	100,0	100,0	100,0
152	Bla16-18t*	25,01	2,50	100,0	100,0	100,0
157	Bla16-24t	51,85	5,19	100,0	100,0	100,0
158	Bla16-24t*	41,62	4,16	100,0	100,0	100,0
175	Bla16-2d	89,60	8,96	100,0	100,0	100,0
176	Bla16-2d*	99,44	9,94	100,0	100,0	100,0
212	Bla16-3d	120,41	12,04	100,0	100,0	100,0
213	Bla16-3d*	118,53	11,85	100,0	100,0	100,0
270	Bla16-7d	149,19	14,92	100,0	100,0	100,0
271	Bla16-7d*	146,43	14,64	100,0	100,0	100,0
306	Bla16-14d	177,87	17,79	100,0	100,0	100,0
307	Bla16-14d*	179,22	17,92	100,0	100,0	100,0
354	Bla16-28d	248,50	24,85	100,0	100,0	100,0
355	Bla16-28d*	259,27	25,93	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



Statistikk:

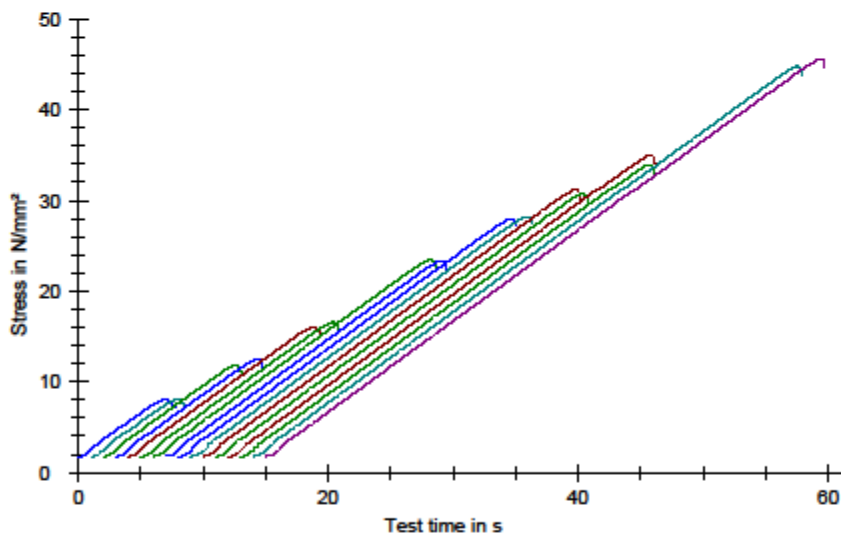
Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	110,18	11,02	100,0	100,0	100,0
s	79,52	7,95	0,0	0,0	0,0
v	72,18	72,18	0,00	0,00	0,00



Resultater: Blanding 17

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
159	Bla17-15t	80,92	8,09	100,0	100,0	100,0
180	Bla17-15t*	81,05	8,11	100,0	100,0	100,0
163	Bla17-18t	118,52	11,85	100,0	100,0	100,0
164	Bla17-18t*	124,75	12,47	100,0	100,0	100,0
167	Bla17-24t	160,29	16,03	100,0	100,0	100,0
168	Bla17-24t*	165,50	16,55	100,0	100,0	100,0
204	Bla17-2d	235,23	23,52	100,0	100,0	100,0
205	Bla17-2d*	233,00	23,30	100,0	100,0	100,0
220	Bla17-3d	279,81	27,98	100,0	100,0	100,0
221	Bla17-3d*	282,18	28,22	100,0	100,0	100,0
278	Bla17-7d	312,31	31,23	100,0	100,0	100,0
279	Bla17-7d*	307,60	30,76	100,0	100,0	100,0
309	Bla17-14d	349,46	34,95	100,0	100,0	100,0
310	Bla17-14d*	338,55	33,86	100,0	100,0	100,0
380	Bla17-28d	447,70	44,77	100,0	100,0	100,0
361	Bla17-28d*	456,07	45,61	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



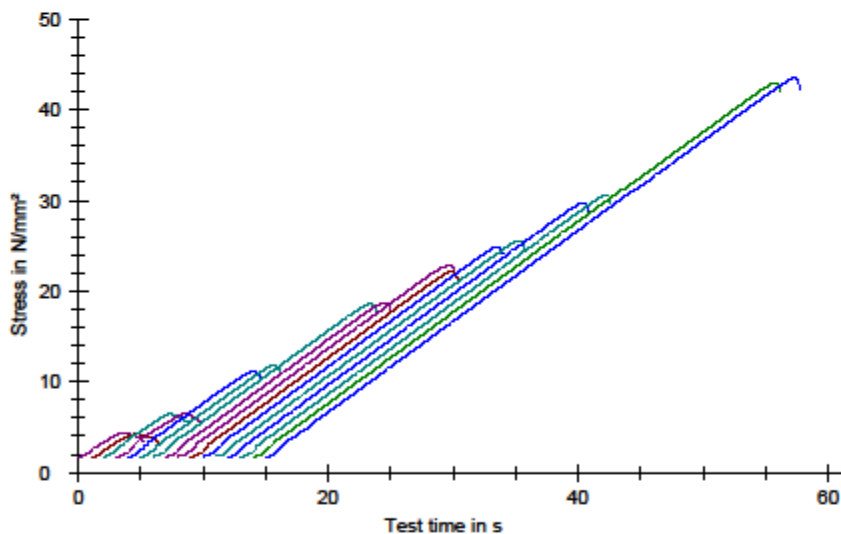
Statistikk:

Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	248,31	24,83	100,0	100,0	100,0
s	119,49	11,95	0,0	0,0	0,0
v	48,12	48,12	0,00	0,00	0,00

Resultater: Blanding 18

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
161	Bla18-15t	43,12	4,31	100,0	100,0	100,0
162	Bla18-15t*	42,61	4,26	100,0	100,0	100,0
165	Bla18-18t	64,39	6,44	100,0	100,0	100,0
166	Bla18-18t*	64,84	6,48	100,0	100,0	100,0
169	Bla18-24t	111,62	11,16	100,0	100,0	100,0
170	Bla18-24t*	118,34	11,83	100,0	100,0	100,0
206	Bla18-2d	186,14	18,61	100,0	100,0	100,0
207	Bla18-2d*	187,78	18,78	100,0	100,0	100,0
222	Bla18-3d	228,49	22,85	100,0	100,0	100,0
223	Bla18-3d*	221,97	22,20	100,0	100,0	100,0
280	Bla18-7d	248,87	24,89	100,0	100,0	100,0
281	Bla18-7d*	255,12	25,51	100,0	100,0	100,0
311	Bla18-14d	297,40	29,74	100,0	100,0	100,0
312	Bla18-14d*	306,06	30,61	100,0	100,0	100,0
358	Bla18-28d	429,58	42,96	100,0	100,0	100,0
359	Bla18-28d*	434,82	43,48	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:



Statistikk:

Series n = 18	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	202,57	20,26	100,0	100,0	100,0
s	125,45	12,54	0,0	0,0	0,0
v	61,93	61,93	0,00	0,00	0,00

Fasthet-/temperaturutvikling

D Temperaturutvikling for alle blandinger

	Resept/ målt temperatur					
Timer	S1-0Si-0Fa	S1-0Si-10Fa	S1-0Si-20Fa	S1-0Si-50Fa	S1-5Si-0Fa	S1-5Si-10Fa
0,0	21,0	19,0	20,0	21,0	19,5	19,0
0,5	21,5	19,5	21,5	22,0	19,5	19,0
1,0	22,0	20,0	22,0	22,5	19,5	19,5
1,5	22,0	20,5	22,0	22,5	20,0	19,5
2,0	22,5	21,0	22,0	23,0	20,0	20,0
2,5	22,5	21,5	22,5	23,0	20,0	20,0
3,0	23,0	21,5	22,5	23,5	20,0	20,5
3,5	23,0	22,0	23,0	24,5	20,5	20,5
4,0	23,5	22,0	23,0	25,5	20,5	21,0
4,5	24,0	22,5	23,5	26,5	20,5	21,0
5,0	24,5	23,0	24,5	27,0	20,5	21,5
5,5	25,0	23,5	24,5	28,0	20,5	21,5
6,0	26,0	24,0	25,5	29,0	21,0	22,0
6,5	26,5	24,5	26,0	30,0	21,0	22,0
7,0	27,5	25,0	27,0	31,0	21,0	22,5
7,5	28,0	25,5	27,5	32,0	21,5	22,5
8,0	29,0	26,0	28,0	33,5	21,5	23,0
8,5	30,0	26,5	29,0	34,5	22,0	23,0
9,0	31,0	27,0	30,0	36,0	22,0	23,5
9,5	32,5	27,5	30,5	37,5	22,5	24,0
10,0	33,5	28,0	31,5	39,0	23,0	24,5
10,5	34,0	28,5	32,5	39,5	23,5	25,0
11,0	34,5	28,5	34,0	40,0	24,0	25,5
11,5	35,0	29,0	35,0	40,0	24,5	25,5
12,0	35,5	29,5	36,5	41,5	25,0	26,0
12,5	36,0	30,0	37,5	41,5	25,5	26,5
13,0	36,0	30,5	38,5	41,5	26,5	27,0
13,5	36,5	31,0	39,0	42,0	27,0	27,5
14,0	37,0	31,5	40,0	42,0	27,5	28,0
14,5	37,5	32,0	40,5	42,0	28,5	28,0
15,0	37,5	32,5	41,0	42,5	29,5	28,5
15,5	38,0	33,0	41,0	42,5	30,5	28,5
16,0	38,0	33,5	41,5	42,5	31,5	29,0
16,5	38,0	34,0	42,0	42,0	32,5	29,5
17,0	38,0	34,5	42,5	42,0	33,5	30,0
17,5	37,5	35,0	42,5	42,0	34,5	30,0
18,0	37,5	35,5	43,0	41,5	35,0	30,5
18,5	37,5	36,0	43,0	41,5	35,5	30,5
19,0	37,0	36,0	43,0	41,5	36,5	31,0
19,5	37,0	36,5	43,0	41,5	36,5	31,5
20,0	37,0	36,5	43,0	41,0	37,0	32,0
20,5	36,5	36,5	43,0	41,0	37,5	32,0
21,0	36,5	36,5	43,5	41,0	37,5	32,5
21,5	36,5	36,5	43,0	41,0	38,0	32,5
22,0	36,0	36,0	43,0	40,5	38,0	33,0

Fasthet-/temperaturutvikling

22,5	36,0	36,0	43,0	40,5	38,0	33,0
23,0	36,0	36,0	43,0	40,5	38,5	33,5
23,5	36,0	35,5	43,0	40,5	38,5	34,0
24,0	35,5	35,5	43,0	40,0	38,5	34,0
24,5	35,5	35,5	42,5	40,0	38,5	34,5
25,0	35,5	35,5	42,5	40,0	39,0	34,5
25,5	35,5	35,0	42,5	40,0	39,0	35,0
26,0	35,0	35,0	42,0	39,5	39,0	35,0
26,5	35,0	35,0	42,0	39,5	39,0	35,0
27,0	35,0	35,0	42,0	39,5	39,0	35,0
27,5	35,0	34,5	41,5	39,0	38,5	35,5
28,0	34,5	34,5	41,5	39,0	38,5	35,5
28,5	34,5	34,5	41,5	39,0	38,5	35,5
29,0	34,5	34,0	41,0	38,5	38,5	35,5
29,5	34,5	34,0	40,5	38,5	38,5	35,5
30,0	34,0	34,0	40,5	38,5	38,0	35,0
30,5	34,0	34,0	40,5	38,0	38,0	35,0
31,0	34,0	33,5	40,0	38,0	38,0	35,0
31,5	33,5	33,5	40,0	38,0	38,0	35,0
32,0	33,5	33,5	39,5	38,0	37,5	35,0
32,5	33,5	33,0	39,5	37,5	37,5	34,5
33,0	33,5	33,0	39,5	37,5	37,0	34,5
33,5	33,0	33,0	39,0	37,5	37,0	34,5
34,0	33,0	32,5	38,5	37,0	37,0	34,5
34,5	33,0	32,5	38,5	37,0	36,5	34,0
35,0	33,0	32,5	38,5	36,5	36,5	34,0
35,5	32,5	32,0	38,0	36,5	36,0	34,0
36,0	32,5	32,0	38,0	36,0	36,0	34,0
36,5	32,5	32,0	37,5	36,0	36,0	33,5
37,0	32,5	31,5	37,5	35,5	36,0	33,5
37,5	32,5	31,5	37,5	35,5	35,5	33,5
38,0	32,0	31,5	37,0	35,0	35,5	33,5
38,5	32,0	31,0	37,0	35,0	35,0	33,5
39,0	32,0	31,0	36,5	35,0	35,0	33,0
39,5	32,0	31,0	36,5	34,5	35,0	33,0
40,0	31,5	30,5	36,0	34,5	34,5	33,0
40,5	31,5	30,5	36,0	34,5	34,5	33,0
41,0	31,5	30,5	35,5	34,0	34,5	33,0
41,5	31,5	30,0	35,5	34,0	34,0	32,5
42,0	31,0	30,0	35,5	34,0	34,0	32,5
42,5	31,0	30,0	35,0	33,5	33,5	32,5
43,0	31,0	29,5	35,0	33,5	33,5	32,5
43,5	31,0	29,5	34,5	33,5	33,5	32,5
44,0	30,5	29,0	34,5	33,0	33,0	32,0
44,5	30,5	29,0	34,5	33,0	32,5	32,0
45,0	30,5	29,0	34,0	33,0	32,5	32,0
45,5	30,0	28,5	34,0	32,5	32,5	32,0
46,0	30,0	28,5	34,0	32,5	32,0	31,5
46,5	30,0	28,5	33,5	32,5	32,0	31,5
47,0	29,5	28,0	33,5	32,0	32,0	31,5
47,5	29,5	28,0	33,5	32,0	32,0	31,5

Fasthet-/temperaturutvikling

48,0	29,5	27,5	33,0	32,0	31,5	31,5
48,5	29,5	27,5	33,0	31,5	31,0	31,0
49,0	29,0	27,0	33,0	31,5	31,0	31,0
49,5	29,0	27,0	32,5	31,5	31,0	31,0
50,0	29,0	27,0	32,5	31,0	31,0	31,0
50,5	29,0	26,5	32,0	31,0	30,5	31,0
51,0	28,5	26,5	32,0	31,0	30,5	30,5
51,5	28,5	26,5	32,0	30,5	30,5	30,5
52,0	28,5	26,0	31,5	30,5	30,0	30,5
52,5	28,5	26,0	31,5	30,5	30,0	30,5
53,0	28,0	26,0	31,5	30,0	29,5	30,0
53,5	28,0	25,5	31,5	30,0	29,5	30,0
54,0	28,0	25,5	31,5	30,0	29,5	30,0
54,5	28,0	25,5	31,0	30,0	29,5	30,0
55,0	27,5	25,0	31,0	29,5	29,5	29,5
55,5	27,5	25,0	30,5	29,5	29,0	29,5
56,0	27,5	25,0	30,5	29,5	29,0	29,5
56,5	27,5	25,0	30,5	29,5	29,0	29,0
57,0	27,0	24,5	30,5	29,5	28,5	29,0
57,5	27,0	24,5	30,0	29,0	28,5	29,0
58,0	27,0	24,5	30,0	29,0	28,5	29,0
58,5	27,0	24,0	30,0	29,0	28,5	28,5
59,0	26,5	24,0	30,0	29,0	28,0	28,5
59,5	26,5	24,0	29,5	28,5	28,0	28,5
60,0	26,5	24,0	29,5	28,5	28,0	28,5
60,5	26,5	23,5	29,5	28,5	28,0	28,0
61,0	26,0	23,5	29,0	28,0	27,5	28,0
61,5	26,0	23,5	29,0	28,0	27,5	28,0
62,0	26,0	23,5	29,0	28,0	27,5	28,0
62,5	26,0	23,5	29,0	28,0	27,5	27,5
63,0	25,5	23,0	29,0	27,5	27,0	27,5
63,5	25,5	23,0	29,0	27,5	27,0	27,5
64,0	25,5	23,0	28,5	27,5	27,0	27,5
64,5	25,5	23,0	28,5	27,5	27,0	27,5
65,0	25,0	23,0	29,0	27,0	27,0	27,0
65,5	25,0	23,0	28,5	27,0	26,5	27,0
66,0	25,0	22,5	28,5	27,0	26,5	27,0
66,5	25,0	22,5	28,0	26,5	26,5	27,0
67,0	24,5	22,5	27,5	26,5	26,5	27,0
67,5	24,5	22,5	27,5	26,5	26,0	26,5
68,0	24,5	22,5	27,5	26,0	26,0	26,5
68,5	24,5	22,0	27,5	26,0	26,0	26,5
69,0	24,0	22,0	27,0	26,0	26,0	26,5
69,5	24,0	22,0	27,0	25,5	25,5	26,5
70,0	24,0	22,0	26,5	25,5	25,5	26,0
70,5	24,0	22,0	26,5	25,5	25,5	26,0
71,0	23,5	22,0	26,5	25,5	25,5	26,0
71,5	23,5	21,5	26,5	25,0	25,0	26,0
72,0	23,5	21,5	26,0	25,0	25,0	26,0
72,5	23,5	21,5	26,0	25,0	25,0	25,5
73,0	23,5	21,5	26,0	25,0	25,0	25,5

Fasthet-/temperaturutvikling

73,5	23,5	21,5	25.5	24,5	24,5	25,5
74,0	23,5	21,5	25.5	24,5	24,5	25,5
74,5	23,5	21,5	25.5	24,5	24,5	25,5
75,0	23,5	21,5	25.0	24,5	24,5	25,5

Fasthet-/temperaturutvikling

Timer	Resept/ målt temperatur					
	S1-5Si-20Fa	S1-5Si-50Fa	S1-10Si-0Fa	S1-10Si10Fa	S1-10Si-20Fa	S1-10Si-50Fa
0,0	19,5	22,2	20,0	20,0	21,0	20,0
0,5	19,5	22,2	20,0	20,0	21,0	20,5
1,0	19,5	22,3	20,5	20,0	21,0	21,0
1,5	20,0	22,3	20,5	20,5	21,5	21,5
2,0	20,0	22,4	21,0	20,5	21,5	21,5
2,5	20,5	22,5	21,5	20,5	21,5	22,0
3,0	20,5	22,6	21,5	21,0	22,0	22,0
3,5	20,5	22,9	22,0	21,0	22,0	22,5
4,0	21,0	23,0	22,5	21,5	22,0	22,5
4,5	21,0	23,1	23,0	21,5	22,5	23,0
5,0	21,0	23,3	23,5	21,5	22,5	23,5
5,5	21,5	23,5	24,0	22,0	22,5	24,0
6,0	21,5	23,6	24,5	22,0	23,0	24,5
6,5	22,0	23,7	25,0	22,5	23,0	25,0
7,0	22,0	23,9	25,5	22,5	23,0	25,5
7,5	22,5	24,0	26,0	23,0	23,5	26,0
8,0	23,0	24,2	27,0	23,5	23,5	26,5
8,5	23,5	24,3	28,0	24,0	24,0	27,0
9,0	24,0	24,5	29,5	24,5	24,5	27,5
9,5	24,5	24,9	30,5	25,5	25,0	28,0
10,0	25,0	25,4	32,0	26,0	25,5	28,5
10,5	25,5	26,1	33,5	27,0	26,0	29,0
11,0	26,0	26,9	35,5	28,0	26,5	29,5
11,5	27,0	27,6	37,0	29,0	27,0	30,0
12,0	28,0	28,6	38,5	30,0	27,5	30,5
12,5	29,0	29,6	39,5	31,5	28,0	31,5
13,0	30,0	30,7	40,0	33,0	28,5	32,5
13,5	30,5	31,4	40,5	34,0	30,5	33,5
14,0	31,0	32,1	41,5	35,0	31,5	34,5
14,5	31,5	32,6	41,5	35,5	33,0	35,5
15,0	31,5	32,9	41,5	36,0	33,5	36,0
15,5	32,0	33,1	42,5	36,5	34,0	36,5
16,0	32,0	33,4	42,5	37,0	34,5	37,0
16,5	32,0	33,7	42,5	37,5	35,0	37,5
17,0	32,5	34,2	43,0	37,5	35,5	37,5
17,5	32,5	34,7	43,0	38,0	36,0	37,5
18,0	33,0	35,2	43,0	38,5	36,5	38,0
18,5	33,0	35,6	43,5	38,5	36,5	38,0
19,0	33,5	35,7	43,5	39,0	36,5	38,5
19,5	34,0	36,0	43,5	39,5	37,0	38,5
20,0	34,0	35,9	43,5	39,5	37,0	39,0
20,5	34,0	36,0	43,5	39,5	37,0	39,0
21,0	34,0	36,1	43,0	40,0	37,0	39,0
21,5	34,5	36,2	43,0	40,0	37,0	39,5
22,0	34,5	36,3	43,0	40,0	37,5	39,5
22,5	34,5	36,4	42,5	40,0	37,0	39,5

Fasthet-/temperaturutvikling

23,0	34,5	36,4	42,5	40,5	37,5	39,5
23,5	35,0	36,5	42,5	40,0	37,5	39,5
24,0	35,0	36,7	42,5	40,0	37,5	39,5
24,5	35,0	36,8	42,0	40,5	37,0	39,5
25,0	35,0	36,6	42,0	40,5	37,5	39,5
25,5	34,5	36,5	42,0	40,0	37,5	39,5
26,0	34,5	36,7	41,5	40,0	37,0	39,0
26,5	34,5	36,7	41,5	40,0	37,0	39,0
27,0	34,0	36,7	41,0	40,0	37,0	39,0
27,5	34,0	36,6	41,0	40,0	37,0	38,5
28,0	34,0	36,5	41,0	39,5	36,5	38,5
28,5	33,5	36,4	40,5	39,5	37,0	38,5
29,0	33,5	36,3	40,0	39,5	36,5	38,5
29,5	33,5	36,2	40,0	39,5	36,5	38,0
30,0	33,5	36,1	40,0	39,0	36,5	38,0
30,5	33,0	35,9	39,5	39,0	36,0	37,5
31,0	33,0	35,8	39,5	39,0	36,0	37,5
31,5	33,0	35,6	39,0	39,0	35,5	37,5
32,0	33,0	35,4	38,5	38,5	35,5	37,0
32,5	32,5	35,4	38,5	38,5	35,5	37,0
33,0	32,5	35,3	38,5	38,5	35,5	37,0
33,5	32,5	35,2	38,0	38,5	35,0	37,0
34,0	32,5	35,1	38,0	38,0	35,0	36,5
34,5	32,0	35,0	38,0	38,0	35,0	36,5
35,0	32,0	34,8	37,5	37,5	34,5	36,0
35,5	32,0	34,6	37,0	37,5	34,5	36,0
36,0	32,0	34,4	37,0	37,5	34,0	35,5
36,5	31,5	34,1	36,5	37,0	34,0	35,5
37,0	31,5	34,0	36,5	37,0	34,0	35,5
37,5	31,5	33,9	36,5	37,0	34,0	35,0
38,0	31,5	33,8	36,0	36,5	33,5	35,0
38,5	31,0	33,6	36,0	36,5	33,5	35,0
39,0	31,0	33,5	36,0	36,5	33,0	34,5
39,5	31,0	33,3	35,5	36,0	33,0	34,5
40,0	30,5	33,2	35,5	36,0	33,0	34,0
40,5	30,5	33,1	35,5	36,0	33,0	34,0
41,0	30,5	32,9	35,0	35,5	32,5	34,0
41,5	30,0	32,8	35,0	35,5	32,5	34,0
42,0	30,0	32,8	34,5	35,0	32,5	33,5
42,5	30,0	32,7	34,5	35,0	32,0	33,5
43,0	29,5	32,5	34,0	35,0	32,0	33,0
43,5	29,5	32,3	34,0	34,5	32,0	33,0
44,0	29,5	32,1	34,0	34,5	31,5	33,0
44,5	29,0	32,0	33,5	34,5	31,5	32,5
45,0	29,0	31,9	33,5	34,5	31,5	32,5
45,5	29,0	31,7	33,5	34,0	31,0	32,5
46,0	29,0	31,6	33,0	34,0	31,0	32,0
46,5	28,5	31,4	33,0	33,5	31,0	32,0
47,0	28,5	31,3	32,5	33,5	31,0	31,5
47,5	28,5	31,6	32,5	33,5	30,5	31,5
48,0	28,5	31,2	32,5	33,0	30,5	31,5

Fasthet-/temperaturutvikling

48,5	28,0	31,0	32,0	33,0	30,5	31,5
49,0	28,0	30,9	32,0	32,5	30,0	31,0
49,5	28,0	30,8	32,0	32,5	30,0	31,0
50,0	28,0	30,8	32,0	32,5	29,5	31,0
50,5	27,5	30,7	31,5	32,5	29,5	30,5
51,0	27,5	30,5	31,5	32,0	29,5	30,5
51,5	27,5	30,4	31,0	32,0	29,5	30,0
52,0	27,5	30,2	31,0	32,0	29,0	30,0
52,5	27,0	30,1	31,0	31,5	29,0	30,0
53,0	27,0	29,9	31,0	31,5	29,0	29,5
53,5	27,0	29,8	30,5	31,5	29,0	29,5
54,0	27,0	29,6	30,5	31,0	28,5	29,5
54,5	27,0	29,6	30,5	31,0	28,5	29,5
55,0	26,5	29,4	30,0	31,0	28,5	29,0
55,5	26,5	29,3	30,0	30,5	28,5	29,0
56,0	26,5	29,2	30,0	30,5	28,0	29,0
56,5	26,5	29,1	30,0	30,5	28,0	29,0
57,0	26,5	29,0	29,5	30,5	28,0	28,5
57,5	26,0	28,9	29,5	30,0	28,0	28,5
58,0	26,0	28,8	29,5	30,0	28,0	28,5
58,5	26,0	28,7	29,5	30,0	27,5	28,0
59,0	26,0	28,6	29,0	29,5	27,5	28,0
59,5	26,0	28,6	29,0	29,5	27,5	28,0
60,0	25,5	28,4	29,0	29,5	27,5	28,0
60,5	25,5	28,2	28,5	29,5	27,5	27,5
61,0	25,5	28,1	28,5	29,0	27,0	27,5
61,5	25,5	27,9	28,0	29,0	27,0	27,5
62,0	25,5	27,9	28,0	29,0	27,0	27,5
62,5	25,0	27,8	28,0	28,5	27,0	27,5
63,0	25,0	27,7	27,5	28,5	26,5	27,0
63,5	25,0	27,7	27,5	28,5	26,5	27,0
64,0	25,0	27,4	27,5	28,5	26,5	27,0
64,5	25,0	27,1	27,0	28,5	26,5	26,5
65,0	24,5	26,8	27,0	28,0	26,0	26,5
65,5	24,5	26,7	26,5	28,0	26,0	26,5
66,0	24,5	26,6	26,5	28,0	26,0	26,5
66,5	24,5	26,4	26,5	27,5	26,0	26,0
67,0	24,0	26,4	26,5	27,5	25,5	26,0
67,5	24,0	26,1	26,0	27,5	25,5	26,0
68,0	24,0	25,8	26,0	27,0	25,5	26,0
68,5	24,0	25,6	25,5	27,0	25,5	25,5
69,0	24,0	25,5	25,5	27,0	25,5	25,5
69,5	23,5	25,3	25,5	27,0	25,5	25,5
70,0	23,5	25,1	25,5	27,0	25,0	25,5
70,5	23,5	25,0	25,5	26,5	25,0	25,0
71,0	23,5	25,0	25,0	26,5	25,0	25,0
71,5	23,5	24,8	25,0	26,5	25,0	25,0
72,0	23,0	24,8	25,0	26,0	24,5	25,0
72,5	23,0	24,8	25,0	26,0	24,5	24,5
73,0	23,0	24,7	25,0	26,0	24,5	24,5
73,5	23,0	24,7	24,5	26,0	24,5	24,5

Fasthet-/temperaturutvikling

74,0	23,0	24,6	24,5	25,5	24,5	24,5
74,5	23,0	24,6	24,5	25,5	24,5	24,5
75,0	23,0	24,6	24,5	25,5	24,5	24,5

Fasthet-/temperaturutvikling

	Resept/ målt temperatur					
Timer	S2-30Fa	S2-0Si	S2-5Si	S2-5Si-30Fa	S2-10Si	S2-10Si-30Fa
0,0	20,5	20,0	19,5	18,5	20,7	20,0
0,5	20,5	20,0	19,5	18,5	20,7	20,0
1,0	20,5	20,0	19,5	19,0	20,8	20,0
1,5	21,0	20,5	20,0	19,5	20,8	20,5
2,0	21,0	20,5	20,0	20,0	20,9	20,5
2,5	21,0	20,5	20,0	20,0	21,0	20,5
3,0	21,5	21,0	20,5	20,5	21,1	21,0
3,5	22,0	21,0	20,5	20,5	21,3	21,0
4,0	22,0	21,5	21,0	21,0	21,4	21,0
4,5	22,5	21,5	21,0	21,0	21,6	21,5
5,0	23,0	22,0	21,5	21,5	21,7	21,5
5,5	23,5	22,0	21,5	21,5	21,8	22,0
6,0	24,5	22,5	22,0	22,0	22,0	22,0
6,5	24,5	22,5	22,0	22,0	22,1	22,5
7,0	25,5	23,0	22,5	22,5	22,4	22,5
7,5	26,0	23,0	22,5	22,5	22,7	23,0
8,0	26,5	23,0	23,0	23,0	23,2	23,5
8,5	27,5	23,5	23,5	23,5	23,6	24,0
9,0	28,0	23,5	24,0	24,0	24,1	25,0
9,5	28,5	24,5	25,0	24,5	24,5	25,5
10,0	29,5	24,5	25,5	25,0	25,1	26,0
10,5	30,5	25,5	26,5	25,5	25,7	27,0
11,0	31,5	26,0	27,5	26,0	26,3	27,5
11,5	32,5	26,5	28,0	26,5	27,2	28,5
12,0	33,5	27,5	29,0	27,0	28,2	29,0
12,5	34,5	28,5	30,0	27,5	29,3	30,0
13,0	35,0	29,0	31,5	28,5	30,1	31,5
13,5	35,5	30,0	33,0	29,0	30,6	32,5
14,0	36,0	31,0	34,0	29,5	31,1	33,5
14,5	36,5	31,5	35,0	30,0	31,5	34,5
15,0	36,5	32,0	36,0	30,5	31,8	35,0
15,5	37,0	32,5	36,5	31,0	32,0	35,5
16,0	37,5	33,0	37,0	31,5	32,1	36,0
16,5	37,5	33,5	37,5	32,0	32,4	36,5
17,0	38,0	33,5	37,5	32,5	32,7	36,5
17,5	38,0	34,0	38,0	33,0	32,8	36,5
18,0	38,0	34,0	38,0	33,0	33,0	37,0
18,5	38,5	34,5	38,0	33,5	33,4	37,0
19,0	38,5	34,5	38,5	33,5	33,3	37,0
19,5	38,5	34,5	38,5	34,0	33,4	37,0
20,0	38,5	34,5	38,5	34,5	33,5	37,0
20,5	38,5	35,0	38,5	34,5	33,6	37,0
21,0	38,5	35,0	38,5	34,5	33,7	37,0
21,5	38,5	35,0	38,5	34,5	33,9	37,0
22,0	38,5	35,0	38,5	35,0	33,9	37,0
22,5	38,5	35,0	38,5	35,0	34,0	37,0
23,0	38,0	35,5	38,5	35,0	34,2	37,0

Fasthet-/temperaturutvikling

23,5	38,0	35,0	39,0	35,0	34,3	37,0
24,0	38,0	35,0	38,5	34,5	34,5	37,0
24,5	38,0	35,0	38,5	34,5	34,6	37,0
25,0	38,0	35,0	38,5	34,5	34,6	37,0
25,5	38,0	35,0	38,0	34,0	34,7	37,0
26,0	37,5	35,0	38,0	34,0	34,7	36,5
26,5	37,5	35,0	38,0	34,0	34,7	36,5
27,0	37,5	35,0	38,0	33,5	34,5	36,5
27,5	37,5	35,0	37,5	33,5	34,4	36,0
28,0	37,0	34,5	37,5	33,5	34,3	36,0
28,5	37,0	34,5	37,5	33,5	34,2	36,0
29,0	37,0	34,5	37,0	33,5	34,1	36,0
29,5	36,5	34,5	37,0	33,5	34,0	35,5
30,0	36,5	34,5	37,0	33,0	34,0	35,5
30,5	36,5	34,5	36,5	33,0	33,9	35,5
31,0	36,5	34,0	36,5	33,0	33,8	35,0
31,5	36,0	34,0	36,5	33,0	33,7	35,0
32,0	36,0	34,0	36,0	32,5	33,5	35,0
32,5	35,5	34,0	36,0	32,5	33,4	34,5
33,0	35,5	34,0	36,0	32,5	33,2	34,5
33,5	35,5	33,5	35,5	32,5	33,2	34,5
34,0	35,5	33,5	35,5	32,0	33,1	34,0
34,5	35,0	33,5	35,5	32,0	33,0	34,0
35,0	35,0	33,0	35,0	32,0	32,9	34,0
35,5	35,0	33,0	35,0	32,0	32,8	33,5
36,0	34,5	33,0	34,5	31,5	32,6	33,5
36,5	34,5	33,0	34,5	31,5	32,5	33,5
37,0	34,0	33,0	34,5	31,5	32,3	33,0
37,5	34,0	32,5	34,5	31,5	32,1	33,0
38,0	34,0	32,5	34,0	31,0	32,0	33,0
38,5	33,5	32,5	34,0	31,0	31,9	32,5
39,0	33,5	32,0	33,5	31,0	31,7	32,5
39,5	33,0	32,0	33,5	31,0	31,6	32,0
40,0	33,0	32,0	33,0	30,5	31,5	32,0
40,5	33,0	32,0	33,0	30,5	31,3	31,5
41,0	32,5	31,5	33,0	30,5	31,2	31,5
41,5	32,5	31,5	32,5	30,5	31,1	31,5
42,0	32,5	31,5	32,5	30,5	31,0	31,0
42,5	32,0	31,5	32,5	30,0	30,8	31,0
43,0	32,0	31,0	32,0	30,0	30,8	31,0
43,5	32,0	31,0	32,0	30,0	30,7	31,0
44,0	31,5	31,0	32,0	30,0	30,5	30,5
44,5	31,5	31,0	32,0	30,0	30,4	30,5
45,0	31,5	30,5	32,0	29,5	30,2	30,0
45,5	31,5	30,5	31,5	29,5	30,1	30,0
46,0	31,0	30,5	31,5	29,5	30,0	29,5
46,5	31,0	30,0	31,0	29,5	29,8	29,5
47,0	31,0	30,0	31,0	29,5	29,7	29,5
47,5	30,5	30,0	31,0	29,0	29,6	29,0
48,0	30,5	30,0	30,5	29,0	29,5	29,0
48,5	30,5	30,0	30,5	29,0	29,6	29,0

Fasthet-/temperaturutvikling

49,0	30,0	30,0	30,5	29,0	29,2	29,0
49,5	30,0	29,5	30,5	29,0	29,1	28,5
50,0	30,0	29,5	30,0	28,5	29,1	28,5
50,5	30,0	29,5	30,0	28,5	29,0	28,5
51,0	30,0	29,0	30,0	28,5	28,9	28,5
51,5	29,5	29,0	29,5	28,5	28,8	28,0
52,0	29,5	29,0	29,5	28,0	28,7	28,0
52,5	29,0	29,0	29,5	28,0	28,6	28,0
53,0	29,0	28,5	29,5	28,0	28,5	28,0
53,5	29,0	28,5	29,0	28,0	28,4	27,5
54,0	28,5	28,5	29,0	27,5	28,2	27,5
54,5	28,5	28,5	29,0	27,5	28,1	27,5
55,0	28,5	28,5	29,0	27,5	28,0	27,5
55,5	28,5	28,0	28,5	27,5	27,9	27,0
56,0	28,5	28,0	28,5	27,5	27,8	27,0
56,5	28,5	28,0	28,5	27,0	27,7	27,0
57,0	28,0	28,0	28,5	27,0	27,6	27,0
57,5	28,0	27,5	28,0	27,0	27,5	26,5
58,0	27,5	27,5	28,0	27,0	27,4	26,5
58,5	27,5	27,5	28,0	26,5	27,3	26,5
59,0	27,5	27,5	27,5	26,5	27,2	26,5
59,5	27,5	27,5	28,0	26,5	27,1	26,0
60,0	27,5	27,0	27,5	26,5	27,0	26,0
60,5	27,0	27,0	27,5	26,5	27,0	26,0
61,0	27,0	27,0	27,0	26,0	26,8	26,0
61,5	27,0	27,0	27,0	26,0	26,6	26,0
62,0	26,5	26,5	27,0	26,0	26,5	25,5
62,5	26,5	27,0	27,0	26,0	26,5	25,5
63,0	26,5	26,5	27,0	26,0	26,4	25,5
63,5	26,5	26,5	26,5	25,5	26,3	25,5
64,0	26,0	26,5	26,5	25,5	26,2	25,5
64,5	26,0	26,0	26,5	25,5	26,2	25,0
65,0	26,0	26,5	26,0	25,5	26,0	25,0
65,5	26,0	26,0	26,5	25,0	26,0	25,0
66,0	26,0	26,0	26,0	25,0	25,8	25,0
66,5	25,5	26,0	26,0	25,0	25,7	25,0
67,0	25,5	26,0	26,0	25,0	25,5	24,5
67,5	26,0	25,5	26,0	25,0	25,3	24,5
68,0	26,0	26,0	25,5	24,5	25,2	24,5
68,5	26,0	25,5	25,5	24,5	25,1	24,5
69,0	25,5	25,5	25,5	24,5	25,0	24,5
69,5	25,5	25,5	25,5	24,5	25,0	24,5
70,0	25,5	25,0	25,5	24,5	24,9	24,0
70,5	25,5	25,0	25,0	24,0	24,8	24,0
71,0	25,0	25,0	25,0	24,0	24,8	24,0
71,5	25,0	25,0	25,0	24,0	24,7	24,0
72,0	24,5	25,0	25,0	24,0	24,6	24,0
72,5	24,5	25,0	25,0	23,5	24,5	23,5
73,0	24,5	25,0	25,0	23,5	24,3	23,5
73,5	24,5	25,0	24,5	23,5	24,2	23,5
74,0	24,0	25,0	24,5	23,5	24,2	23,5

Fasthet-/temperaturutvikling

74,5	24,0	24,5	24,5	23,5	24,1	23,5
75,0	24,0	24,5	24,5	23,5	24,1	23,5

E Resepter

Resept 1 S1-0Si-0Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
-------------	---------------------------------

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard	336,5	16,824			16,824	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	50	0,000	0,000	
Flygeaske	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	168,2	8,412		-0,889	7,523	7,995
Absorbent vann	9,4	0,472			0,472	
Forsand 0-8mm	737,8	36,890	1,5	0,561	37,451	
Velde 8-11mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Velde 11-16	1148,5	57,423	0,5	0,287	57,710	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Sika Viscocrete FB-2	1,0	0,050	82	0,041	0,050	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	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					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 2 S1-0Si-10Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard	309,1	15,455			15,455
Elkem Microsilica	15,5	0,773	50	0,773	1,546
Flygeaske	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	170,0	8,500		-1,711	6,790
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	1,5	0,709	47,030
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,9	0,046	82	0,038	0,046
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

7,259

*Se fotnote på delark "Proporsjonering" ** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 3 S1-0Si-20Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard	285,8	14,292			14,292
Elkem Microsilica	28,6	1,429	50	1,429	2,858
Flygeaske	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	171,5	8,575		-2,350	6,225
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	1,5	0,695	47,016
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,9	0,043	82	0,035	0,043
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

6,695

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

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

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 4 S1-0Si-50Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard	314,4	15,719			15,719
Elkem Microsilica	0,0	0,000	50	0,000	0,000
Flygeaske	31,4	1,572	0	0,000	1,572
Fritt vann	163,5	8,174		-0,925	7,249
Absorbent vann	9,4	0,470			0,470
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	1,5	0,695	47,016
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,9	0,047	82	0,039	0,047
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

7,719

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

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

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 5 S2-0Si

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard FA	329,1	16,454			16,454	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	50	0,000	0,000	
Flygeaske	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	164,5	8,227		-2,588	5,639	6,109
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470	
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	5,5	2,548	48,869	
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396	
Velde 11-16	764,8	38,241	0,0	0,000	38,241	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Sika Viscocrete FB-2	1,0	0,049	82	0,040	0,049	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	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					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 6 S1 0Si-20Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard	295,0	14,750			14,750
Elkem Microsilica	0,0	0,000	50	0,000	0,000
Flygeaske	59,0	2,950	0	0,000	2,950
Fritt vann	159,3	7,965		-2,584	5,381
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	5,5	2,548	48,869
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396
Velde 11-16	764,8	38,241	0,0	0,000	38,241
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,9	0,044	82	0,036	0,044
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

5,851

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

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

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 7 S1 0Si-50Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard	248,9	12,447			12,447
Elkem Microsilica	0,0	0,000	50	0,000	0,000
Flygeaske	124,5	6,224	0	0,000	6,224
Fritt vann	149,4	7,468		-2,727	4,742
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	5,8	2,696	49,017
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396
Velde 11-16	764,8	38,241	0,0	0,000	38,241
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,7	0,037	82	0,031	0,037
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	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					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 8 S1 5Si-0Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard	290,3	14,517			14,517
Elkem Microsilica	14,5	0,726	50	0,726	1,452
Flygeaske	29,0	1,452	0	0,000	1,452
Fritt vann	165,5	8,275		-3,457	4,817
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	5,8	2,696	49,017
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396
Velde 11-16	764,8	38,241	0,0	0,000	38,241
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,9	0,044	82	0,036	0,044
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

5,287

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

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

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 9 S2 5Si

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard FA	302,8	15,142			15,142	
Elkem Microsilica	15,1	0,757	50	0,757	1,514	
Flygeaske	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	166,6	8,328		-1,833	6,495	6,965
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470	
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	1,8	0,848	47,169	
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396	
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Sika Viscocrete FB-2	0,9	0,045	82	0,037	0,045	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	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					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 10 S1 5Si-20Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard	273,7	13,687			13,687	
Elkem Microsilica	13,7	0,684	50	0,684	1,369	
Flygeaske	54,7	2,737	0	0,000	2,737	
Fritt vann	161,5	8,075		-4,855	3,221	3,690
Absorbent vann	9,4	0,470			0,470	
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	8,9	4,136	50,458	
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396	
Velde 11-16	764,8	38,241	0,0	0,000	38,241	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Sika Viscocrete FB-2	0,8	0,041	82	0,034	0,041	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	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					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 11 S1 5Si-50Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard	233,6	11,682			11,682
Elkem Microsilica	11,7	0,584	50	0,584	1,168
Flygeaske	116,8	5,841	0	0,000	5,841
Fritt vann	151,9	7,593		-1,939	5,654
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	2,5	1,135	47,456
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,7	0,035	82	0,029	0,035
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

6,124

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

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

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 12 S1 10Si-10Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard	269,7	13,486			13,486	
Elkem Microsilica	27,0	1,349	50	1,349	2,697	
Flygeaske	27,0	1,349	0	0,000	1,349	
Fritt vann	167,2	8,361		-2,731	5,630	6,100
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470	
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	2,5	1,158	47,479	
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396	
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Sika Viscocrete FB-2	0,8	0,040	82	0,033	0,040	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	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					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 13 S1 10Si-20Fa

Prosj./id.: **Navn på serie / blandingsnummer**

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats Kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard	255,3	12,767			12,767
Elkem Microsilica	25,5	1,277	50	1,277	2,553
Flygeaske	51,1	2,553	0	0,000	2,553
Fritt vann	163,4	8,171		-2,634	5,536
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	2,5	1,135	47,456
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,8	0,038	82	0,031	0,038
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

6,006

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

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

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 14 S1 10Si 50Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard	220,1	11,005			11,005	
Elkem Microsilica	22,0	1,100	50	1,100	2,201	
Flygeaske	110,0	5,502	0	0,000	5,502	
Fritt vann	154,1	7,703		-2,166	5,537	6,007
Absorbent vann	9,4	0,470			0,470	
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	1,8	0,848	47,169	
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396	
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Sika Viscocrete FB-2	0,7	0,033	82	0,027	0,033	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	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					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 15 S2 10Si-30Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats Kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	238,5	11,926			11,926
Elkem Microsilica	23,9	1,193	50	1,193	2,385
Flygeaske	71,6	3,578	0	0,000	3,578
Fritt vann	157,4	7,871		-2,261	5,611
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	1,8	0,848	47,169
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,7	0,036	82	0,029	0,036
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

6,080

*Se fotnote på delark "Proporsjonering" ** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 16 S2 10Si

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats Kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	280,5	14,024			14,024
Elkem Microsilica	28,0	1,402	50	1,402	2,805
Flygeaske	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	168,3	8,414		-2,476	5,939
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	1,8	0,848	47,169
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,8	0,042	82	0,034	0,042
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

6,408

*Se fotnote på delark "Proporsjonering" ** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 17 S2 0Si-30Fa

Prosj./id.: **Navn på serie / blandingsnummer**

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats Kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	272,8	13,640			13,640
Elkem Microsilica	0,0	0,000	50	0,000	0,000
Flygeaske	81,8	4,092	0	0,000	4,092
Fritt vann	152,8	7,638		-1,072	6,566
Absorbert vann	9,4	0,470			0,470
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	1,8	0,848	47,169
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,8	0,041	82	0,034	0,041
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

7,036

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

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

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Fasthet-/temperaturutvikling

Resept 18 S2 5Si-30Fa

Prosj./id.:	Navn på serie / blandingsnummer
--------------------	--

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats Kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard FA	254,5	12,726	*	*	12,726	
Elkem Microsilica	12,7	0,636	50	0,636	1,273	
Flygeaske	76,4	3,818	0	0,000	3,818	
Fritt vann	155,3	7,763	*	-1,706	6,056	6,526
Absorbert vann	9,4	0,470	*	*	0,470	
Forsand 0-8mm	926,4	46,321	1,8	0,848	47,169	
Velde 8-11mm	187,9	9,396	0,0	0,000	9,396	
Velde 11-16	764,8	38,241	0,5	0,191	38,432	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Sika Viscocrete FB-2	0,8	0,038	82	0,031	0,038	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	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					

F Beskrivelse av regnearket «Herdekasse»

SINTEF Byggforsk Betong og natursteinlaboratoriene	KS 14-05-04-138 Herdekasse	Gradering Intern	Side 1 av 7
Utarbeidet av Lars Haugan	Godkjent av Ola Skjølvold	Versjon 1	Gyldig fra 2011-03-31

Formål og bruksområde

Ved hjelp denne prosedyren og bruk av regnearket "Herdekasse" kan man for en gitt betong bestemme:

akkumulert isoterm varmeutvikling, kontinuerlig forløp og nøkkeldata, modelldata for egenskapsfunksjonen for isoterm varmeutvikling, adiabatisk temperaturutvikling og avbindingstid basert på et varmeutviklingskriterium



Figur 1 Herdekasser

Referanser

Prosedyren er basert på NS 3656 "Betongprøving – reaksjonshastighetens temperatur- avhengighet", brukerveiledning for regnearket "Herdekasse" og notat om "Bruk av Solver i Excel" datert 2004-01-13 utarbeidet av Sverre Smeplass.

Utstyr

Herdekasse (kubisk) med indre mål 250·250 mm av 10 mm forskalingsplater med varmeledningssevne ca. 0,4 W/(m·K) utenpå plater av 100 mm ekstrudert polystyren med varmeledningsevne ca. 0,03 W/(m·K).

Fasthet-/temperaturutvikling

Søppelsekk som plasseres i herdekassen før utstøping. Dette for å forenkle avforming og rengjøring.

Skuffel med en bredde på ca. 100 mm.

Komprimeringsstav med sirkulært tverrsnitt, rett, laget av stål med en diameter på (16 ± 1) mm, en lengde på (600 ± 5) mm og med avrundede ender.

Termometer med en nøyaktighet på ± 1 °C eller bedre.

Termotråd type T som kobles til Spider eller Picolog og datamaskin for kontinuerlig logging.

Klimarom med 38 ± 2 °C (ingen krav til RF).

SINTEF Byggforsk Betong- og natursteinlaboratoriet	KS 14-05-04-138 Herdekasse	Gradering Intern	Side 2 av 7
Utarbeidet av Lars Haugan	Godkjent av Ola Skjølvold	Versjon 1	Gyldig fra 2011-03-31

Prøvetaking

Prøven(e) skal tas ut i samsvar med NS-EN 12350-1. Nødvendig volum for utstøping av 1 prøve er 16 liter betong. Det skal derfor brukes betong fra en blanding på minst 24 liter for 1 prøve (1,5 ganger nødvendig volum for utstøping).

Utførelse

Prøvelegeme

Før forsøket startes, legges en søppelsekk i herdekassen for å forenkle avforming og renhold. Satsen blandes ved en temperatur på 20 ± 2 °C. Delmaterialene som brukes skal også ha en temperatur på 20 ± 2 °C. Temperatur i betongen og omgiende luft måles og noteres umiddelbart etter avsluttende blandedeprosedyre.

Herdekassen fylles med tre lag, der hvert lag utgjør ca. en tredel av høyden på kassen når den er komprimert. Hvert lag komprimeres med 25 støt med komprimeringsstaven. Støtene fordeles jevnt over tverrsnittet av hvert lag, og skal trenge gjennom til underliggende lag. Utstøpingen skal være ferdig senest 20 min etter vanntilsetning. Termotråd plasseres sentrisk i det kubiske prøvelegemet. Termotråden bør ikke være lengre enn 10 m.

Lagring av prøvelegemer

Prøvelegemene lagres i herdekassen i klimarom med 38 ± 2 °C.

5.2 Måling av temperaturutvikling

En datamaskin registrerer og logger temperatur ved hjelp av programmet Picolog.

Resultater

Resultatene behandles i Excel-filen "2009-10-28 Herdekasse.xlt" som ligger under:

I:\REGNEARK\HERDEKASSE\

Inndatacellene i regnearket har gul bakgrunnsfarge. Utdatacellene har grønn bakgrunnsfarge. En rekke kolonner med beregningsceller er skjult for å gi bedre oversikt over resultatene fra beregningene. Det er ikke lagt skrivesperre på synlige beregningsceller. Overskriving av ikke sperrede beregningsceller vil føre til feil i beregningene.

Innkopiering av måledata

Fasthet-/temperaturutvikling

Måledata fra herdekassen (tid, betongtemperatur og omgivelsestemperatur) redigeres i eget regneark slik at formatet stemmer overens med de tre første kolonnene i datatabellen nederst på regnearket "Herdekasse". Datakolonnene kopieres inn over eksisterende data. Overflødige datalinjer nederst i datatabellen slettes (slett kun verdiene, ikke radene).

SINTEF Byggforsk Betong- og natursteinlaboratoriet	KS 14-05-04-138 Herdekasse	Gradering Intern	Side 3 av 7
Utarbeidet av Lars Haugan	Godkjent av Ola Skjølvold	Versjon 1	Gyldig fra 2011-03-31

Tidsinkrementet ("Time [h]") i datasettet velges fritt, og kan gjerne variere. Dersom datasettet mangler informasjon om betongtemperatur umiddelbart etter blanding ($t=0$), settes normalt betong- og lufttemperatur ved $t=0$ lik første reelle måling.

Dataplott og utdataceller oppdateres automatisk når nye temperaturdata legges inn, men vil ikke gi riktige verdier før materialdata oppdateres og tilpasningsrutinene er kjørt.

Materialdata ("Concrete parameters")

Betongens varmekapasitet, c_p , i fersk tilstand ("Heat capacity (fresh)") er avhengig av betongsammensetningen og varierer normalt fra 1,0 til 1,1 J/(g·K). Aktuell varmekapasitet estimeres ved å summere produktene av reseptdata og delmaterialenes varmekapasitet og dividere summen med betongens teoretiske densitet (hentes fra proporsjoneringsregulering). Hvis et estimatet kan det antas at alle faste delmaterialer har en varmekapasitet på 0,8 J/(g·K). Hvis varmekapasitet er 4,2 J/(g·K).

Concrete parameters	
Temp. trans. coeff	0.0157
Density	2395
Heat capacity (fresh)	1.09
Heat capacity (hardened)	1.04
Cement content	433
Set time	4.8
A - set time	30000
B - set time	1400
A - hydration	30000
B - hydration	1400
Adia. start temperature	20

Betongens varmekapasitet i herdet tilstand ("Heat capacity (hardened)") er prinsipielt litt lavere enn i fersk tilstand. Aktuell varmekapasitet kan estimeres som over, men vannets bidrag reduseres ved å anta at kjemisk bundet vann nå inngår i de faste delmaterialene. Kjemisk bundet vann estimeres ved å multiplisere sementmengden med antatt hydratasjonsgrad (f.eks. 0,5) og sementens kjemiske vannbinding (0,25). Dette gir en reduksjon av betongens varmekapasitet etter endt hydratasjon på ca 5%. Forløpet av varmekapasiteten mellom de to grenseverdiene antas å følge varmeutviklingen.

Merk at dersom isotherm varmeutvikling beregnes med basis i ulik varmekapasitet i fersk og herdet betong kan beregningsresultatet bare brukes i simuleringprogrammer som har mulighet til å ta hensyn til denne spesielle effekten.

I de aller fleste tilfeller settes varmekapasiteten i herdet tilstand lik varmekapasiteten i fersk tilstand.

Sementinnhold ("Cement content") oppgis i kg/m^3 betong. Det er vanlig å direkte inkludere eventuelt silikastøv i sementmengden ved rapportering av produsert varme pr bindemiddelenhet. (I prinsipp vil imidlertid silikastøv bidra til varmeproduksjonen med en virkningsfaktor relativt til ordinær portlandssement i området 1-3).

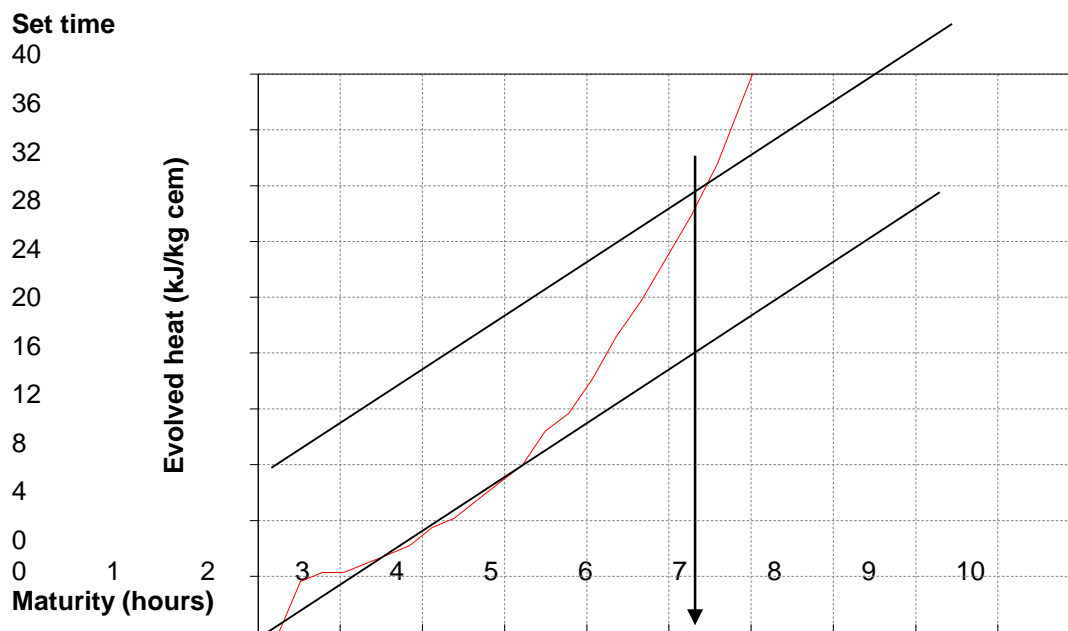
Avbindingstid ("Set time") oppgis i reell tid. Avbindingstiden kan måles eller bestemmes direkte fra herdekasseforsøket. For sistnevnte brukes regnearket "Avbindingstid" der avbindingstiden bestemmes grafisk som angitt i det følgende.

Avbindingstiden defineres som det tidspunktet der utviklet varme er 12 kJ/kg høyere enn terskelnivået for hvileperioden. Terskelnivået bestemmes manuelt ved å tilpasse en rett linje til varmeutviklingskurven i hvileperioden. En kopi av linjen for terskelnivået plasseres i det samme bildet og forskyves parallelt med den originale linjen slik at avstanden mellom de to linjene blir 12 kJ/kg sement. Avbindingstiden finnes nå som modenhetsverdien for skjæringspunktet mellom parallellinjen

Fasthet-/temperaturutvikling

og akkumulert varmeutvikling (se Figur 2). Tilsvarende reell tid leses av i datatabellen nederst i regnearket "Herdekasse" (rull nedover i kolonnen "*Maturity*" til du finner nærmeste verdi og les av "*Time*" i kolonnen lengst til venstre). Denne reelle tiden legges inn manuelt i inndatacellen for avbindingstid ("*Set time*").

SINTEF Byggeforsk Betong- og natursteinlaboratoriet	KS 14-05-04-138 Herdekasse	Gradering Intern	Side 4 av 7
Utarbeidet av Lars Haugan	Godkjent av Ola Skjølvold	Versjon 1	Gyldig fra 2011-03-31



Figur 2 Avlesning av avbindingstid

Avbindingstiden har betydning for beregningen av akkumulert isotherm varmeutvikling og adiabatisk temperaturutvikling bare i det tilfellet at det benyttes ulike aktiveringsenergi før og etter avbinding.

Aktiveringsenergi ("A-hydration" og "B-hydration") Konstantene i modellen for aktiveringsenergi kan bestemmes iht. NS 3656. Standarden gir en prosedyre for bestemmelse av aktiveringsenergien for hele herdeforløpet basert på måling av trykkfasthet. (Regnearket gir mulighet til å spesifisere ulik aktiveringsenergi i avbindings- og hydrasjonsfasene. Dette er bare aktuelt ved bruk av nedkjølt betong.) Dersom annen informasjon ikke er tilgjengelig kan konstantene $A = 33\,500$ kJ/mol og $B = 1470$ kJ/mol·°C benyttes både i avbindings- og hydrasjonsfasen.

Adiabatisk starttemperatur ("Adia. start temperature"): Det adiabatisk temperaturforløpet genereres fra den isoterme varmeutviklingen. Starttemperaturen er derfor uavhengig av det målte temperaturforløpet, og kan velges fritt. Normalt velges 20°C som starttemperatur. Adiabatisk temperaturstigning er i alle tilfeller oppnådd maksimaltemperatur minus adiabatisk starttemperatur.

Bestemmelse av avkjølingstall

Avkjølingstallet er avhengig både av herdekassens og betongens egenskaper, og må tilpasses i hvert enkelt tilfelle. Dersom avkjølingstallet er målt i et separat forsøk legges verdien inn manuelt.

Når avkjølingstallet ønskes beregnet på basis av resultatene i herdekasseforsøket, må størrelsen på den gjennomsnittlige varmeproduksjonen (dQ/dm) i et modenhetsintervall langt ute i herdeforløpet spesifiseres i tabellen "Temp. trans. coeff." øverst til høyre i regnearket "Herdekasse". Grenseverdien

Fasthet-/temperaturutvikling

for dQ/dm ved høye modenhetsverdier er prinsipielt lik $0 \text{ kJ}/(\text{kg}_{\text{cem}} \cdot \text{h})$. (tilsvarende avsluttet hydratasjon). Det er ikke mulig å oppnå modenhetsverdier høyere enn ca 400 mh (mh=maturity hours) i herdekasseforsøket. For praktisk bruk kan en aktuell

SINTEF Byggeforsk Betong- og natursteinlaboratoriet	KS 14-05-04-138 Herdekasse	Gradering Intern	Side 5 av 7
Utarbeidet av Lars Haugan	Godkjent av Ola Skjølvold	Versjon 1	Gyldig fra 2011-03-31

verdi for dQ/dm være 0,05 kJ/(kg_{cem}·h) i området 200-250 mh. Alternativt kan $dQ/dm = 0,10$ kJ/(kg_{cem}·h) i området 150-200 mh benyttes. Valg av kriterium for bestemmelse av avkjølingstallet er behandlet i egen rapport [STF65 A88031]. I prinsipp bør det modenhetsintervallet som velges for spesifisering av grenseverdien for dQ/dm ligge så langt ute i herdeforløpet som mulig.

Beregningen gjennomføres ved bruk av en separat regnearkmacro som aktiveres ved å trykke <Ctrl+t>.

Tilpasning av egenskapsfunksjonen for varme

Når alle materialdata er oppdatert og avkjølingstallet er bestemt, kan konstantene i egenskapsfunksjonen for akkumulert isotherm varmeutvikling (dansk modell) bestemmes ved hjelp av minste kvadratsums prinsipp. Det dataområdet som skal brukes i denne tilpasningen kan begrenses ved å velge en øvre grense for modenheten ("M-limit" under *Heat function* i regnearket "Herdekasse"). Dersom det skal legges størst vekt på tilpasningen i d herdeforløpet, bør "M-limit" settes til f.eks. 80 eller 100 mh. Dersom hele herdeforløpet sk grunn for tilpasningen velges i prinsipp en "M-limit" så høy som mulig innenfor det aktuelle datasett, f.eks. 300 mh.

M-limit	200
Q_{∞}	329
τ	11,73
α	0,99
R^2	0,9969
$\Sigma \Delta q$	3232

Tilpasningsmakroen aktiveres ved å velge makroknappen "Adapt heat function" <Ctrl+H>. (Tilpasningen er ressurskrevende og kan ta noen sekunder på de eldre datamaskiner.)

I tillegg til verdier for Q_{∞} , τ og α gir regnearket korrelasjonskoeffisienten, R^2 , for tilpasningen, samt det totale kvadratsumsavviket mellom egenskapsfunksjonen og målt varmeutvikling. Korrelasjonskoeffisienten bør være større enn 0,99 uansett valgt "M-limit" eller antall målepunkter i datasettet.

Nøkkeldata for varmeutvikling ("Heat polygon")

Egenskapsfunksjonen kan gi i noen tilfeller gi for dårlig tilpasning til det isoterme varmefo spesielt i den tidlige herdefasen. I IPACS-prosjektet er det valgt en løsning der det tas ut ti sammenhørende verdier for modenhet og akkumulert isotherm varme. Punktene velges si beskriver det aktuelle forløpet best mulig. I regnearket "Herdekasse" velges 10 nivåer for varme, og tilhørende modenhetsverdi identifiseres ved hjelp av en søke- og interpolasjon 10 sammenhørende verdiene er også plottet sammen med målt varmeutvikling og egenskapsfunksjonen i grafen for akkumulert isotherm varme.

Reference heat [kJ/kg cem]	Corresp. maturity [h]
0	0,0
10	2,8
20	4,2
40	6,0
80	8,6
120	11,3
160	14,7
200	22,5
240	41,1
300	124,6

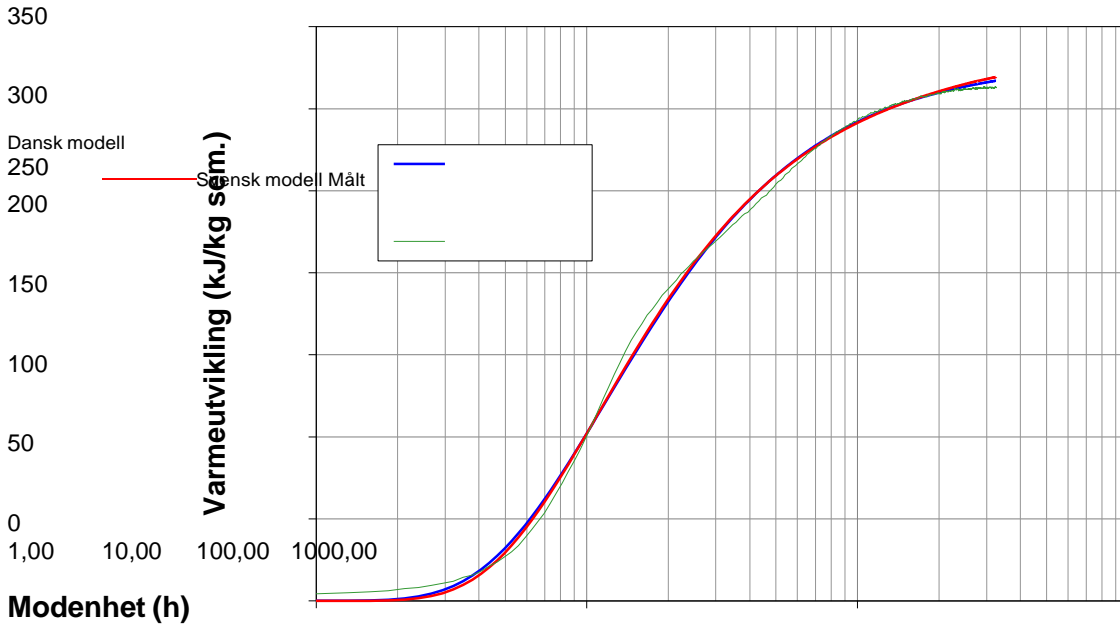
Svensk modell for varmeutvikling

Regnearket "Modeller" tilpasses den alternative egenskapsfunksjonen for isotherm varmeutvikling som brukes blant annet i simuleringsprogrammet "Hett" (svensk modell). Tilpasningen gjøres ved å velge en verdi for endelig varmeutvikling – f. eks. 20 kJ/kg høyere enn Q_{∞} fra regnearket "Herdeklasse"

Fasthet-/temperaturutvikling

(dansk modell) – og kjøre tilpasningsmakroen ved å velge makroknappen "Tilpass svensk modell". Dansk og svensk modell er plottet sammen med målt isoterm varmeutvikling i grafen i regnearket "Modeller". De to modellene gir normalt tilnærmet sammenfallende grafer (se Figur 3).

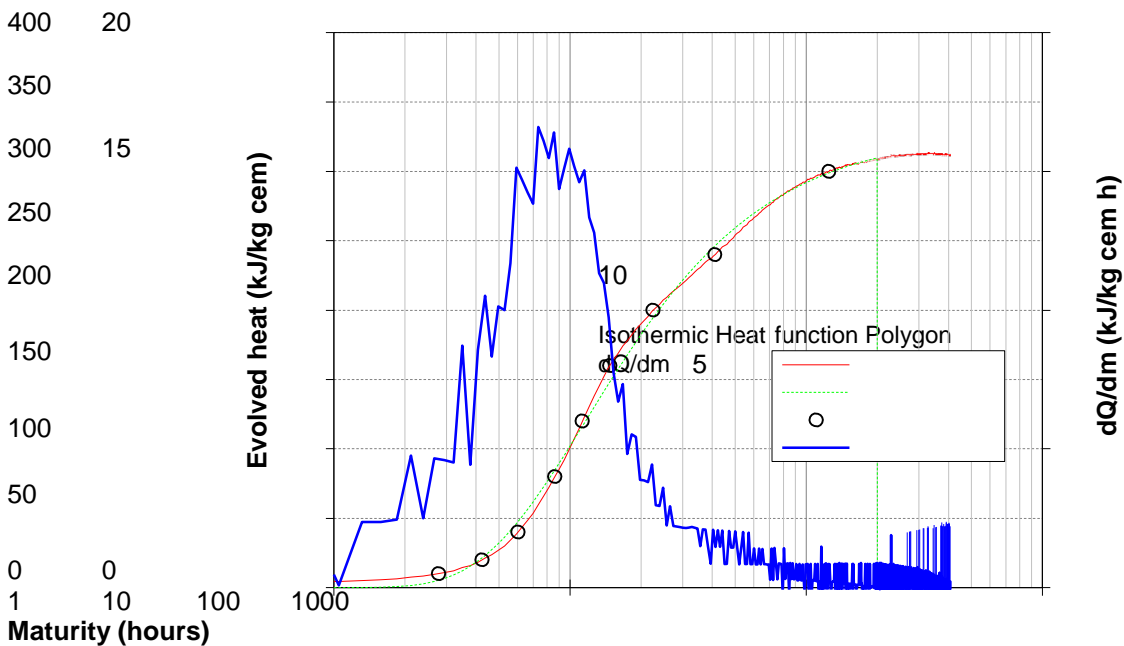
SINTEF Byggeforsk	KS 14-05-04-138	Gradering	Side 6 av 7
Betong- og natursteinlaboratoriet	Herdekasse	Intern	
Utarbeidet av	Godkjent av	Versjon	Gyldig fra
Lars Haugan	Ola Skiølsvold	1	2011-03-31



Figur 3 Graf som sammenstiller svensk og dansk modell for varmeutvikling mot modenhetstimer

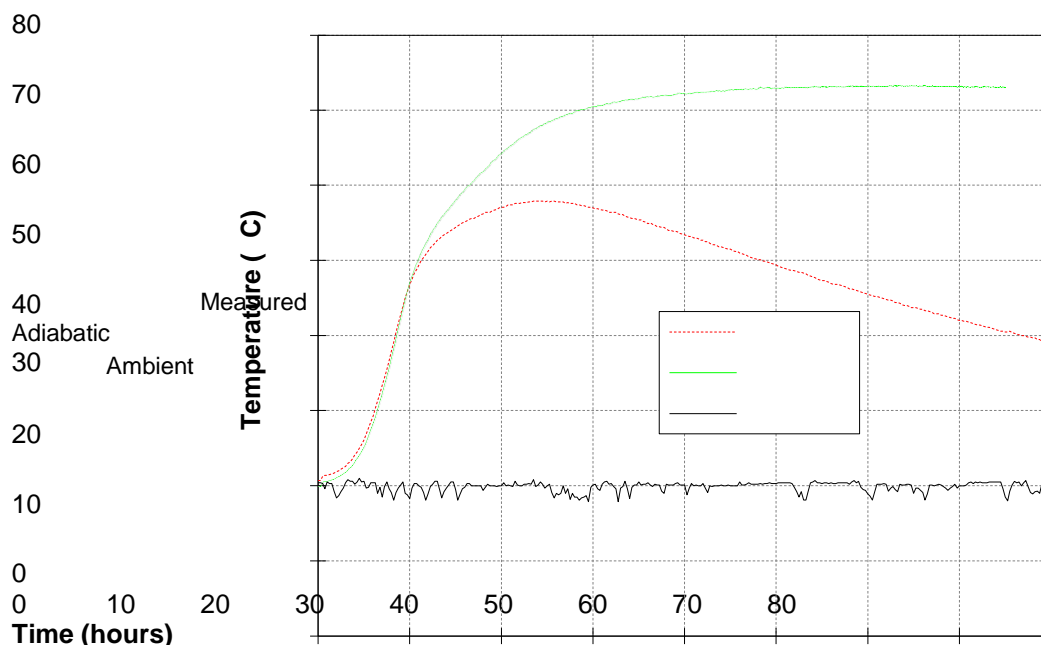
Eksempel

I det følgende er det gitt et eksempel på bruken av verktøyet "2009-10-28 Herdekasse.xlt".



Figur 4 Graf som viser varmeutvikling og endring i varmeutvikling over modenhetstimer

SINTEF Byggforsk Betong- og	KS 14-05-04-138 Herdekasse	Gradering Intern	Side 7 av 7
Utarbeidet av Lars Haugan	Godkjent av Ola Skjølvold	Versjon 1	Gyldig fra 2011-03-31



Figur 5 Graf som viser målt, adiabatisk og omgiende temperatur over tid

Feilsøking

Den vanligste feilen ved måling er at termometeret detter ut. Dette skyldes vanligvis vakkel i overganger/koblingspunkter eller for dårlig kontakt mellom trådmetallene.

Det er også viktig å kontrollere log for romtemperatur.

Rapportering

Prøvsrapporten skal inneholde:

navn og adresse på prøvingslaboratoriet,
 dato og identifikasjon av prøvsrapporten,
 prøvs metode (denne KS-ens nummer og tittel),
 eventuelle avvik fra metodebeskrivelsen,
 dato for prøving,
 betongsammensetning,
 prøvsresultater og
 annen informasjon for betydning for bedømmelse av resultatet.

Heat function	
M-limit	200
Q_{∞}	329
r	11,73
α	0,99
R^2	0,9969
$\Sigma \Delta q$	3232

Den beregnede verdien av akkumulert isoterm varmeutvikling, ΣQ_{∞} , oppgis uten desimaler. Verdiene

Fasthet-/temperaturutvikling

for τ og α oppgis med to desimaler. Korrelasjonskoeffisienten, R^2 , kontrolleres mot anbefalte 0,99 og oppgis med tre desimaler.

Kurve for estimering av avbindingstid (fra regnearket "Avbindingstid") klippes ut og limes inn i rapporten. Det samme gjøres med kurven for modenhet mot utviklet varme og dQ/dm , og kurven som viser målt, adiabatisk og omgiende temperaturutvikling over tid (begge fra regnearket "Herdekasse").