



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjoner og Materialer / Bygg	Vårsemesteret, 2011 Åpen
Forfatter: Henning Rasmussen (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså Veileder: Kjell Tore Fosså	
Tittel på masteroppgaven: Temperaturutvikling i betong	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Betong Temperaturutvikling Hydratisering Varmeutvikling Temperaturgradient	Sidetall: 87 + vedlegg: A-K Stavanger, 15.06.2011

Temperaturutvikling i betong

Sammendrag

Temperaturutvikling og egenskaper i en betong styres av bindemiddelet. Ved å bytte ut deler av sementen med pozzolan er det mulig å påvirke den totale varmeutviklingen og temperaturutviklingen. Temperaturgradienter styres også i stor grad av bindemiddelet og konstruksjonens utforming. Høye herdetemperaturer og temperaturgradienter fører til spenninger som kan medføre riss. Målsettingen for denne oppgaven er å se på bindemiddelets og konstruksjonens påvirkning av herdetemperaturer, spenninger i en konstruksjon som et resultat av konstruksjonens herdetemperaturer vil også bli diskutert.

Med hensyn til målsettingen i oppgaven gjennomføres det et litteraturstudium innen hvordan egenskapene i sement og pozzolaner påvirker temperaturutviklingen i betongen. Modeller som kan benyttes til å beregne temperaturforløp som f.eks. Arrhenius-funksjonen gjennomgås. Det gjennomføres blandinger i laboratoriet for å måle temperaturutvikling i betong med forskjellig mengde pozzolaner hvor trykkfasthet, temperaturutvikling og andre sentrale egenskaper måles. Disse måledata benyttes til å beregne betongens egenskapsfunksjon tilhørende varmeutviklingen.

Egenskapsfunksjonene til de forskjellige betongene blir brukt til å simulere varmeutviklingen og de tilhørende spenningene i en eksempelkonstruksjon som består av en bunnsplatt med påstøpt vegg i programvaren ConTeSt Pro.

Når egenskapsfunksjonene, temperaturutviklingen og resultatene fra simuleringen sammenlignes kommer det frem at det, ved å erstatte deler av sementen i en betong med pozzolan, er mulig å påvirke varmeutviklingen og redusere spenningene som kan gi riss. Konstruksjonens utforming vil også påvirke temperaturutviklingen.

Temperaturutvikling i betong

Forord

Da jeg skulle velge masteroppgave virket ”Temperaturutvikling i betong” som en spennende og utfordrende oppgave. Det har vist seg at dette ikke var feil og oppgaven har bydd på mange utfordringer både med laboratoriearbeid, teori og beregninger. Jeg har lært mye og opparbeidet ny kunnskap og forståelse om herdeteknologi og betongteknologi.

Jeg vil gjerne takke min veileder, Kjell Tore Fosså, som har vært til stor hjelp med sin kunnskap i herdeteknologi, oppfølging og gode diskusjoner. Videre vil jeg takke Samdar Kakay for god hjelp på betonglabben og medstudent Jørgen Kirkemo for glimrende assistanse ved blanding og støping av betongblandingene. Jeg vil også takke Morten Fosaas og Anne-Berit Rasmussen for god hjelp med korrekturlesing. Til sist vil jeg takke min familie for all støtte og oppmuntring de har gitt meg under min tid som student.

Henning Rasmussen, Stavanger, Juni 2011

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	iii
Forord	v
Innholdsfortegnelse	vi
1. Innledning	1
1.1 Hensikt med oppgaven	1
1.2 Prosjektbeskrivelse	1
1.3 Metoder.....	1
1.4 Materialer.....	2
1.5 Aktualitet	3
2. Teori.....	4
2.1 Sementens kjemiske oppbygning	4
2.2 Hydratisering	4
2.2.1 Hydratisering av klinker.....	4
2.2.2 Pozzolanets reaksjon	5
2.2.3 Hydratiseringsvarme	6
2.3 Temperaturutvikling i betong	7
2.3.1 Betongens varmeutvikling.....	7
2.3.2 Konstruksjoners varmetap.....	9
2.3.3 Arrhenius-funksjonen.....	9
2.3.4 Fourier´s ligning	11
2.3.5 Påvirkning av temperatur	12
2.4 Effekter av temperaturutvikling i betong.....	13
2.4.1 Egenskaper	13
2.4.2 Spenninger i fersk betong.....	14
2.4.3 Riss	16
2.4.4 Mulige tiltak	17
3. Laboratoriearbeid.....	18
3.1 Forutsetninger	18
3.2 Betongmatrikser.....	18
3.3 Gjennomføring.....	20
4. ConTeSt Pro.....	21
4.1 Om ConTeSt Pro	21

Temperaturutvikling i betong

4.2	Egenskapsfunksjoner varmeutvikling.....	22
4.3	Beregningsforutsetninger.....	22
5.	Resultater	25
5.1	Resultat Laboratoriearbeid	25
5.1.1	Betongmatrikser	25
5.1.2	Trykktesting	26
5.1.3	Temperaturmålinger	27
5.2	Resultat egenskaper	36
5.2.1	Egenskapsfunksjoner varmeutvikling	36
5.3	Resultat ConTeSt Pro	37
5.3.1	Bunnslabb.....	37
5.3.2	Vegg	45
6.	Observasjoner	65
6.1	Generelle observasjoner	65
7.	Diskusjon	66
7.1	Trykkfasthet.....	66
7.2	Temperaturutvikling	67
7.3	Egenskapsfunksjoner	71
7.4	ConTeSt Pro	72
7.4.1	Bunnslabb.....	72
7.4.2	Vegg	75
7.5	Konstruksjoner.....	82
8.	Konklusjon.....	84
9.	Referanser	85
10.	Vedlegg	87

1. Innledning

1.1 Hensikt med oppgaven

Temperaturutvikling og egenskaper i en betong styres i hovedsak av bindemiddelet, ved å bytte ut deler av sementen med pozzolan er det mulig å påvirke den totale varmeutviklingen og temperaturutviklingen. Temperaturgradienter styres også i stor grad av bindemiddelet og konstruksjonens utforming. Høye herdetemperaturer og temperaturgradienter fører til spenninger som kan medføre riss. Målsettingen for denne oppgaven er å se på bindemiddelets og konstruksjonens påvirkning av herdetemperaturer. Spenninger i en konstruksjon som et resultat av konstruksjonens herdetemperaturer vil også bli diskutert.

1.2 Prosjektbeskrivelse

Det skal gjennomføres et litteraturstudium innen hvordan effekten av egenskapene i sement og pozzolaner påvirker temperaturutviklingen i betongen. Også modeller som kan benyttes til å beregne temperaturforløp, som f.eks. Arrhenius-funksjonen, gjennomgås som en del av oppgaven. Videre gjennomføres det en del blandinger i laboratoriet for å måle temperaturutvikling i betong med forskjellig mengde pozzolaner. Også trykkfasthet og andre sentrale egenskaper måles. Disse måledata benyttes i beregninger og simuleringer av betongens egenskaper. Beregningsdelen inkluderer beregning av spenninger i tverrsnittet og nær støpeskjøt. Et eget program vil bli benyttet for å simulere temperaturer i en gitt konstruksjon. I tillegg benyttes programmet for å beregne spenninger i tverrsnittet p.g.a. temperaturutviklingen med forskjellige typer sammensetninger av sement i kombinasjon med flygeaske og Microsilica.

1.3 Metoder

I denne masteroppgaven er det planlagt å prøve ut betonger med forskjellige typer sement med varierende mengder pozzolan. Herdetemperaturene til disse betongene skal registreres og trykkfastheten prøves. Deretter skal disse resultatene brukes i beregninger av herdetemperaturer og spenninger i en eksempelkonstruksjon ved hjelp av programvaren ConTeSt Pro.

1.4 Materialer

I laboratoriearbeidet skal det blandes forskjellige betonger i henhold til program, støpes terninger til testing av trykkfasthet og støpes i herdekasser for å måle temperaturutviklingen i herdefasen.

Materialene som brukes til å blande disse betongene er:

Sement

- Norcem Industri
- Norcem Anlegg
- Norcem Standard

Pozzolan

- Flygeaske
- Elkem Microsilica

Tilslag

- Forsand 0-5
- Forsand 5-8
- Forsand 8-16
- Forsand 11-16

Tilsetningsstoff

- Dynamon SX-N

1.5 Aktualitet

I massive betongkonstruksjoner vil det oppstå høye herdetemperaturer og i forbindelse med disse også høye temperaturgradienter som kan medføre spenninger i konstruksjonen. Disse spenningene kan gi riss som svekker konstruksjonens kvalitet. For å forhindre dette er det ønskelig og ha lavest mulig herdetemperatur og lav temperaturgradient.

Når sement og vann hydratiserer dannes det varme som fører til en temperaturøkning i betongens herdefase. Ved å bytte ut noe sement med pozzolan skal det være mulig å skape en lavere herdetemperatur og minske faren for riss.

Dette gjør denne oppgaven spesielt aktuell da det stadig stilles strengere krav til kvaliteten i betongkonstruksjoner, maksimum tillatt herdetemperatur og temperaturgradienter.

2. Teori

2.1 Sementens kjemiske oppbygning

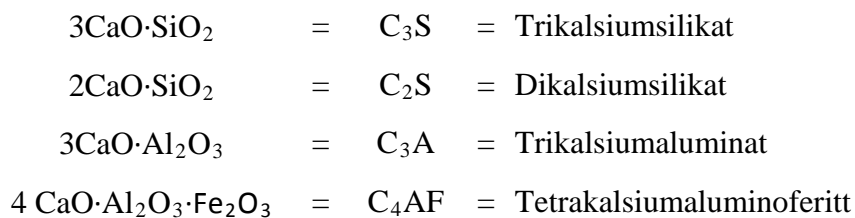
Når sement tilvirkes skjer dette ved å brenne kalkstein til klinker. Klinkeren blir blandet med små mengder kalsiumsulfat (gips) og finmalt til sement. [1]

Typisk kjemisk oppbygning av klinkeren er:

Tabell 1: Klinkerens kjemiske oppbygning. [1]

CaO	60-67 %
SiO ₂	17-24 %
Al ₂ O ₃	4-7 %
Fe ₂ O ₃	1,5-5 %
MgO	1-5 %
SO ₃	0,5-3,5 %
K ₂ O + Na ₂ O	0,2-1,5 %

Disse danner igjen de fire hovedfasene til klinker: [1]



2.2 Hydratisering

2.2.1 Hydratisering av klinker

Hydratiseringen skjer når vann blir tilsatt sementen, det skjer altså en kjemisk reaksjon mellom klinkerens fire hovedfaser, se 2.1, og vannet. [1]

Når C₃S og C₂S reagerer med vann dannes kalsium silikat hydrat (C-S-H), og kalsiumhydroksid som vist i tabell 2 og 3. [1]

Temperaturutvikling i betong

Tabell 2: Hydratiseringsreaksjonen til C_3S . [1]

$2(3CaO \cdot SiO_2)$	+	$6 H_2O$	\rightarrow	$3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$	+	$3Ca(OH)_2$
Trikalsiumsilikat	+	Vann	\rightarrow	C-S-H	+	Kalsiumhydroksid

Tabell 3: Hydratiseringsreaksjonen til C_2S . [1]

$2(2CaO \cdot SiO_2)$	+	$4H_2O$	\rightarrow	$3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$	+	$Ca(OH)_2$
Dikalsiumsilikat	+	Vann	\rightarrow	C-S-H	+	Kalsiumhydroksid

Reaksjonen til C_3A , tabell 4 og 5, er mer kompleks og reagerer først med gips og former ettringitt ($C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 31H_2O$) rundt overflaten av C_3A -kornene, dette bremser den videre reaksjonen. Ettringitten er kun stabil så lenge det finnes gips som ikke har reagert i sementen. Når gipsen er brukt opp blir det mangel på sulfat og ettringitten vil forme monosulfat ($C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$). Dersom betongen nå blir utsatt for sulfat vil monosulfatet gå tilbake til ettringitt, og siden ettringitt er stavformede krystaller vil betongen bli utsatt for sprekking, dette kalles sulfatangrep. [1]

Reaksjonen til C_4AF er lik den til C_3A , som vises i tabell 4 og 5, men denne reaksjonen går betydelig langsommere. [1]

Tabell 4: Dannelse av Ettringitt. [1]

C_3A	+	H_2O	+	$CaSO_4 \cdot 2 H_2O$	\rightarrow	$C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 31H_2O$
Trikalsiumaluminat	+	Vann	+	Gips	\rightarrow	Ettringitt

Tabell 5: Dannelse av Monosulfat. [1]

C_3A	+	H_2O	+	$C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 31H_2O$	\rightarrow	$C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$
Trikalsiumaluminat	+	Vann	+	Ettringitt	\rightarrow	Monosulfat

2.2.2 Pozzolanets reaksjon

Pozzolan er en samlebetegnelse for silisiumholdige materialer som reagerer med kalsiumhydroksidet i sement. Flygeaske er et biprodukt av kullbrenning i kraftverk mens Microsilica er et biprodukt av smelteprosessen til silikon og ferrosilikon. Hovedforskjellen på Microsilica og flygeaske er bulkdensitet, partikkelstørrelse og innhold med reaktivt SiO_2 , se tabell 6. [10, 11, 12]

Tabell 6: Densitet, partikkelstørrelse og innhold av SiO₂ i flygeaske og Microsilica.

[1, Vedlegg D, Vedlegg E]

	Microsilica	Flygeaske	
Densitet	200-350	2300	[kg/m ³]
Partikkelstørrelse	<5	<45	[μm]
SiO ₂	>90	>50	[%]

Silikaen i pozzolanet er ikke-reaktivt med vann men reagerer med kalsiumhydroksidet, tabell 7, som dannes under hydratiseringen av sement, se 2.2.1. Dette fører til en økt mengde sementpasta i betongen. Som vist i tabell 6 har Microsilica, i tillegg til høyt SiO₂-innhold, en partikkelstørrelse som er mye mindre enn sement og flygeaske, den vil derfor gi en fillereffekt som vil øke styrken og redusere permeabiliteten i herdet betong og gi en seigere fersk betong med redusert blødning. [6, 10]

Tabell 7: Reaksjonsforløpet til SiO₂. [1]

2SiO ₂	+	3Ca(OH) ₂	→	3CaO·2SiO ₂ ·3H ₂ O
Silika	+	Kalsiumhydroksid	→	C-S-H

2.2.3 Hydratiseringsvarme

Når klinkerens fire hovedfaser hydratiserer, se 2.2.1, blir det avgitt varme fra hydratiseringsreaksjonene. Ved full hydratisering er varmeutviklingen for hovedfasene omtrent som følger: [1]

$$C_3S = 500 \text{ [kJ/kg]}$$

$$C_2S = 260 \text{ [kJ/kg]}$$

$$C_3A = 900 \text{ [kJ/kg]}$$

$$C_4AF = 300 \text{ [kJ/kg]}$$

C₃S reagerer hurtig og påvirker derfor fasthetsutviklingen i tidlig herdefase mens C₂S reagerer sakte og gir derfor et mye større bidrag til fasthetsutviklingen i sen herdefase, C₂S er derfor nyttig i lavvarmesementer. C₃A reagerer veldig raskt og vil føre til herding innen minutter, gips blir derfor tilsatt sementen for å danne ettringitt rundt C₃A kornene og retardere reaksjonsforløpet. C₄AF har en sein reaksjon og bidrar lite til fasthetsutviklingen. [1]

Temperaturutvikling i betong

Typisk varmeutvikling ved full hydratisering av Portlandsement er fra 400kJ/kg – 500kJ/kg. Dette varierer også med finheten på sementen og den kjemiske sammensetningen. [1]

2.3 Temperaturutvikling i betong

2.3.1 Betongens varmeutvikling

Varmeutviklingen i en betong avhenger av hydratiseringsvarmen i sementen, se 2.2.3. En full hydratisering av sementen i en betong er umulig, dette fordi hydratiseringsgraden avhenger av tilgjengelig vann. Hydratiseringsprosessen fører til at sementkornene blir innkapslet i C-S-H, den videre hydratiseringen avhenger da av hvor diffusjonstett sementpastaen er. En finkornet sement har større diffusjon enn en grovkornet og vil derfor oppnå høyere hydrasjon. Siden hydrasjonen er avhengig av tilgjengelig vann vil en betong med lavt v/c-tall gi lavere hydrasjon enn en med høyt v/c-tall. [1]

Hydratiseringshastigheten vil variere med sementens kjemiske sammensetning og finhet, den vil også bli påvirket av temperaturen, se 2.3.3. Det er også mulig å påvirke hydratiseringshastigheten ved bruk av tilsetningsstoffer, selv om dette er i liten grad, derimot vil den ikke bli påvirket av v/c-tall. [7]

Hydratiseringsgraden, α , er et uttrykk for hvor stor del av sementen som er hydratisert ved et gitt tidspunkt og kan også uttrykkes ved hjelp av hydratiseringsvarme eller masse av ikke-fordampet vann. [1]

Hydratiseringsgraden, α :

$$\alpha = \frac{\text{Masse hydratisert sement}}{\text{Opprinnelig mengde sement}} = \frac{m_{wn}}{m_{wn,slutt}} = \frac{Q}{Q_{\infty}}$$

Klinkerens fire hovedfaser har forskjellige reaksjonshastigheter og varmeutviklinger, se 2.2.3, noe som fører til at betongen blir tilført forskjellige varmemengder ved forskjellige tidspunkt. Varmeutviklingen i betongen blir derfor delt opp i 5 forskjellige reaksjonsperioder som vist i figur 1. [1]

Temperaturutvikling i betong

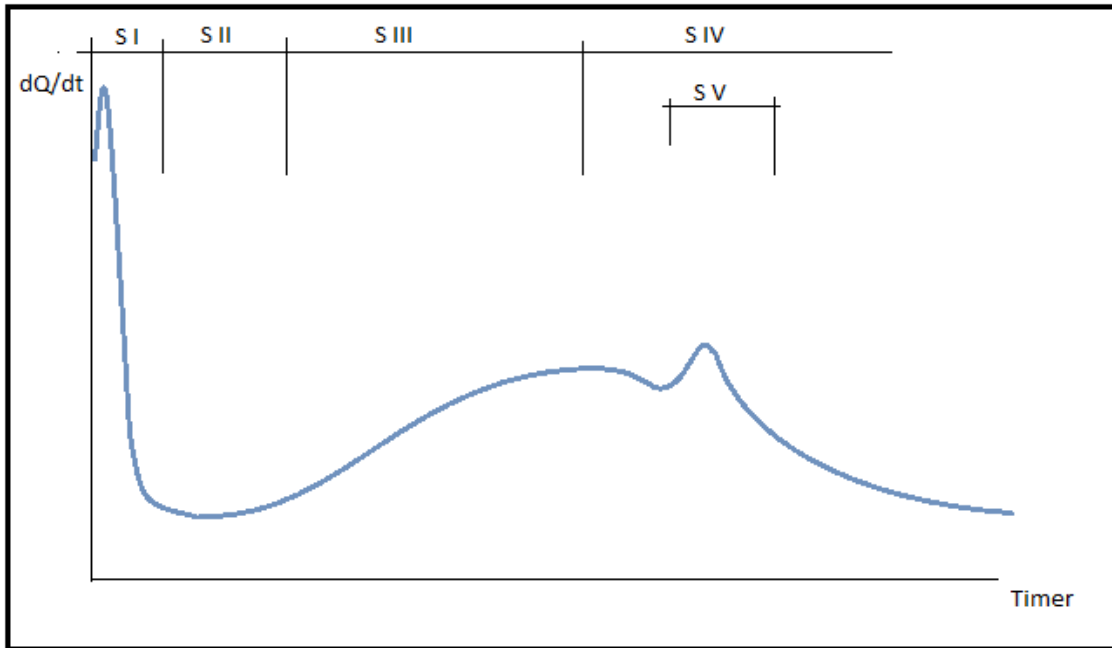


Fig 1: Varmeutviklingens 5 reaksjonsperioder. [1]

- S I: Direkte etter at vann er tilsatt sementen skjer overflatereaksjonen til klinkeren. Storparten av varmen som oppstår i denne perioden, som varer i 10-20 min, kommer fra ettringitt-dannelse rundt C_3A .
- S II: Dette er en hvileperiode som varer i 2-4 timer, kan påvirkes av tilsetningsstoffer. Oppløsning av kalsiumhydroksid fortsetter i denne perioden inntil det når et nivå som vil aktivere hydreringen av C_3S .
- S III: Dette er akselerasjonsperioden hvor hydratiseringshastigheten øker gradvis og herdingen starter. Denne perioden er i hovedsak styrt av C_3S og vil vare i ca. 5-10 timer ved $20^\circ C$. Hydratiseringshastigheten vil variere ved varierende temperatur og maksimal hastighet er på slutten av perioden.
- S IV: Dette er retarderingsperioden hvor C-S-H binder vannet i betongen, former seg som større faststoff på overflaten av C_3S og mellom klinkerkornene. De indre transportprosessene minker, dette gir kontroll på den indre diffusjonen og hydratiseringshastigheten minker.
- S V: Dersom gipsen er blitt brukt opp i de tidligere reaksjonene vil C_3A og ettringitt danne monosulfat og gi en topp i varmeutviklingen.

2.3.2 Konstruksjoners varmetap

Dersom det ikke overføres varme mellom konstruksjonen og omgivelsene ($Q=0$) vil det være en adiabatisk prosess. I en adiabatisk prosess kan varmeutviklingen føre til en temperaturøkning, gjerne på over 60 °C. En tykk konstruksjon vil ha mindre varmetap til omgivelsene enn en tynn konstruksjon. Den tykke konstruksjonen vil derfor oppnå en høyere kjernetemperatur. Dette vil også være tilfelle for en godt isolert betongkonstruksjon kontra en uisolert konstruksjon. Samtidig vil varmetapet i overflaten være større enn i kjernen, noe som påvirker temperaturgradienten, se 2.4.2. [1, 4, 13]

Adiabatisk temperaturøkning i betong, $\Delta\theta$;

$$\Delta\theta = \frac{Q_{\infty} \times C}{\rho \times c_b}$$

$\Delta\theta$	=	Temperaturøkning	[°C]
Q_{∞}	=	Utviklet varme pr. enhet sement	[kJ/kg]
C	=	Sementinnhold	[kg/m ³]
ρ	=	Spesifikk varmekapasitet i fersk betong (1,09)	[kJ/kg·°C]
c_b	=	Densitet betong	[kg/m ³]

2.3.3 Arrhenius-funksjonen

For å beskrive relasjonen mellom kjemisk aktivitet og temperatur i en reaksjon benyttes Arrhenius-funksjonen. Den gjør det mulig å bestemme hydrasjons-hastighet, $H(\theta)$, aktiviseringsenergien, $E(\theta)$, ved en gitt temperatur, θ , og modenheten, M . [1, 2, 3]

Arrhenius-funksjonen: [14]

$$k = A \times e^{-\frac{E_a}{R \times T}}$$

Temperaturutvikling i betong

Hvor:

k= Hastighetskonstant

A= Frekvens faktor

E_a = aktiviseringsenergien

R= gasskonstant, 8,314 J/mol·°C

T= temperatur i kelvin

Når vi ser på temperaturutviklingen i betong er dette over et begrenset temperaturområde, frekvensfaktoren A vil da være konstant. [2]

Hastighetskonstanten k representerer hydrasjonshastigheten, $H(\theta)$. Aktiviseringsenergien, E_a , er avhengig av temperatur og vil derfor bli omtalt som $E(\theta)$.

$$k = H(\theta)$$

$$E_a = E(\theta)$$

Videre vil vi at hydrasjonshastigheten defineres som 1,0 temperaturen 20 °C, det krever at $T=0$ og $A=1,0$.

$$T = \theta \rightarrow \frac{1}{\theta} = \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + \theta} \right)$$

$$A = 1,0$$

$$\rightarrow H(20) = 1,0$$

Innsatt gir dette:

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

Temperaturutvikling i betong

Modenheten, M , beskriver den virtuelle alderen til en gitt betong. Ved å integrere hydrasjonshastigheten ved en gitt temperatur med hensyn til tid får vi modenheten. [1]

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

$$\theta = \theta(t)$$

2.3.4 Fourier's ligning

I en betongkonstruksjon, system, hvor det blir utviklet hydratiseringsvarme, vil det alltid være en overføring av varme, Q , mellom systemet og omgivelsene. Dersom det ikke er varmeoverføring ($Q=0$) er det en adiabatisk prosess, se 2.3.2. Varme som blir overført til et system er positiv mens varme som overføres fra systemet er negativ. For å se hvor mye varme et system avgir må vi integrere varmeoverføringen over tiden t , dersom vi deriverer vil vi få hastigheten på varmetransporten. [3]

Mengden varme som blir overført fra et system er da:

$$\int_{t_1}^{t_2} Q dt = Q_{1-2}$$

Den totale varmeoverføringen vil være:

$$\int_{t_0}^{\infty} Q dt = Q_{\infty}$$

Varmeoverføringshastigheten er:

$$Q' = \dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$$

Temperaturutvikling i betong

Varmeoverføring er transport av energi p.g.a. temperaturforskjeller i forskjellige materialer. Denne varmeoverføringen skjer mellom nærliggende molekyler. Molekyler med høyere energi enn gjennomsnittet vil overføre energi til molekyler med lavere energi enn gjennomsnittet. Dette bytte av energi kalles varmeledning og øker når temperaturforskjellen øker. Denne varmeoverføringen er uttrykt i Fourier's ligning. [3, 4]

Fourier's ligning i en dimensjon: [4]

$$Q' = -kA \frac{dT}{dx}$$

k=Materiallets konduktivitet

A= Massens areal

Fourier's ligning i to dimensjoner for betong: [15]

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + Q'$$

ρ = betongens densitet

C_p = betongens varmekapasitet

k= betongens konduktivitet

T= temperatur

t= tid

Q' = indre varmeutvikling

2.3.5 Påvirkning av temperatur

Omgivelsestemperaturene i herdefasen vil påvirke hydratiseringen. Som vist i figur 2 vil hydratiseringshastigheten, $H(\theta)$, som er definert til 1,0 ved 20 °C, minke ved lavere temperaturer og øke ved høyere temperaturer. [1]

Temperaturutvikling i betong

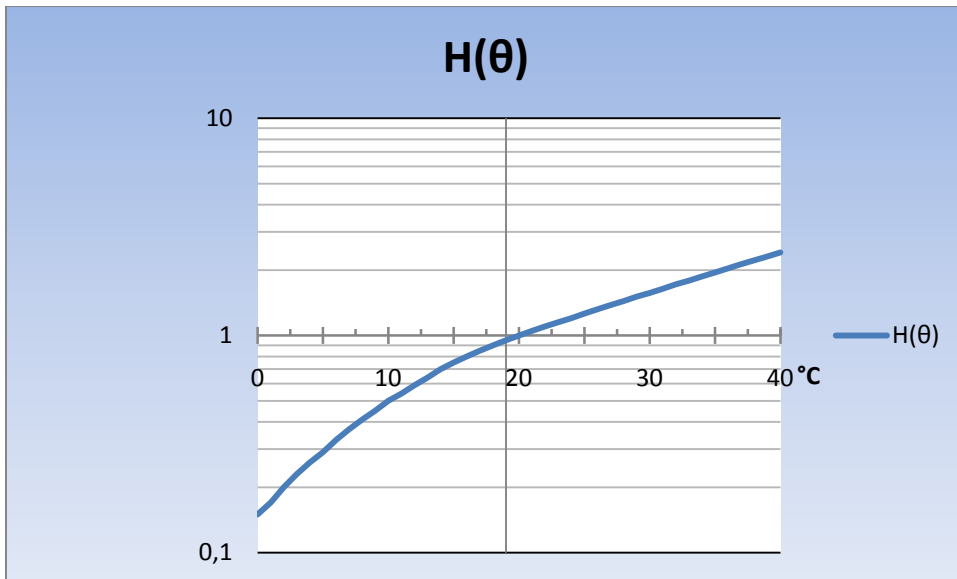


Fig 2: Temperaturpåvirkning av hydratiseringshastigheten. [1]

Samtidig vil aktiviseringsenergien, $E(\theta)$, som er konstant over 20 °C, øke når temperaturen blir lavere. [1]

$$E(\theta) = X1 + X2 \cdot (20 - \theta) \quad \theta \leq 20 \text{ °C}$$

$$E(\theta) = X1 \quad \theta > 20 \text{ °C}$$

Verdiene for $X1$ og $X2$ vil variere med sementtype, v/b-tall og pozzolaninnhold, men typiske verdier for normal Portland sement med v/b=0,6 og ca 300 kg/m³ sement vil $X1$ være i område 33,5 kJ/mol og $X2$ rundt 1-1,5 kJ/mol·°C. [1]

Ekstreme temperaturer i herdefasen er ugunstig da det ved temperaturer under 0 °C vil bli fare for frost, vannet i betongen vil da fryse før ønsket hydrasjon er oppnådd og vil forringe betongens egenskaper, det samme gjelder for høye temperaturer der vannet vil fordampe før ønsket hydrasjon er oppnådd. Ved å iverksette egnede tiltak er det mulig å redusere/eliminere problemer med utstøpningstemperatur. [1]

2.4 Effekter av temperaturutvikling i betong

2.4.1 Egenskaper

En betong som blir utsatt for høye herdetemperaturer kan få dårligere kvalitet enn om den hadde herdet med lavere temperatur. Dette er fordi herdetemperaturen påvirker materialets

strukturformasjon og høye herdetemperaturer vil resultere i dårligere betongkvalitet og redusert styrke. [1]

Dersom herdet betong blir utsatt for sulfat vil dette reagere med monosulfatet som igjen vil forme ettringitt. Ettringitt er stavformede krystaller som vil, ved dannelse, påføre spenninger i konstruksjonen som fører til riss og en endring i strukturformasjonen som svekker fastheten. [1]

Høye herdetemperaturer vil resultere i en forsinket dannelse av ettringitt som fører til økt volum og risiko for oppsprekking. Dersom konstruksjonen er tilstrekkelig armert vil ettringitt dannelsen ikke føre til oppsprekking, men fastheten i betongen vil bli redusert. [8]

2.4.2 Spenninger i fersk betong

Når en betong herder og det blir en økt temperatur vil betongen utvide seg på lik linje som den vil trekke seg sammen når den blir kjøligere, dette gir en variasjon i betongens lengde, bredde og høyde, betongens volum. Betongens materialsammensetning gir en indre fastholding som ved volumendring vil resultere i spenninger i tverrsnittet. Dersom betongkonstruksjonen blir støpt på en eksisterende konstruksjon, vil dette føre til både store temperaturforskjeller over korte avstander og betongen vil bli fastholdt fra å utvide seg og krype, noe som resulterer i store spenninger. [1]

I henhold til BS EN ISO 19903:2006 skal temperaturdifferansen ikke overstige 10 °C pr. 100mm, overflatetemperaturen skal ikke falle under 0 °C og maksimalt tillatte temperatur i tverrsnittet er 70 °C. [16]

Temperaturutvikling i betong

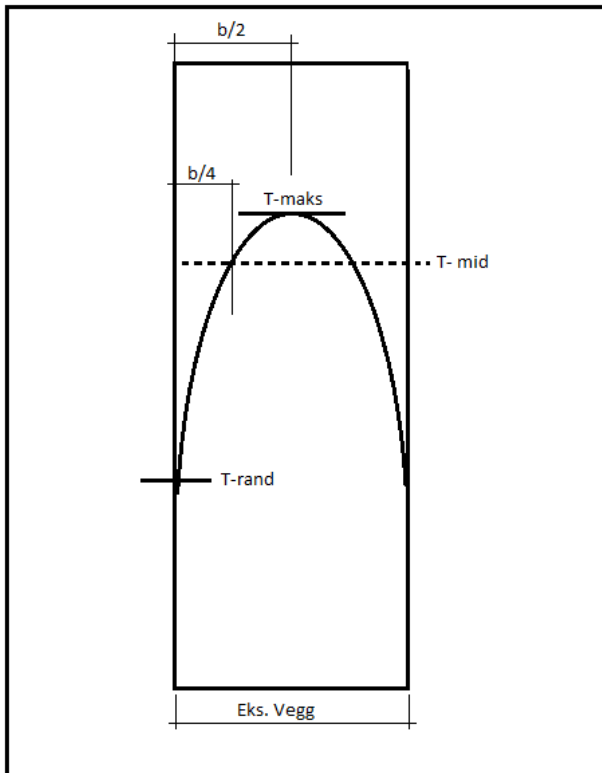


Fig 3: Temperaturgradient i et uisolert eksempelverrsnitt.

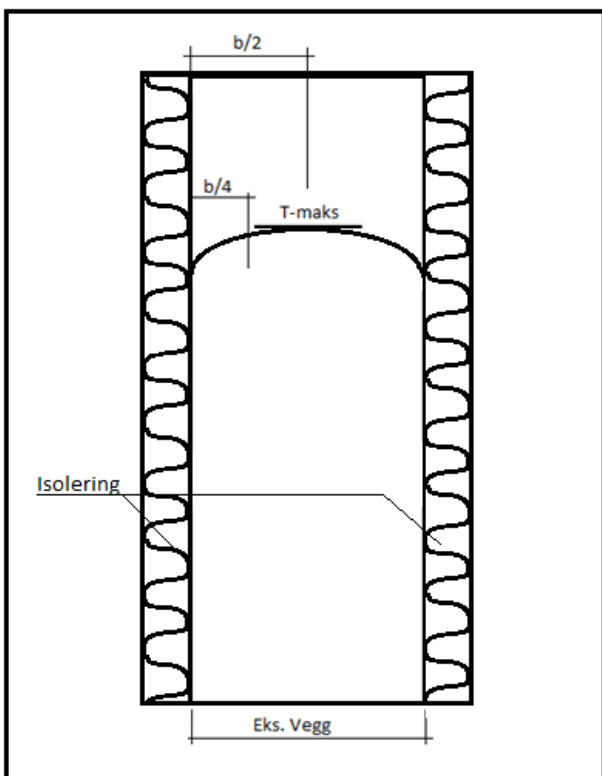


Fig 4: Temperaturgradient i et isolert eksempelverrsnitt

Det er mulig å påvirke temperaturgradientene ved bruke en forskalling med god isoleringsevne, figur 4, noe som vil gi lavere gradienter enn en uisolert forskalling, figur 3.

Når temperaturgradientene reduseres ved å bruke isolert forskalling vil derimot temperaturen øke gjennom hele tverrsnittet, dette er et resultat av redusert varmeoverføring til omgivelsene, se 2.3.4.

2.4.3 Riss

Det oppstår spenninger i herdefasen til en betong som et resultat av ettringittdannelse, volumendring i forbindelse med fastholding og temperaturgradienter. Dersom spenningene i et gitt tidsrom er større enn betongens strekkapasitet i det samme tidsrommet vil det oppstå riss. [1]

Riss er sprekker i betongen og disse vil forringe konstruksjonens kvalitet, både når det gjelder estetikk og egenskaper. I figur 5 er riss i overflaten og riss som er gjennomgående, illustrert.

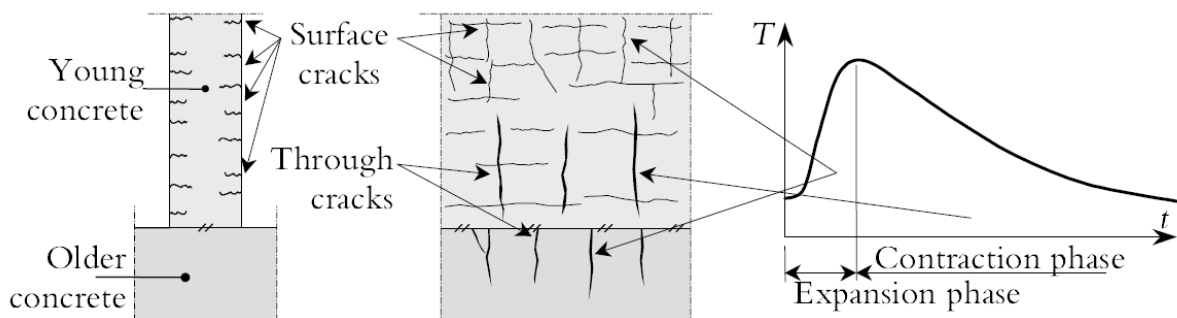


Fig 5: Riss i overflaten og gjennomgående riss, begge som et resultat av temperaturutvikling. [9]

Riss p.g.a. indre fastholding, se 2.4.2, oppstår som et resultat av store temperaturforskjeller er ofte i overflaten og vil forsvinne når betongen avkjøles. [1]

Riss p.g.a. ytre fastholding, se 2.4.2, oppstår i avkjølingsfasen vil ofte være gjennomgående. Figur 6 viser spenningene som oppstår ved ytre fastholding i avkjølingsfasen og hvordan dette fører til sprekker mellom konstruksjonene og reduisering i spenningene. [1]

Temperaturutvikling i betong

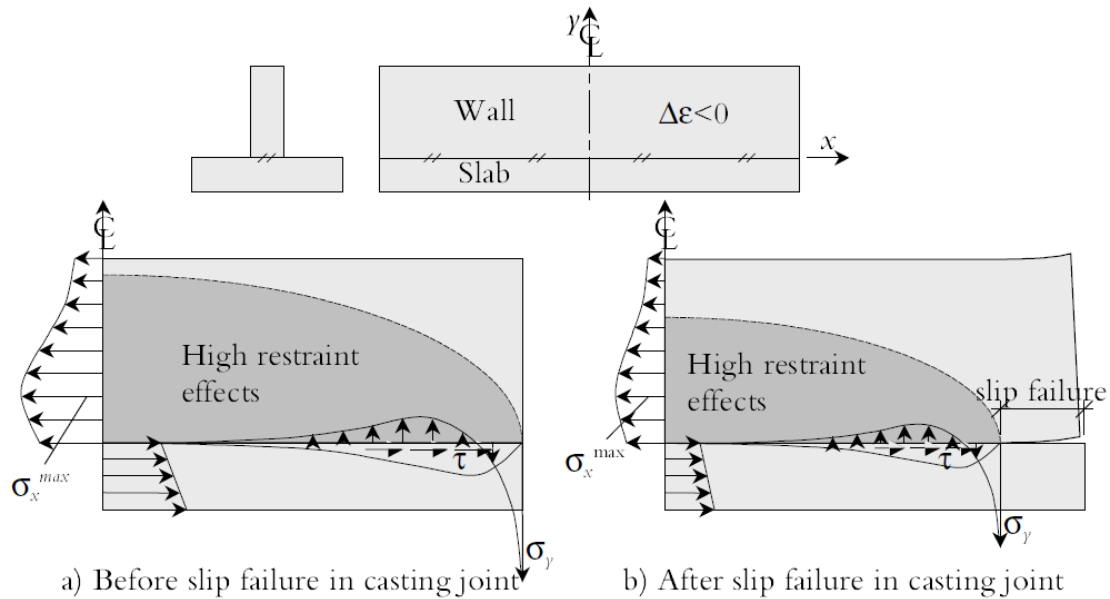


Fig 6: Dannelse av sprekker mellom to konstruksjoner p.g.a. temperaturutvikling. [9]

2.4.4 Mulige tiltak

Tiltak for å redusere den uønskede effekten ved høye herdetemperaturer er å isolere forskallingen, redusere betongens utstøpningstemperatur og redusere betongens varmeutvikling.

Ved å isolere forskallingen reduseres temperaturgradientene, men temperaturen i tverrsnittet vil øke. Det er derfor viktig å redusere temperaturen i betongen i tillegg til å redusere temperaturgradientene.

Betongens temperatur kan reduseres ved å redusere utstøpningstemperaturen, ved å kjøle ned tilslaget og vannet kan utstøpningstemperaturen senkes til ca 10 °C. Det kan også brukes kjølerør i konstruksjonen som vil bidra til holde kjernetemperaturen nede.

Varmeutviklingen kan reduseres ved å erstatte sement med pozzolan.

3. Laboratoriearbeid

3.1 Forutsetninger

Når betongene skal testes for temperaturutvikling i herdefasen er det viktig å få resultater som er mest mulig sammenlignbare. Siden det er betonger med forskjellige sement- og pozzolan innhold som skal sammenlignes, er det ønskelig å minimere innflytelse på varmeutviklingen fra andre komponenter. Blandevolumet, matriksmengden, mengden med sementlim og v/b holdes derfor konstant.

Komponentene som holdes konstante er:

v/b	=	0,4	
Mengde sementlim	=	301	[l/m ³]
Matriksmengde	=	325	[l/m ³]
Blandevolum	=	35	[liter]
Synkmål	=	180±20	[mm]

Ved å sette v/b og volumfraksjon av sementlim til konstant er det kun andelene med sement og pozzolan som kan variere. Når det totale blandevolumet er likt i alle blandinger gir det en kontroll på det totale volumet av sementlim og tilslag mens matriksmengden gir et konstant forhold mellom sementlim og tilslag.

3.2 Betongmatrikser

Betongene med forskjellige kombinasjoner av pozzolaninnhold, som skal testes, er vist i tabell 8 med tilhørende navneforkortelse. Disse forkortelsene vil bli brukt i den videre teksten ved referering til den enkelte betongmatriksen.

Temperaturutvikling i betong

Tabell 8: Forkortelser av de forskjellige betongmatriksene.

Pozzolan	Anlegg	Industri	Standard
0	A-0	I-0	S-0
15 % Flygeaske	A-F15	I-F15	S-F15
30 % Flygeaske	A-F30	I-F30	S-F30
50 % Flygeaske	A-F50	I-F50	S-F50
6 % Mikrosilika	A-S6	I-S6	S-S6
30 % Flygeaske + 6 % Mikrosilika	A-F30S6	I-F30S6	—
50 % Flygeaske + 6 % Mikrosilika	A-F50S6	I-F50S6	—

Den enkelte betongresept følger i tabell 9 hvor det er tørrvekt av tilslaget som er oppført.

Fukttinnholdet i tilslaget måles slik at massen og vanninnholdet kan redigeres deretter.

Materialene i reseptene er oppgitt i [kg/m³].

Tabell 9: Betongmatriksenes materialsammensetning.

Blandinger	Dynamon Forsand Forsand Forsand Forsand								
	Sement	Mikrosilika	Flygeaske	Vann	SX-N	0-5	5-8	8-16	11-16
	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
I-0	417,4	—	—	167,0	—	905,4	47,7	307,9	571,8
I-F15	354,3	—	53,1	163,0	—	905,4	47,7	307,9	571,8
I-F30	307,9	—	92,4	160,1	—	905,4	47,7	307,9	571,8
I-F50	262,2	—	131,1	157,3	—	905,4	47,7	307,9	571,8
I-S6	378,0	22,7	—	169,3	—	905,4	47,7	307,9	571,8
I-F30S6	286,0	17,2	85,8	162,4	—	905,4	47,7	307,9	571,8
I-F50S6	246,0	14,8	123,0	159,4	—	905,4	47,7	307,9	571,8
S-0	417,0	—	—	167,0	—	905,4	47,7	307,9	571,8
S-F15	354,5	—	53,2	163,1	—	905,4	47,7	307,9	571,8
S-F30	308,0	—	92,4	160,1	—	905,4	47,7	307,9	571,8
S-F50	262,2	—	131,1	157,3	—	905,4	47,7	307,9	571,8
A-0	418,6	—	—	167,4	—	905,4	47,7	307,9	571,8
A-F15	355,3	—	53,3	163,4	—	905,4	47,7	307,9	571,8
A-F30	308,6	—	92,4	160,5	—	905,4	47,7	307,9	571,8
A-F50	262,6	—	131,3	157,6	—	905,4	47,7	307,9	571,8
A-S6	378,9	22,7	—	169,7	—	905,4	47,7	307,9	571,8
A-F30S6	286,5	17,2	85,9	162,7	—	905,4	47,7	307,9	571,8
A-F50S6	246,4	14,8	123,2	159,7	—	905,4	47,7	307,9	571,8

Som vist i tabell 9 er ikke mengde med Dynamon SX-N oppført. Dynamon SX-N skal tilsettes i prosentandel av sement og silika, ikke mer enn 2 %, til den ønskede flyten er oppnådd. Mengder med Dynamon SX-N med tilhørende synkmål er vist i tabell 10, se 5.1.1.

3.3 Gjennomføring

Det skal blandes 18 forskjellige betongmatrikser, hver av disse skal støpes i terninger på 10x10cm til prøving av fasthet etter 1, 2, 3, 4 og 28 dager. Terningene som skal trykktestes skal de første 24 t være pakket i plast før de blir avformet, videre herding foregår i vannbad som holder 20 °C. Betongen skal i tillegg støpes i herdekasser hvor herdetemperaturene måles.

4. ConTeSt Pro

4.1 Om ConTeSt Pro

ConTeSt Pro er en svensk programvare som er utviklet for å beregne temperaturutvikling, fasthet og risiko for riss i herdefasen til betongkonstruksjoner. [5]

ConTeSt Pro baserer seg på elementmetoden og beregner temperaturutvikling v.h.a. Fourier's ligning og spenninger i x-, y-planet til en gitt konstruksjon. For at dette skal fungere må dybden på konstruksjonen, z-aksen, være stor nok til at denne kan sees på som en enhet, altså er varmflyten langs z-aksen neglisjerbar. Samtidig vil spenningene langs z-aksen, σ_z , skape riss i x-, y-planet. [5]

Dette gir i temperaturberegningene: [5]

$$q_z = -k_z \frac{\partial T}{\partial z} \approx 0$$

Indre varmflyt i x-, y-planet blir da: [5]

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (k_x \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_y \frac{\partial T}{\partial y}) + Q_H$$

$k_x = k_y = k =$ Isotropisk varmekonduktivitet, [W/mK]

$\rho =$ Densitet, [kg/m³]

$c =$ Spesifikk varme i materialet pr masse, [J/kgK]

$Q_H =$ Generert varme i massen, [W/m³]

I tillegg til den indre varmflyten følger grenseverdier som varierer med de forskjellige varmflytene tilhørende de forskjellige overflateforholdene, disse blir ikke dekket i denne oppgaven. [5]

4.2 Egenskapsfunksjoner varmeutvikling

Målingene utført av betongen i herdekassen blir lagt inn i et regneark som beregner den adiabatisk og isotermsk varmeutviklingen samt betongens temperaturtransmisjonskoeffisient. I tillegg beregnes betongens danske egenskapsfunksjon og den svenske egenskapsfunksjonen tilpasses. Variablene i den svenske egenskapsfunksjonen brukes i ConTeSt Pro for å simulere betongens varmeutvikling. [1]

Dansk egenskapsfunksjon: [1]

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

Svensk egenskapsfunksjon: [1]

$$Q = W_c \times e^{(-\lambda_1 \times \ln(1 + \frac{t_e}{t_1}))^{-\kappa_1}}$$

4.3 Beregningsforutsetninger

Konstruksjonen som skal analyseres er en bunnslabbe med påstøpt vegg. Bunnslabben og veggen er eksempler og hører ikke til noen reell konstruksjon. Temperaturutviklingen i herdefasen til bunnslabben, figur 7, og i veggen med ferdigstøpt bunnslabbe, figur 8, skal beregnes for et utvalg av betongene. Det er tatt forutsetning av at omgivelsestemperaturene er konstante og forskallingen rives til samme tid etter utstøpning. Videre har bunnslabben og veggen konstante dimensjoner. Dette er forutsetninger som gjør det mulig å sammenligne temperaturutviklingen i konstruksjonene med forskjellige betonger.

For å få korrekt temperaturutvikling brukes de svenske egenskapsfunksjonene W_c , λ_1 , t_1 og κ_1 som er beregnet ut fra laboratoriearbeidet som materialdata sammen med betongens densitet.

Temperaturutvikling i betong

Inndataene som holdes konstant er:

Støpetidspunkt	=	100 t
Riving av forskalling	=	172 t
Lufttemperatur	=	10 °C
Temperatur i eksisterende elementer	=	10 °C
Forskalling	=	Treforskalling 22mm
Vind	=	2 m/s
Utstøpningshastighet	=	1 m/t
Temperatur i ny betong	=	20 °C
Fyllmasse (Bl:1)	=	9m x 2m
Bunnsplatt (Bl: 2)	=	5m x 2m
Vegg (Bl: 3)	=	1,2m x 3m

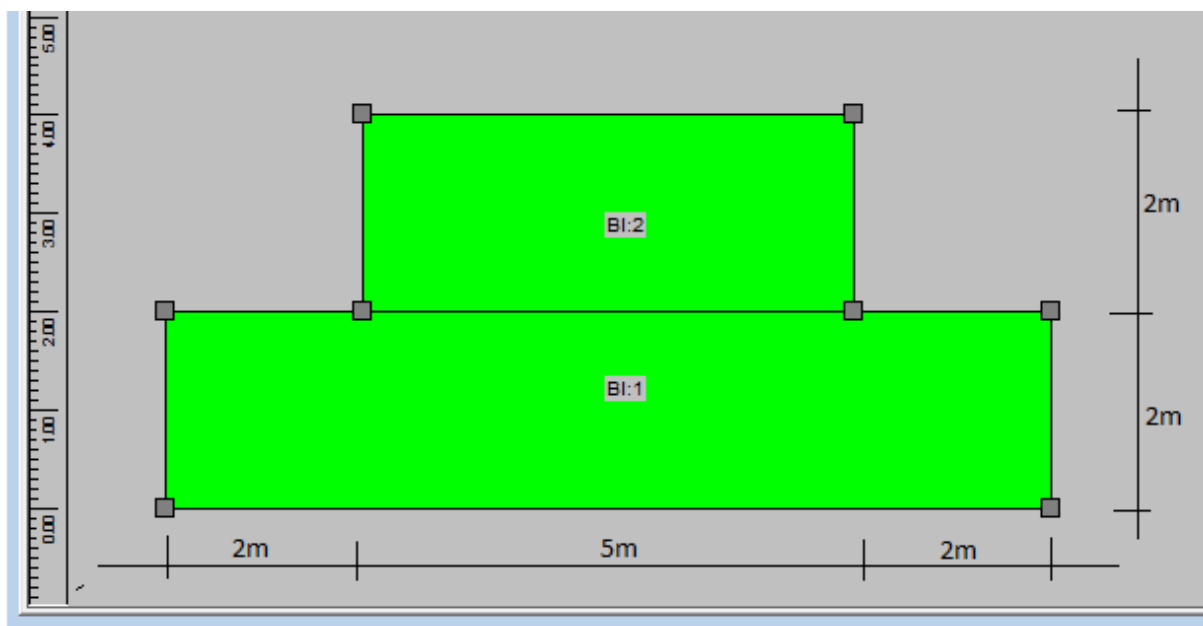


Fig 7: Fyllmasse Bl:1 og bunnsplatt Bl:2.

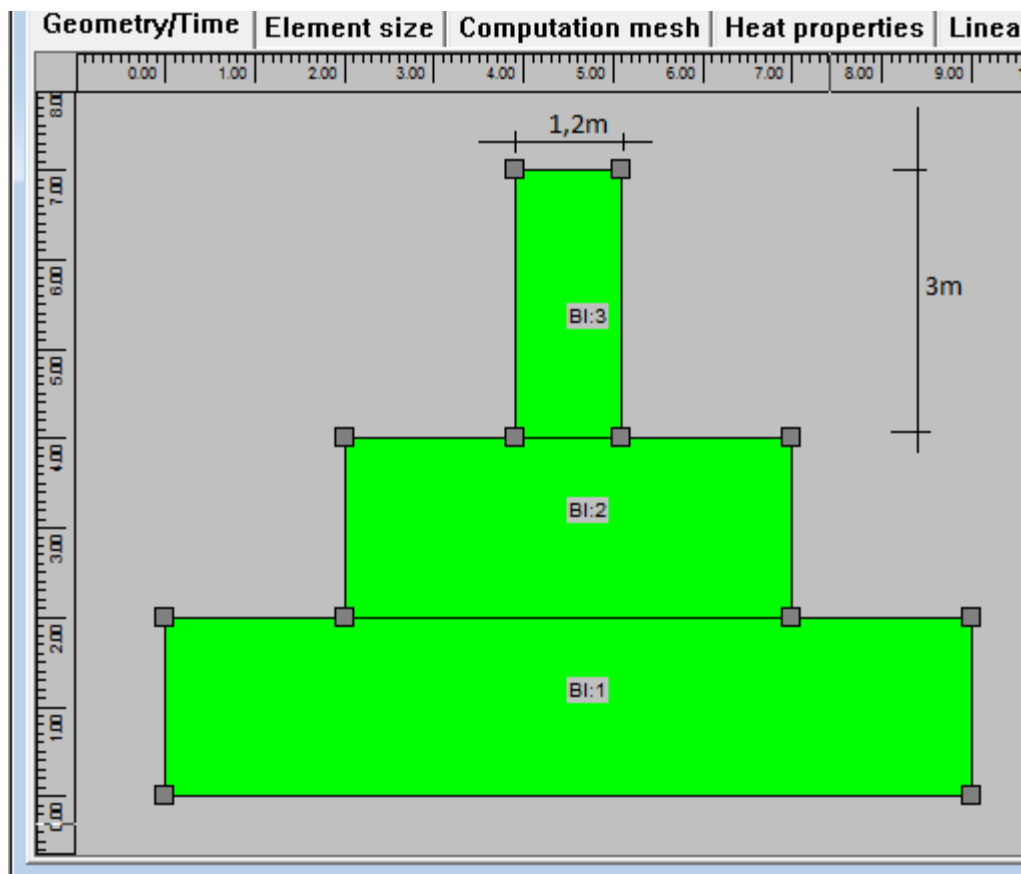


Fig 8: Fyllmasse Bl:1, bunnslabbl Bl:2 og vegg Bl:3.

Materialene som skal analyseres i de respektive konstruksjonene er:

Bunnslabbl:

- Anlegg 0
- Anlegg F15

Vegg støpt på bunnslabbl med Anlegg 0:

- Anlegg 0
- Anlegg F15
- Anlegg F50
- Anlegg F50S6

5. Resultater

5.1 Resultat Laboratoriarbeid

5.1.1 Betongmatrikser

I tabell 10 vises hvor mye plastiserende tilsetningsstoff, Dynamon SX-N, som ble brukt i betongene for å oppnå ønsket flyt. Videre ser vi den målte flyten, luftinnholdet og egenvekten i den ferske betongen. Egenvekten i herdet tilstand, sementinnhold og bindemiddel, sement og pozzolan, er også med.

Tabell 10: Betongmatriksenes ferske og herdete egenskaper¹.

Blandinger				Egenvekt		Sement + Pozzolan	Egenvekt herdet
	Mengde SP	Synk	Luftinnhold	fersk	Sementinnhold		
	[g]	[mm]	[%]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
I-0	136	215	1,60	2393,2	417,4	417,4	2476,7
I-F15	110	210	1,70	2347,7	354,3	407,4	2432,0
I-F30	96	220	1,80	2341,2	307,9	400,3	2441,4
I-F50	105	160	1,60	2344,9	262,2	393,3	2453,6
I-S6	131	215	1,40	2360,3	378,0	400,7	2473,0
I-F30S6	104	190	2,20	2348,3	286,0	389,0	2425,0
I-F50S6	100	210	1,70	2338,2	246,0	383,8	2431,4
S-0	96	160	1,30	2356,9	417,0	417,0	2449,1
S-F15	112	170	2,40	2352,5	354,5	407,7	2448,0
S-F30	106	180	1,90	2329,1	308,0	400,4	2441,0
S-F50	86	180	1,50	2316,0	262,2	393,3	2416,1
A-0	70	190	1,60	2359,0	418,6	418,6	2449,0
A-F15	58	165	1,80	2328,0	355,3	408,6	2431,7
A-F30	74	165	1,80	2335,5	308,6	401,0	2442,9
A-F50-1	44	160	1,80	2306,1	262,6	393,9	2410,9
A-F50-2	26	198	1,40	2279,2	262,6	393,9	2394,0
A-S6	38	160	1,60	2331,0	378,9	401,6	2422,1
A-F30S6	73	180	1,80	2313,7	286,5	389,6	2400,1
A-F50S6	67	195	1,80	2295,9	246,4	384,4	2406,7

¹ Industri 0, F-15, F-30 og S6 oppnådde en flyt som var større enn ønskelig. A-F50-1 hadde feil på temperaturmåleren.

5.1.2 Trykktesting

Trykkfastheten som ble prøvd er listet i tabell 11 med tilhørende betongblandinger. Det er trykkfastheten ved 1, 2, 3, 4 og 28 dager som er listet sammen med snittet av tre prøver etter 28 dager.

Tabell 11: Betongenes trykkfasthet etter 1, 2, 3, 4 og 28 dager².

Blanding	Trykkfasthet							Snitt 28d [MPa]
	1d [MPa]	2d [MPa]	3d [MPa]	4d [MPa]	28d [MPa]	28d [MPa]	28d [MPa]	
I-0	47,50	69,62	79,80	81,38	97,45	100,33	98,70	98,83
I-F15	27,54	51,36	59,28	64,11	82,94	84,11	81,91	82,99
I-F30	24,73	46,58	54,03	57,94	78,22	79,59	77,10	78,30
I-F50	7,98	34,12	47,02	53,01	82,42	81,27	80,00	81,23
I-S6	12,69	49,95	64,58	69,35	100,75	101,00	102,50	101,42
I-F30S6	9,70	38,90	46,55	52,92	85,61	84,86	87,18	85,88
I-F50S6	9,49	27,55	36,99	35,42	73,16	73,95	72,23	73,11
S-0	11,71	38,26	48,97	58,80	80,96	81,85	81,71	81,51
S-F15	3,60	27,53	41,74	50,30	77,90	78,64	78,62	78,39
S-F30	7,79	32,71	40,57	46,64	71,06	68,85	70,48	70,13
S-F50	6,40	24,69	31,20	34,64	59,95	58,99	58,73	59,22
A-0	17,67	43,08	53,91	60,13	86,39	85,64	88,60	86,88
A-F15	13,94	36,27	44,62	49,94	79,70	79,08	79,49	79,42
A-F30	11,76	33,10	41,01	43,89	71,36	73,91	74,42	73,23
A-F50-1	13,17	25,79	32,36	35,13	58,22	60,01	61,09	59,77
A-F50-2	10,40	25,02	28,37	30,34	53,76	51,92	50,79	52,16
A-S6	20,32	35,07	41,64	46,73	73,21	74,25	74,63	74,03
A-F30S6	15,17	29,83	35,20	39,44	67,28	66,82	67,52	67,21
A-F50S6	12,41	22,97	29,00	33,15	59,83	58,23	57,64	58,57

² Resultatene til I-F50S6 og S-F15 som er merket med rødt avviker fra forventet fasthet. A-F50-1 hadde feil på temperaturmåleren. A-S6, 28d er merket med rødt p.g.a. feil i herdebetingelser.

5.1.3 Temperaturmålinger

5.1.3.1 Anlegg

I figur 9-15 er temperaturmålingene, utført i herdekasse, for blandingene med anleggsement vist i grafer.

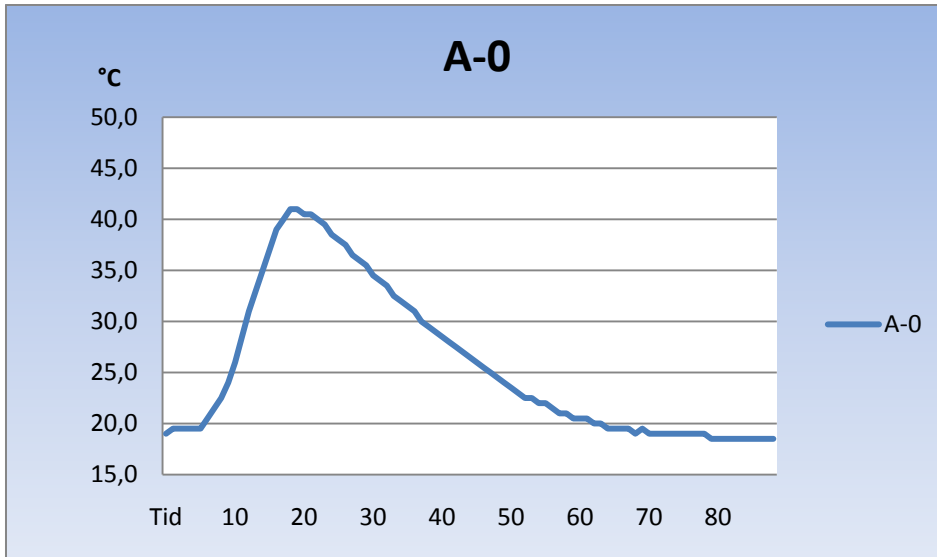


Fig 9: Temperaturutvikling i herdekasse.

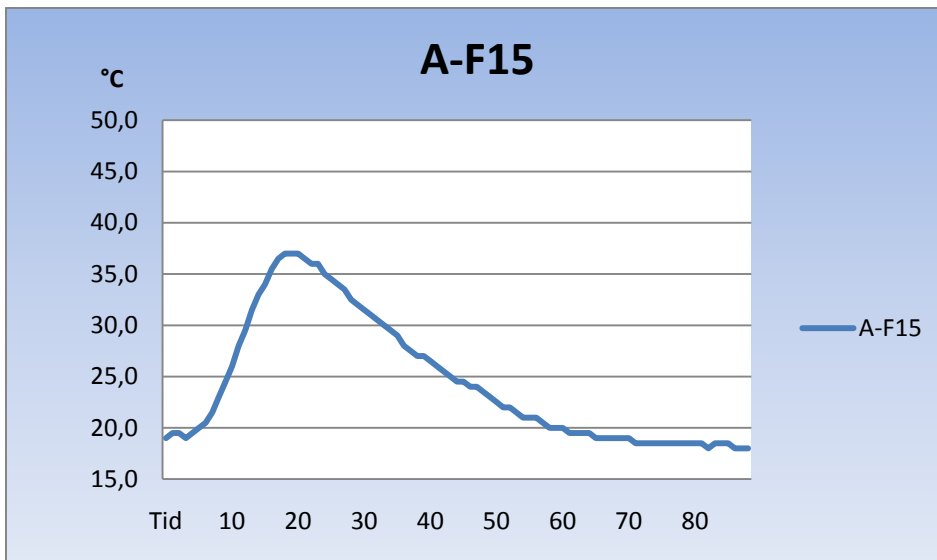


Fig 10: Temperaturutvikling i herdekasse.

Temperaturutvikling i betong

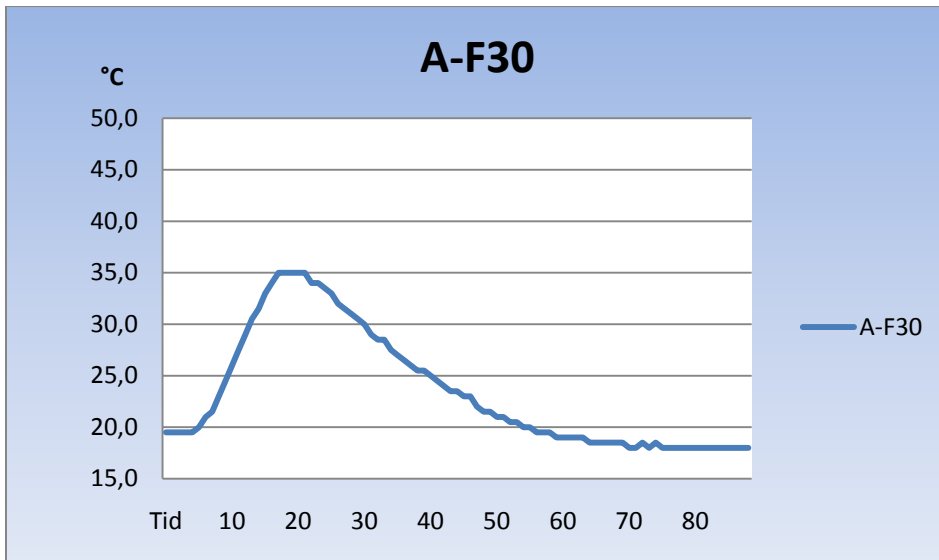


Fig 11: Temperaturutvikling i herdekasse.

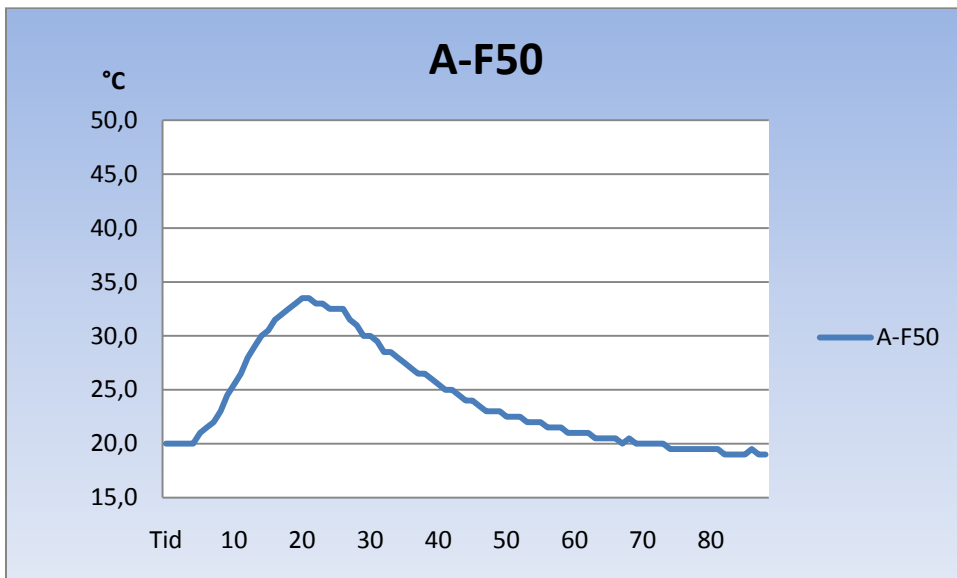


Fig 12: Temperaturutvikling i herdekasse.

Temperaturutvikling i betong

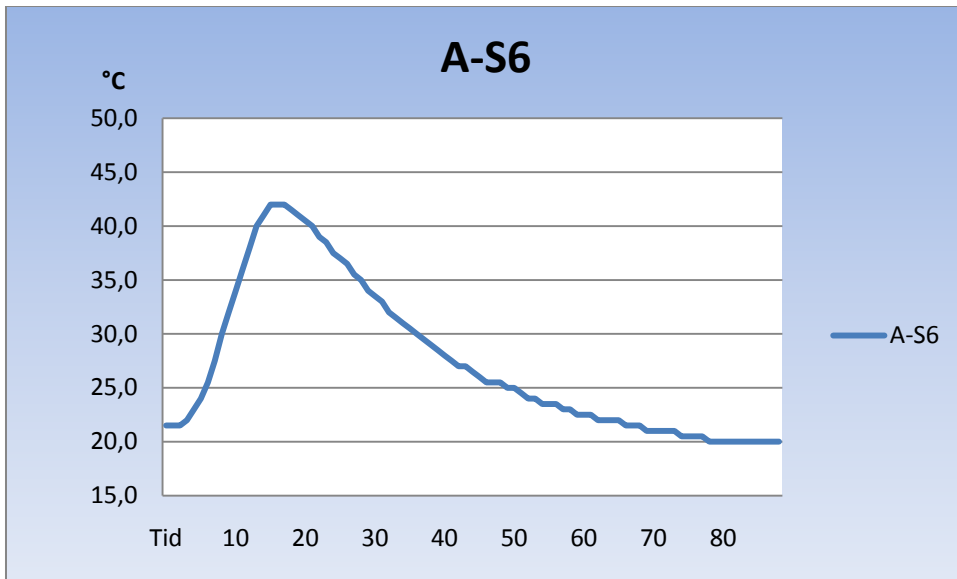


Fig 13: Temperaturutvikling i herdekasse.

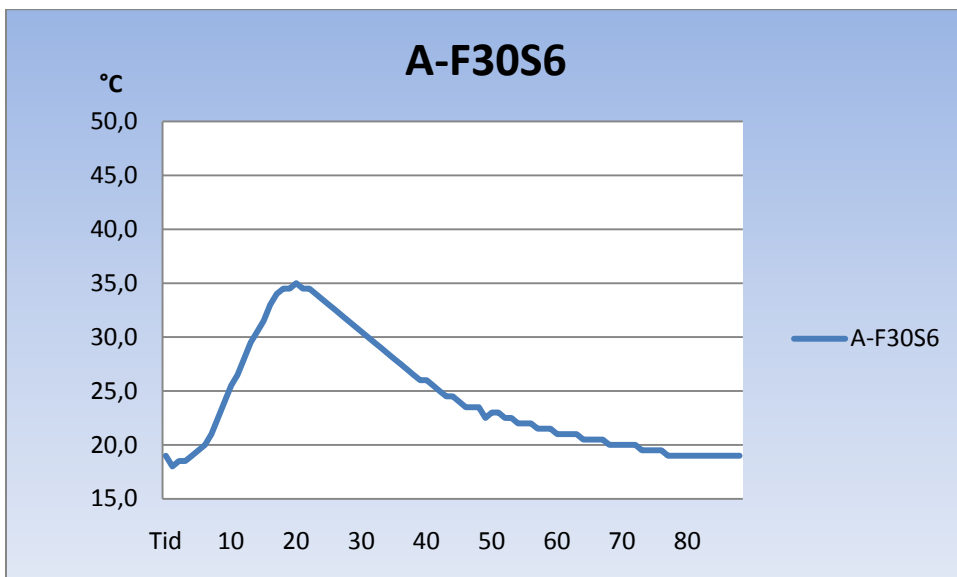


Fig 14: Temperaturutvikling i herdekasse.

Temperaturutvikling i betong

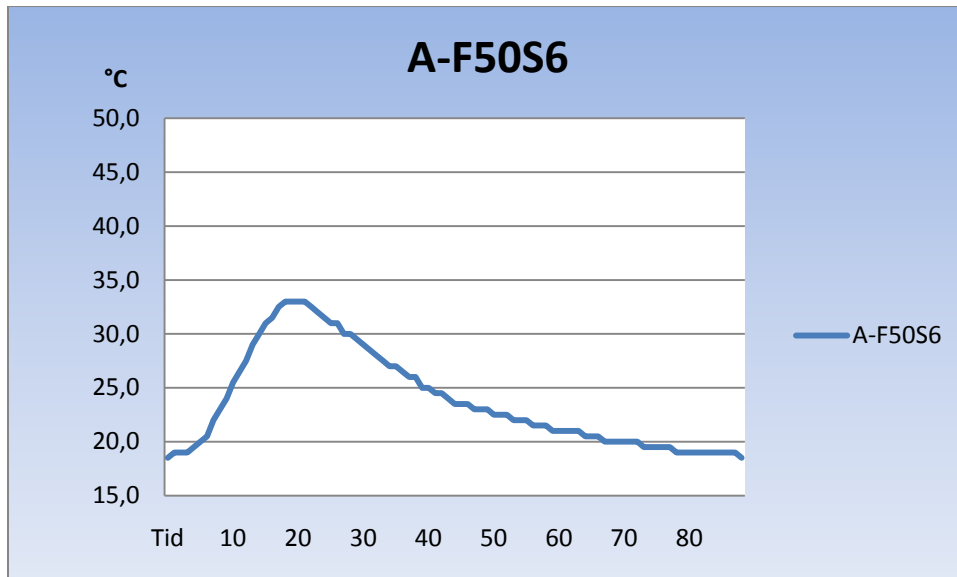


Fig 15: Temperaturutvikling i herdekasse.

5.1.3.2 Industri

I figur 16-22 er temperaturmålingene, utført i herdekasse, for blandingene med industrisement vist i grafer.

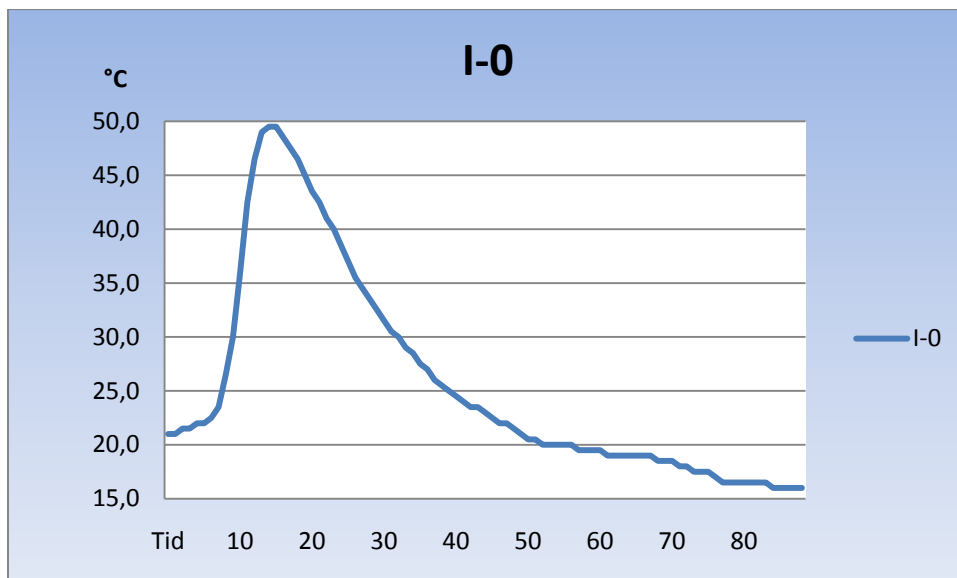


Fig 16: Temperaturutvikling i herdekasse.

Temperaturutvikling i betong

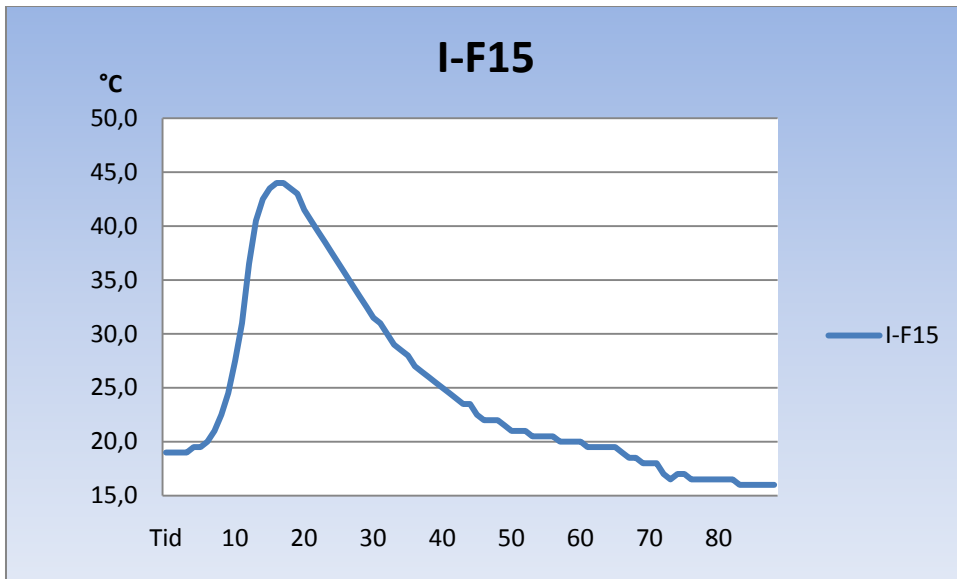


Fig 17: Temperaturutvikling i herdekasse.

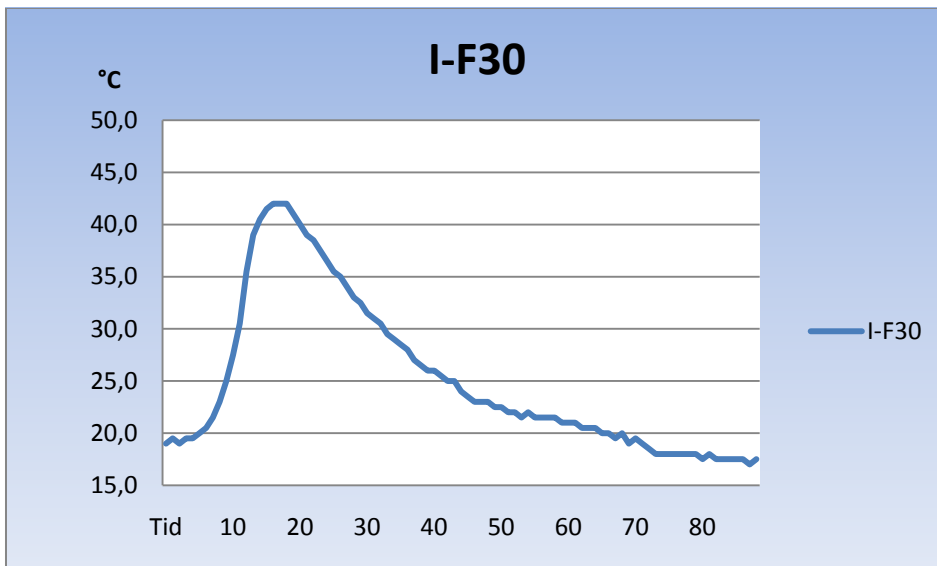


Fig 18: Temperaturutvikling i herdekasse.

Temperaturutvikling i betong

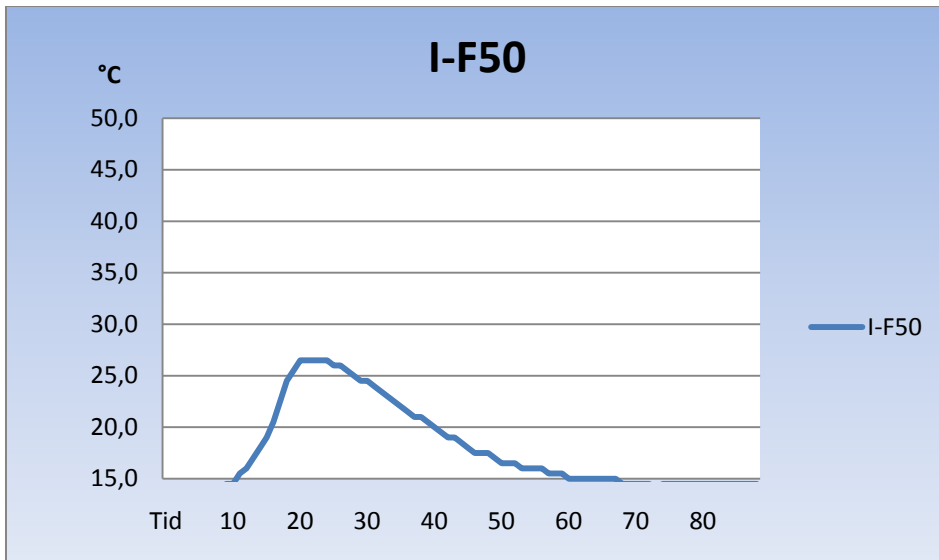


Fig 19: Temperaturutvikling i herdekasse.

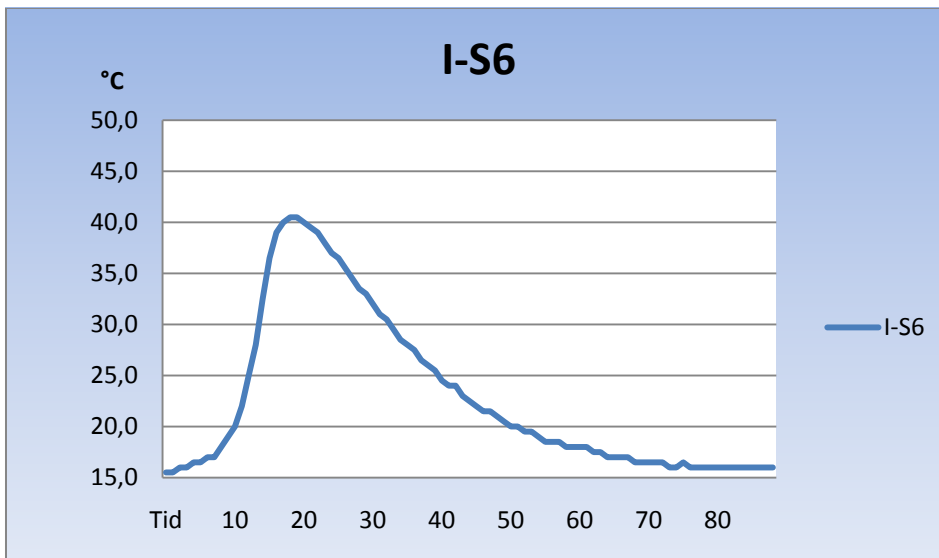


Fig 20: Temperaturutvikling i herdekasse.

Temperaturutvikling i betong

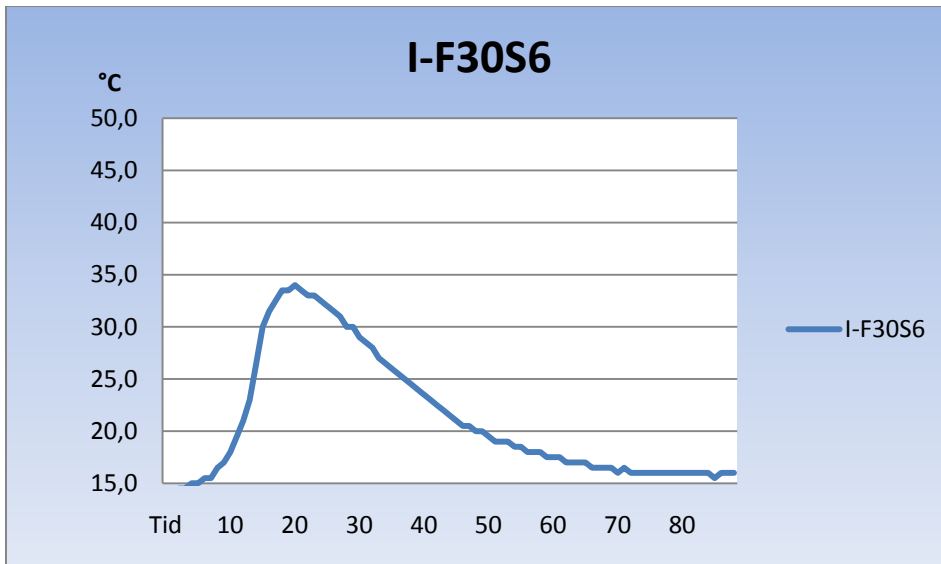


Fig 21: Temperaturutvikling i herdekasse.

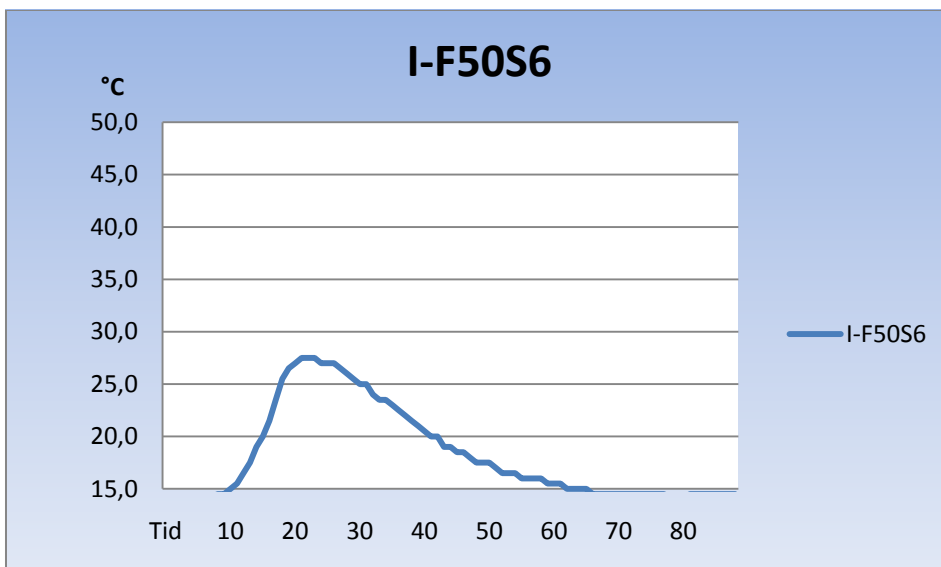


Fig 22: Temperaturutvikling i herdekasse.

5.1.3.3 Standard

I figur 23-26 er temperaturmålingene, utført i herdekasse, for blandingene med standardsement vist i grafer.

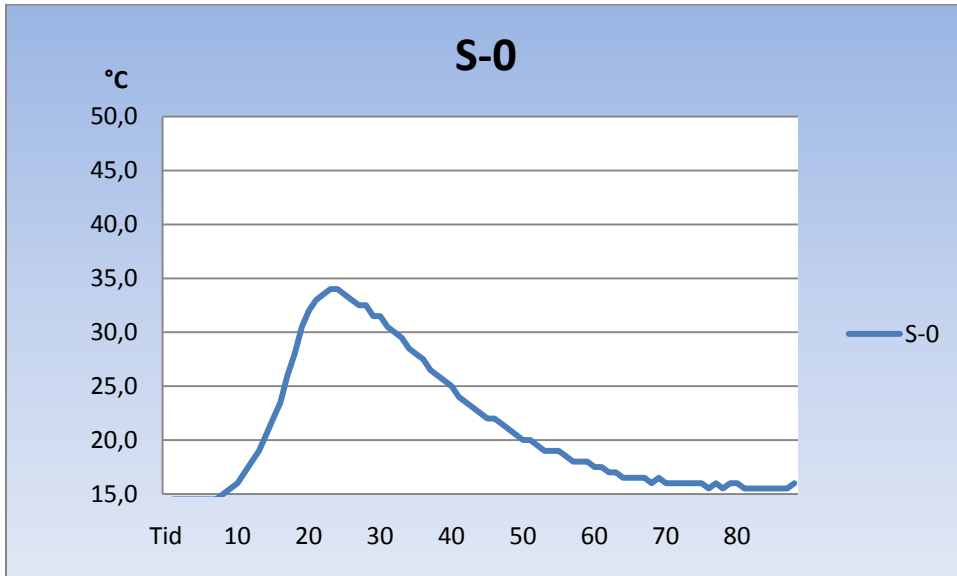


Fig 23: Temperaturutvikling i herdekasse.

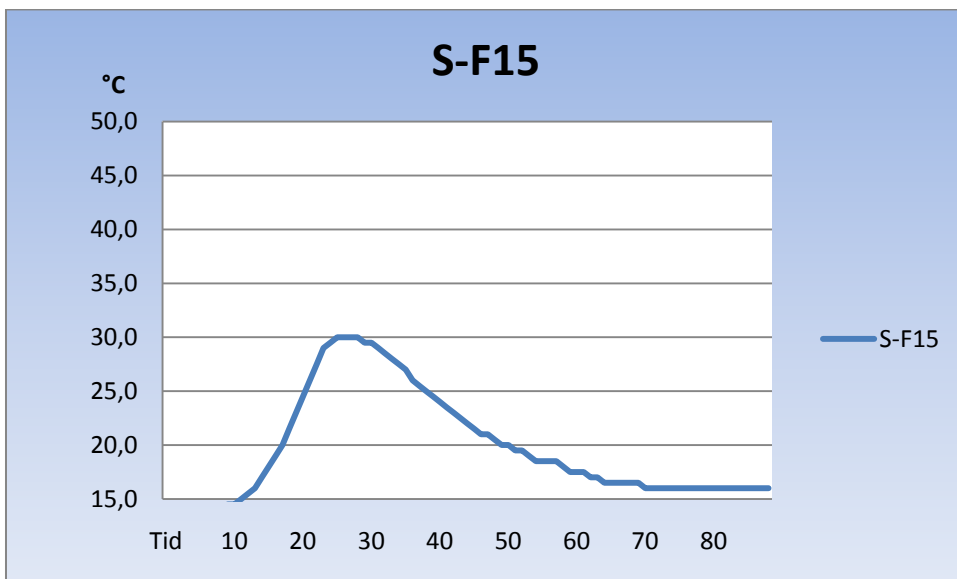


Fig 24: Temperaturutvikling i herdekasse.

Temperaturutvikling i betong

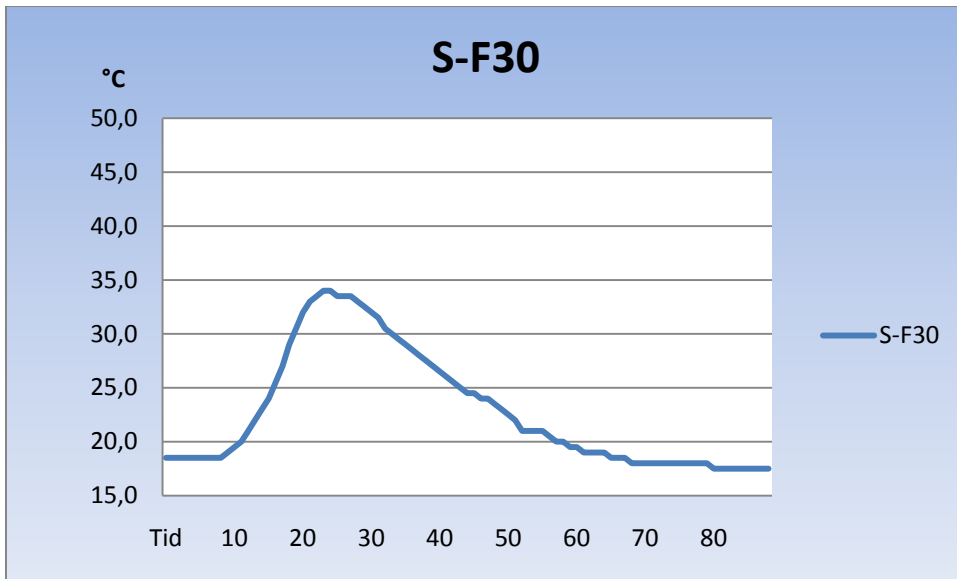


Fig 25: Temperaturutvikling i herdekasse.

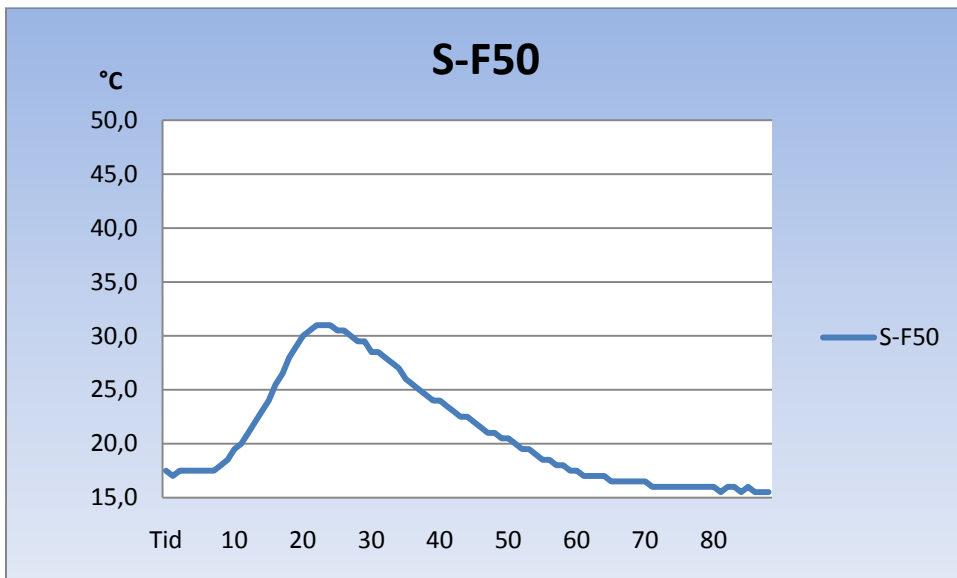


Fig 26: Temperaturutvikling i herdekasse.

5.2 Resultat egenskaper

5.2.1 Egenskapsfunksjoner varmeutvikling

Den danske og svenske egenskapsfunksjonen, se 4.2, er beregnet ut fra temperaturmålingene og vises i tabell 12 og tabell 13.

Tabell 12: Verdier tilhørende Dansk egenskapsfunksjon³.

DANSK EGENSKAPSFUNKSJON			
Blanding	Q_{∞}	τ	α
	[kJ/kg _{cem}]		
I-0	314,00	10,99	2,45
I-F15	282,00	12,25	2,61
I-F30	256,00	11,18	2,45
I-F50	203,00	12,35	2,42
I-S6	314,00	12,18	2,36
I-F30S6	279,00	11,62	2,39
I-F50S6	237,00	12,97	2,37
S-0	239,00	13,65	2,74
S-F15	240,00	15,11	2,93
S-F30	211,00	16,61	3,16
S-F50	229,00	15,24	2,75
A-0	260,00	13,16	2,41
A-F15	230,00	12,42	2,29
A-F30	231,00	12,62	2,33
A-F50	187,00	12,96	2,23
A-S6	245,00	11,10	2,07
A-F30S6	211,00	11,95	2,18
A-F50S6	177,00	11,49	2,19

³ Resultatene til S-F15, S-F50 og A-F30, merket med rødt, faller utenfor forventet varmeutvikling.

Tabell 13: Verdier tilhørende Svensk egenskapsfunksjon⁴.

SVENSK EGENSKAPSFUNKSJON				
Blanding	W _c	λ ₁	t ₁	k ₁
	[kJ/kg _{cem}]			
I-0	314,00	3,25	4,36	5,07
I-F15	282,00	4,46	4,49	5,45
I-F30	256,00	3,26	4,40	5,03
I-F50	203,00	2,09	5,60	4,77
I-S6	314,00	4,74	4,28	5,17
I-F30S6	279,00	2,95	4,75	4,98
I-F50S6	237,00	1,90	6,13	4,74
S-0	239,00	5,89	4,74	5,77
S-F15	240,00	6,47	5,31	6,20
S-F30	211,00	7,98	5,66	6,56
S-F50	229,00	6,58	5,20	5,91
A-0	260,00	5,21	4,54	5,28
A-F15	230,00	1,46	6,41	4,57
A-F30	231,00	1,94	5,88	4,71
A-F50	187,00	1,26	7,06	4,45
A-S6	245,00	0,95	6,80	4,17
A-F30S6	211,00	4,80	4,14	4,96
A-F50S6	177,00	0,16	14,30	3,50

5.3 Resultat ConTeSt Pro

5.3.1 Bunnslabb

5.3.1.1 Anlegg

Figur 27-33 viser resultater fra bunnslabben støpt med anleggsement i ConTeSt Pro. Figur 27 viser temperaturutviklingen i veggen over tid.

⁴ Resultatene til S-F15, S-F50 og A-F30, merket med rødt, faller utenfor forventet varmeutvikling.

Temperaturutvikling i betong

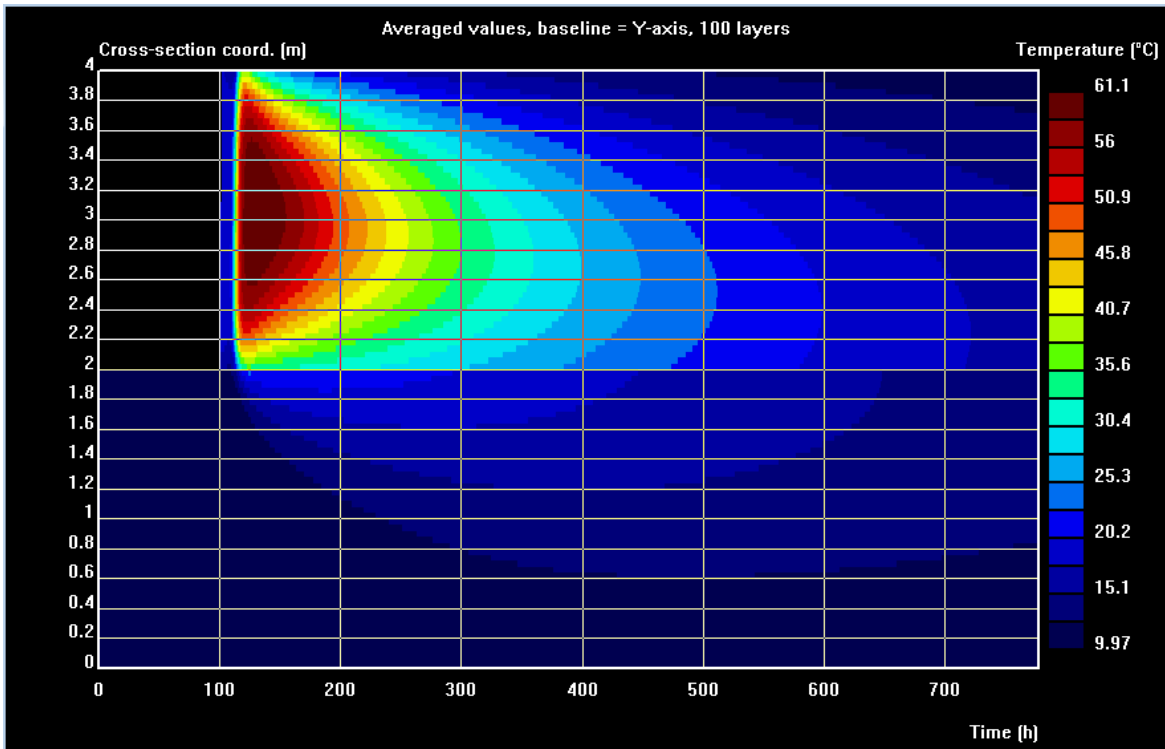


Fig 27: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, bunnslabb A-0.

Figur 28 og 29 viser temperaturutviklingen grafisk mens figur 30-33 viser temperaturene i et snitt ved 10, 20, 30 og 49 timer etter utstøping.

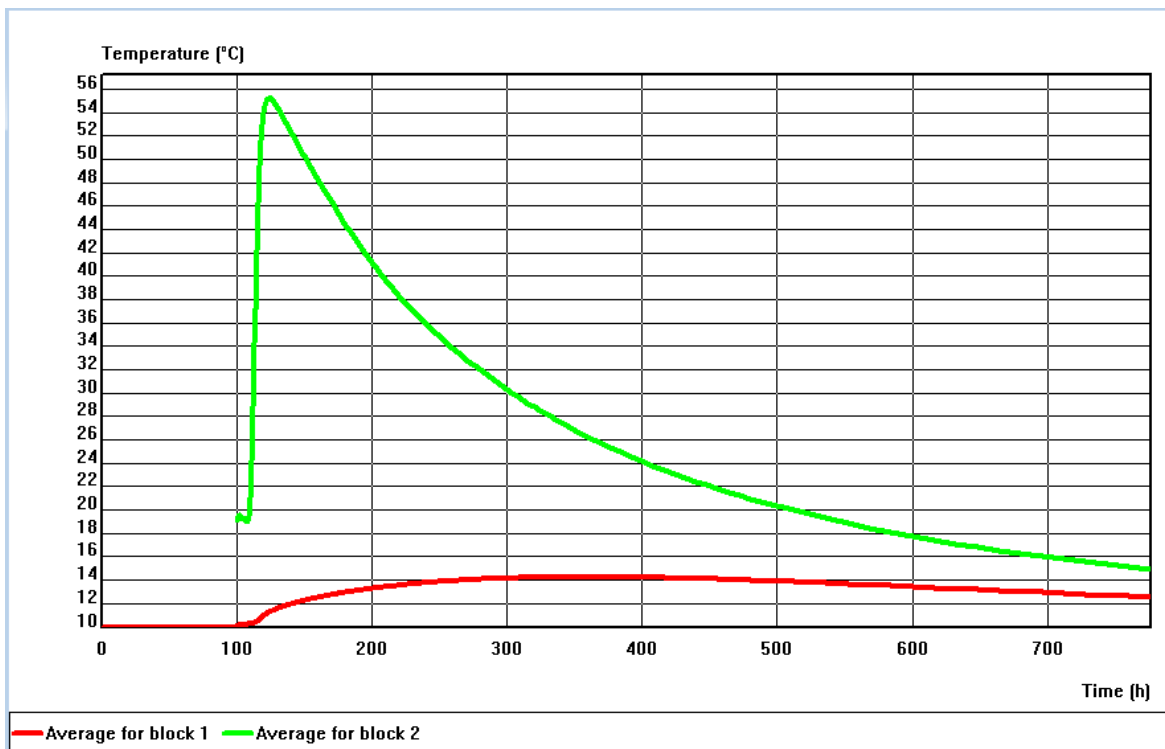


Fig 28: Gjennomsnittelig temperaturkurve, bunnslabb A-0.

Temperaturutvikling i betong

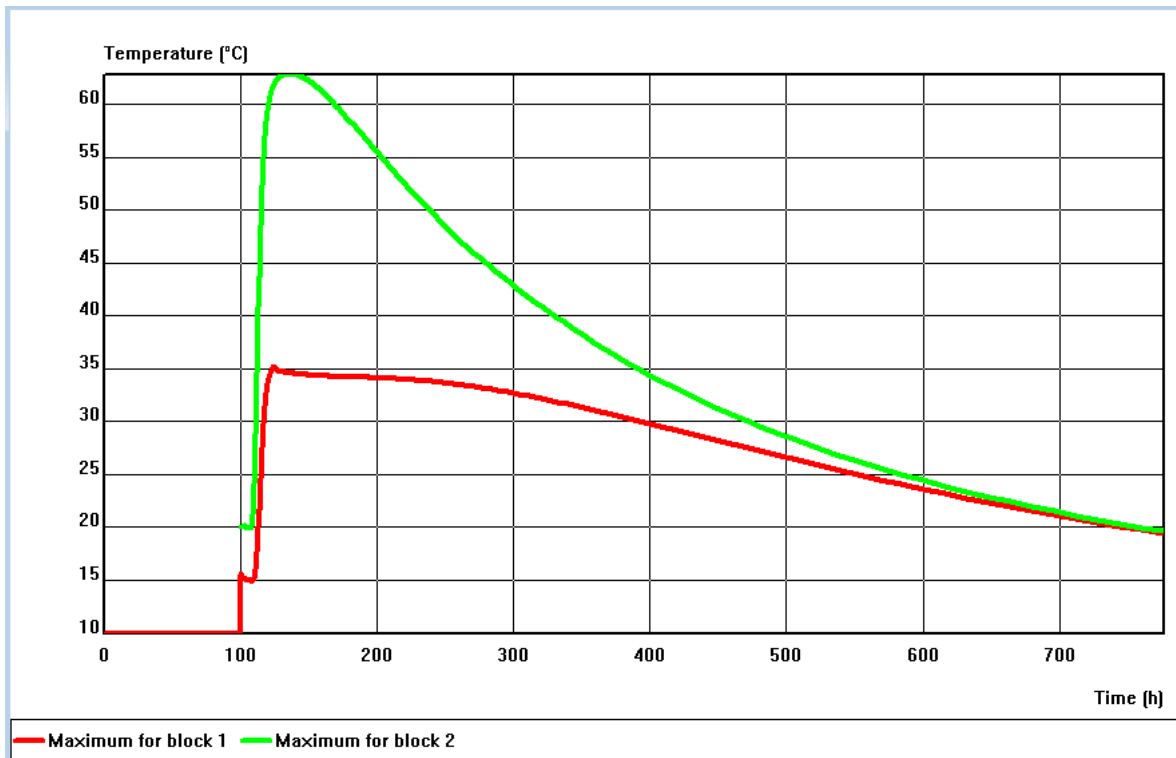


Fig 29: Maksimaltemperaturer, bunnslabb A-0.

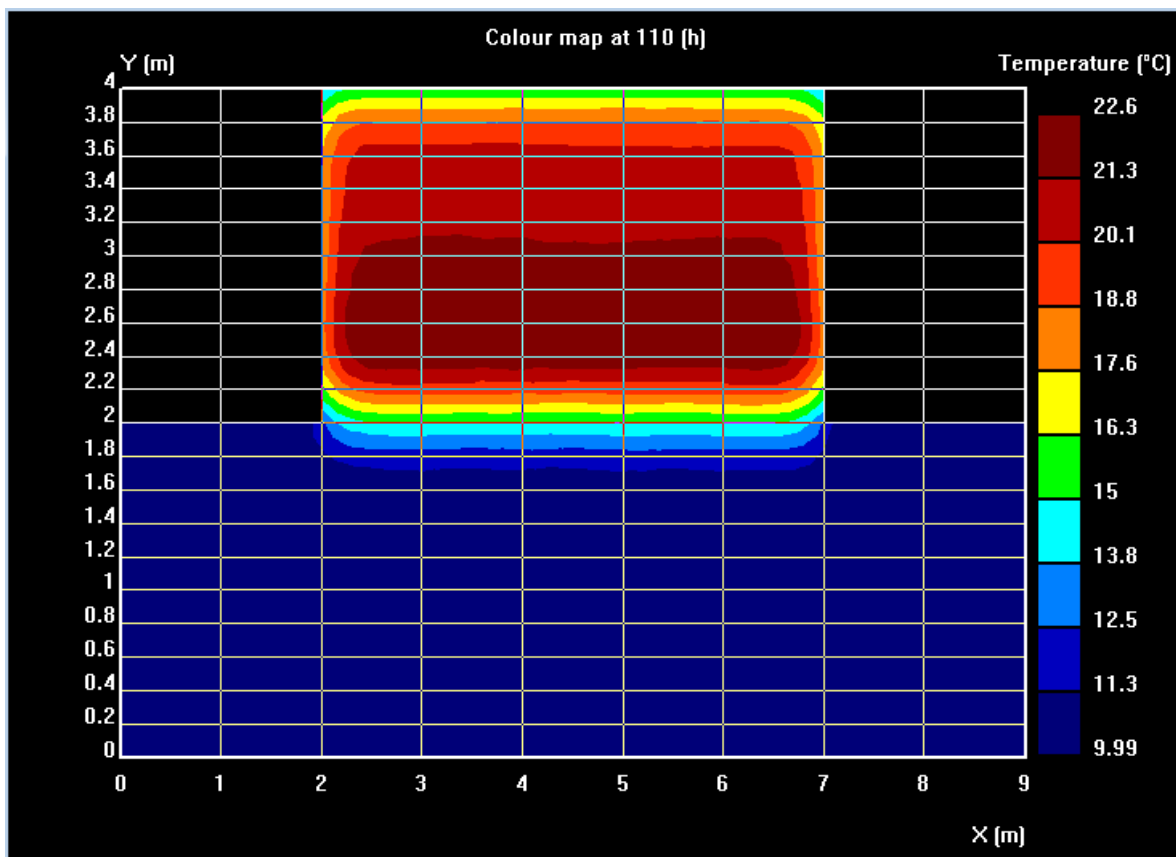


Fig 30: Temperaturkart tverrsnitt, bunnslabb A-0.

Temperaturutvikling i betong

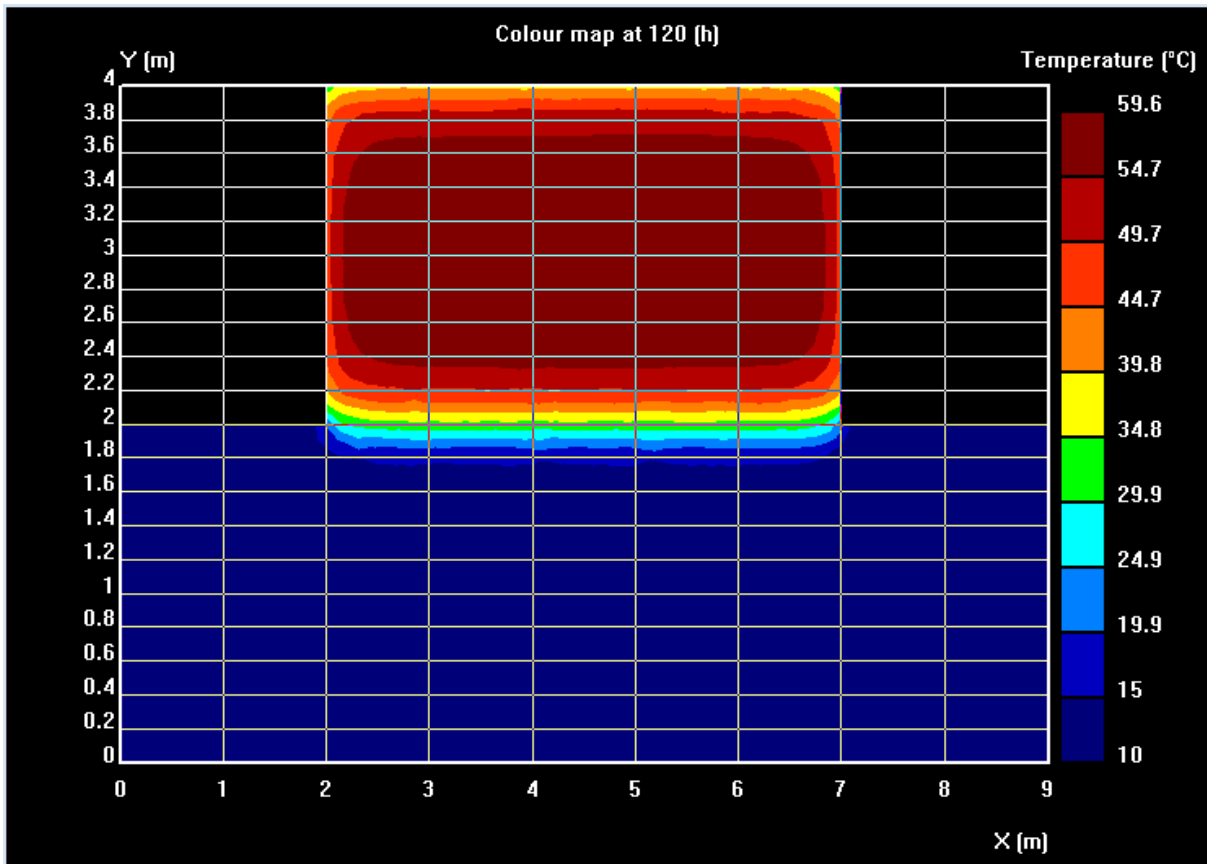


Fig 31: Temperaturkart tverrsnitt, bunnslabb A-0.

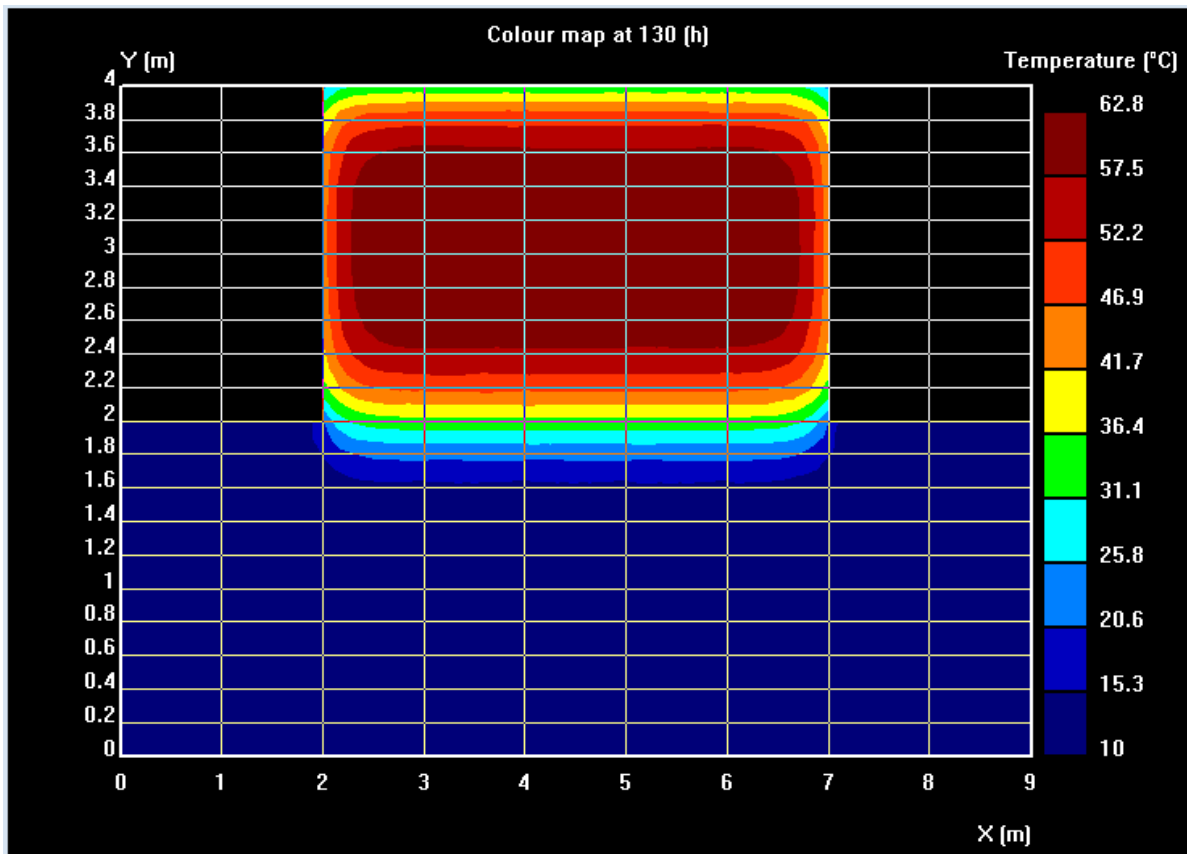


Fig 32: Temperaturkart tverrsnitt, bunnslabb A-0.

Temperaturutvikling i betong

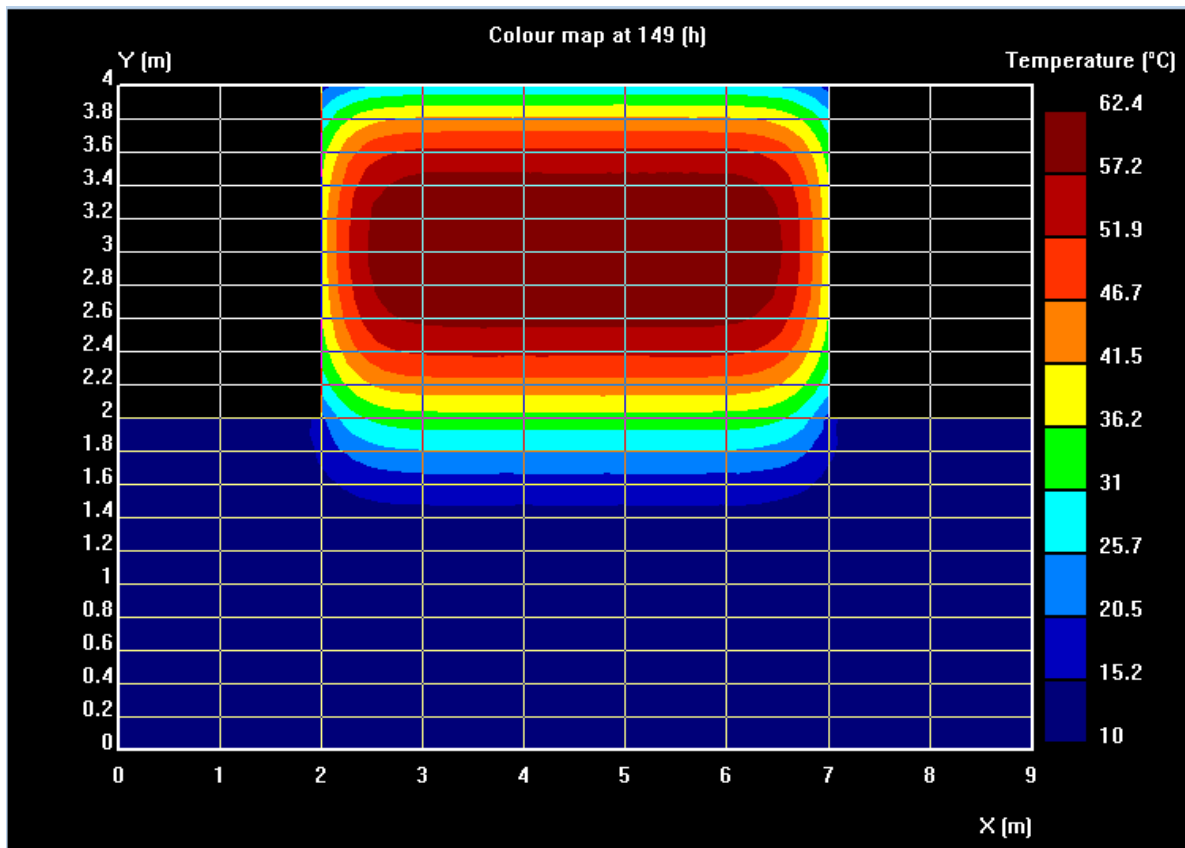


Fig 33: Temperaturkart tverrsnitt, bunnslabb A-0.

5.3.1.2 Anlegg F15

Figur 34-40 viser resultater fra bunnslabben støpt med anleggsement og 15 % flygeaske i ConTeSt Pro. Figur 34 viser temperaturutviklingen i veggen over tid.

Temperaturutvikling i betong

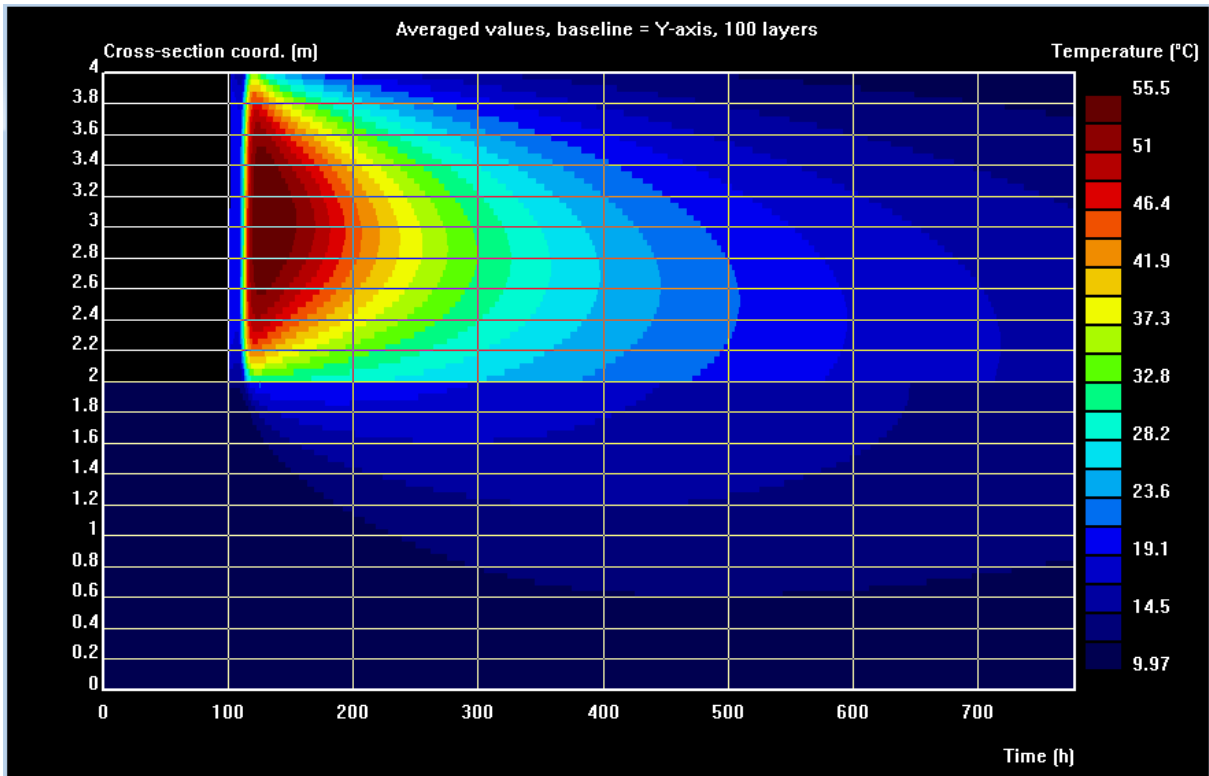


Fig 34: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, bunnslabb A-F15.

Figur 35 og 36 viser temperaturutviklingen grafisk mens figur 37-40 viser temperaturene i et snitt ved 10, 20, 30 og 49 timer etter utstøping.

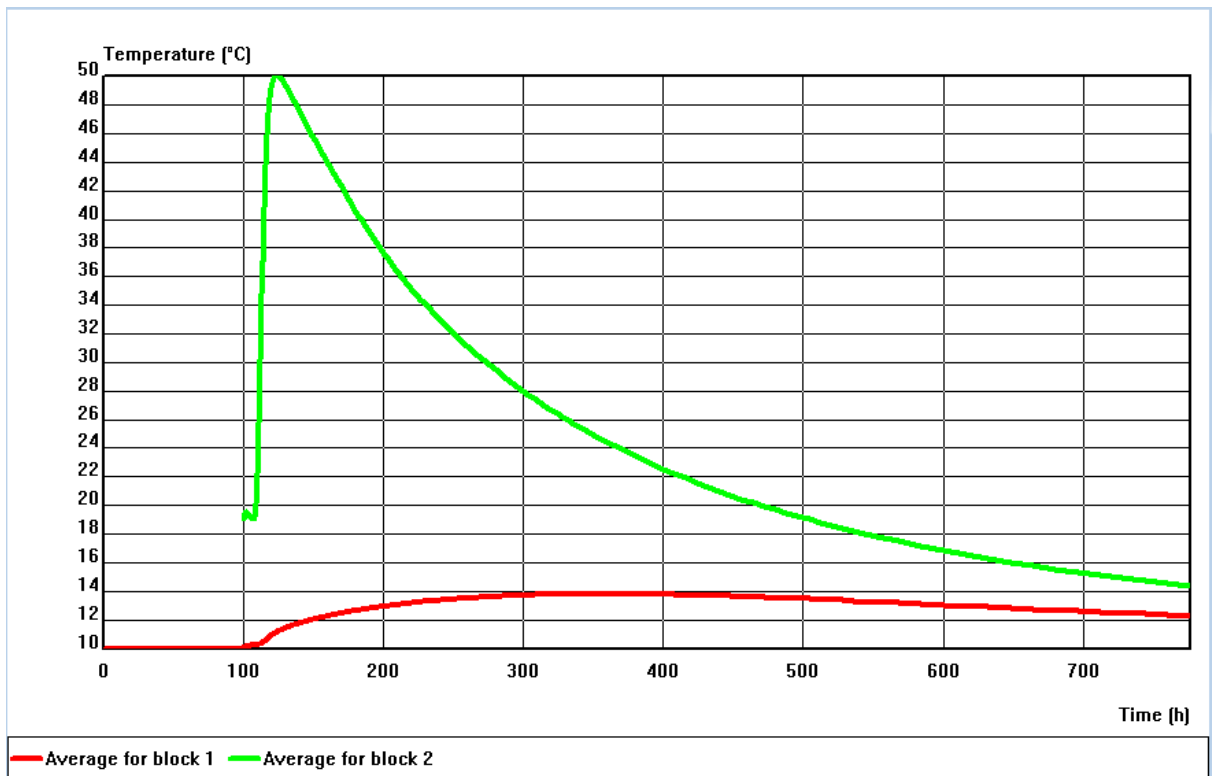


Fig 35: Gjennomsnittelig temperaturkurve, bunnslabb A-F15.

Temperaturutvikling i betong

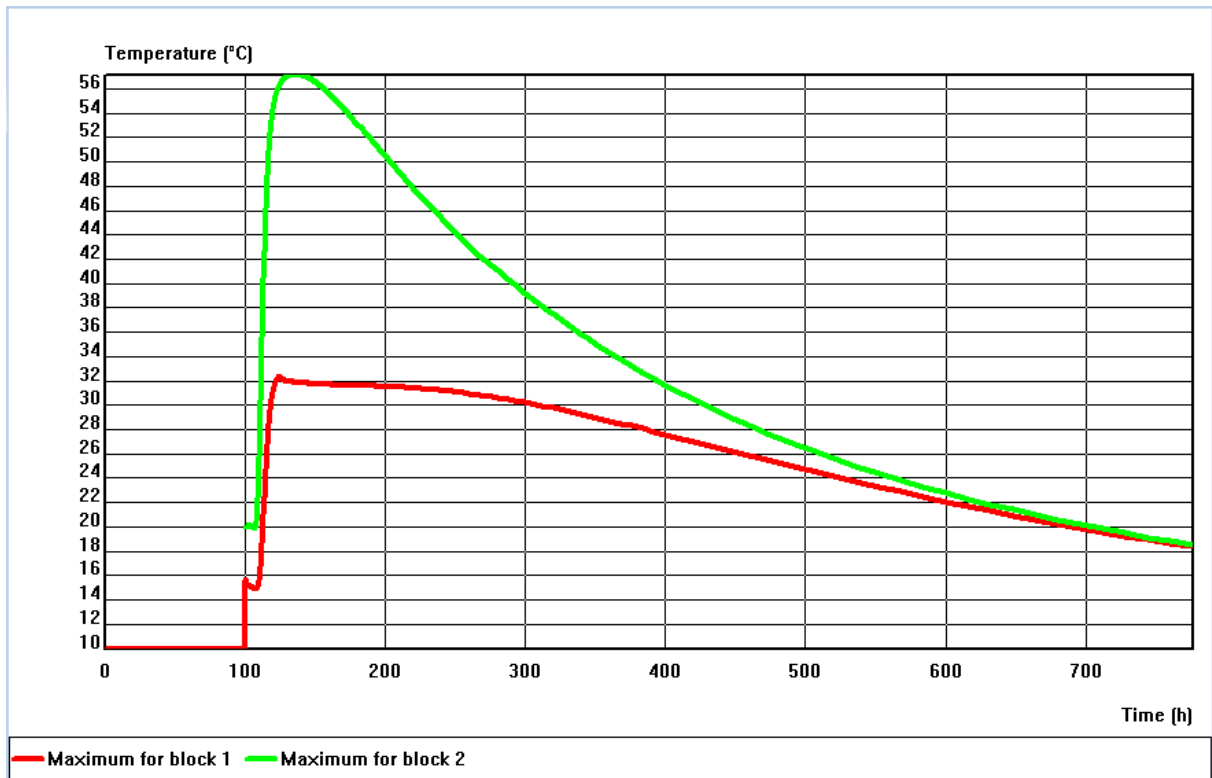


Fig 36: Maksimaltemperaturer, bunnslabb A-F15.

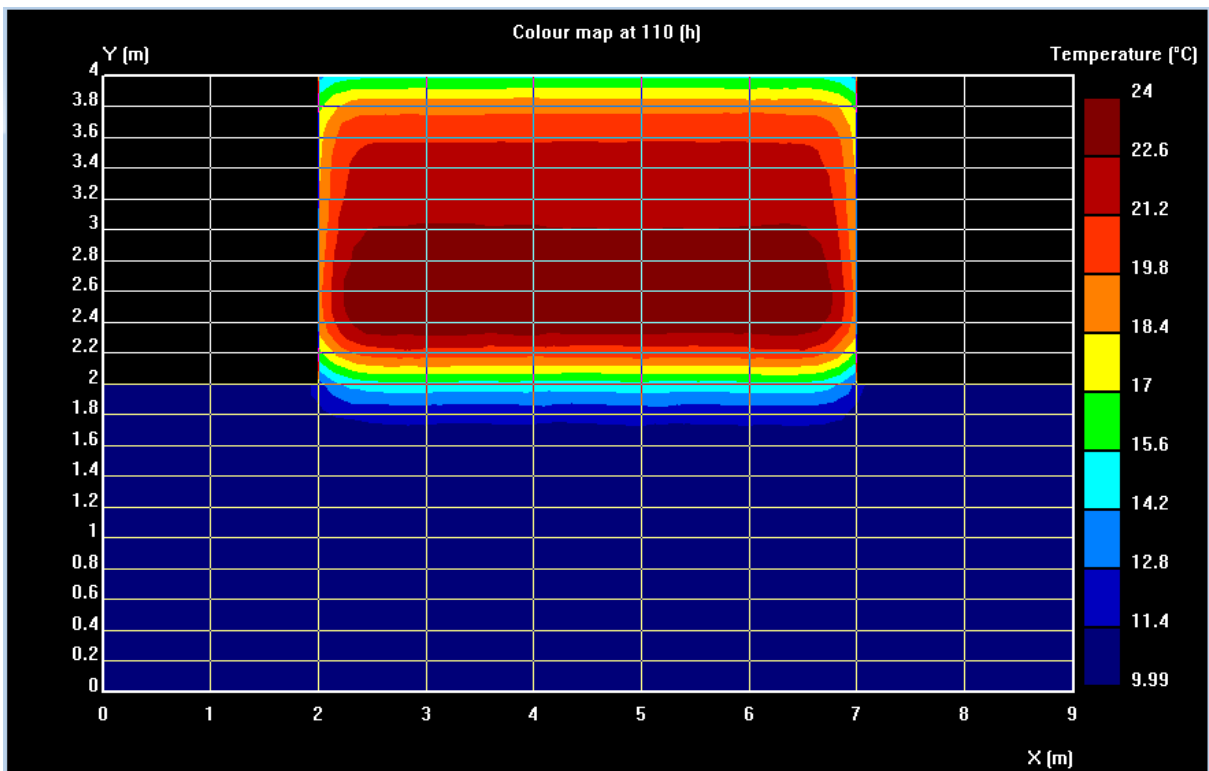


Fig 37: Temperaturkart tverrsnitt, bunnslabb A-F15.

Temperaturutvikling i betong

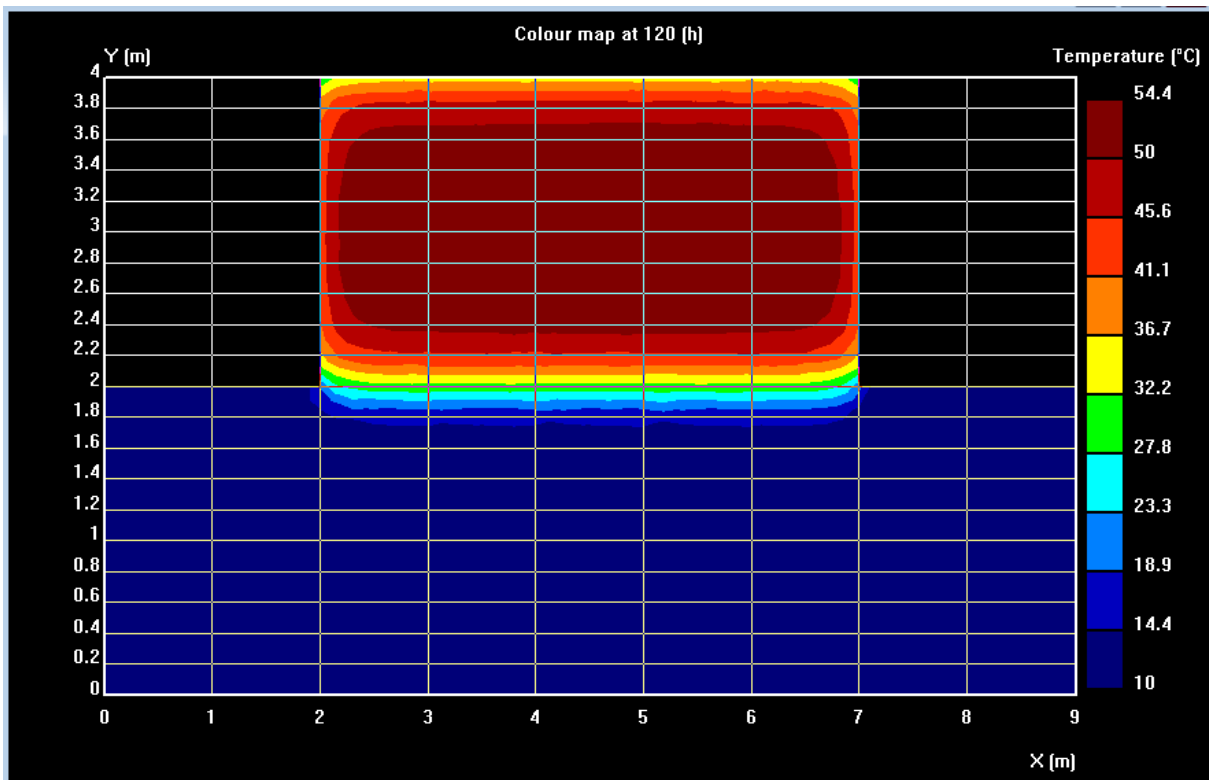


Fig 38: Temperaturkart tverrsnitt, bunnslabb A-F15.

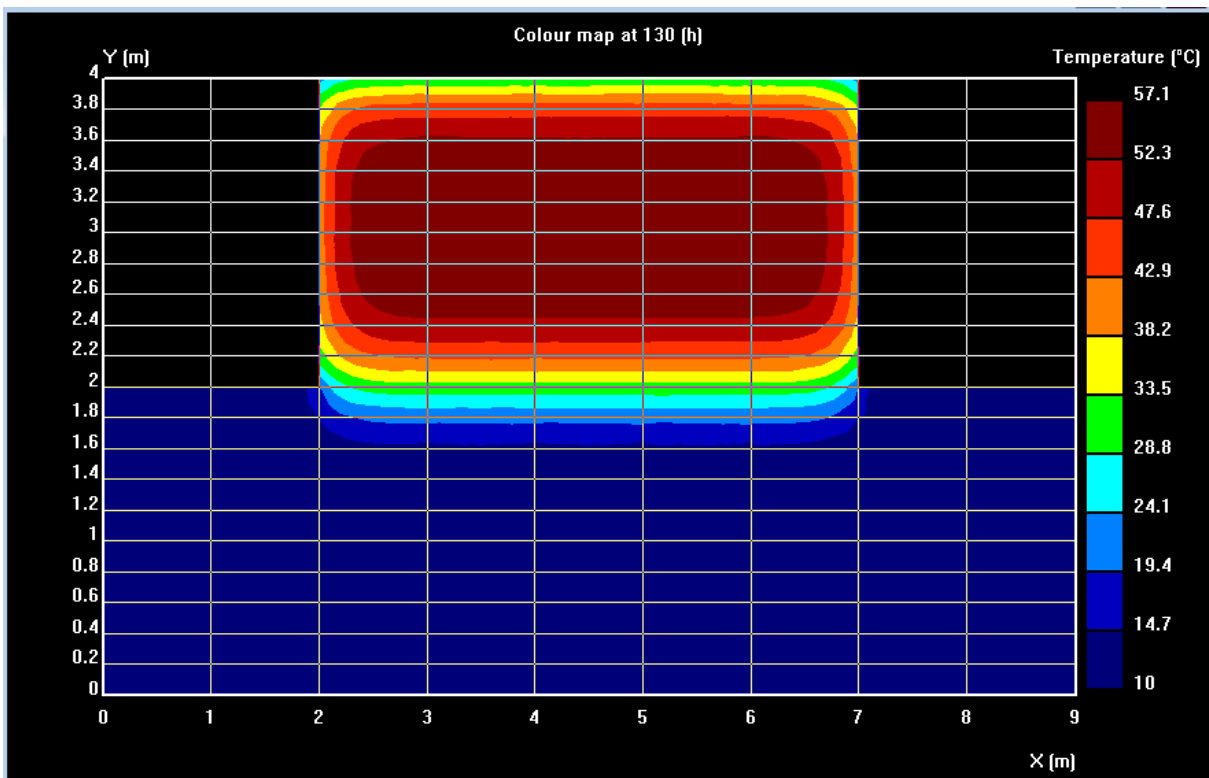


Fig 39: Temperaturkart tverrsnitt, bunnslabb A-F15.

Temperaturutvikling i betong

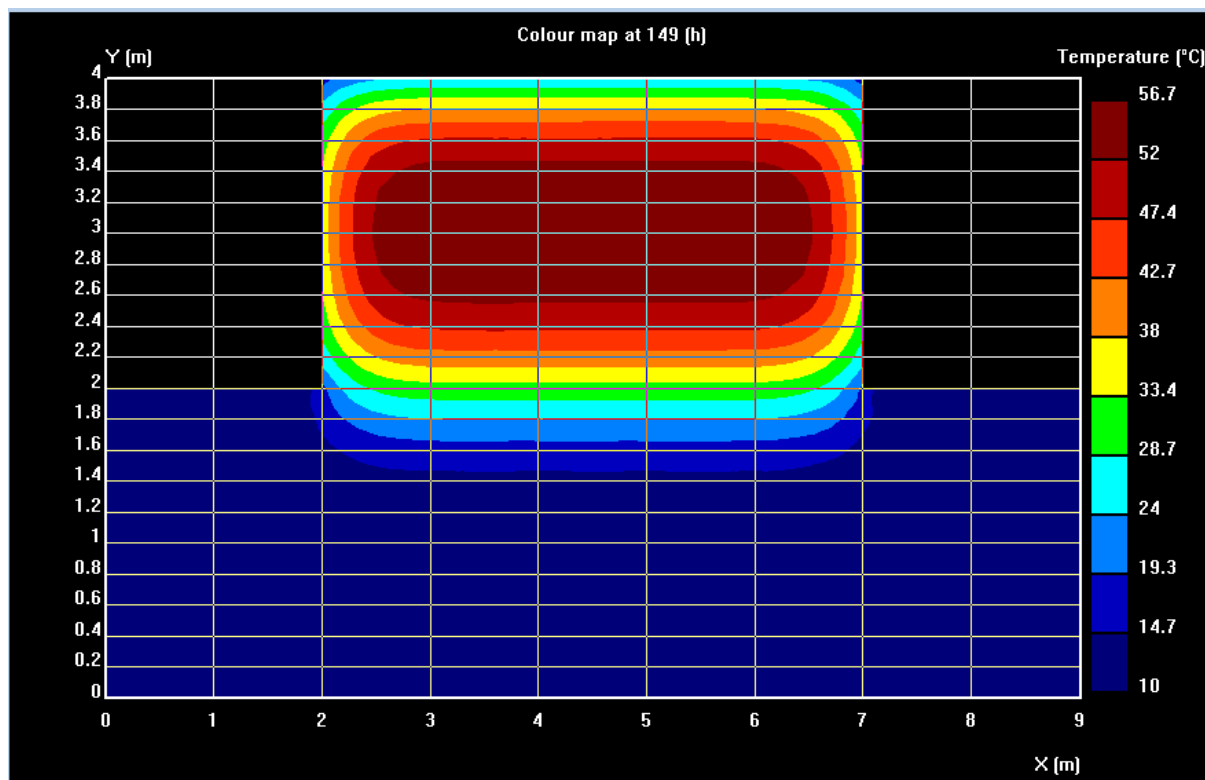


Fig 40: Temperaturkart tverrsnitt, bunnslabb A-F15.

5.3.2 Vegg

5.3.2.1 Anlegg

5.3.2.1.1 Temperaturutvikling

Figur 41 viser temperaturutviklingen i veggen, over tid, støpt med anleggsement i ConTeSt Pro. Veggen er støpt på en bunnslabb med anleggsement.

Temperaturutvikling i betong

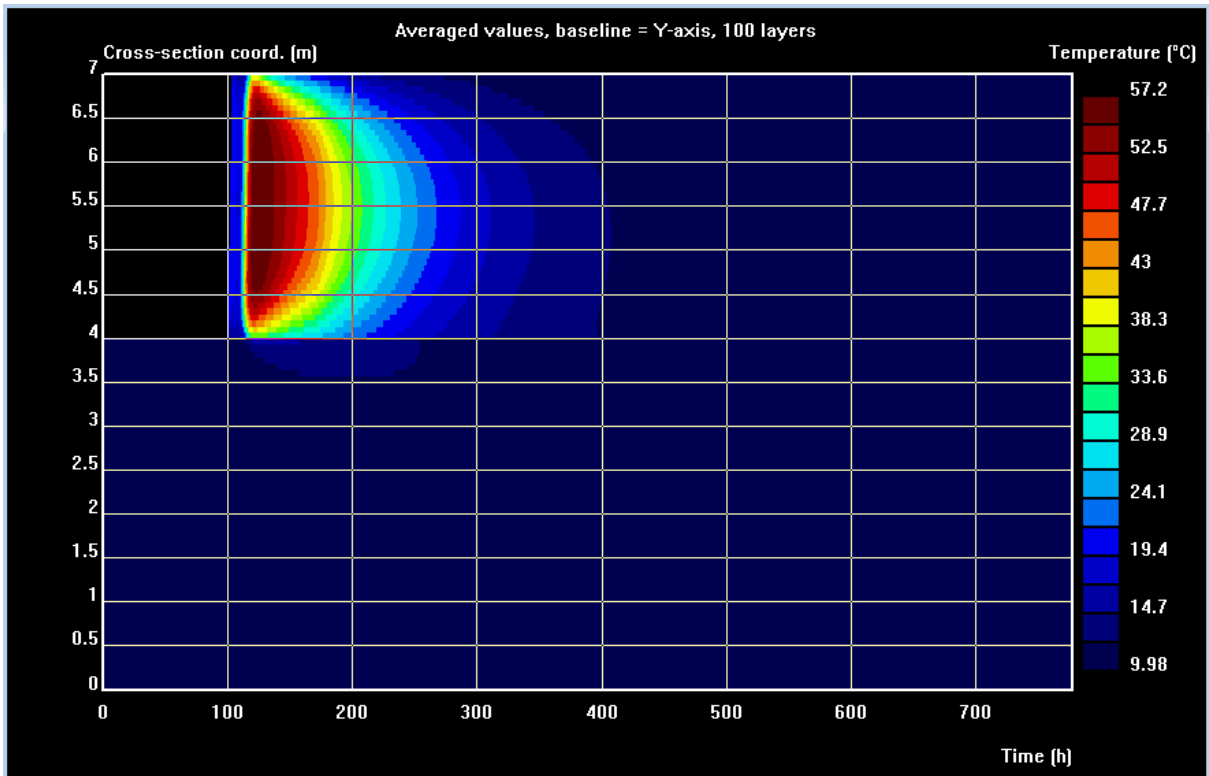


Fig 41: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, vegg A-0.

Figur 42 og 43 viser temperaturutviklingen grafisk mens figur 44-47 viser temperaturene i et snitt ved 10, 20, 30 og 49 timer etter utstøping.

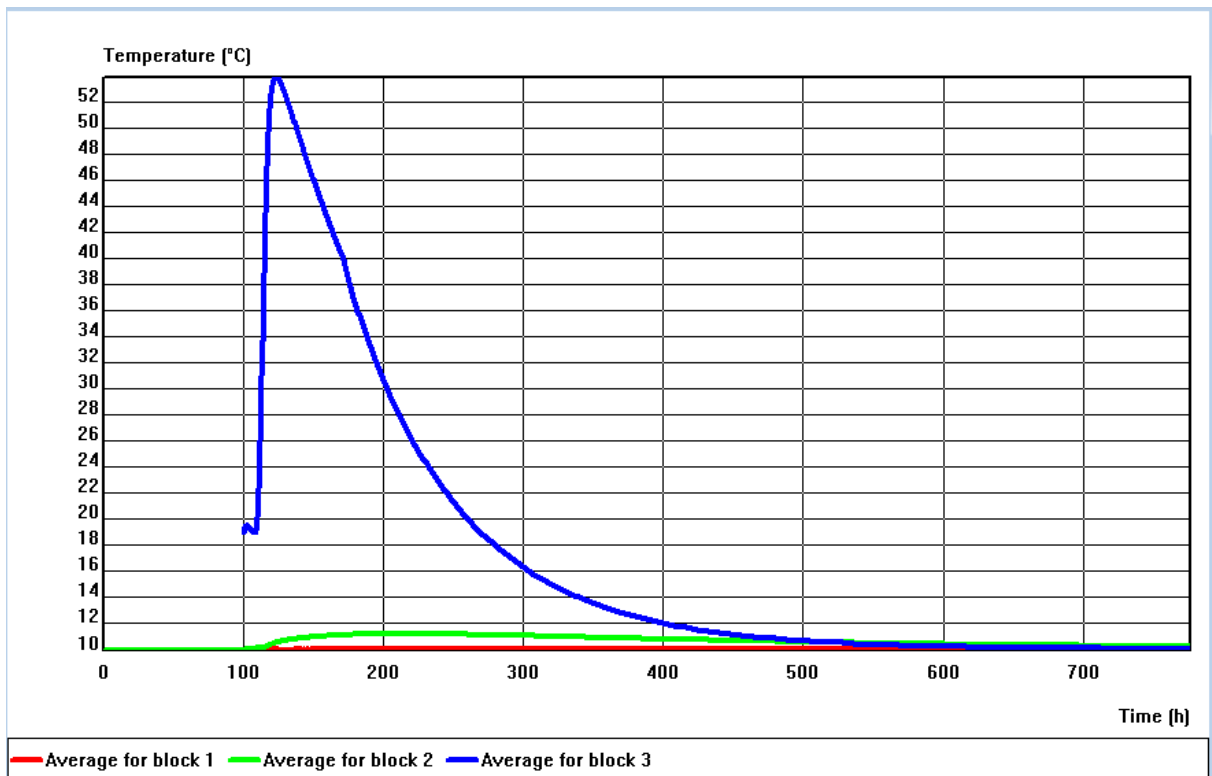


Fig 42: Gjennomsnittlig temperaturkurve, vegg A-0.

Temperaturutvikling i betong

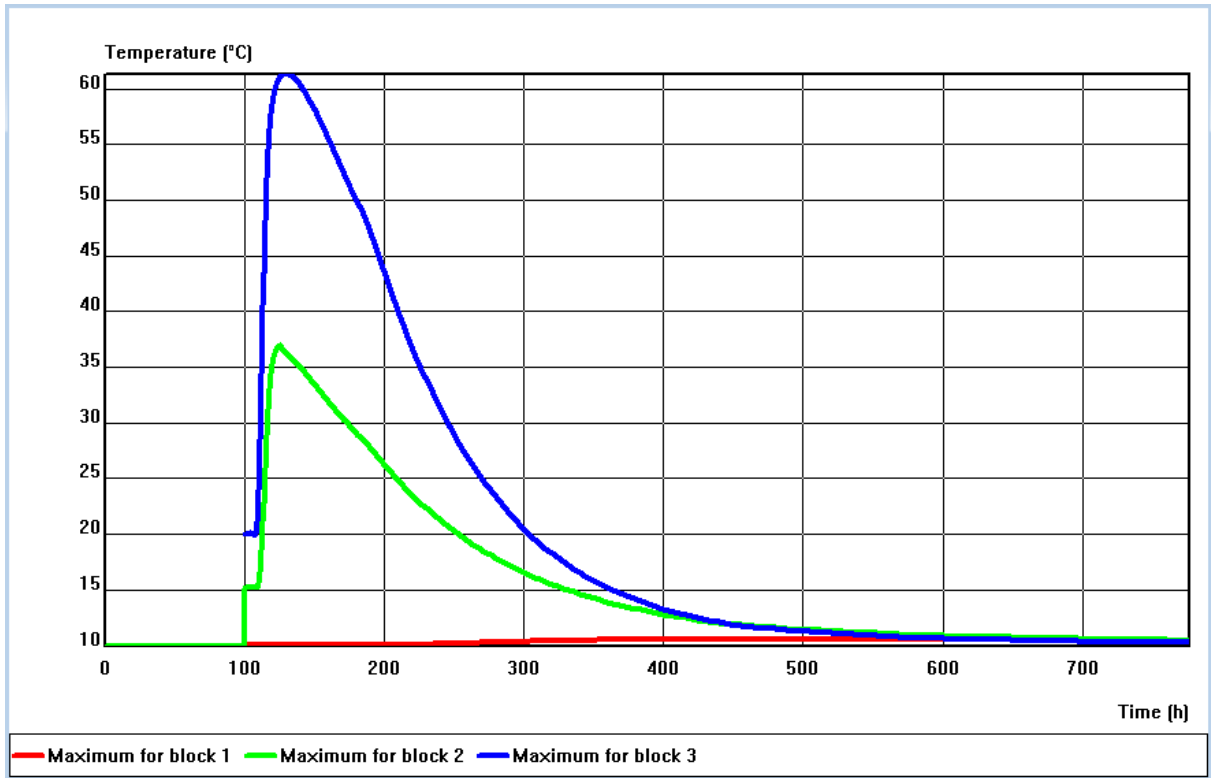


Fig 43: Maksimaltemperaturer, vegg A-0.

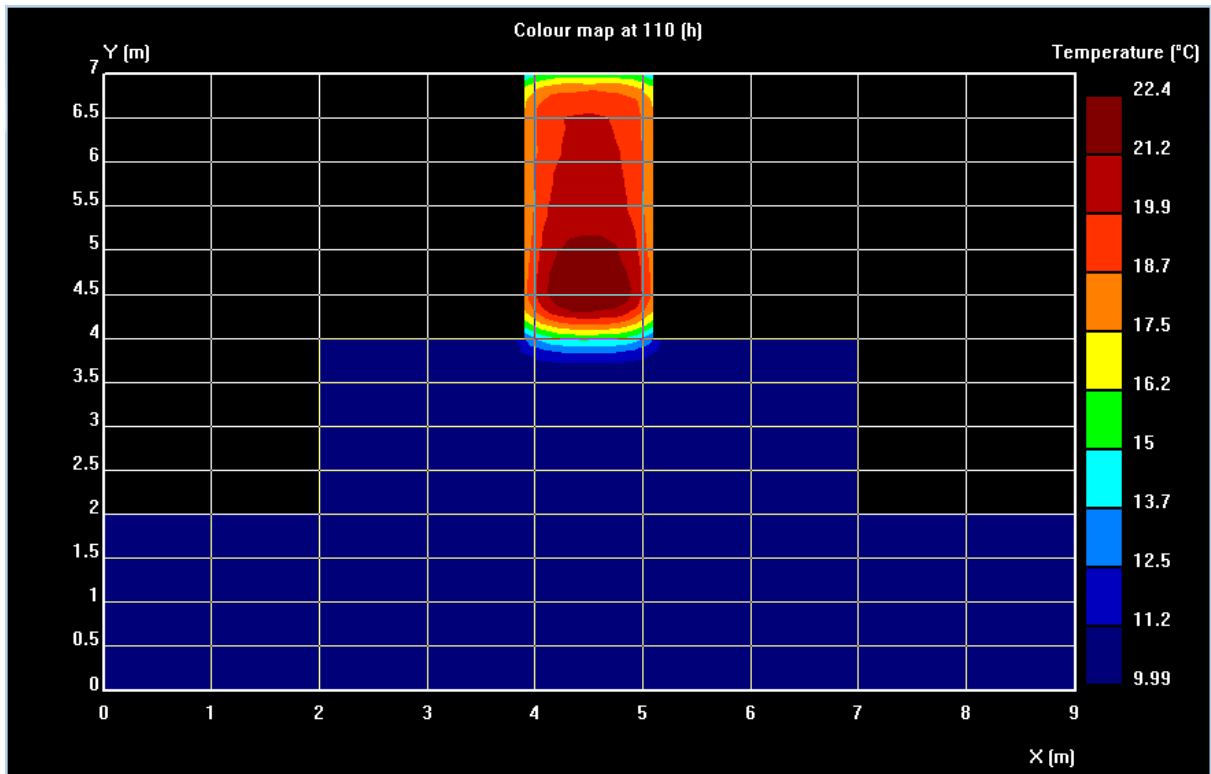


Fig 44: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-0.

Temperaturutvikling i betong

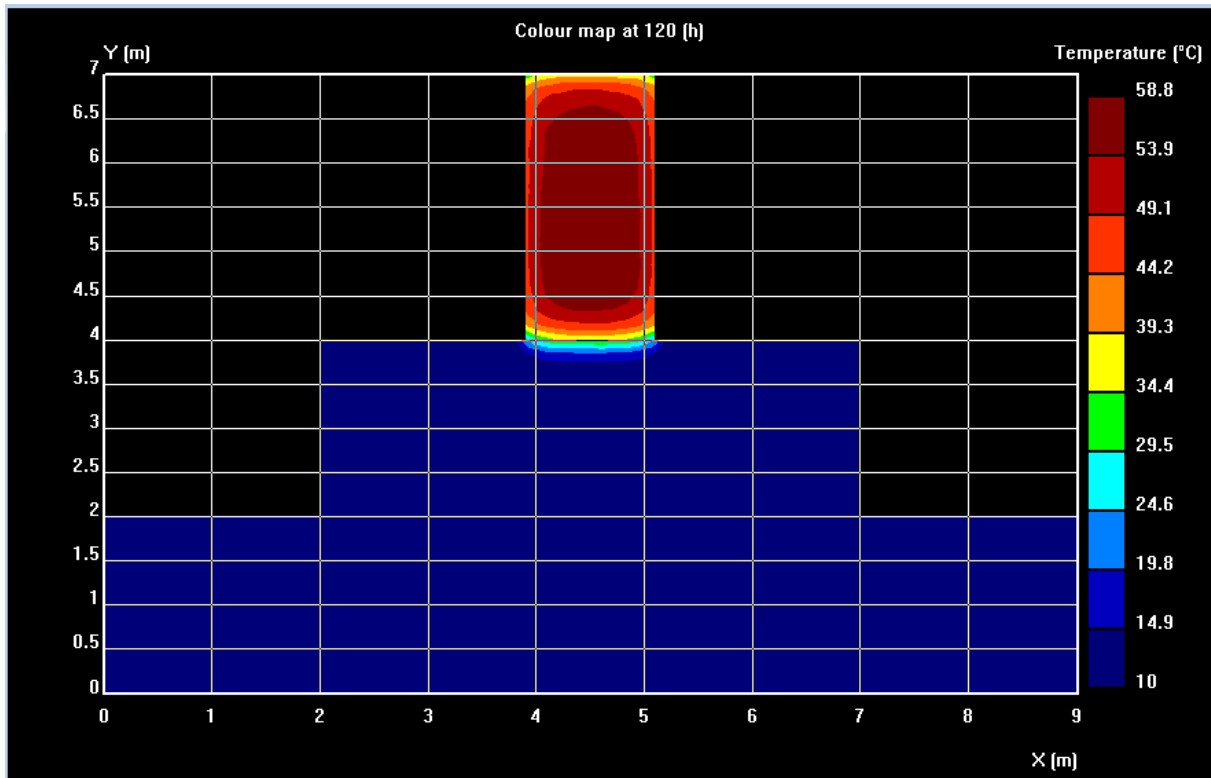


Fig 45: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-0.

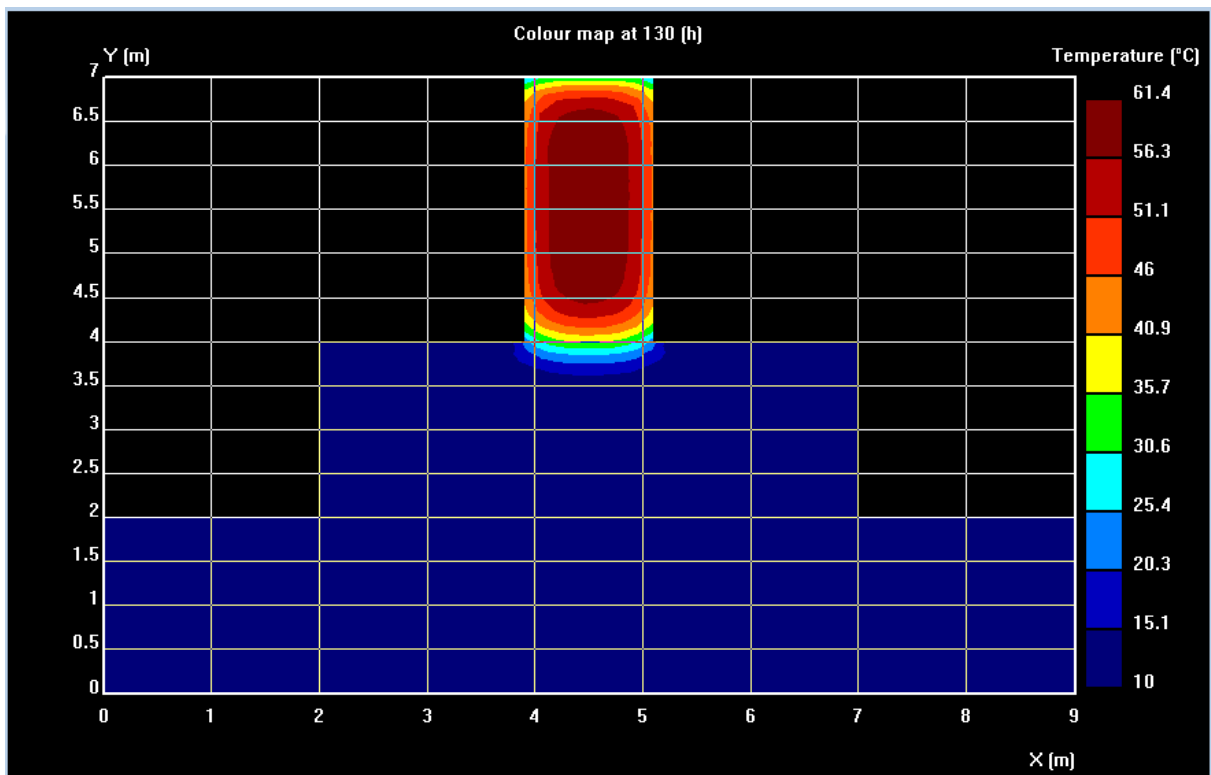


Fig 46: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-0.

Temperaturutvikling i betong

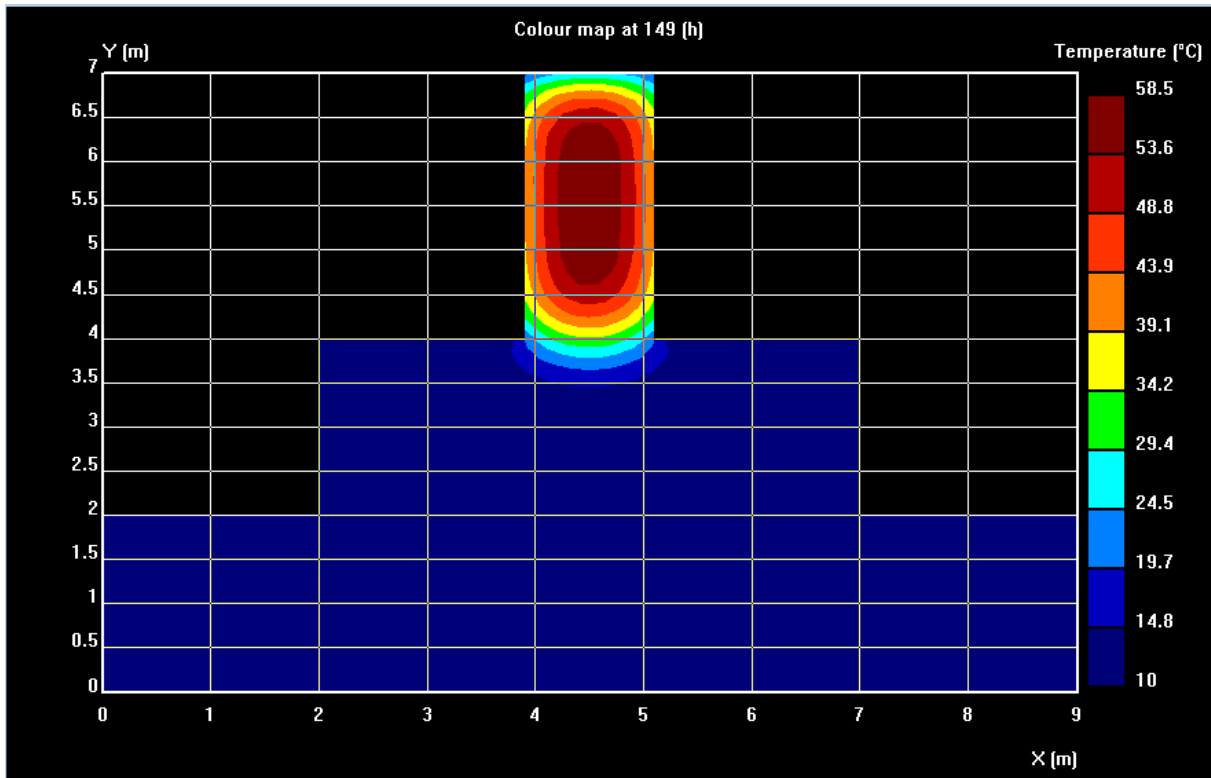


Fig 47: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-0.

5.3.2.1.2 Spenninger

Figur 48 illustrerer spenningene som oppstår i vegg og bunnslabben som et resultat av temperaturutviklingen. Vegg og bunnslabben er begge støpt med anleggsement.

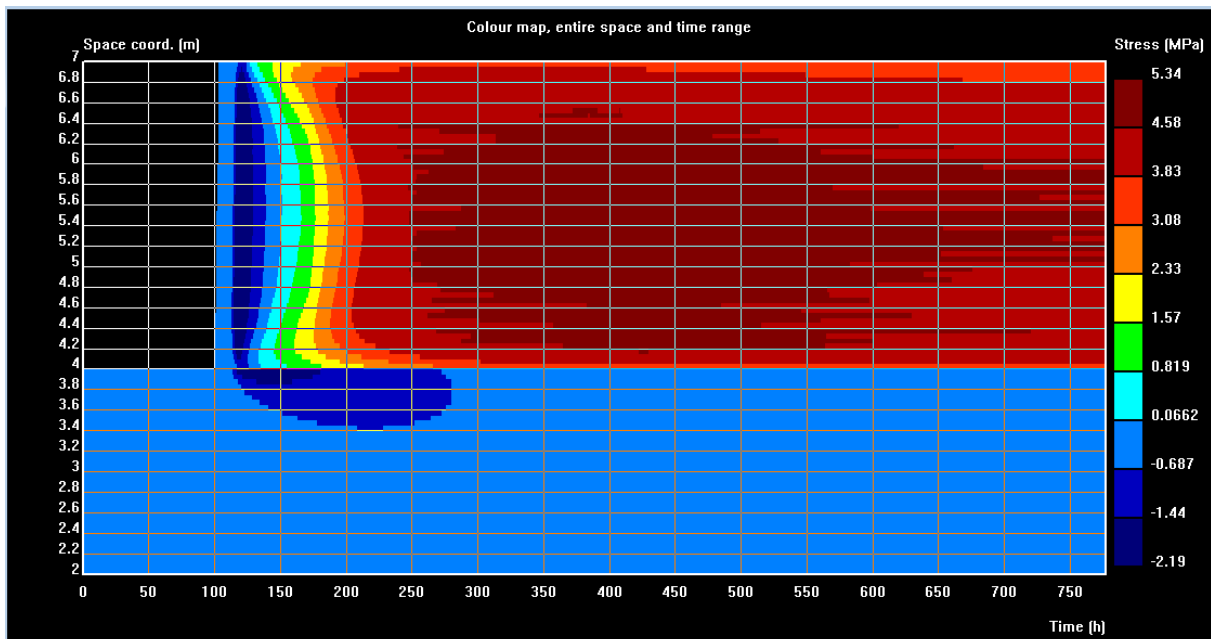


Fig 48: Fargekart som illustrerer spenningene i tverrsnittet over tid, vegg A-0.

5.3.2.2 Anlegg F15

5.3.2.2.1 Temperaturutvikling

Figur 49 viser temperaturutviklingen i vegg, over tid, støpt med anleggsement og 15 % flygeaske i ConTeSt Pro. Vegg er støpt på en bunnsplabb med anleggsement.

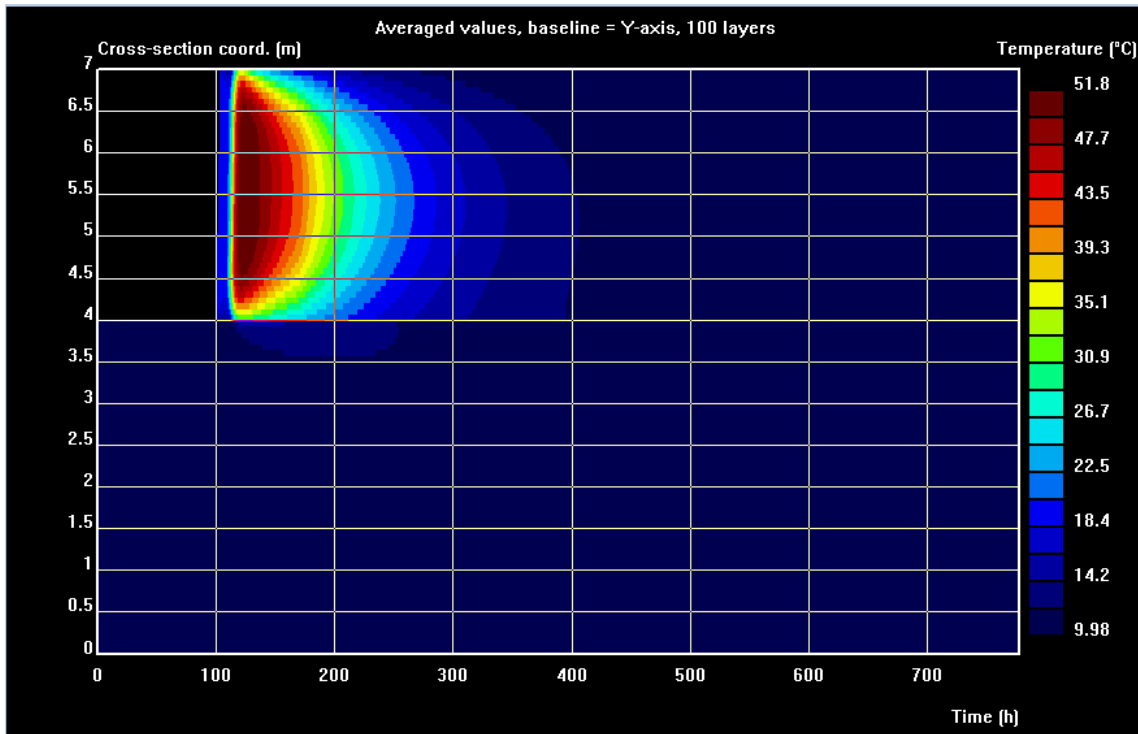


Fig 49: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, vegg A-F15.

Temperaturutvikling i betong

Figur 50 og 51 viser temperaturutviklingen grafisk mens figur 52-55 viser temperaturene i et snitt ved 10, 20, 30 og 49 timer etter utstøping.

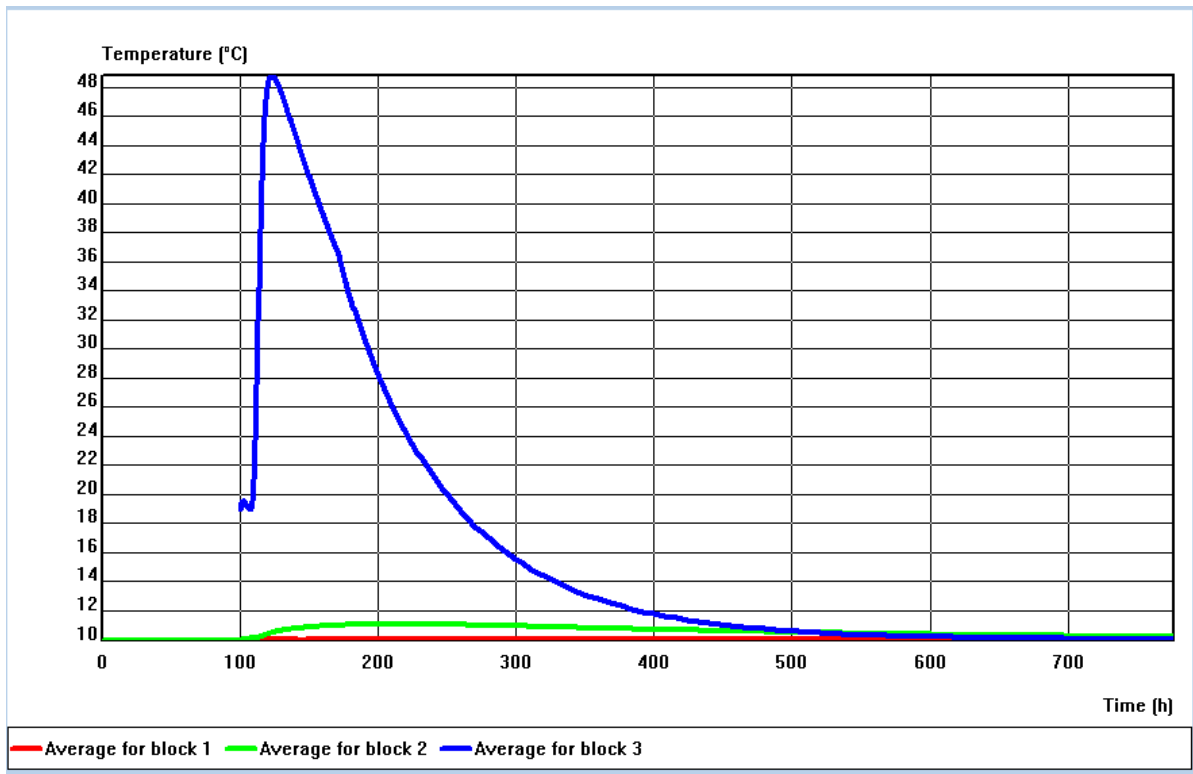


Fig 50: Gjennomsnittelig temperaturkurve, vegg A-F15.

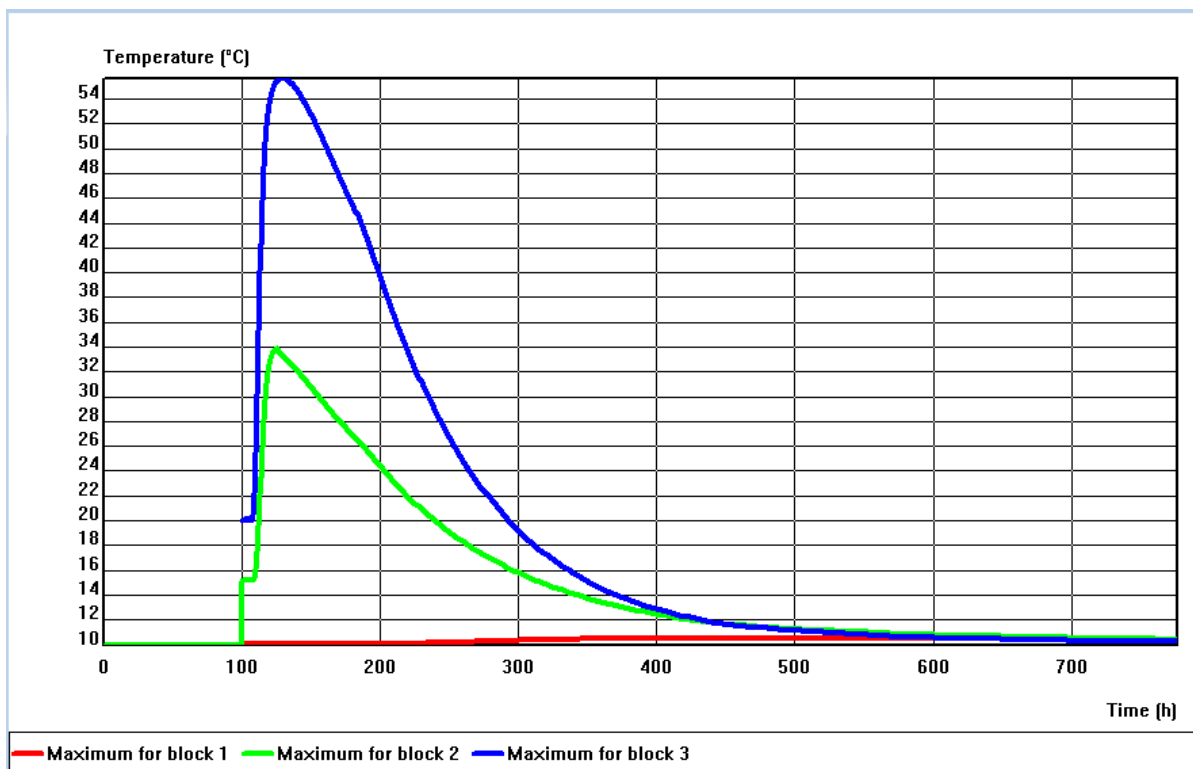


Fig 51: Maksimaltemperaturer, vegg A-F15.

Temperaturutvikling i betong



Fig 52: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F15.

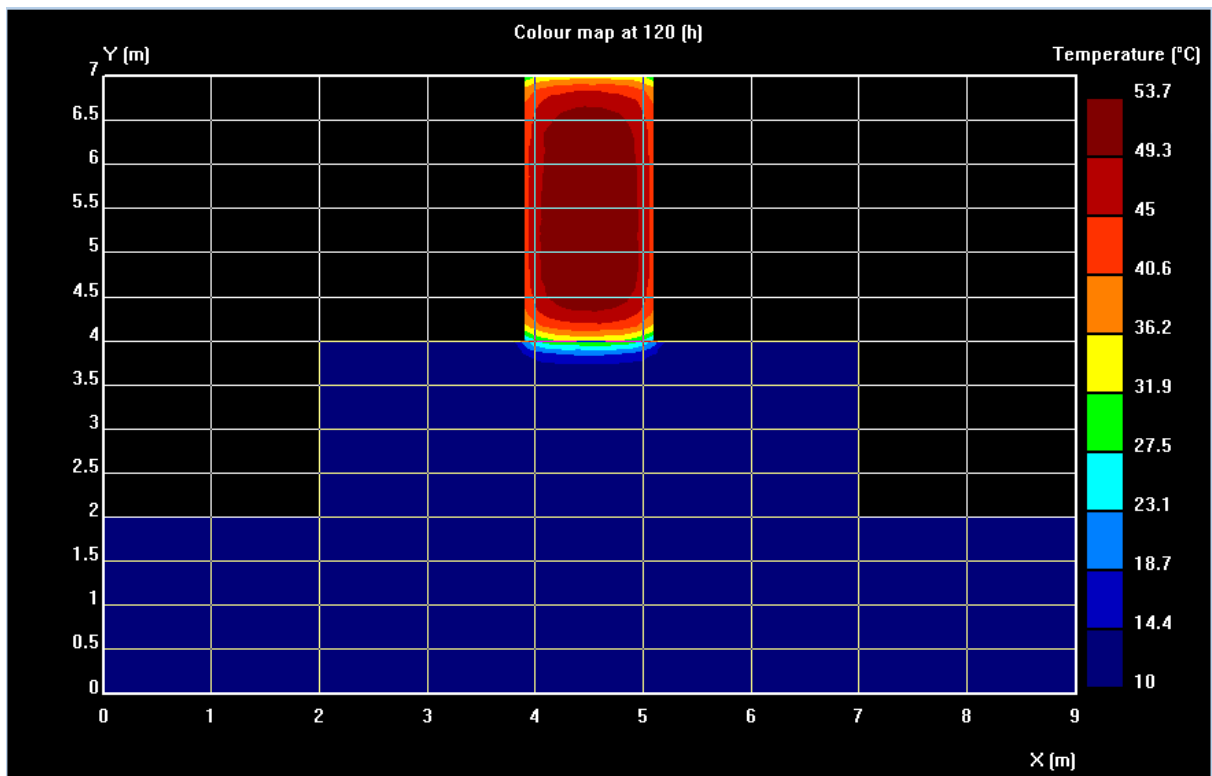


Fig 53: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F15.

Temperaturutvikling i betong

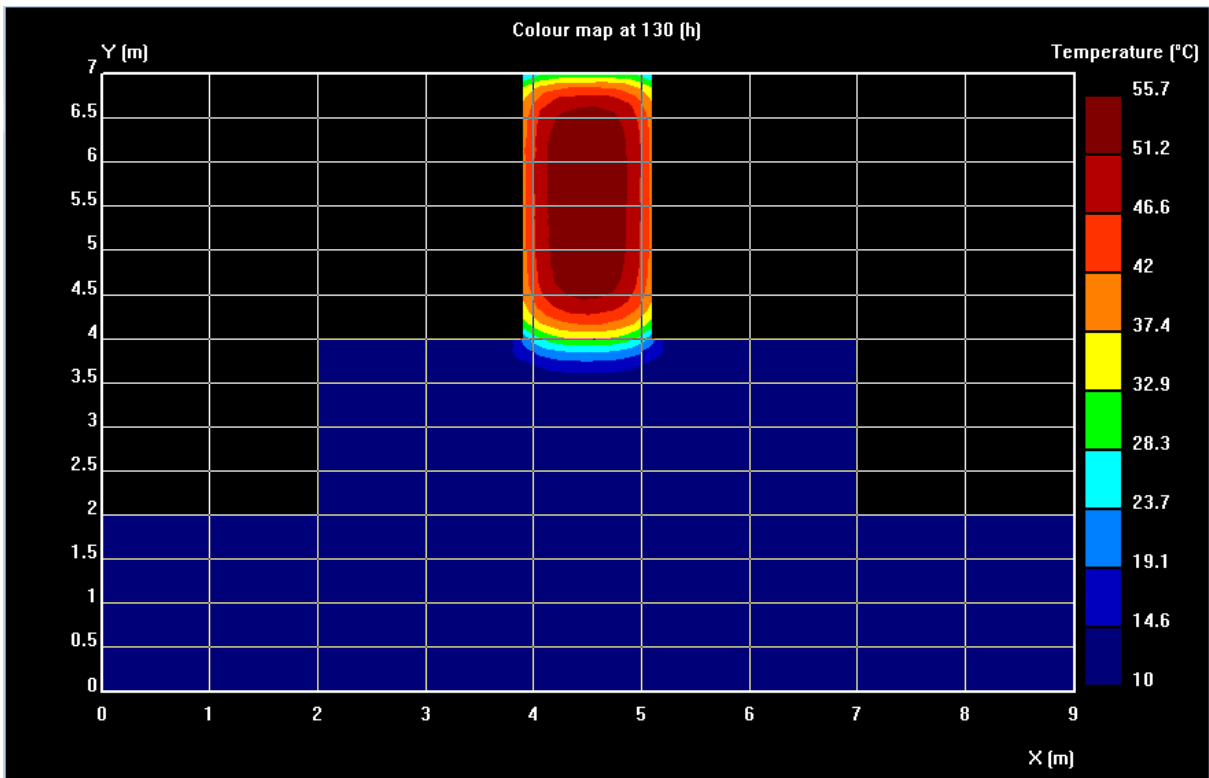


Fig 54: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F15.

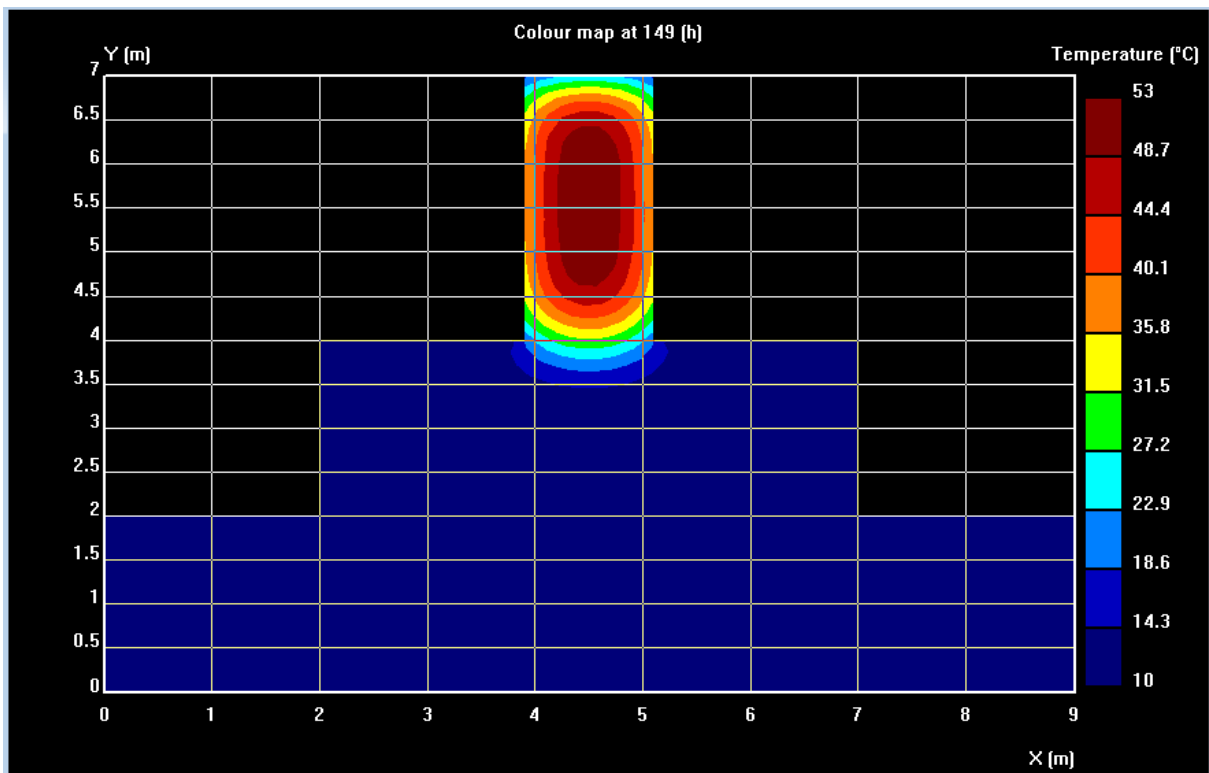


Fig 55: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F15.

5.3.2.2.2 Spenninger

Figur 56 illustrerer spenningene som oppstår i veggen og bunnslabben som et resultat av temperaturutviklingen. Veggen er støpt med anleggsement og 15 % flygeaske mens bunnslabben er støpt med anleggsement.

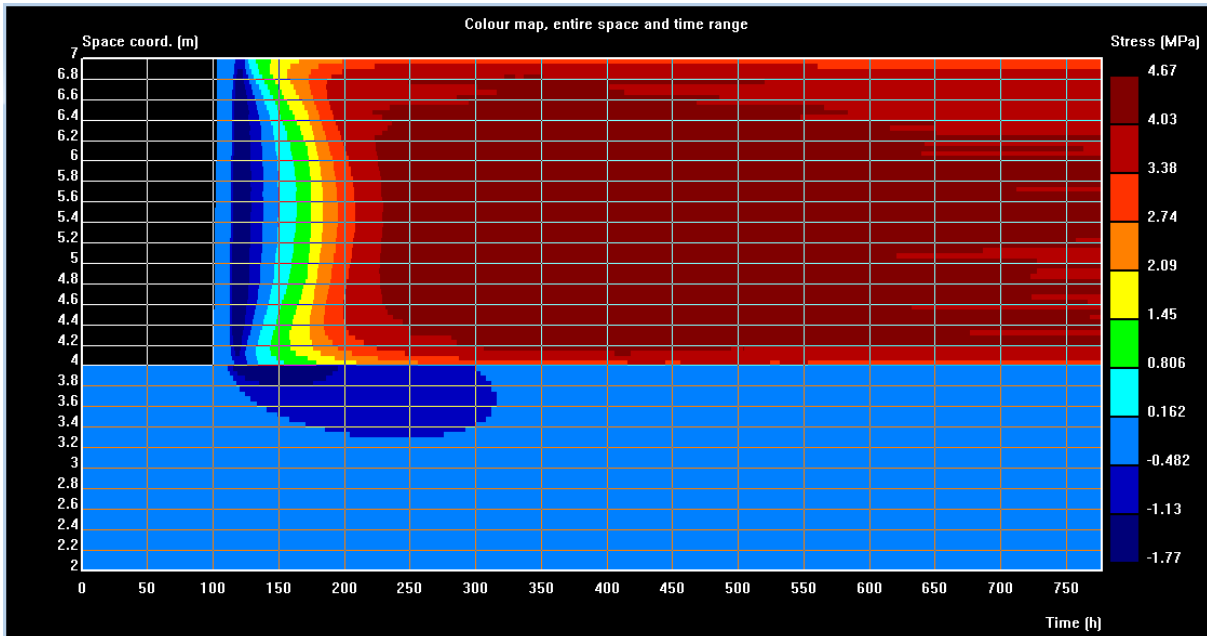


Fig 56: Fargekart som illustrerer spenningene i tverrsnittet over tid, vegg A-F15.

5.3.2.3 Anlegg F50

5.3.2.3.1 Temperaturutvikling

Figur 57 viser temperaturutviklingen i veggen, over tid, støpt med anleggsement og 50 % flygeaske i ConTeSt Pro. Veggen er støpt på en bunnsplabb med anleggsement.

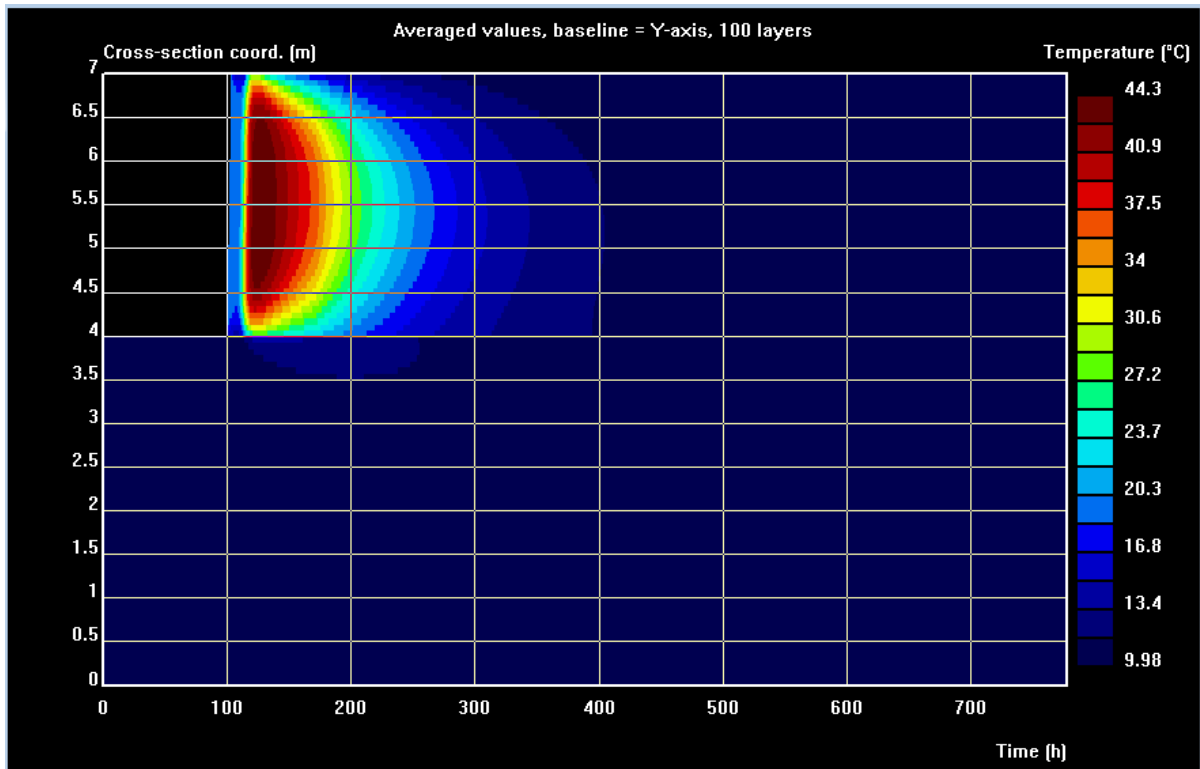


Fig 57: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, vegg A-F50.

Temperaturutvikling i betong

Figur 58 og 59 viser temperaturutviklingen grafisk mens figur 60-63 viser temperaturene i et snitt ved 10, 20, 30 og 49 timer etter utstøping.

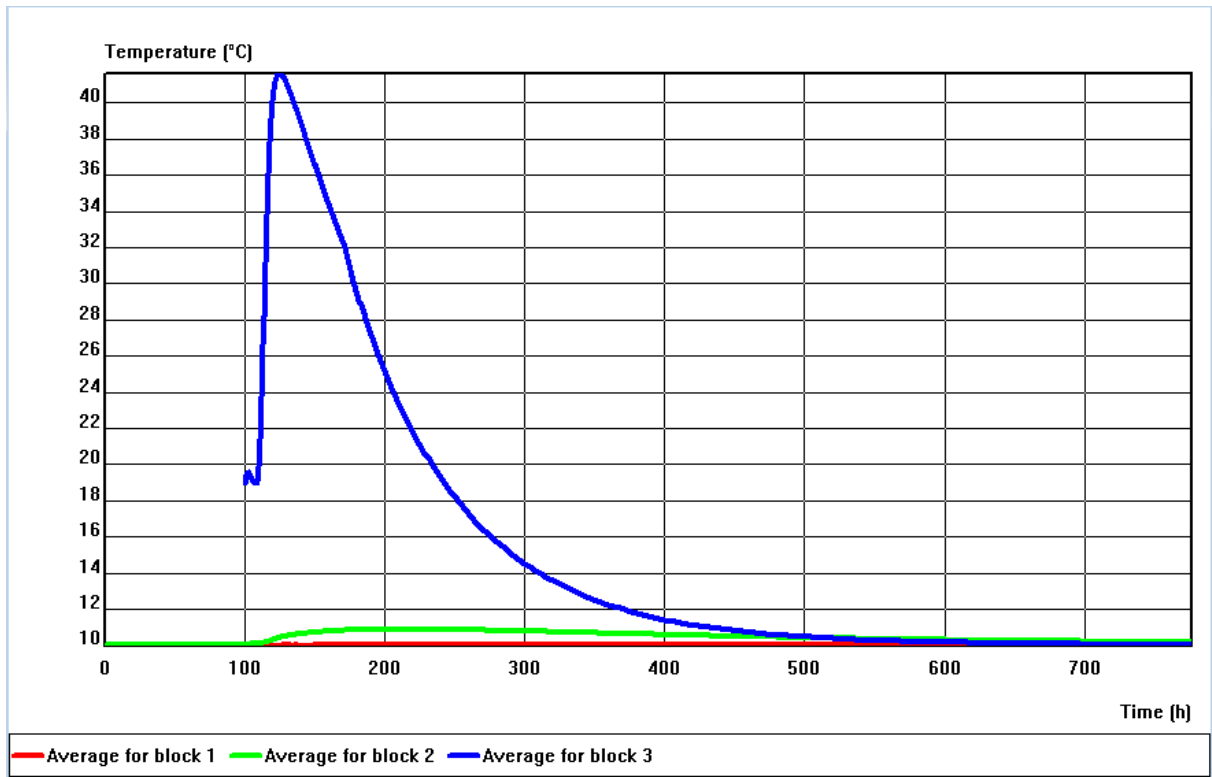


Fig 58: Gjennomsnittelig temperaturkurve, vegg A-F50.

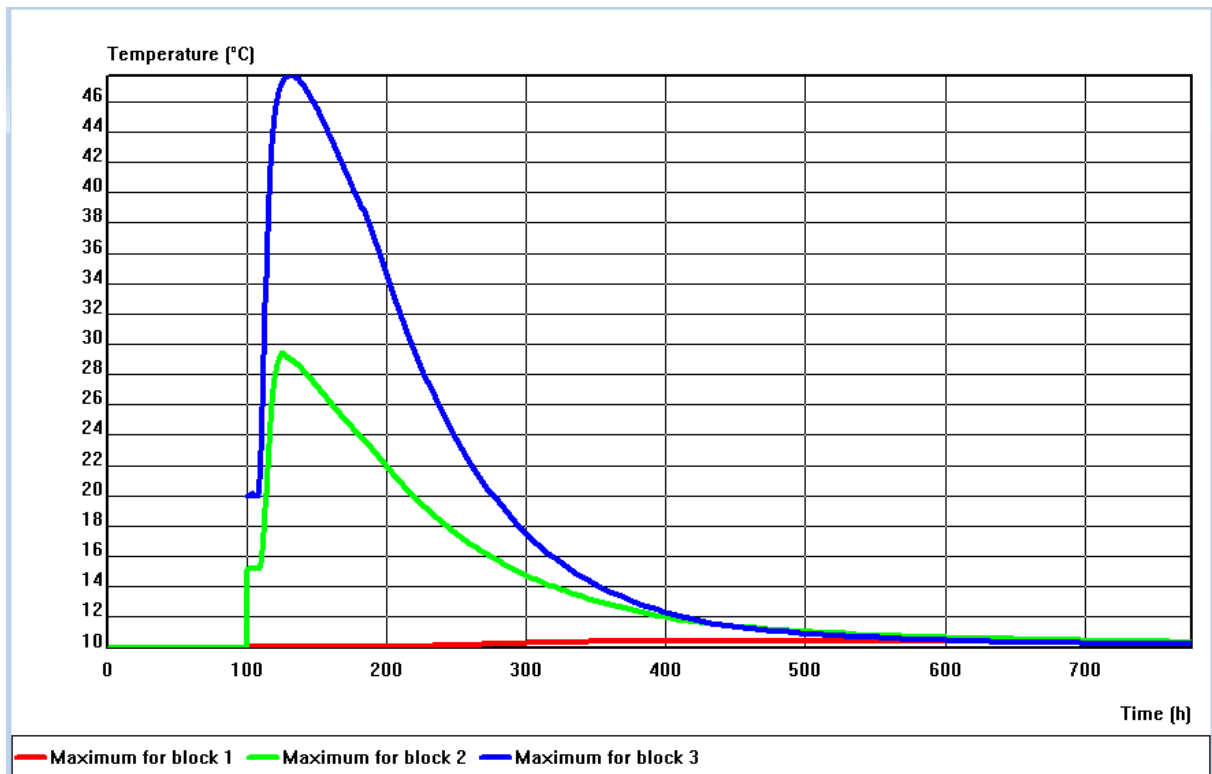


Fig 59: Maksimaltemperaturer, vegg A-F50.

Temperaturutvikling i betong

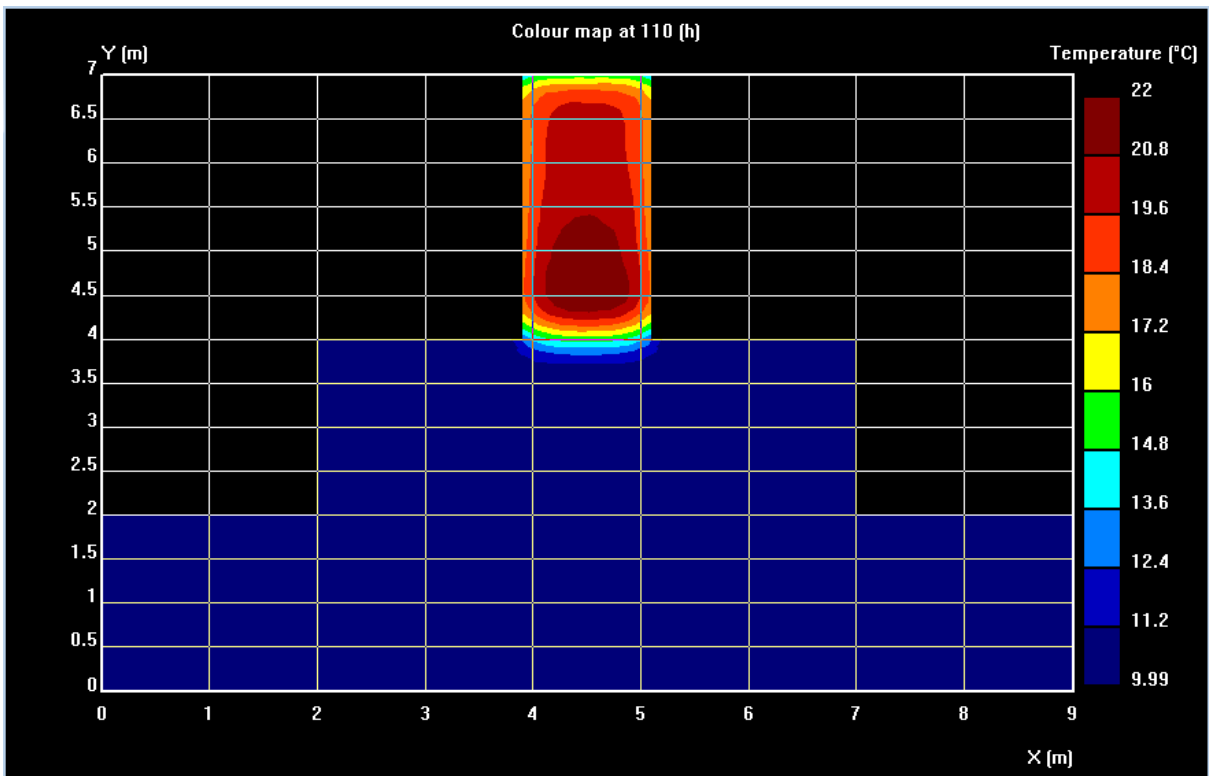


Fig 60: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F50.

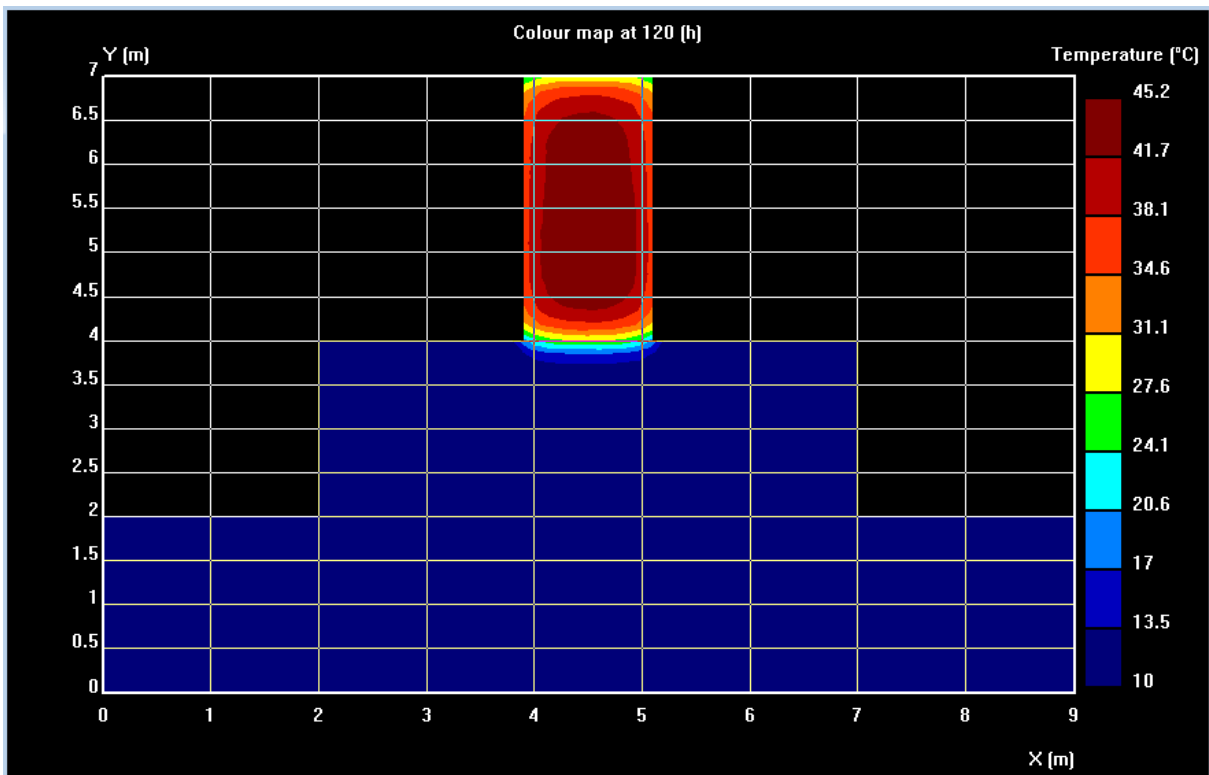


Fig 61: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F50.

Temperaturutvikling i betong

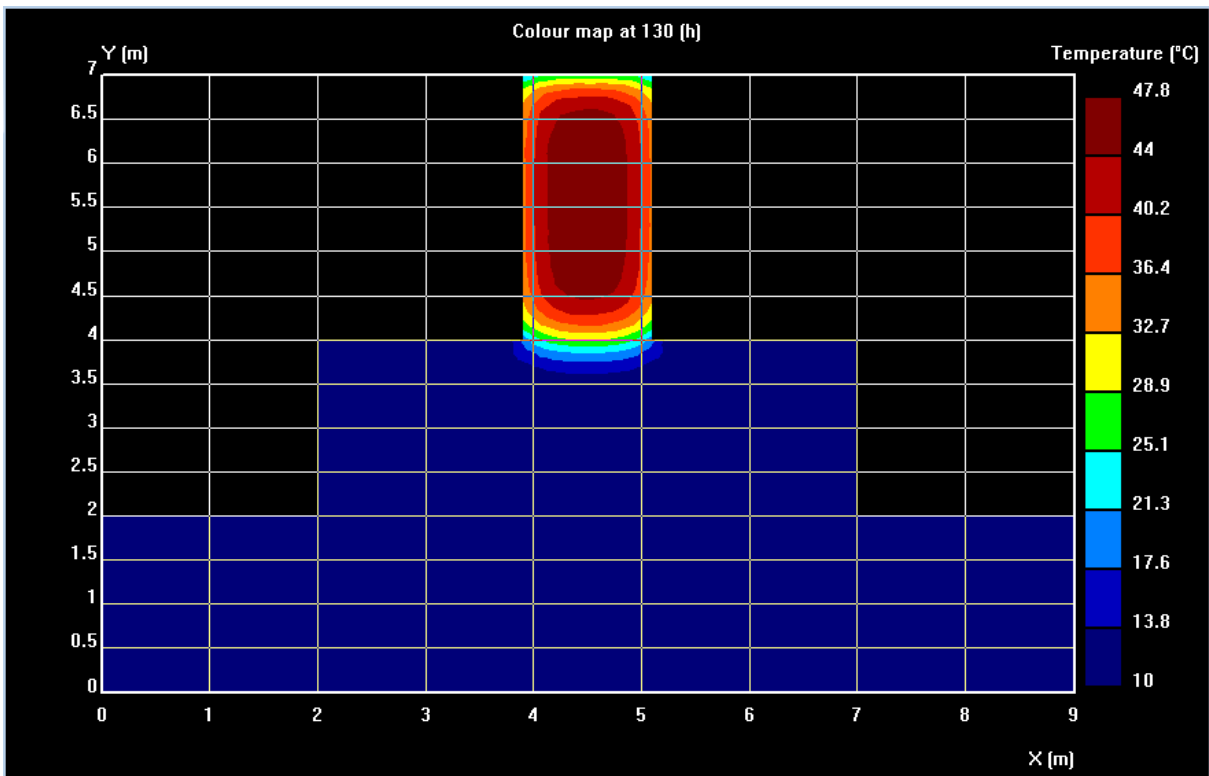


Fig 62: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F50.

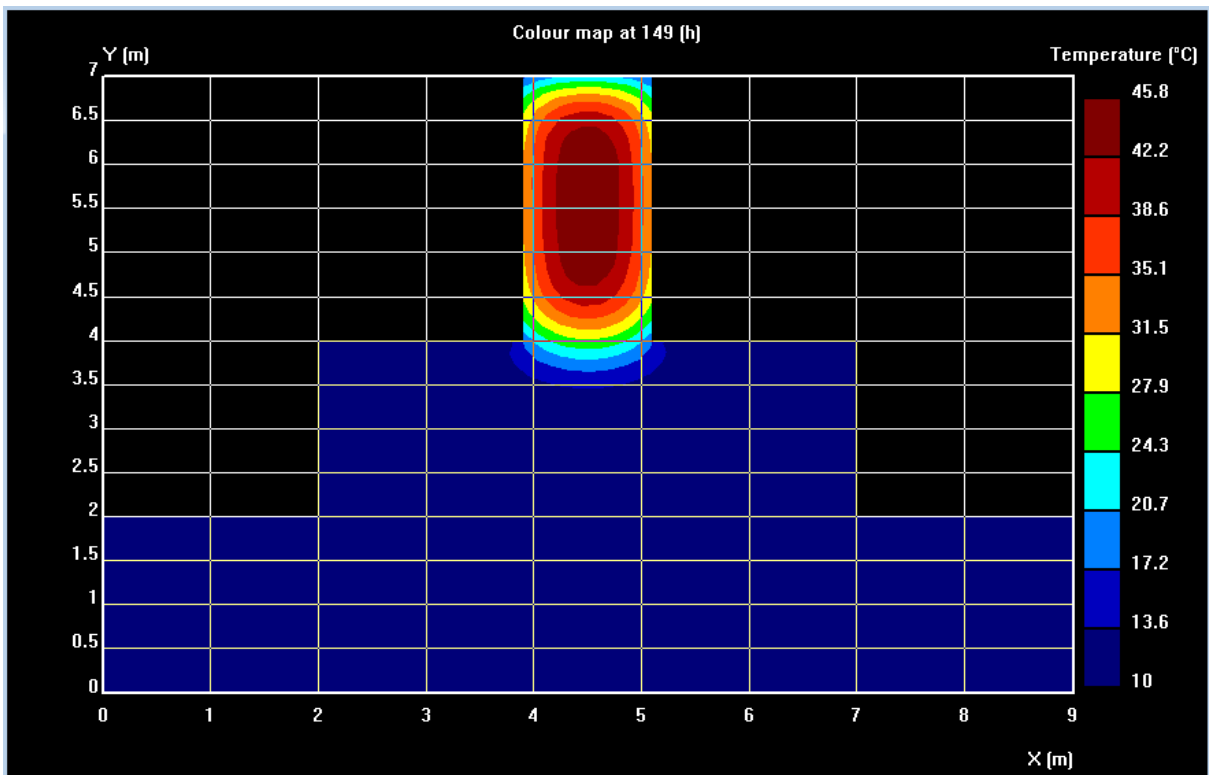


Fig 63: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F50.

5.3.2.3.2 Spenninger

Figur 64 illustrerer spenningene som oppstår i vegg og bunnslabben som et resultat av temperaturutviklingen. Vegg er støpt med anleggsement og 50 % flygeaske mens bunnslabben er støpt med anleggsement.

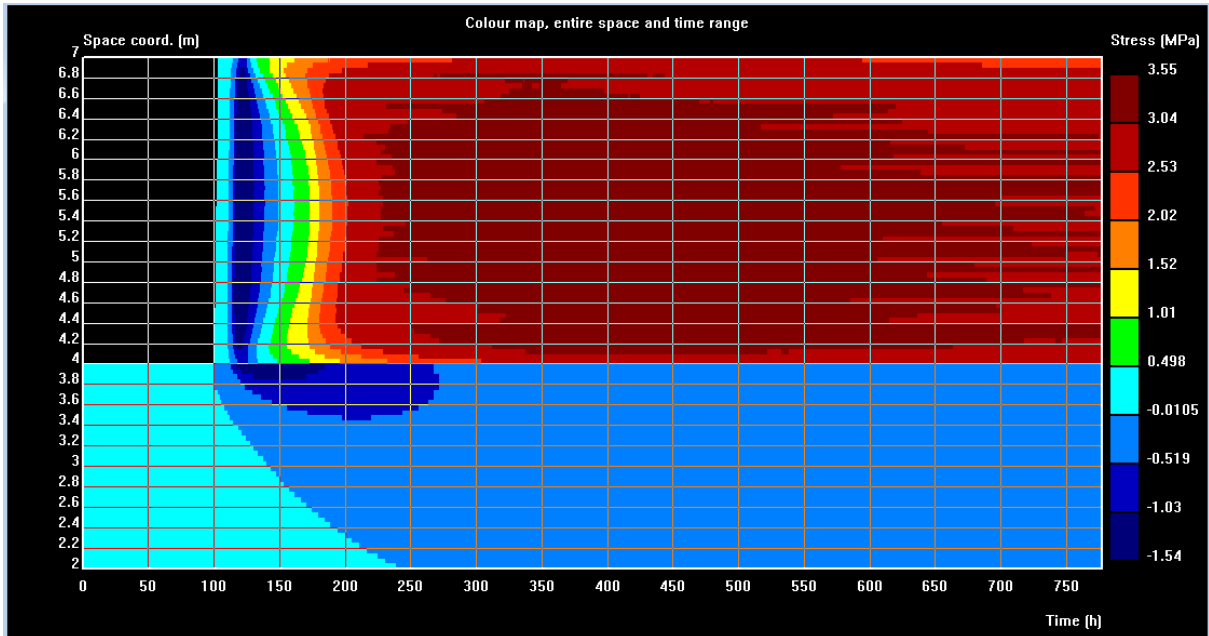


Fig 64: Fargekart som illustrerer spenningene i tverrsnittet over tid, vegg A-F50.

5.3.2.4 Anlegg F50S6

5.3.2.4.1 Temperaturutvikling

Figur 65 viser temperaturutviklingen i vegg, over tid, støpt med anleggsement, 50 % flygeaske og 6 % Microsilica i ConTeSt Pro. Vegg er støpt på en bunnsplatt med anleggsement.

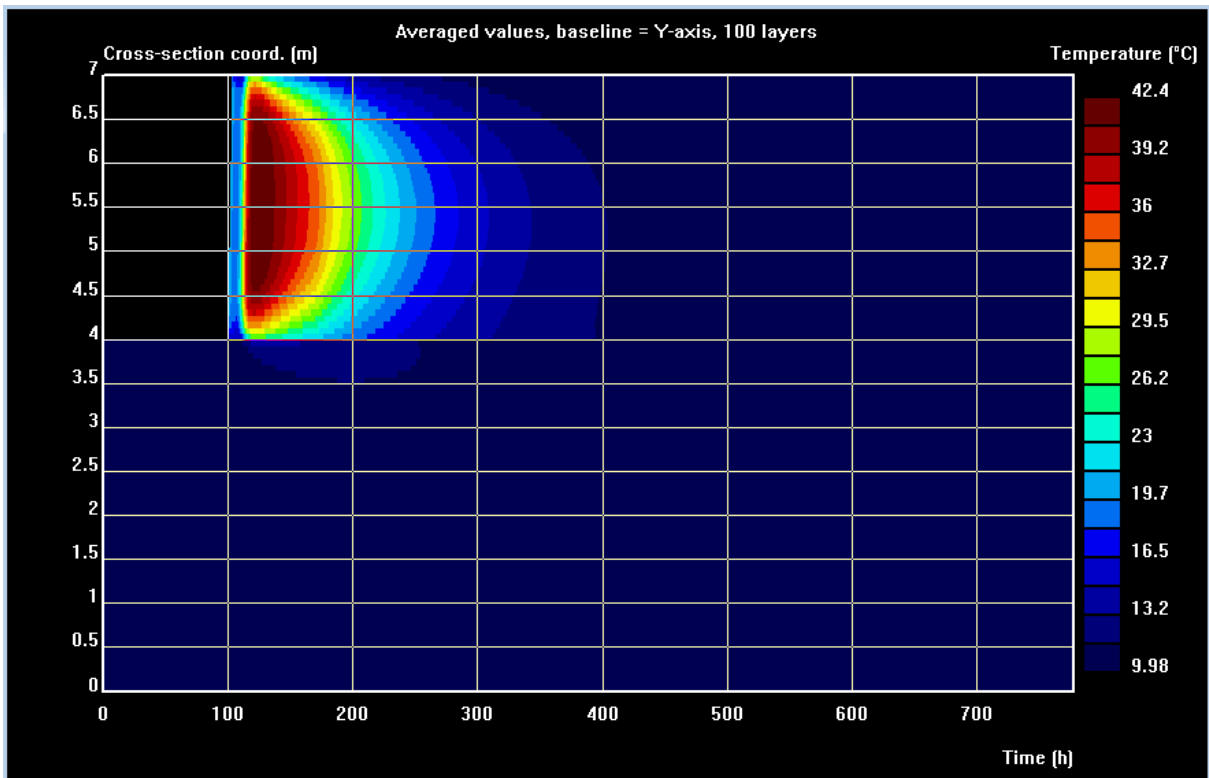


Fig 65: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, vegg A-F50S6.

Temperaturutvikling i betong

Figur 66 og 67 viser temperaturutviklingen grafisk mens figur 68-71 viser temperaturene i et snitt ved 10, 20, 30 og 49 timer etter utstøping.

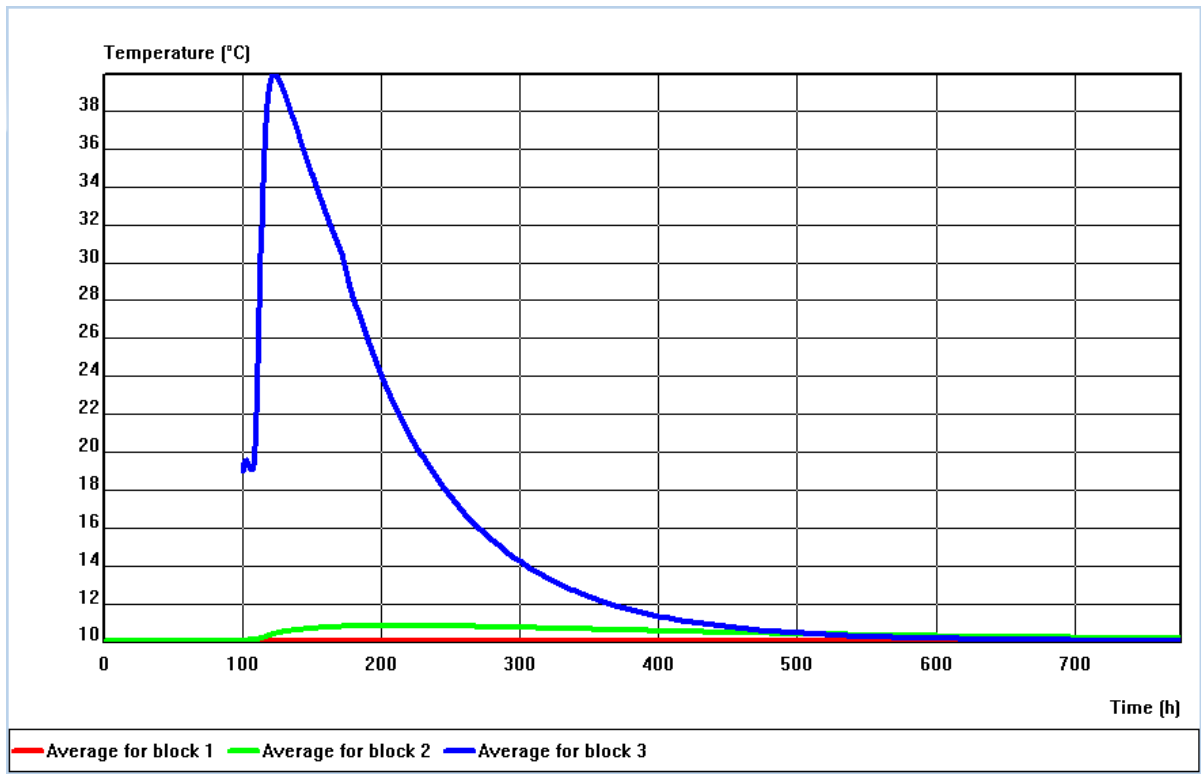


Fig 66: Gjennomsnittelig temperaturkurve, vegg A-F50S6.

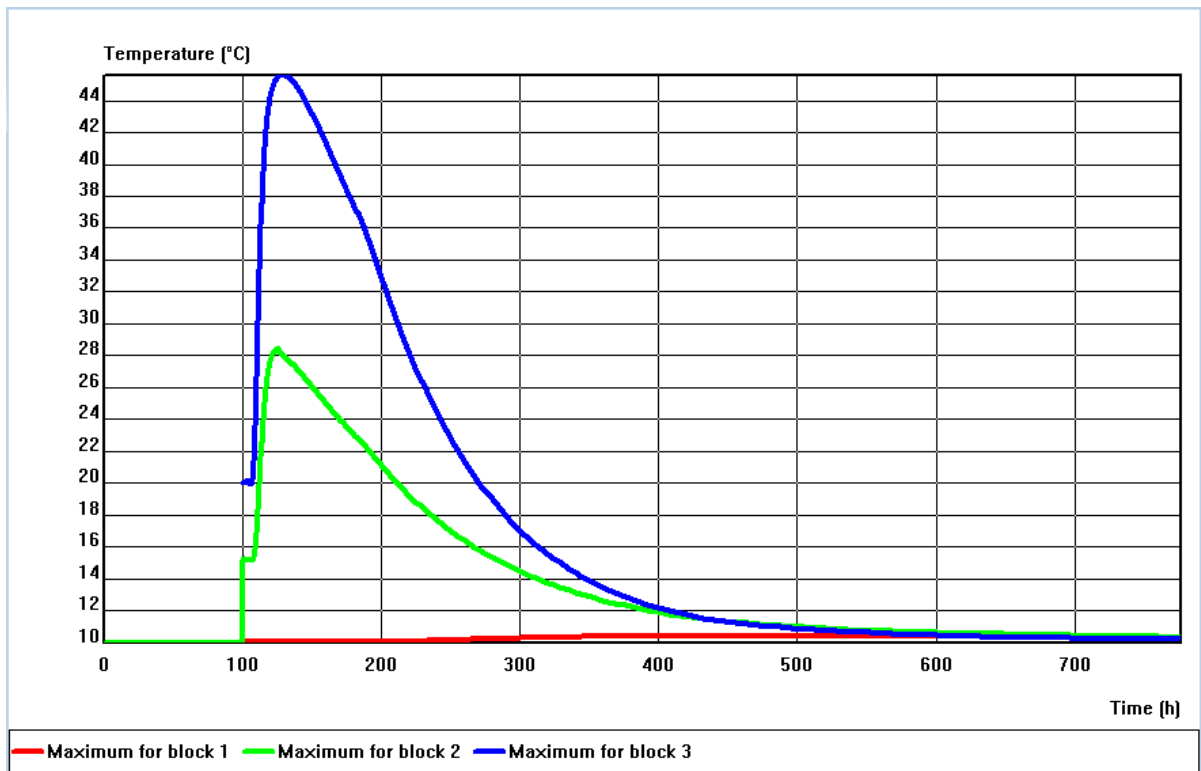


Fig 67: Maksimaltemperaturer, vegg A-F50S6.

Temperaturutvikling i betong



Fig 68: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F50S6.

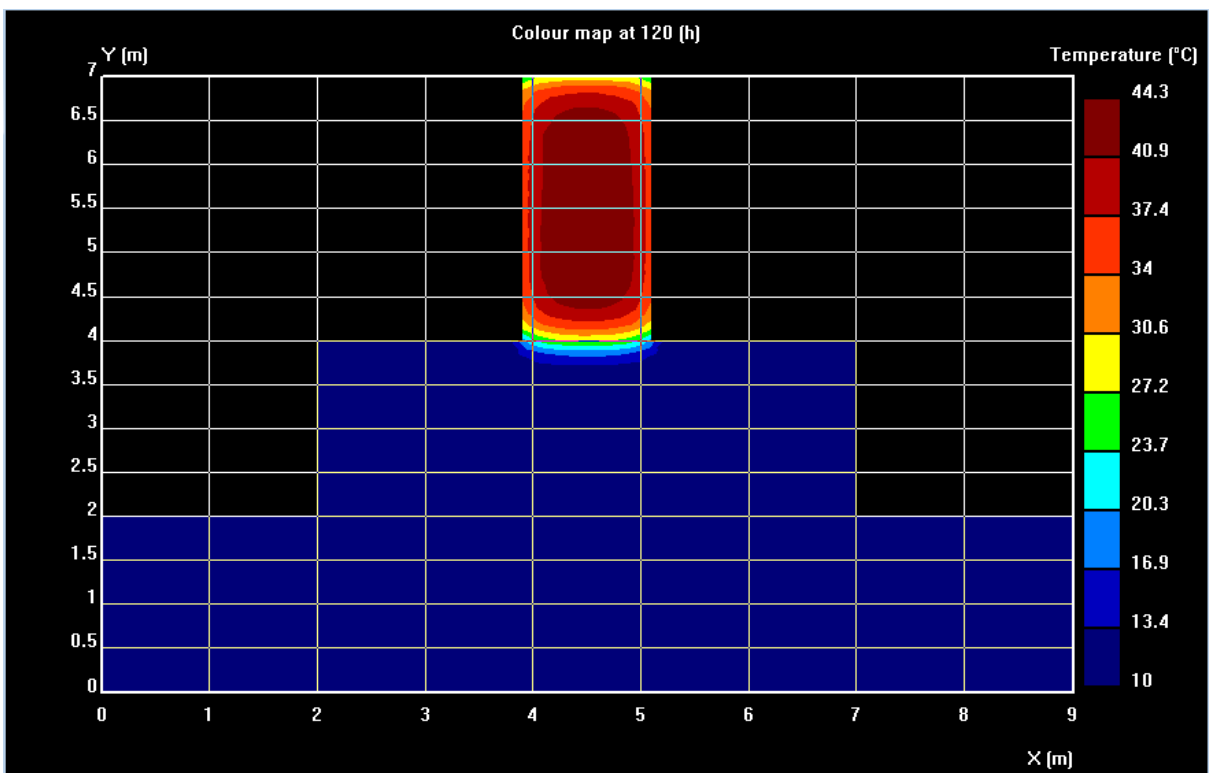


Fig 69: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F50S6.

Temperaturutvikling i betong

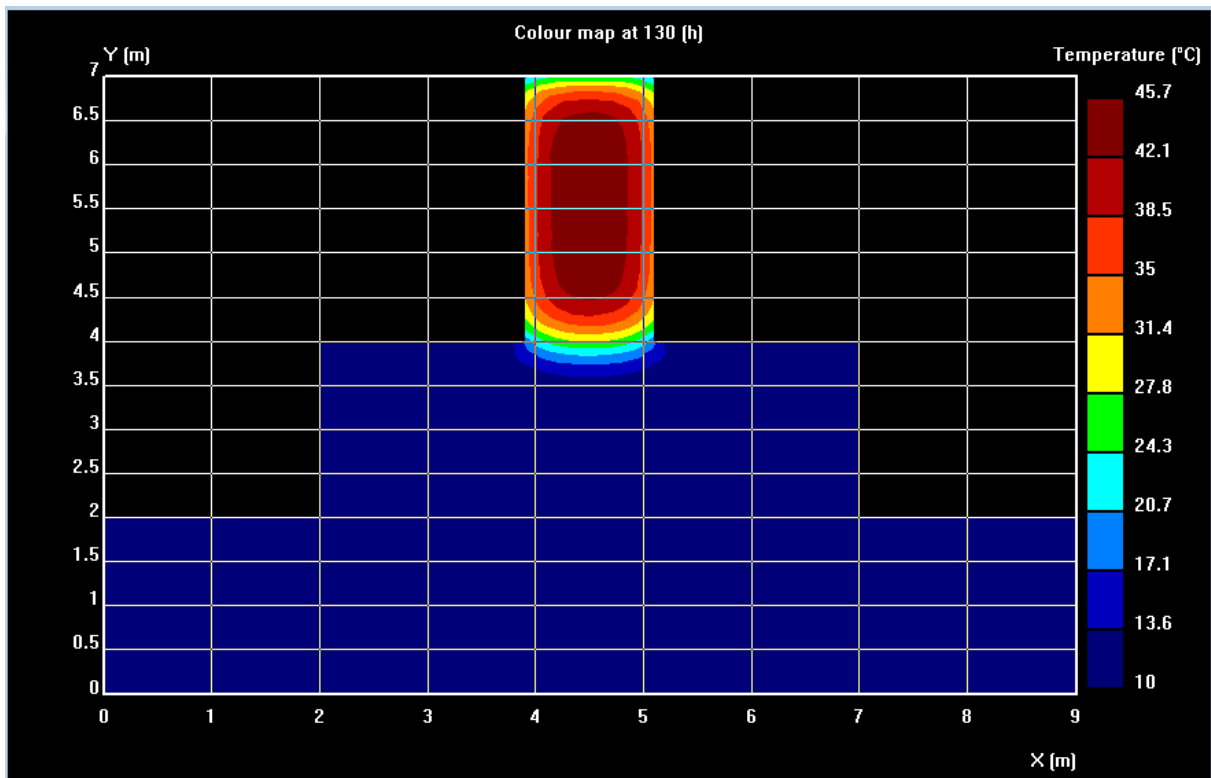


Fig 70: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F50S6.

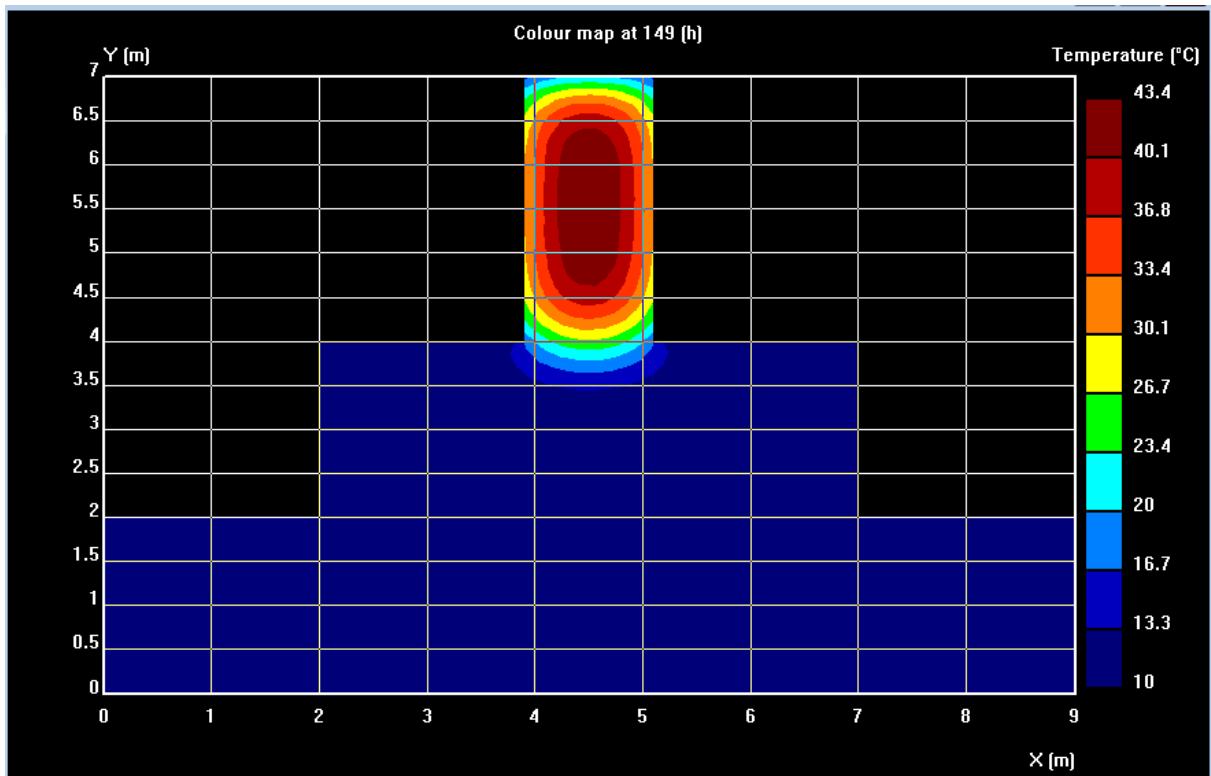


Fig 71: Temperaturkart tverrsnitt, vegg A-F50S6.

5.3.2.4.2 Spenninger

Figur 72 illustrerer spenningene som oppstår i veggen og bunnslabben som et resultat av temperaturutviklingen. Veggen er støpt med anleggsement, 15 % flygeaske og 6 % Microsilica mens bunnslabben er støpt med anleggsement.

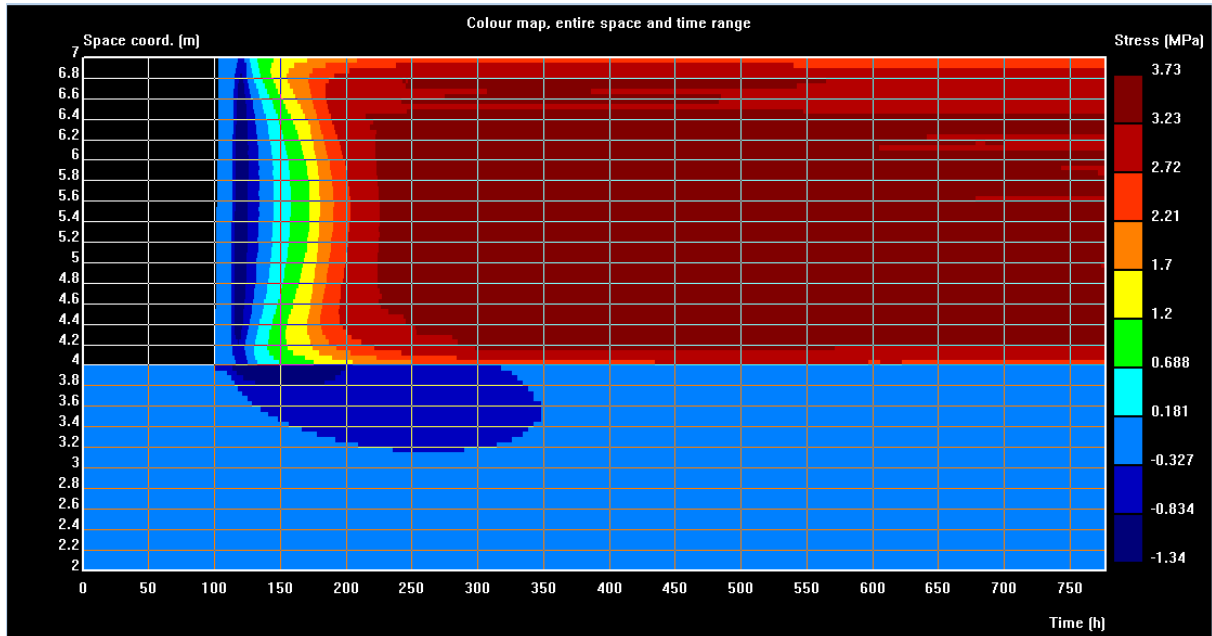


Fig 72: Fargekart som illustrerer spenningene i tverrsnittet over tid, vegg A-F50S6.

6. Observasjoner

6.1 Generelle observasjoner

Under blanding og støping var det merkbart forskjell på konsistensen til de forskjellige betongene, da blandingene med stort massevolum pozzolan var seigere i konsistensen og ga inntrykk av en større flyt enn reelt.

Ved testing av trykkfasthet har enkelte terninger, kommentert i gjeldene tabeller, hatt en fasthet som ikke er korrekt når de sammenlignes med andre betongblandinger, noe som er resultatet av dårlig stamping i formene. A-F50 ble blandet to ganger da termometeren i den første blandingen ikke virket.

Under termometermålingene i herdekasse er det ikke loggført omgivelsestemperaturer samtidig som termometerene i laboratoriet har hatt ugunstige variasjoner, dette fører til problemer ved beregning av egenskapsfunksjonene. Omgivelsestemperatur er derfor satt til den temperaturen betongen stabiliserer seg på når herdeprosessen er over. Den totale varmeutviklingen, Q_{∞} , blir derfor ikke korrekt og kan derfor ikke brukes til å sammenlignes med beregninger gjort i andre prosjekter, men er brukbar til sammenligning mellom betongene som er testet i denne oppgaven.

Ved bestemmelse av temperaturtransmisjonskoeffisient, i regnearket for herdekasse, er denne satt konstant. Dette er gjort i beregningene av varmeutviklingen til betongene slik at sammenligning blir mulig.

7. Diskusjon

7.1 Trykkfasthet

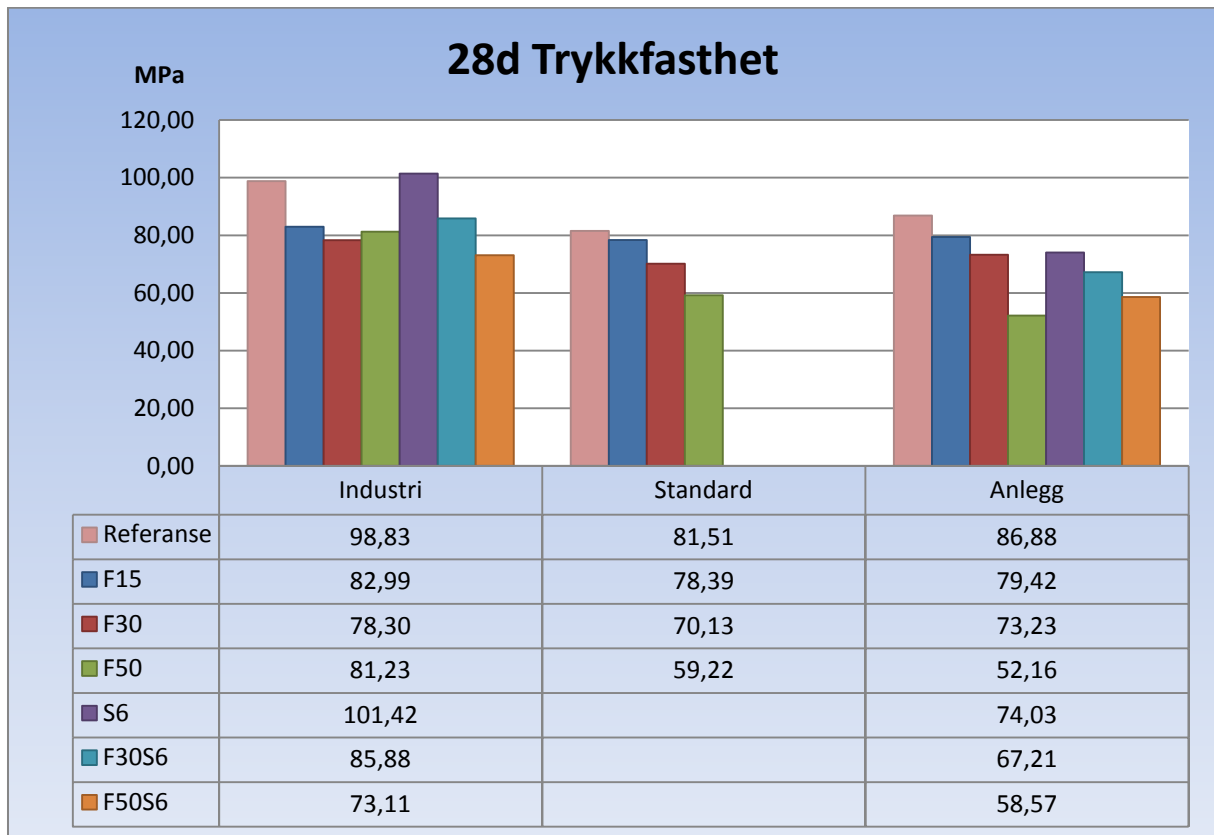


Fig 73: Trykkfasthet etter 28 døgn.

Når 28 døgn trykkfastheten til referansene, sement uten pozzolan, sammenlignes er det mulig å se at Industrisementen gir høyest fasthet mens Standard og Anlegg utvikler den laveste fastheten. Det er også tydelig at med økt mengde flygeaske minsker trykkfastheten etter 28 dager, dette er å forvente da sementmengden i betongen er redusert.

Det vises i figur 73 hvordan I-F50 avviker fra forventet fasthet og har høyere trykkfasthet enn I-F30. Når I-F30 og I-F50 sammenlignes viser det at I-F50 har lavere herdetemperatur, figur 75, og mindre synk, tabell 10, enn I-F30, noe som normalt vil gi lavere trykkfasthet. I-F50 avviker heller ikke med luftinnhold eller densitet, tabell 10. Det er derfor mulighet for variasjon i vanninnholdet i sanden, som ved lavere vanninnhold gir lavere v/c-tall, som påvirker trykkfastheten.

Temperaturutvikling i betong

Når Microsilica er tilsatt i tillegg til flygeaske gir dette en økt trykkfasthet, det kan forklares med at den har en bedre filleregenskap og en større andel SiO_2 , noe som vil produsere mer C-S-H. Microsilica reagerer også mye raskere enn flygeaske og etter 28 dager vil nesten all Microsilicaen ha reagert.

Etter 28 dager vil nesten all Microsilicaen ha reagert mens flygeasken vil fortsette å gi et bidrag til trykkfastheten utover dette. Siden hydratiseringen av sementen fortsetter etter 28 dager vil det være en konstant tilgang av kalsiumhydroksid til pozzolanreaksjon. Etter 90 dager vil forskjellene i trykkfasthet være redusert og betongene med flyveaske vil ha en fasthet tilnærmet referanseblandingene.

7.2 Temperaturutvikling

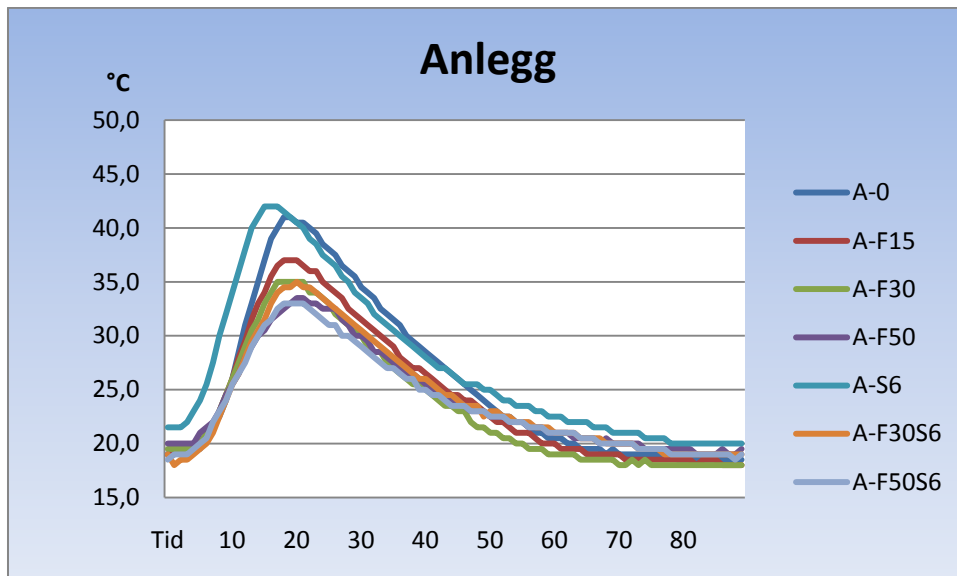


Fig 74: Temperaturutvikling i herdekasse.

Temperaturutvikling i betong

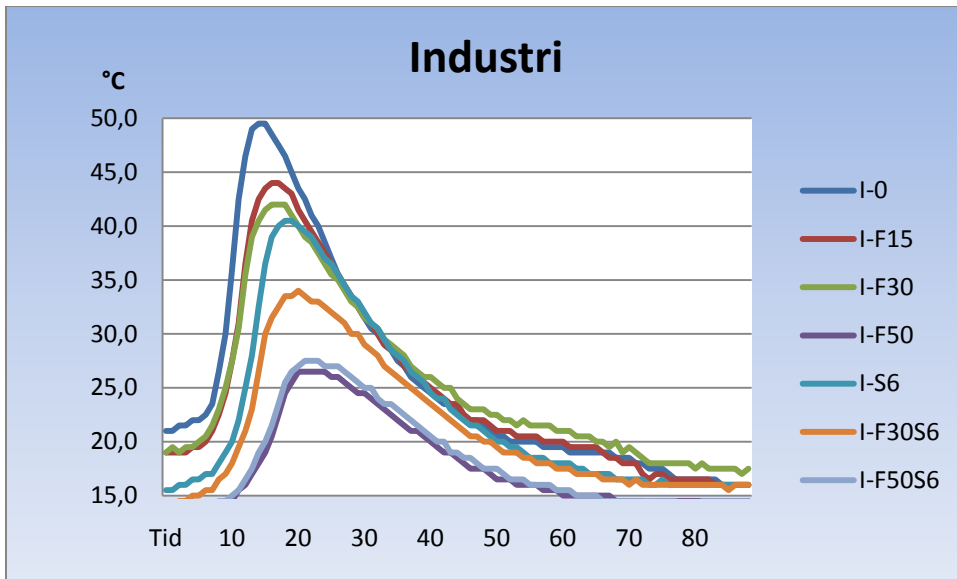


Fig 75: Temperaturutvikling i herdekasse.

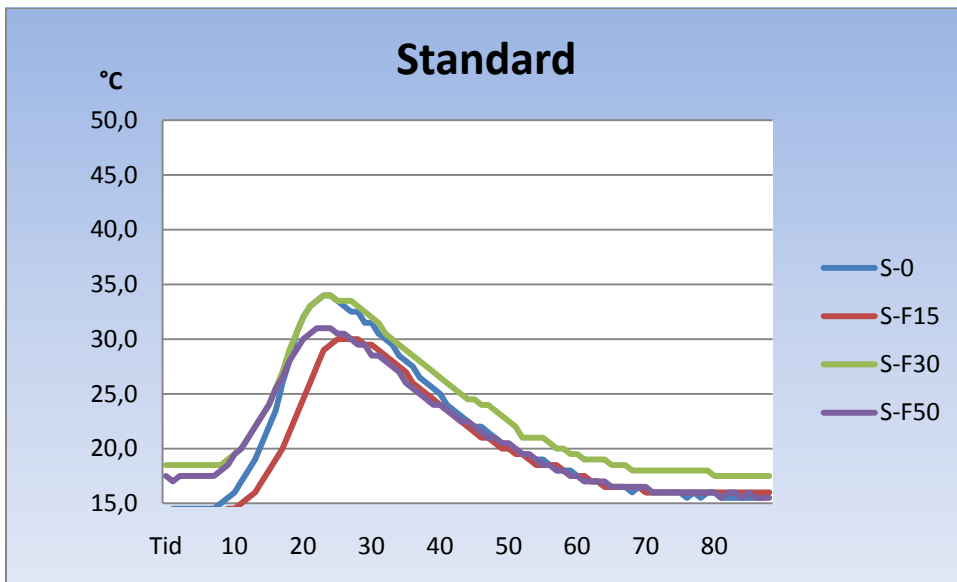


Fig 76: Temperaturutvikling i herdekasse.

Temperaturutvikling i betong

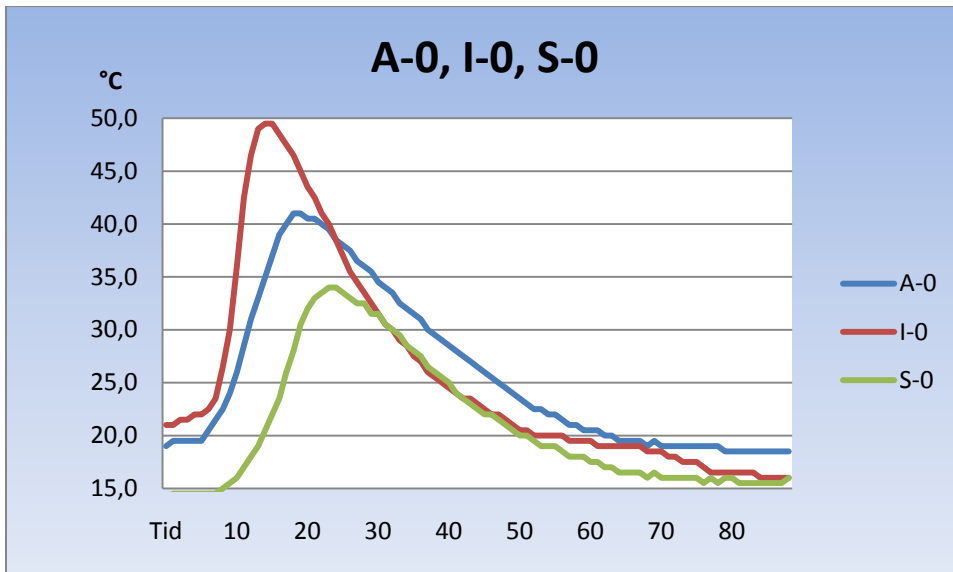


Fig 77: Temperaturutvikling i herdekasse.

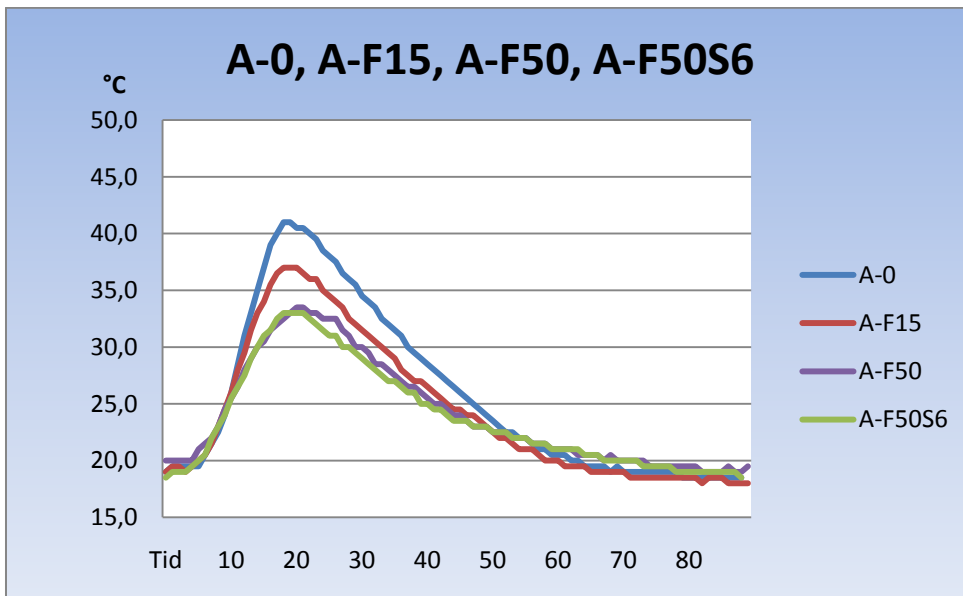


Fig 78: Temperaturutvikling i herdekasse.

Temperaturutvikling i betong

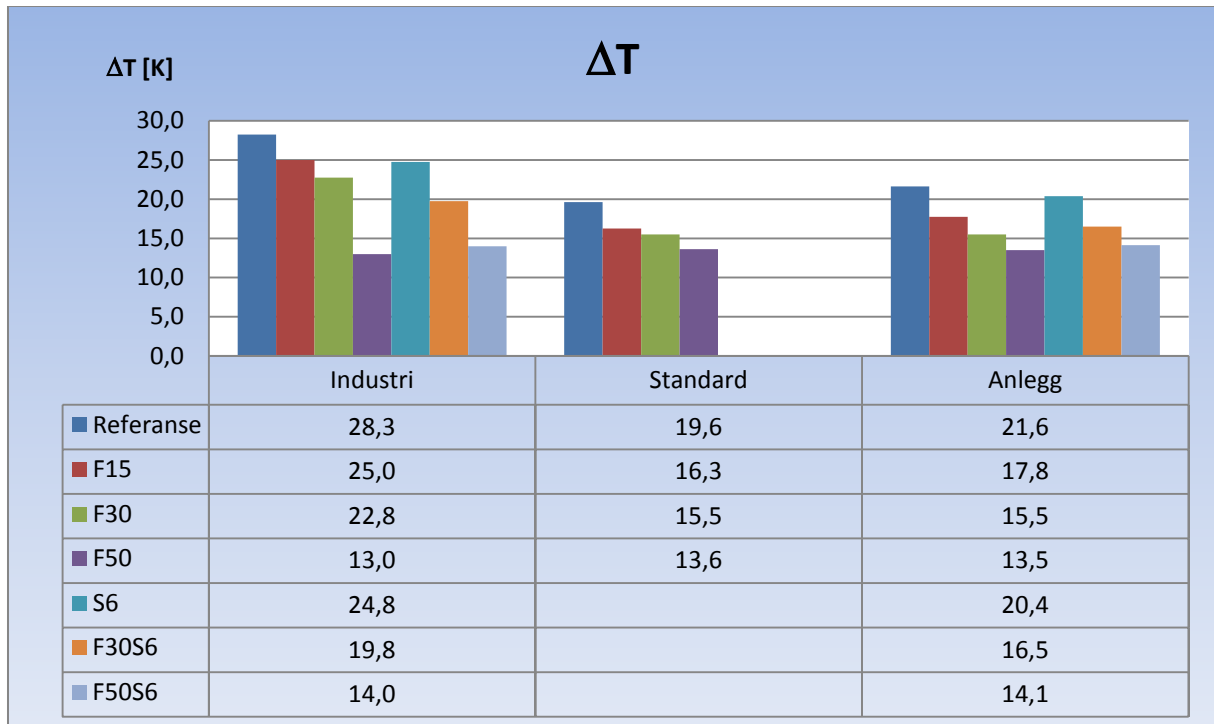


Fig 79: Temperaturdifferanser mellom utstøpningstemperatur og maksimalt oppnådd temperatur.

I figur 74-78 er temperaturkurvene til et utvalg blandinger vist, men grunnet forskjellig omgivelsestemperatur er det vanskelig å sammenligne disse, derimot er det i figur 79 vist temperaturdifferansen mellom utstøpningstemperatur og maksimalt oppnådd temperatur. Av denne er det mulig å se hvordan den maksimale temperaturen blir lavere med økt mengde pozzolan. Det vises også at det ved å tilsette Microsilika i tillegg til flygeaske øker temperaturen, noe som kommer av en økt mengde SiO_2 til hydratiseringen.

7.3 Egenskapsfunksjoner

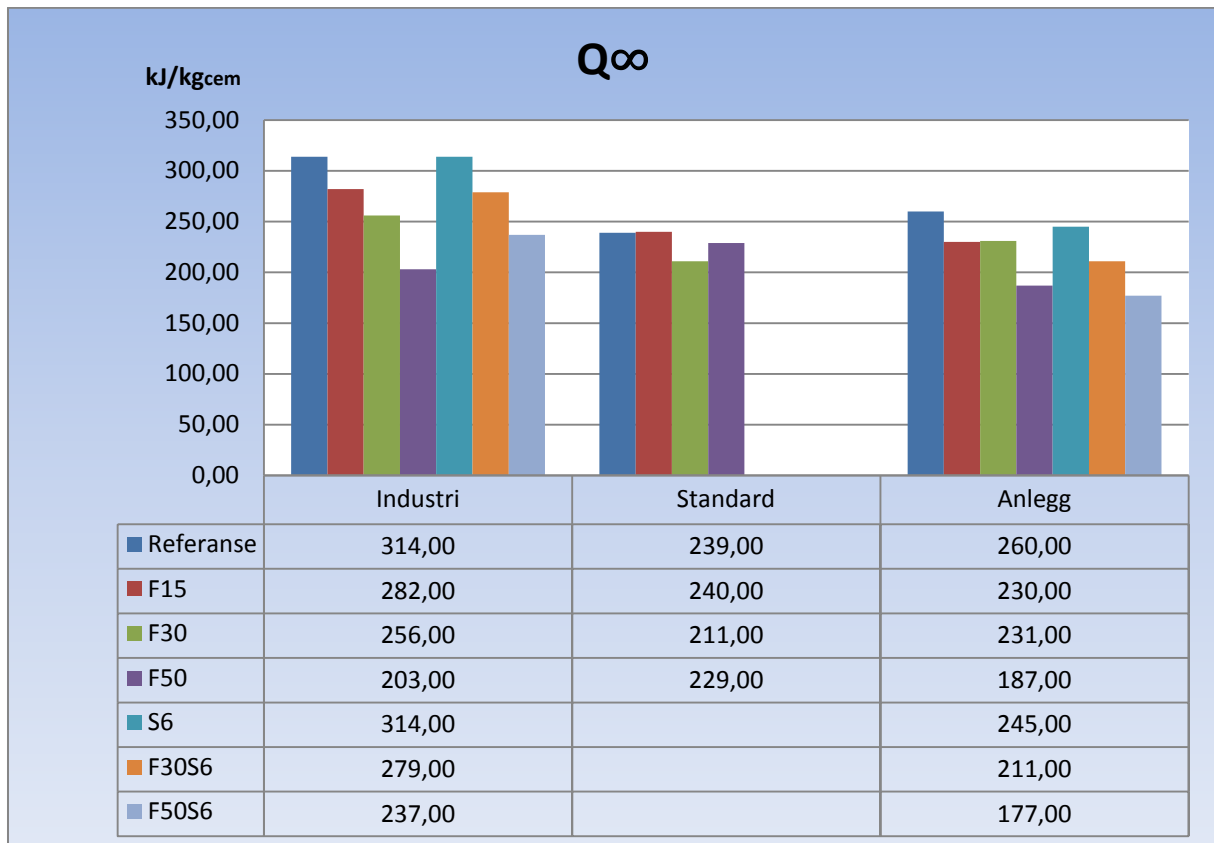


Fig 80: Egenskapsfunksjonene til de forskjellige betongmatriksene.

Den totale varmeutviklingen, Q_{∞} , vist i figur 80 viser hvordan betongen ved økt mengde pozzolan og redusert innhold av sement reduseres. Dette er sammenfallende med teorien hvor sementen ved hydratisering tilfører mer varme til betongen enn pozzolanet gjør i sin reaksjon med kalsiumhydroksid.

Verdiene for S-F15, S-F50 og A-F30 avviker fra forventet varmeutvikling, siden disse ikke avviker i figur 79 kan det være et mulig resultat av manglende temperaturmålinger av omgivelsene i herdekasseforsøket.

Det er også mulig å se hvordan Microsilica, som tilfører større mengder SiO_2 til betongen enn flygeaske alene, gir en økt varmeutvikling.

7.4 ConTeSt Pro

7.4.1 Bunnslabb

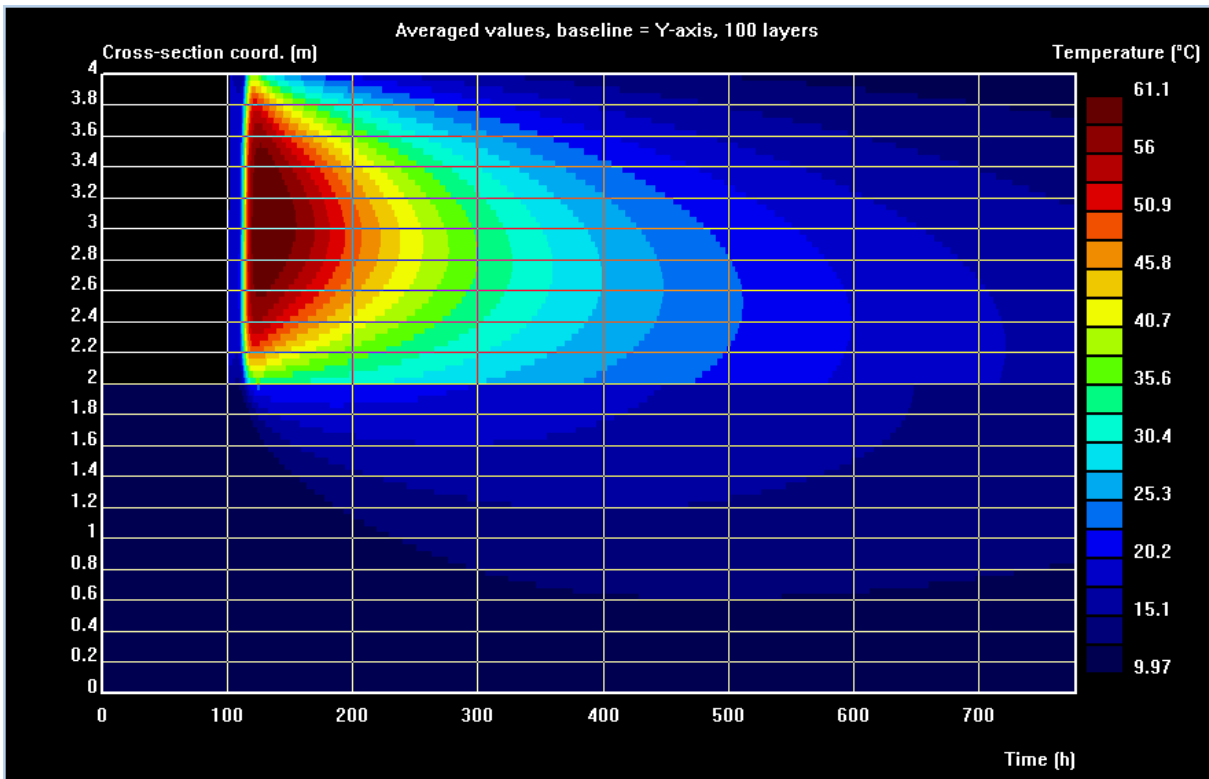


Fig 81: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, bunnslabb A-0.

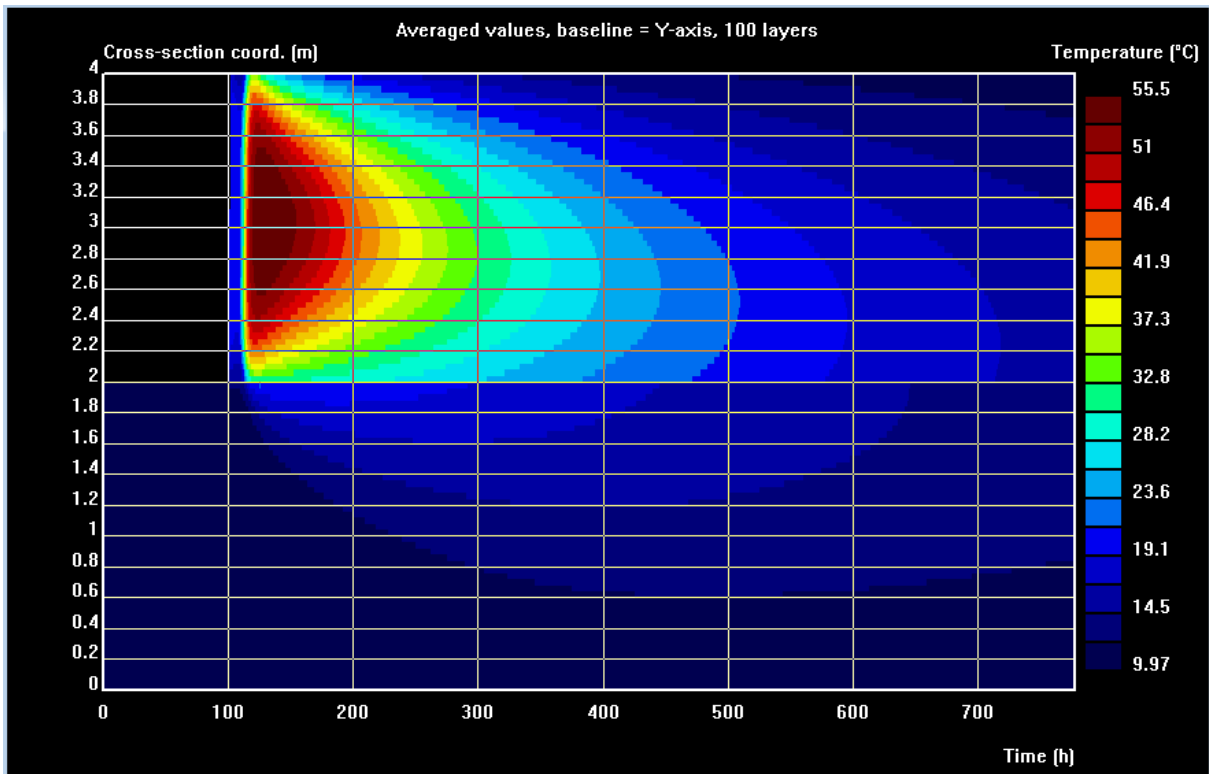


Fig 82: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, bunnslabb A-F15.

Temperaturutvikling i betong

Figur 81 og 82 viser fargekart av temperaturforandringene over tid i bunnsrabben, henholdsvis A-0 og A-F15, det er ikke mulig å se forskjeller i temperaturutviklingen i disse bortsett fra maksimaltemperatur. Dette viser at hastigheten på hydratiseringen og avkjølingen er relativt lik i disse sementene.

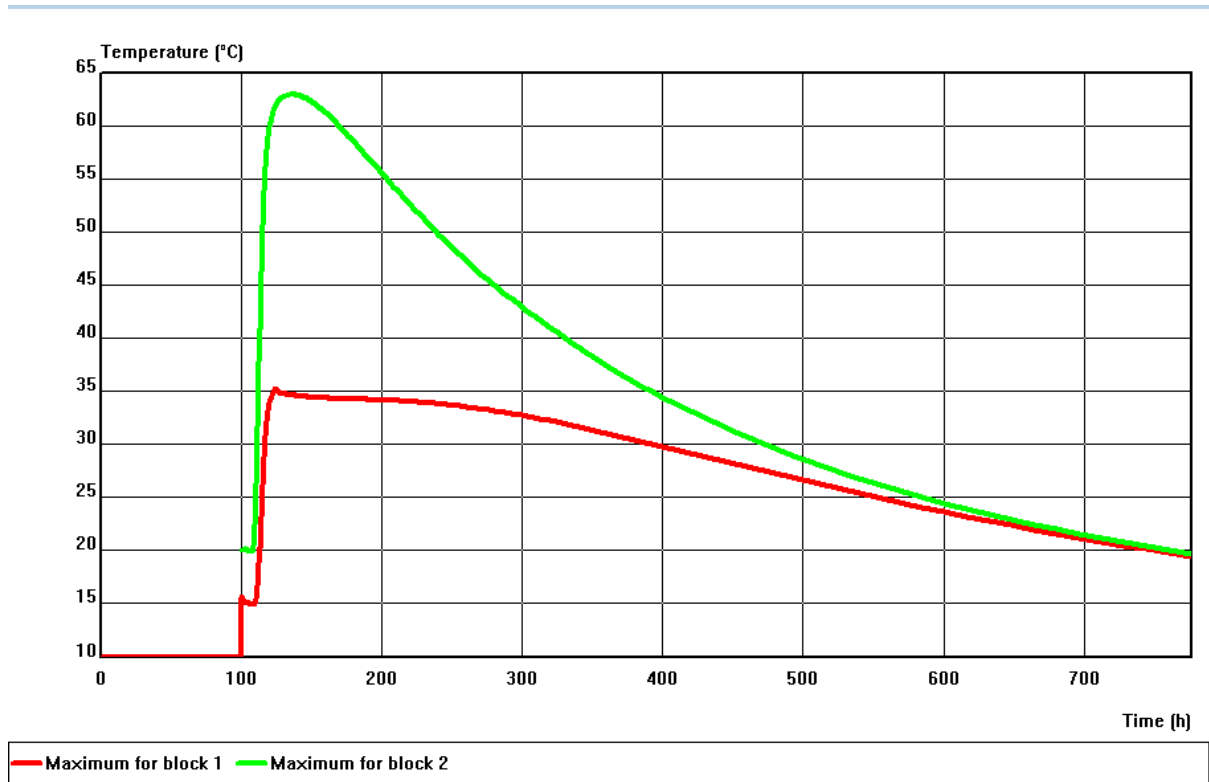


Fig 83: Maksimaltemperaturer, bunnsrabbb A-0.

Temperaturutvikling i betong

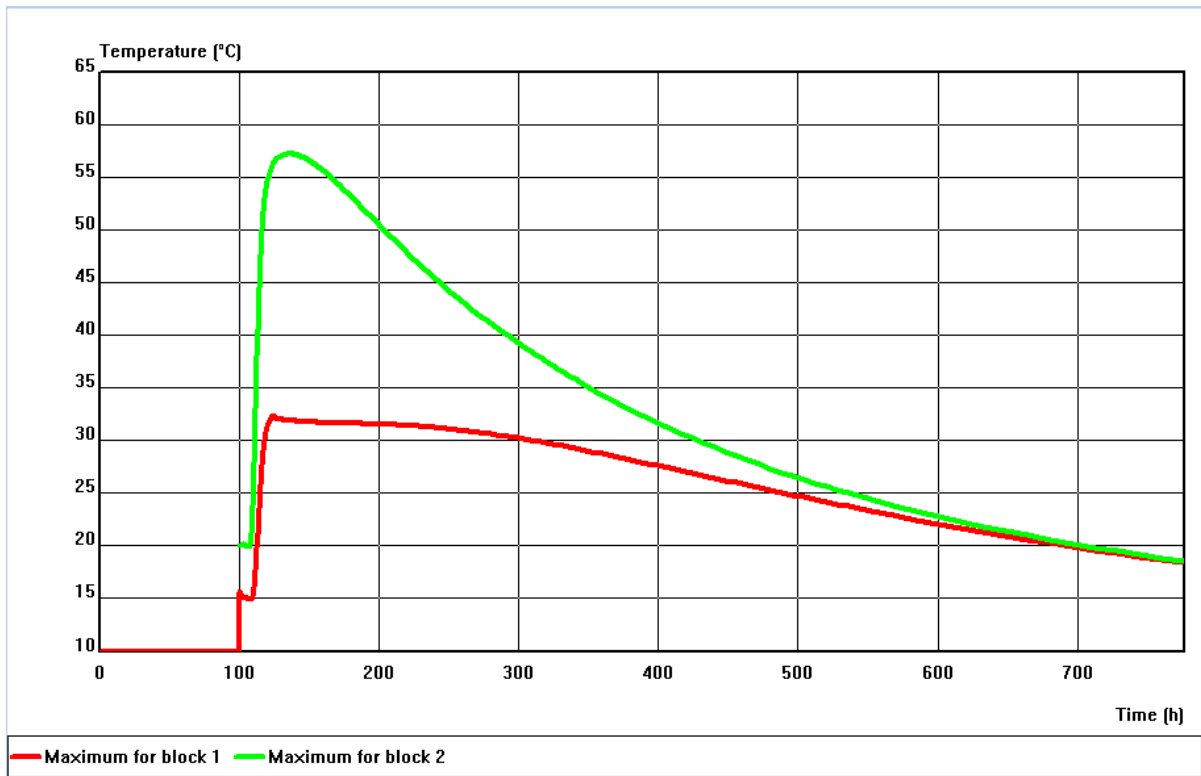


Fig 84: Maksimaltemperaturer, bunnslabb A-F15.

Det er vises tydelig i figur 81 og 82 hvor lang tid avkjølingen tar i forhold til den hurtige varmetviklingen. Som vist i figur 83 og 84 er temperaturutviklingen lik med unntak av den maksimalt oppnådde temperaturen. Dette viser at ved å erstatte 15 % av sementinnholdet vil herdetemperaturen reduseres.

7.4.2 Vegg

7.4.2.1 Temperaturutvikling

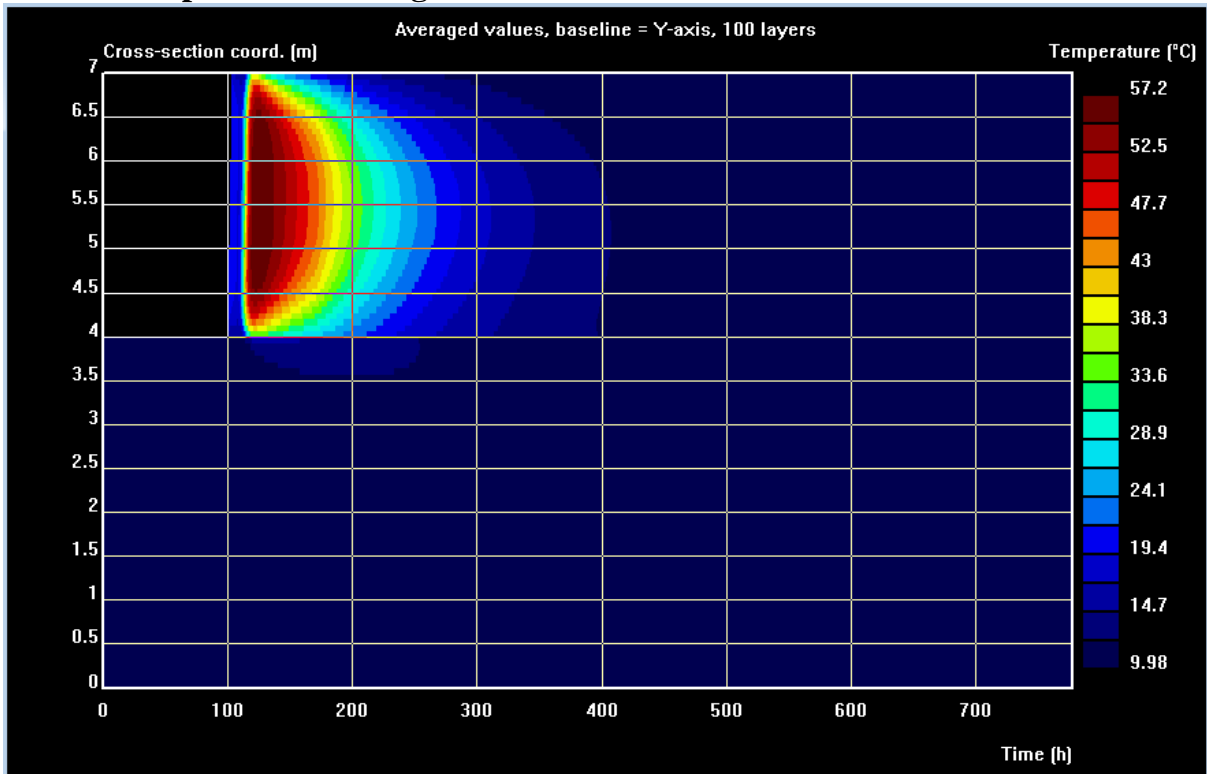


Fig 85: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, vegg A-0.

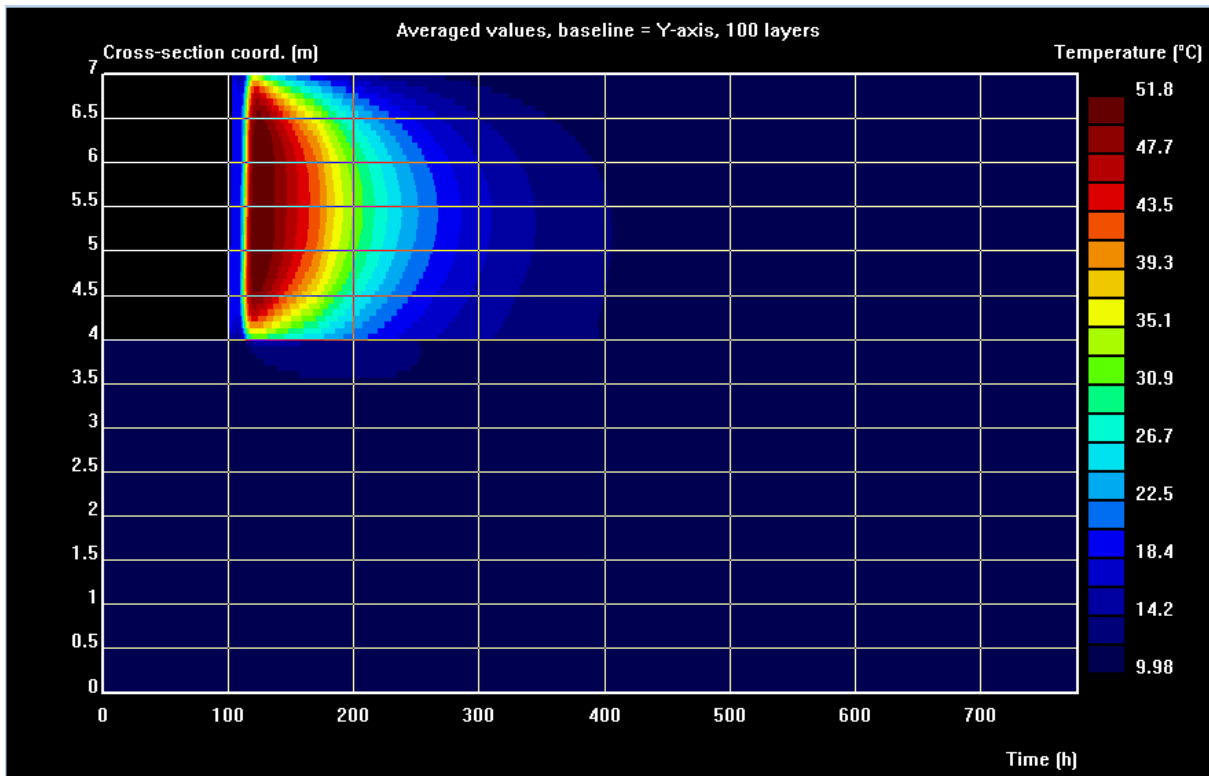


Fig 86: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, vegg A-F15.

Temperaturutvikling i betong

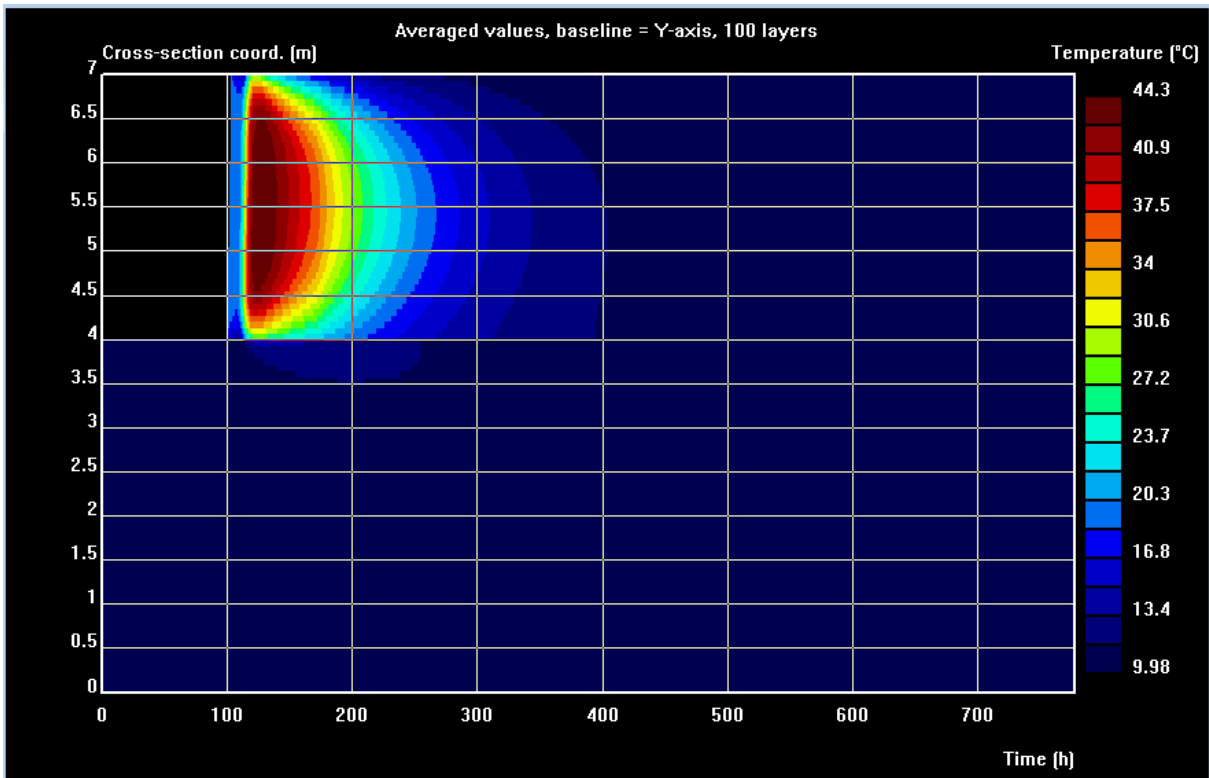


Fig 87: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, vegg A-F50.

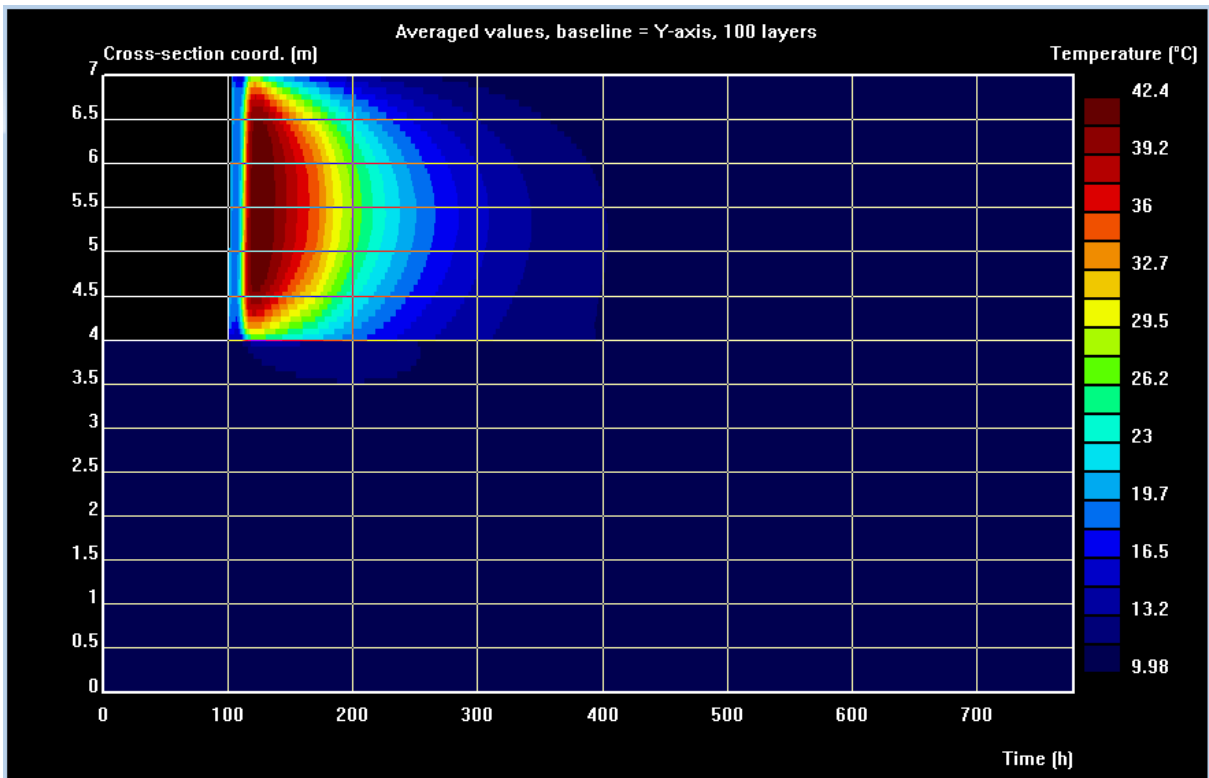


Fig 88: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, vegg A-F50S6.

I temperaturkartene til eksempelveggen, figur 85-88, er det på lik linje som for bunnslabben ikke mulig å se forskjell på temperaturutviklingen med unntak av oppnådd

Temperaturutvikling i betong

maksimaltemperatur, noe vi også kan se i figur 89-92. Dette viser igjen at hydratiseringshastigheten forholder seg tilsynelatende uforandret.

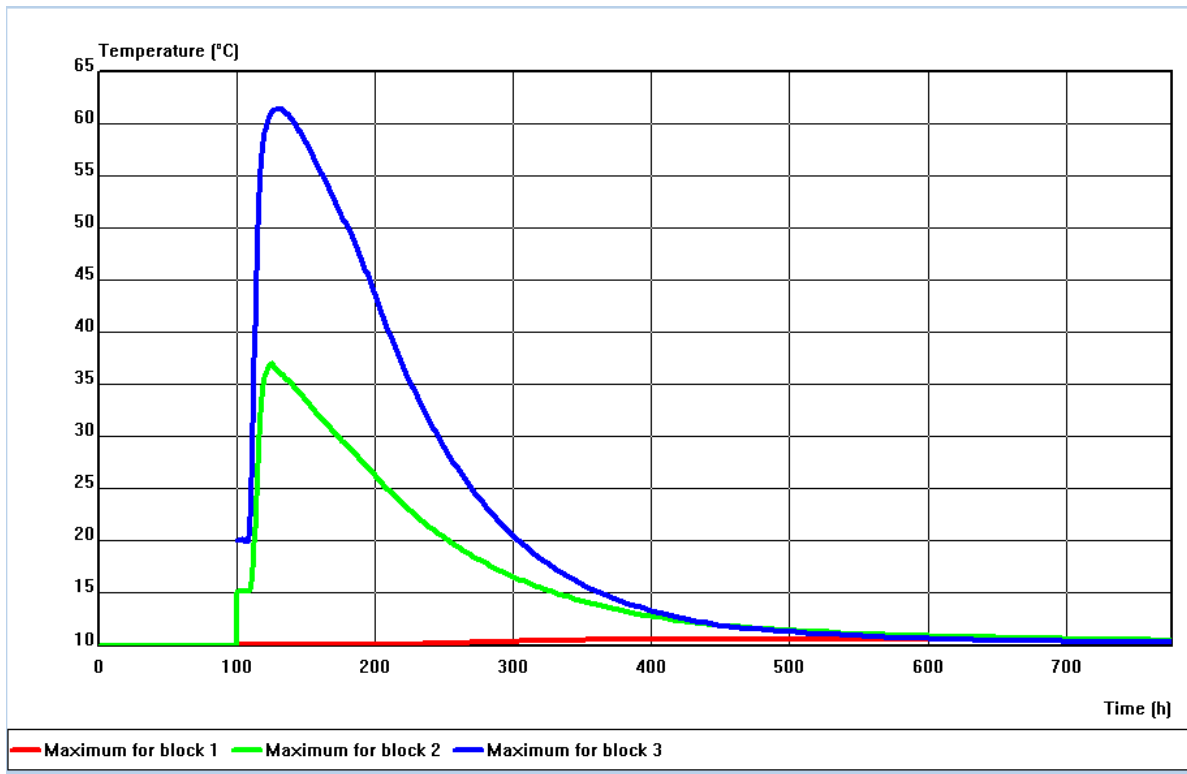


Fig 89: Maksimaltemperaturer, vegg A-0.

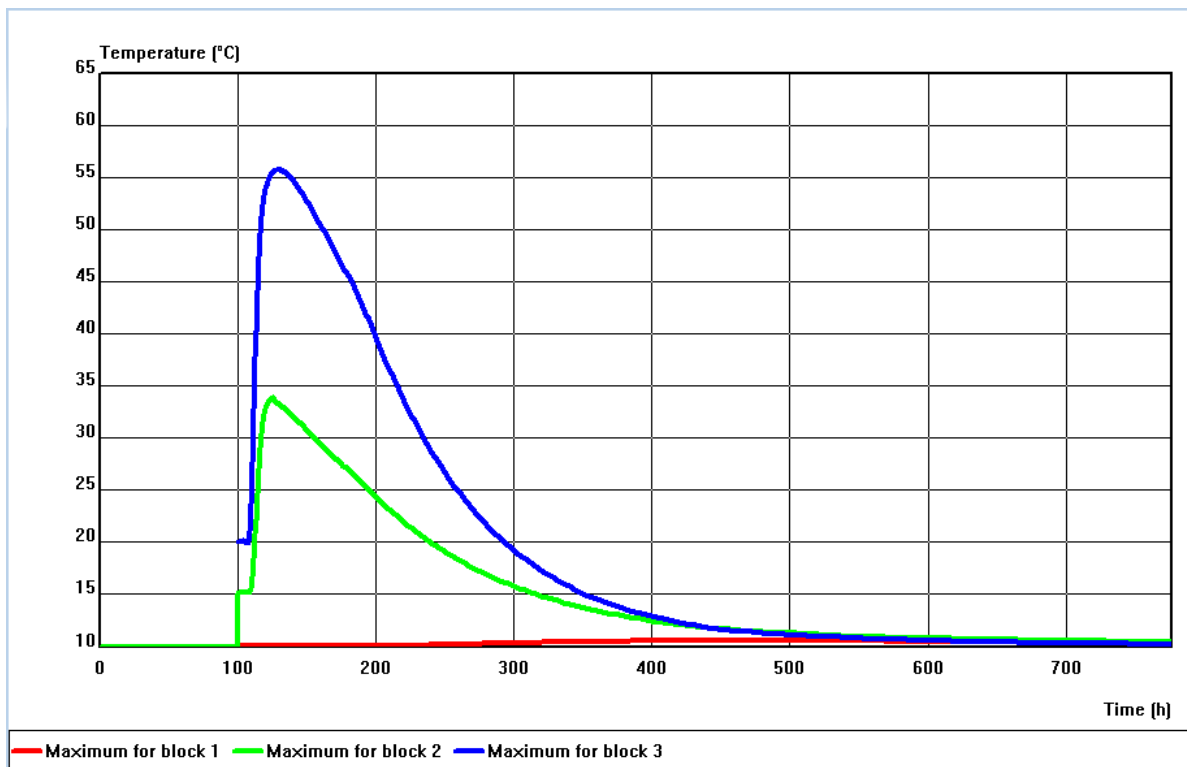


Fig 90: Maksimaltemperaturer, vegg A-F15.

Temperaturutvikling i betong

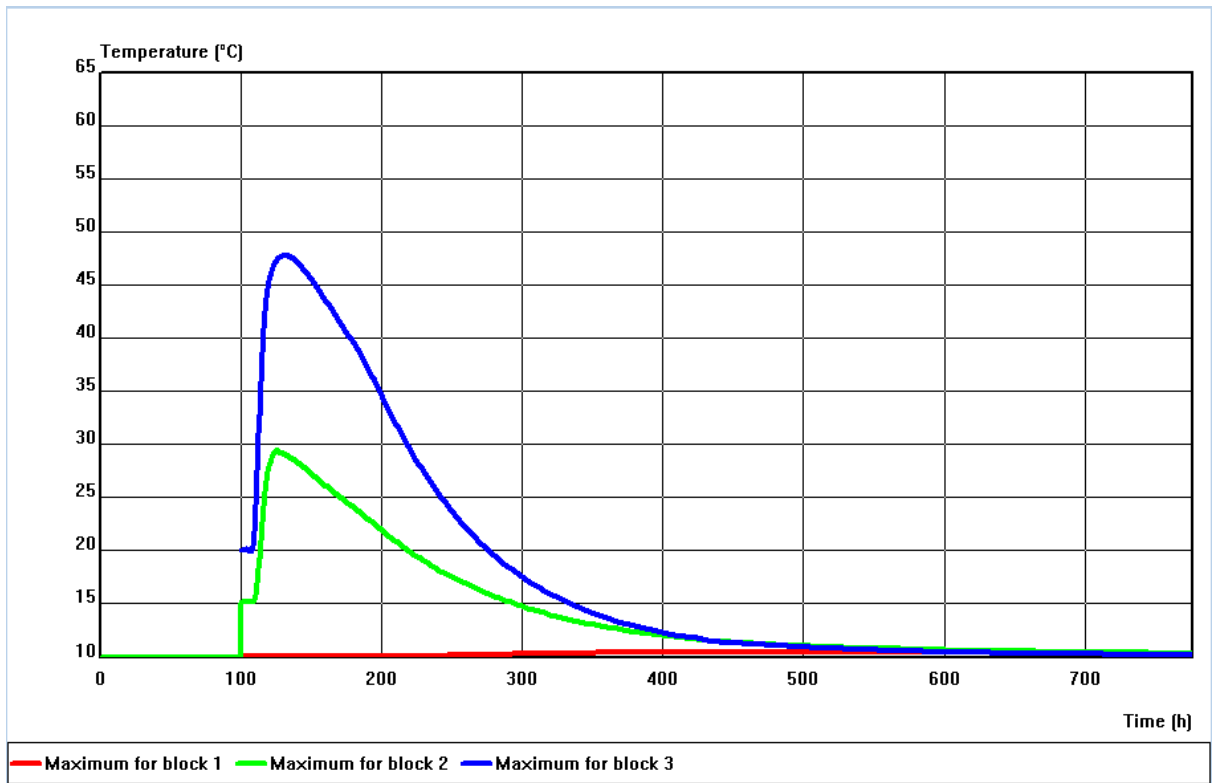


Fig 91: Maksimaltemperaturer, vegg A-F50.

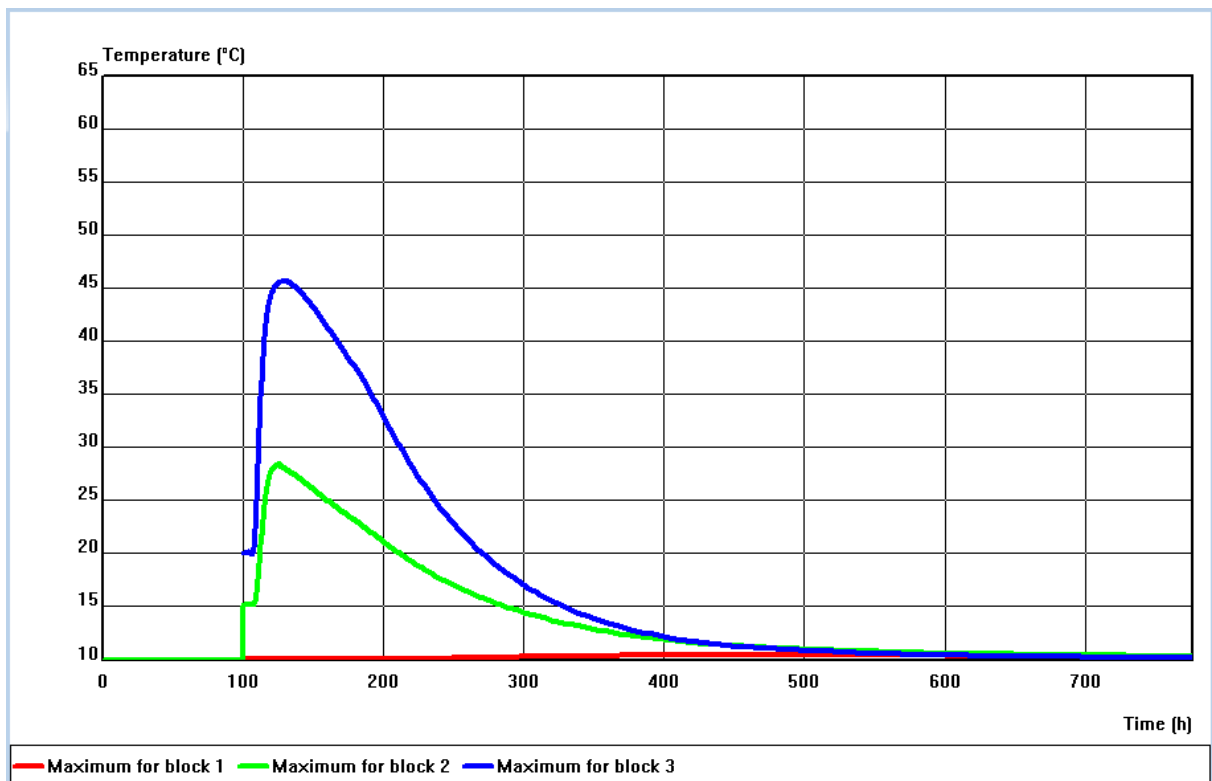


Fig 92: Maksimaltemperaturer, vegg A-F50S6.

Temperaturutvikling i betong

I figur 89-92 er det mulig å se at det er den maksimale temperaturen som varierer. Det er også mulig å se at temperaturen i bunnslabben reduseres på lik linje med veggen, dette er fordi temperaturen i bunnslabben er et resultat av hydratiseringstemperaturen i veggen. Den maksimale temperaturen reduseres i takt med økt pozzolaninnhold og redusert sementinnhold.

Det vises også, ved å sammenligne figur 90 hvor 15 % sement er erstattet med flygeaske og figur 92 hvor den er erstattet med 50 % flygeaske og 6 % Microsilica, at disse har liten forskjell i makstemperatur grunnet et økt innhold SiO_2 i A-F50S6.

7.4.2.2 Spenninger

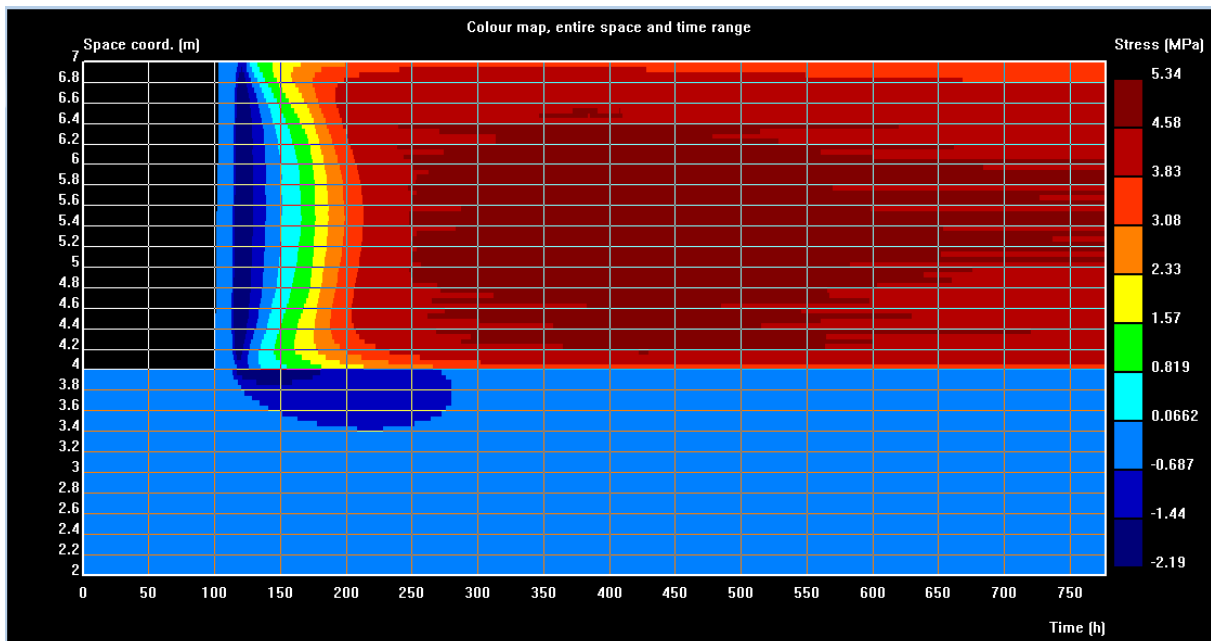


Fig 93: Fargekart som illustrerer spenningsene i tverrsnittet over tid, vegg A-0.

Temperaturutvikling i betong

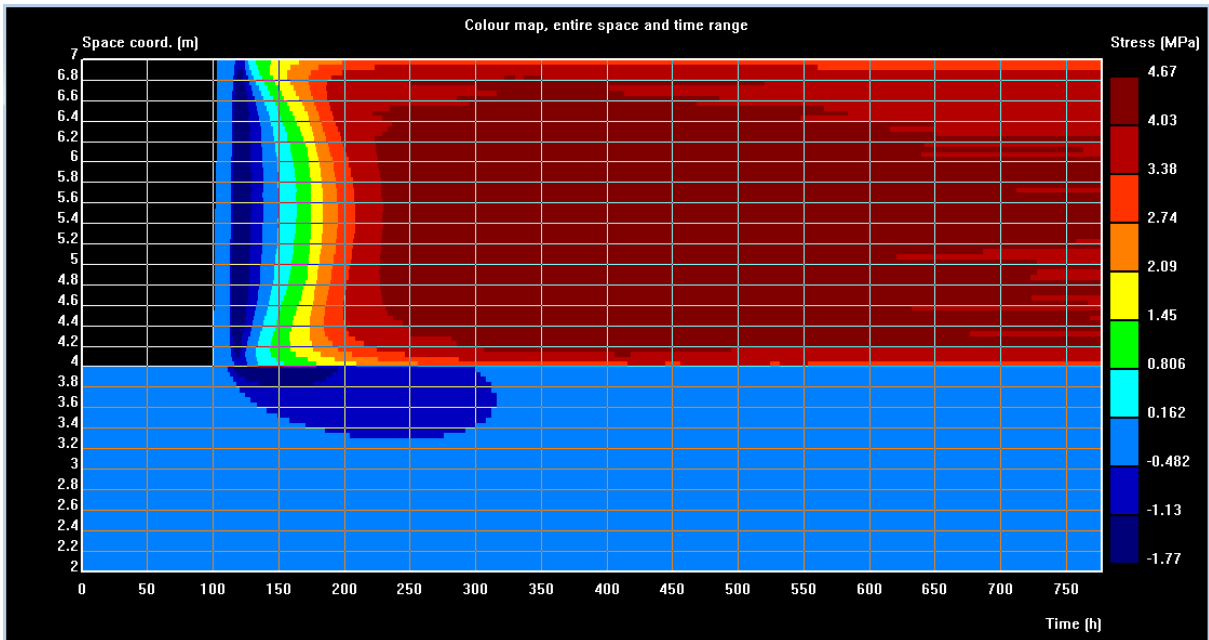


Fig 94: Fargekart som illustrerer spenningene i tverrsnittet over tid, vegg A-F15.

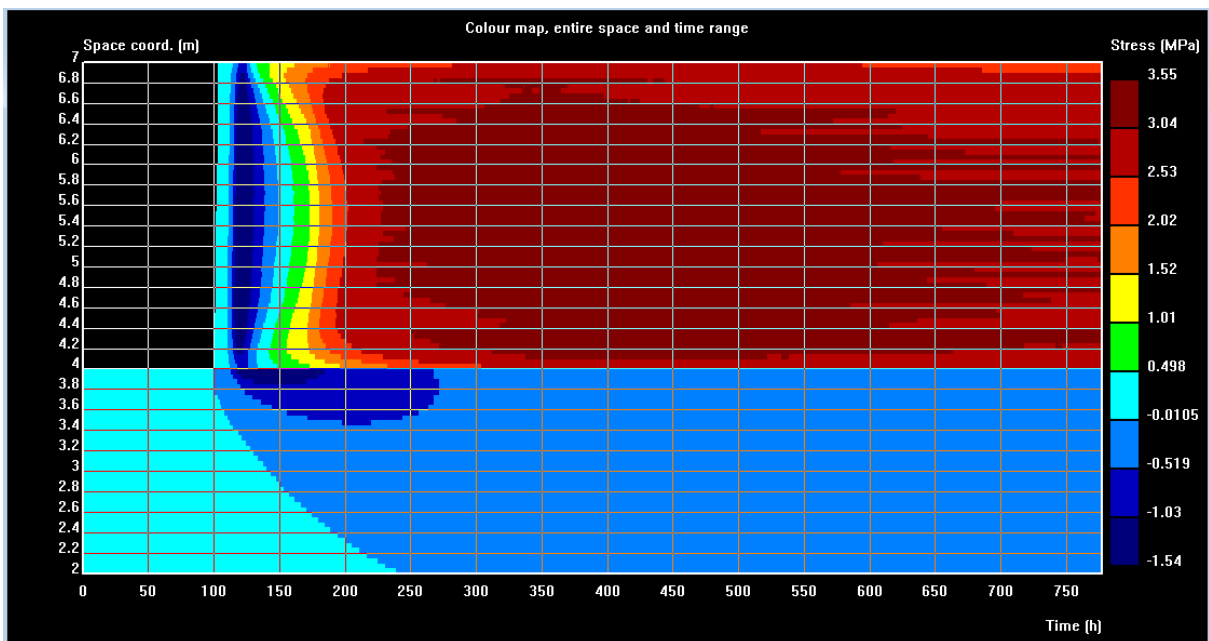


Fig 95: Fargekart som illustrerer spenningene i tverrsnittet over tid, vegg A-F50.

Temperaturutvikling i betong

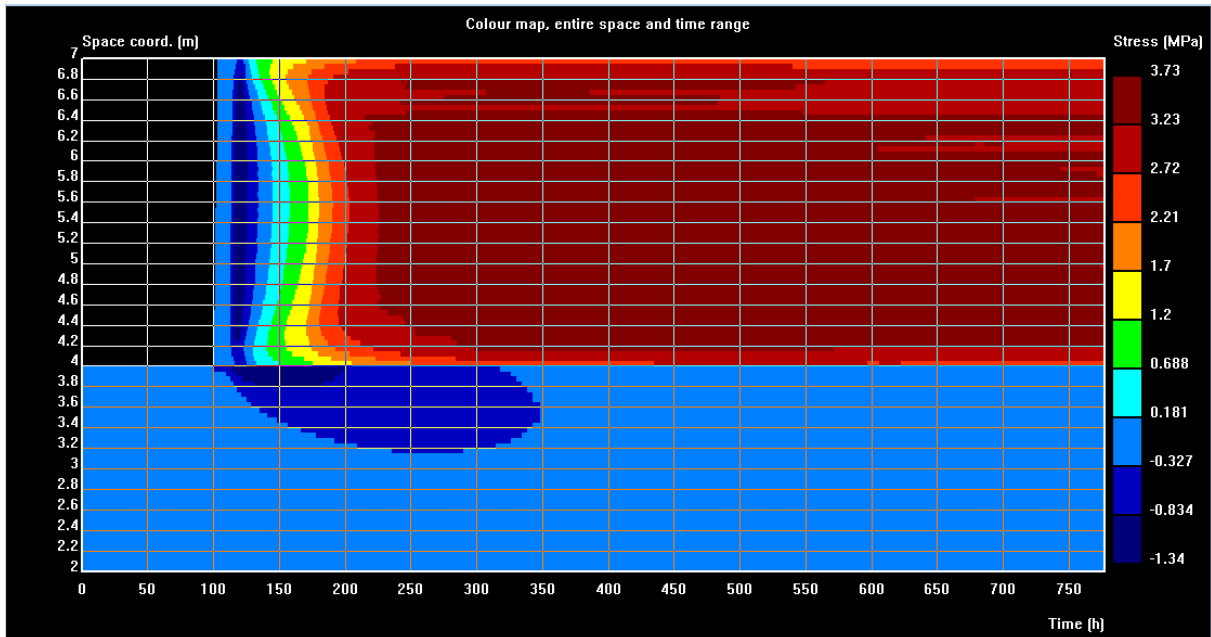


Fig 96: Fargekart som illustrerer spenningene i tverrsnittet over tid, vegg A-F50S6.

Spenningene i blandingene varierer, figur 93-96, både i tid og plassering i tverrsnittene. I hydratiseringsfasen oppstår det negative spenninger i tverrsnittet, dette skyldes at materialet utvider seg når temperaturene stiger. Når tverrsnittet avkjøles vil betongen krympe og dette skaper positive spenninger, disse vil reduseres men noe vil forbli i tverrsnittet grunnet fastholding.

Ved å sammenligne spenningene i A-0, A-F15, A-F50 og A-F50S6 vises det at de største spenningene finnes i tverrsnittet støpt med A-0 og de laveste i A-F50S6, dette er ekvivalent med variasjonene i oppnådde herdetemperaturer, figur 89-92. Dette viser at spenningene i tverrsnittet i herdefasen er avhengig av temperaturutviklingen og at det skyldes materialets utvidning og fastholding. Spenningene som oppstår av indre fastholding i materialet kan gi riss i overflaten, disse vil lukke seg når betongen blir kjølig.

Det vises at overgangen mellom den eksisterende bunnslabben og den påstøpte veggen, figur 93-96, er et problemområde da det i avkjølingsperioden, 100-200 timer etter støping, utvikles positive spenninger i veggen mens det er negative spenningene i bunnslabben i tillegg til fastholding mellom veggen og bunnslabben, noe som resulterer i store variasjoner i spenningene og fare for riss. Denne typen riss som oppstår av ytre fastholding kan bli gjennomgående.

7.5 Konstruksjoner

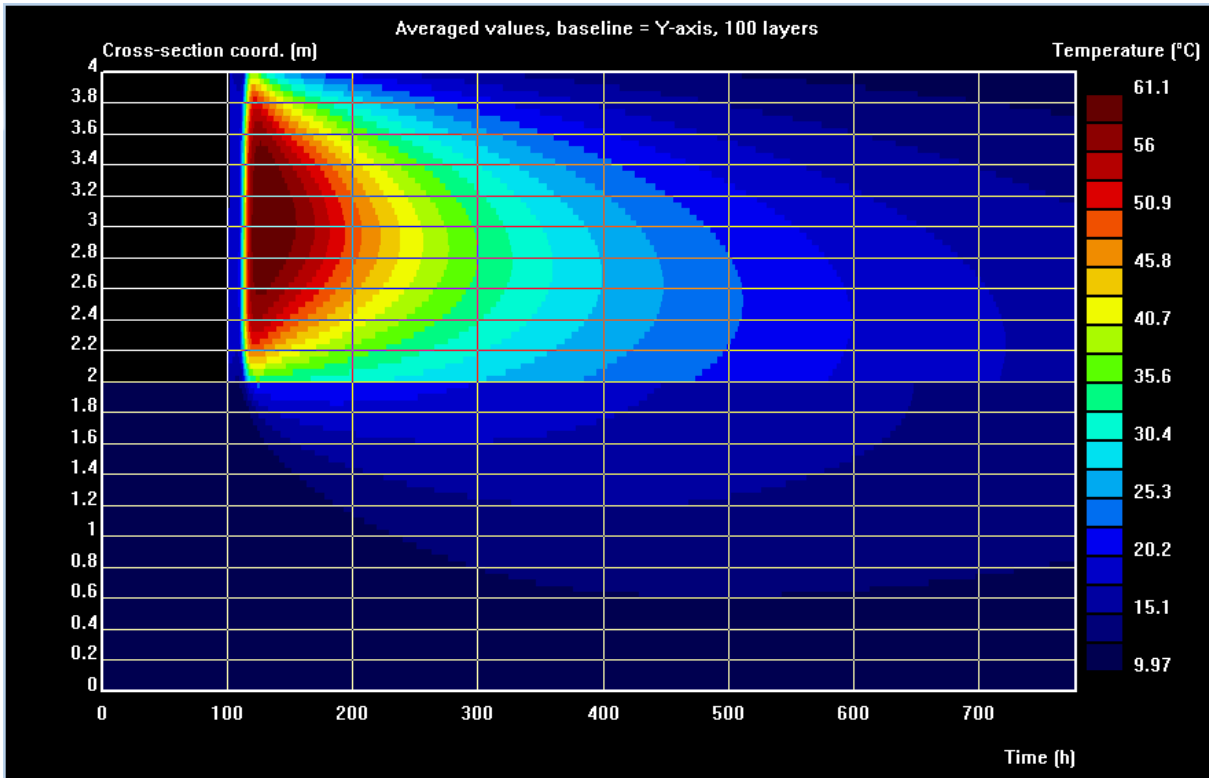


Fig 97: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, bunnsplatt A-0.

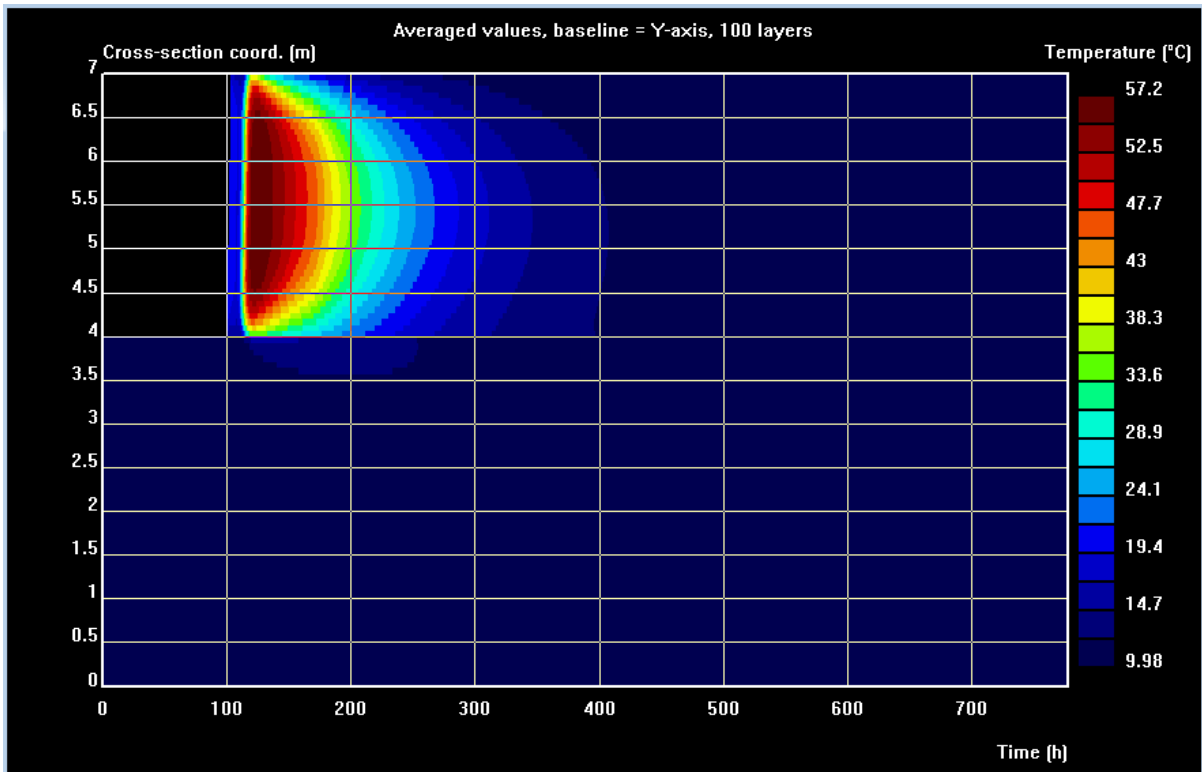


Fig 98: Fargekart som illustrerer temperaturutviklingen over tid, vegg A-0.

Temperaturutvikling i betong

Ved å sammenligne figur 97 og 98, som begge er støpt med A-0, er det tydelig at avkjølingen foregår raskere i veggen, noe som er et resultat av redusert masse slik at varmetapet går hurtigere. Dette viser at massive konstruksjoner ikke bare oppnår en høyere temperatur, men på grunn av størrelsen er isoleringen bedre, noe som resulterer i høye kjernetemperaturer over lengre tid.

8. Konklusjon

Når deler av sementen blir erstattet med flygeaske og/eller silikastøv i en betong vil trykkfastheten bli påvirket og trykkfastheten i herdefasen reduseres.

Temperaturutviklingen vil bli påvirket når deler av sementen erstattes med pozzolan. Ved å erstatte en del av sementen med flygeaske vil den totale mengden sement i betongen reduseres og herdetemperaturene vil bli lavere. Resultatene viser at med økte mengder tilsatt flygeaske vil den maksimale herdetemperaturen reduseres.

Spenningsene som oppstår i en konstruksjon p.g.a. volumendring forårsaket av herdetemperaturer i betongen vil bli redusert når herdetemperaturene reduseres. Reduserte spenninger vil gi redusert fare for riss.

Ved å erstatte deler av sementen i en betong med flygeaske og/eller silikastøv er det mulig å påvirke varmeutviklingen og redusere spenningsene som kan gi riss. Konstruksjonens utforming vil også påvirke temperaturutviklingen.

9. Referanser

- |1| Stefan Johansen, *TKT 4215 Concrete Technology I*, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim 2009

- |2| Clifford Dykstra, *Physical Chemistry A Modern Introduction*, ISBN 0-13-621897-0

- |3| Keith J. Laidler, John H. Meiser, *Physical Chemistry*, Second Edition, ISBN 0-395-64153-5

- |4| Claus Borgnakke , Richard E. Sonntag, *Fundamentals of Thermodynamics*, Seventh Edition 2009, ISBN 978-0-470-17157-8

- |5| JEJMS Concrete AB, Luleå University of Technology, *ConTeSt Pro* (Users manual – Program for Temperature and Stress Calculations in Concrete), Luleå, April 2008

- |6| U.S. Department of Transportation, Federal A Highway Administration, SFA (Silica Fume Association), *Silica fume User´s Manual*, April 2005

- |7| *Beton-Bogen*, 2. Utgave, Aalborg Portland, 1985, ISBN 87-980816-2-4

- |8| Marit Rønne et.al. SINTEF Structures and Concrete, Sverre Smeplass Dept. of Structural Engineering at Norwegian Institute of Technology, *Chemical Stability of LWAC Exposed to High Hydration Generated Temperatures*, Sandefjord 1995

- |9| Martin Nilson , *Thermal cracking of young concrete: Partial coefficients, restraint effects and influence of casting joints*, Licentiate thesis, Luleå Univ. of Technology, Luleå 2000, ISSN 1402-1757, < <http://epubl.luth.se/1402-1757/2000/27/LTU-LIC-0027-SE.pdf> > [Nedlastet Mai 2011]

- |10| Andrew Dunster, *Silica Fume in Concrete*, 2009, ISBN 978-1-84806-105-7, < <http://www.concrete.elkem.com/dav/2c7d946881.pdf> >, [Nedlastet Mai 2011]

Temperaturutvikling i betong

- [11] Store Norske Leksikon, < <http://www.snø.no/pozzolan/teknikk> >, [Nedlastet Mai 2011]
- [12] Eminent a/s, < <http://www.emineral.dk/forside.aspx> >, [Nedlastet Mai 2011]
- [13] Norcem FoU, brosjyre, *Herdeteknologi*,
< http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/FECC97E1-A475-4324-8074-6A3D4A10C082/0/Herdningsteknologi_net.pdf >, [Nedlastet Februar 2011]
- [14] Internettside laget av Shodor, Department of Chemistry, The University of North Carolina at Chapel Hill, *The Arrhenius Equation*,
< <http://www.shodor.org/unchem/advanced/kin/arrhenius.html> > [Nedlastet Februar 2011]
- [15] Yunus Ballim, *A numerical model and associated calorimeter for predicting temperature profiles in mass concrete*, Johannesburg 2002,
< http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TWF-48XSDWH-4&_user=1460901&_coverDate=08%2F31%2F2004&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_acct=C000052797&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1460901&md5=23022508e85b8d770cb625c1331b047d&searchtype=a > [Nedlastet Februar 2011]
- [16] British Standard, *Petroleum and natural gas industries – Fixed concrete offshore structures*, BS EN ISO 19903:2006

10. Vedlegg

Innholdsfortegnelse

A. Norcem Industri Produktinformasjon	V-1
B. Norcem Anlegg Produktinformasjon	V-5
C. Norcem Standard Produktinformasjon	V-9
D. Flygeaske Produktinformasjon	V-13
E. Elkem Microsilica Produktinformasjon	V-16
F. Dynamon SX-N Produktinformasjon	V-20
G. Forsand 0-5 Siktekurve	V-23
H. Forsand 5-8 Siktekurve	V-24
I. Forsand 8-16 Siktekurve	V-25
J. Forsand 11-16 Siktekurve	V-26
K. Sammensatt tilslag	V-27

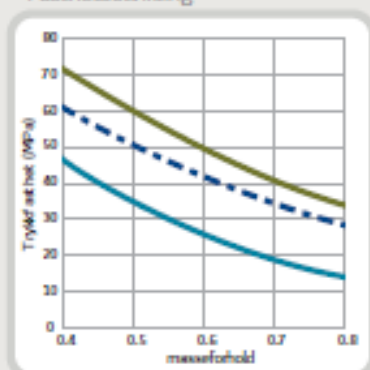
PRODUKTINFORMASJON

Industrisement



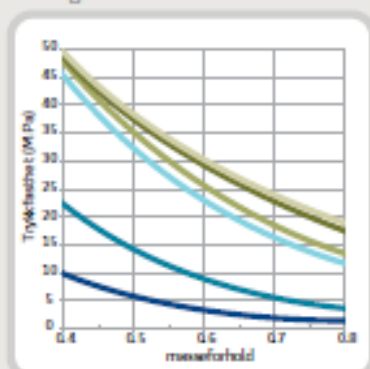


Fasthetsutvikling



Figur 1

Tidligfasthet



Figur 2

Fasthetsutvikling

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

Tidligfasthet

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

Fasthetsklasse – masseforhold

Med normal, god styring av betongproduksjonen er det behov for en overhøyde på ca. 7 MPa ved de ulike fasthetsklassene for å produsere med tilstrekkelig sikkerhet mot undermålere. Industrisement gir følgende retningsgivende verdier for største masseforhold i ulike fasthetsklasser for betong uten luftinnføring, se tabell 1.

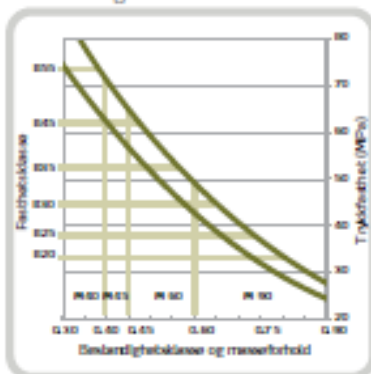
Fasthetsklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55
Største masseforhold	0,82	0,75	0,66	0,57	0,48	0,38

Tabell 1

Norcem Industrisement er en spesialsement tilpasset norsk byggepraksis ved vinterarbeid. Sementen gjør det mulig å gjennomføre støpearbeider vinterstid i Norge på en rasjonell og økonomisk måte. Med sin raske fasthetsutvikling er den i tillegg velegnet for bruk ved produksjon av betongelementer og betongvarer.



Bestandighetsklasse



Figur 3

Bestandighetsklasse

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

Anbefalte kombinasjoner

Bestandighetsklasse M90	Fasthetsklasse B20 eller høyere
Bestandighetsklasse M60	Fasthetsklasse B30 eller høyere
Bestandighetsklasse M45	Fasthetsklasse B35 eller høyere
Bestandighetsklasse M40	Fasthetsklasse B45 eller høyere

Tabell 2

Valg av bestandighetsklasse (nasjonale krav)

Eksponeeringsklasse	M90	M60	M45	MF45*	M40	MF40*
X0	•	•	•	•	•	•
XCl, XC2, XC3, XC4, XF1		•	•	•	•	•
XD1, XS1, XA1, XA2, XA4			•	•	•	•
XF2, XF3, XF4				•		•
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3					•	•
XSA	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstille kravene til M40.					
Største masseforhold $w/(c + 5k_p)$	0,90	0,60	0,45	0,45	0,40	0,40

* Minst 4% luft

Tabell 3

Tekniske data

Norcem Industrisement tilfredsstiller kravene til Portlandsement
EN 197-1-CEM I 42,5 R og NS 3086-CEM I-42,5 RR

Kjemiske data

Egenskap	Typiske data	Krav ifølge NS-EN 197-1 og NS 3086
Finhet (Blaine)	550 m ² /kg	
Trikalsiumaluminat C ₃ A	7,8%	
Alkali (ekv Na ₂ O)	1,20%	
Mineralske tilsetninger	4%	≤ 5%
Glødetap	2,5%	≤ 5%
Uløselig rost	1%	≤ 5%
Sulfat (SO ₃)	3,7%	≤ 4%
Klorid	<0,08%	≤ 0,1%
Vannløselig Cr ⁶⁺	< 2ppm	≤ 2 ppm
Spesifikk vekt	3,12 kg/dm ³	

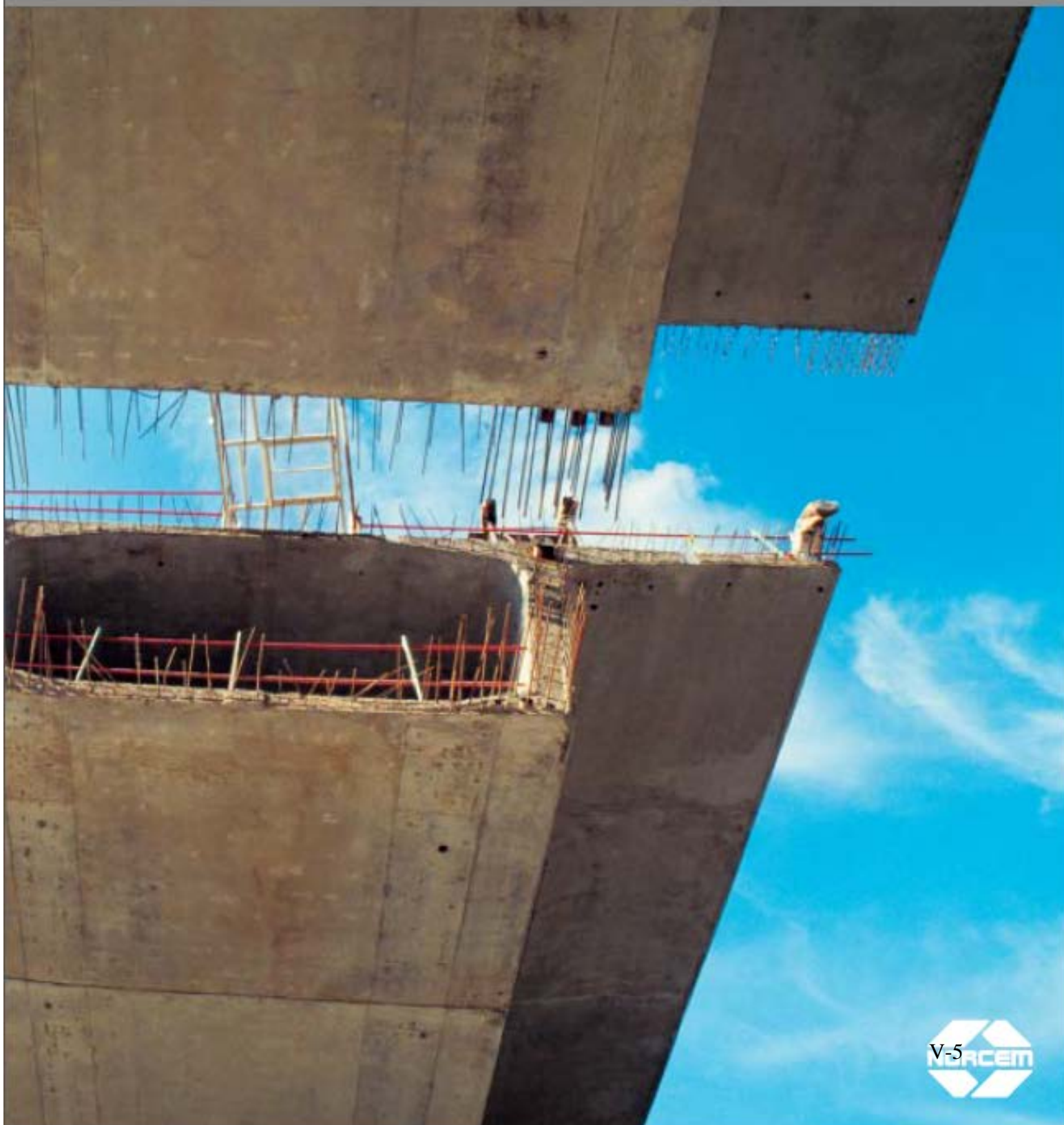
Fysikalske data

Egenskap	Typiske data	Krav ifølge NS-EN 197-1 og NS 3086*
Trykkfasthet 1 døgn	35 MPa	≥ 20 MPa
Trykkfasthet 2 døgn	42 MPa	≥ 30 MPa
Trykkfasthet 7 døgn	49 MPa	
Trykkfasthet 28 døgn	57 MPa	≥ 42,5MPa ≤ 62,5MPa
Begynnende bindetid	100 min	≥ 60 min
Ekspansjon	1 mm	≤ 10 mm

* Karakteristiske verdier

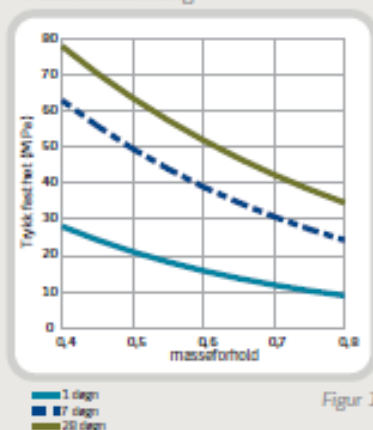
PRODUKTINFORMASJON

Anleggsement





Fasthetsutvikling

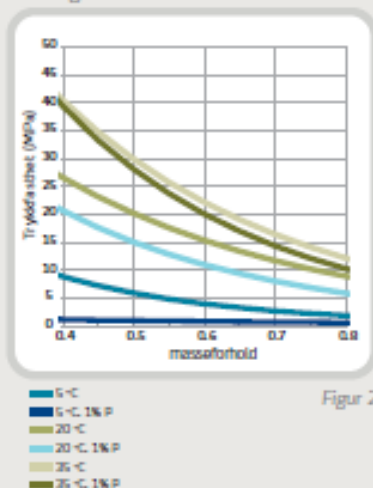


Figur 1

Fasthetsutvikling

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

Tidligfasthet



Figur 2

Tidligfasthet

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

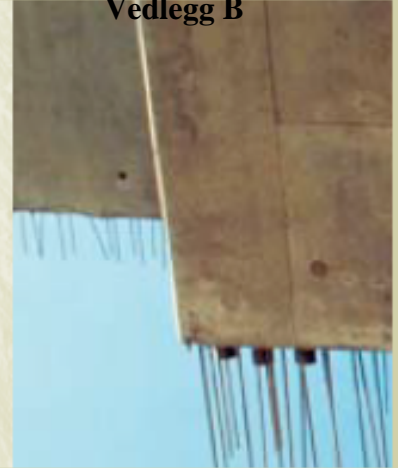
Fasthetsklasse – masseforhold

Med normal, god styring av betongproduksjonen er det behov for en overhøyde på ca. 7 MPa ved de ulike fasthetsklassene for å produsere med tilstrekkelig sikkerhet mot undermålere. Anleggsement gir følgende retningsgivende verdier for største masseforhold i ulike fasthetsklasser for betong uten luftinnføring.

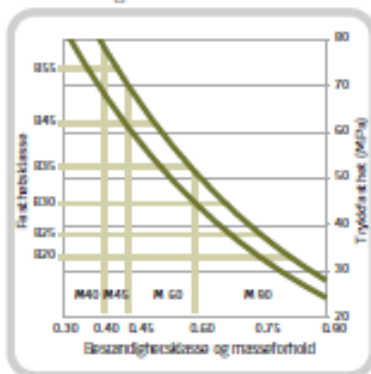
Fasthetsklasse	B30	B35	B45	B55
Største masseforhold	0,68	0,60	0,51	0,42

Tabell 1

Norcem Anleggsement er en spesialsement for anleggskonstruksjoner. Sementen er tilpasset norske forhold for bruk i bestandighetsklasse M45 og MF45 eller strengere, og i konstruksjoner med krav til høy slutfasthet. Anleggsementen har lavt alkaliinnhold, og kan benyttes i kombinasjon med alkalireaktivt tilslag. Sementen har relativt høy tidligfasthet, høy slutfasthet, moderat varmeutvikling, meget god støpelighet og veldokumenterte bestandighetsegenskaper.



Bestandighetsklasse



Figur 3

Bestandighetsklasse

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

Anbefalte kombinasjoner

Bestandighetsklasse M60	Fasthetsklasse B30 eller høyere
Bestandighetsklasse M45	Fasthetsklasse B45 eller høyere
Bestandighetsklasse M40	Fasthetsklasse B55 eller høyere

Tabell 2

Valg av bestandighetsklasse (nasjonale krav)

Eksponeringsklasse	M90	M60	M45	MF45*	M40	MF40*
X0	-	-	-	-	-	-
XCl, XC2, XC3, XC4, XF1		-	-	-	-	-
XD1, XS1, XA1, XA2, XA4			-	-	-	-
XF2, XF3, XF4				-		-
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3					-	-
XSA	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredstille kravene til M40.					
Største masseforhold $v/(c+g_{kp})$	0,90	0,60	0,45	0,45	0,40	0,40

*Minst 4% luft

Tabell 3

Deklarerte data

Norcem Anleggsement tilfredsstiller kravene til Portlandsement
EN 197-1-CEM I 52,5 N

Kjemiske data

Egenskap	Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1
Finhet (Blaine)	360m ² /kg	
Triksialumaluminat C ₃ A	7 %	
Alkali (ekv Na ₂ O)	0,6 %	≤ 1,0%
Mineralske tilsetninger	4%	≤ 5%
Glødetap	2,5%	≤ 5%
Uløselig rest	0,5%	≤ 5%
Sulfat (SO ₃)	3-4%	≤ 4%
Klorid	< 0,085 %	≤ 0,1%
Vannløselig Cr ⁶⁺	< 2ppm	≤ 2 ppm
Spesifikk vekt	3,14 kg/dm ³	

Fysikalske data

Egenskap	Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1 *
Trykkfasthet 1 døgn	18 MPa	
Trykkfasthet 2 døgn	30 MPa	≥ 20 MPa
Trykkfasthet 7 døgn	46 MPa	
Trykkfasthet 28 døgn	60 MPa	≥ 52,5 MPa
Begynnende bindetid	120 min	≥ 45 min
Ekspansjon	1 mm	≤ 10 mm

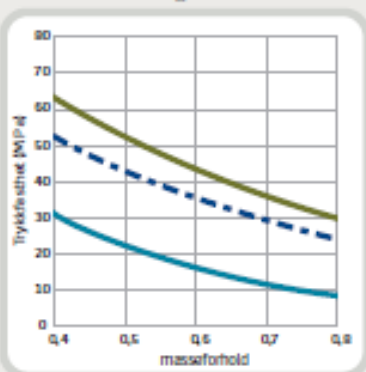
PRODUKTINFORMASJON

Standardsement



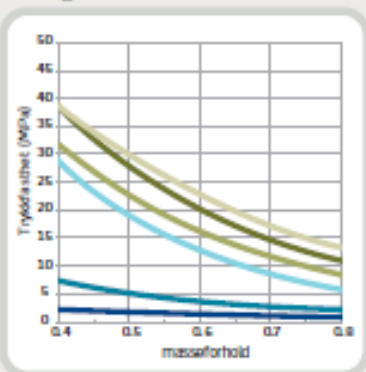


Fasthetsutvikling



Figur 1

Tidligfasthet



Figur 2

Fasthetsutvikling

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

Tidligfasthet

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

Fasthetsklasse – masseforhold

Med normal, god styring av betongproduksjonen er det behov for en overhøyde på ca. 7 MPa ved de ulike fasthetsklassene for å produsere med tilstrekkelig sikkerhet mot undermålere. Standardsement gir følgende retningsgivende verdier for største masseforhold i ulike fasthetsklasser for betong uten luftinnføring.

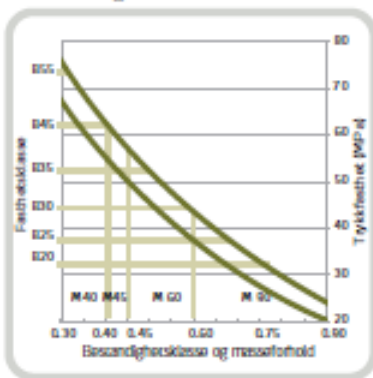
Fasthetsklasse	B20	B25	B30	B35	B45
Største masseforhold	0,76	0,68	0,59	0,50	0,41

Tabell 1

Norcem Standardsement er tilpasset norske forhold og kan benyttes til betong i alle eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasser. Standardsementen har en fasthetsprofil som er tilpasset minimum sementbehov for konstruksjoner i bestandighetsklasse M60. Sementen har relativt høy tidligfasthet, moderat slutfasthet, moderat varmeutvikling, god støpelighet og veldokumenterte bestandighetsegenskaper.



Bestandighetsklasse



Figur 3

Bestandighetsklasse

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

Anbefalte kombinasjoner

Bestandighetsklasse M90	Fasthetsklasse B20 eller høyere
Bestandighetsklasse M60	Fasthetsklasse B30 eller høyere
Bestandighetsklasse M45	Fasthetsklasse B35 eller høyere
Bestandighetsklasse M40	Fasthetsklasse B45 eller høyere

Tabell 2

Valg av bestandighetsklasse (nasjonale krav)

Eksponeringsklasse	M90	M60	M45	MF45*	M40	MF40*
X0	-	-	-	-	-	-
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		-	-	-	-	-
XD1, XS1, XA1, XA2, XA4			-	-	-	-
XF2, XF3, XF4				-		-
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3					-	-
XSA	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstille kravene til M40.					
Største masseforhold $v/(c + \Sigma kp)$	0,90	0,60	0,45	0,45	0,40	0,40

*Minst 4% luft

Tabell 3

Tekniske data

Norcem Standardsement tilfredsstiller kravene til Portlandsement
EN 197-1-CEM I 42,5 R

Kjemiske data

Egenskap	Typiske data	Krav ifølge NS-EN 197-1
Finhet (Blaine)	360 m ² /kg	
Trikalsiumaluminat C ₃ A	7,7%	
Alkali (ekv Na ₂ O) - Brevik	1,05%	
Alkali (ekv Na ₂ O) - Kjøpsvik	1,3%	
Mineralske tilsetninger	4%	≤ 5%
Glødetap	2,5%	≤ 5%
Uløselig rest	1%	≤ 5%
Sulfat (SO ₃)	3,2%	≤ 4%
Klorid	<0,08%	≤ 0,1%
Vannløselig Cr ⁶⁺	< 2ppm	≤ 2 ppm
Spesifikk vekt	3,12 kg/dm ³	

Fysikalske data

Egenskap	Typiske data	Krav ifølge NS-EN 197-1*
Trykkfasthet 1 døgn	21 MPa	
Trykkfasthet 2 døgn	32 MPa	≥ 20 MPa
Trykkfasthet 7 døgn	42 MPa	≥ 42,5MPa ≤ 62,5MPa
Trykkfasthet 28 døgn	52 MPa	
Begynnende bindetid	130 min	≥ 60 min
Ekspansjon	1 mm	≤ 10 mm

*Karakteristiske verdier

Deklaration for flyveaske til betonformål

Produktbetegnelse:	Flyveaske, Type B4
Leverandør:	Emineral a/s, Nefovej 50, 9310 Vodskov
Gyldig fra:	2010-11-30 (revision 12)

Dancert har med EC certifikat 1073-CPD-B078A/Id certificeret overensstemmelse med kravene i DS/EN 450-1:2007+A1, for flyveaske kategori A, og med certifikat nr B078 certificeret overensstemmelse med Eminerals deklarerede maksimale indhold af restkulstof* og chlorid*.

Flyveasken er tildelt overensstemmelsesmærket: B078/B4 - Id er produktionsstedets identifikation:

AMV: Vattenfall A/S, Amagerværket, blok 3; AVV: Dong Energy A/S, Avedøreværket, blok 1; ASV: Dong Energy A/S, Asnæsværket, blok 2 & blok 5; ELK: Dong Energy A/S, Emineral Lager Korsør; FYV: Vattenfall A/S, Fynsværket, blok 7.

ENV: Dong Energy A/S, Enstedværket, blok 3; ESV: Dong Energy A/S, Esbjergværket, blok 3; SSV: Dong Energy A/S, Studstrupværket, blok 3 & blok 4; Vattenfall A/S, Nordjyllandsværket, blok 2 & blok 3;

ELA: Vattenfall A/S, Emineral Lager Aalborg;

Certificeringens gyldighed kan verificeres på Dancerts hjemmeside www.dancert.dk

Gældende varedeklaration kan downloades fra www.emineral.dk

Egenskab	Metode	Krav i henhold til DS/EN 450-1:2007+A1	Emineral har for Type B4 supplerende deklareret
Glødetab / Restkulstof (Kategori A) ⁽¹⁾	EN 196-2	≥ 0,0 - ≤ 5,0 (7,0)	≤ 4,0 (4,0) *
Chlorid (Cl ⁻)	EN 196-2	≤ 0,10 (0,10)	≤ 0,02 (0,02) *
Svovlsyre anhydrid (SO ₃)	EN 196-2	≤ 3,0 (3,5)	
Fri calciumoxid (Fri CaO)	EN 451-1	≤ 1,0 / < 2,5 (2,6)	
Reaktiv calciumoxid (Reakt CaO)	EN 197-1 ⁽⁸⁾	≤ 10,0 (11,0)	
Finhed + 0,045 mm (Kategori N)		≤ 40 (45)	
- variation	EN 451-2	Dekl.værdi ± 10 % (± 15) % -point	(4)
Aktivitetsindeks	28 døgn	EN 196-1	≥ 75 (70) %
	90 døgn		≥ 85 (80) %
Volumenbestandighed (hvis krævet) ⁽²⁾	EN 196-3	≤ 10 (10,0) mm	
Partikel densitet	EN 196-6	Dekl.værdi ± 200 (± 225) kg/m ³	2300 kg/m ³
Reaktivt silicium dioxid (Reakt SiO ₂) ⁽⁴⁾	EN 197-1	≥ 25 (22)	
Sum SiO ₂ / Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	EN 196-2 ⁽⁶⁾	≥ 70 (65)	
Total alkali (Na ₂ O _{ekv.}) ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	EN 196-2	≤ 5,0 (5,5)	
Magnesium oxide (MgO) ⁽⁵⁾	EN 196-2	≤ 4,0 (4,5)	
Opløseligt fosfat (P ₂ O ₅) ⁽⁵⁾	Annex C ⁽⁷⁾	≤ 100 (110) mg/kg	
Afbindingstid ⁽⁵⁾	EN 196-3	≤ 100 % test cement x 2	

Noter:

Ubenævnte værdier er i masseprocent.

Kravværdier er statistiske værdier; grænseværdi for enkeltværdier er angivet i parentes.

⁽¹⁾ Emineral bestemmer restkulstof i stedet for glødetab, med anvendelse af LECO- eller ELTRA-udstyr.

Glødetab/restkulstof for kategori A er mellem 0,0 masse- % og 5,0 masse- %,

med en grænseværdi for enkeltværdier på 7,0 masse- %

Ved leverancer fra ELK er det oplyste restkulstofindhold et beregnet gennemsnit af siloens indhold min

og maks. værdier oplyses ved henvendelse til Emineral

⁽²⁾ Volumenbestandighed bestemmes kun når indholdet af fri CaO er mellem 1,0 og 2,5 % -point.

⁽³⁾ Middelværdien målt over en given periode.

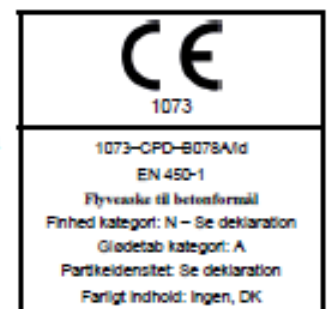
⁽⁴⁾ Værdier for disse egenskaber oplyses på forlangende.

⁽⁵⁾ Disse egenskaber kræves kun bestemt for flyveaske fremstillet ved samforbrænding iht. DS/EN 450-1.

⁽⁶⁾ Prøvningsmetoden er modificeret som angivet i DS/EN 450-1, pkt. 5.2.1.

⁽⁷⁾ Annex C i DS/EN 450-1.

⁽⁸⁾ Bestemmes kun når indholdet af CaO er >10,0 masse- %



Deklaration for flyveaske til betonformål

Produktbetegnelse:	Flyveaske, Type B5
Leverandør:	Emineral a/s, Nefovej 50, 9310 Vodskov
Gyldig fra:	2010-11-30 (revision 11)

Dancert har med EC certifikat 1073-CPD-B078A/Id certificeret overensstemmelse med kravene i DS/EN 450-1:2007+A1, for flyveaske kategori A, og med certifikat nr B078 certificeret overensstemmelse med Eminerals deklarerede maksimale indhold af chlorid*.

Flyveasken er tildelt overensstemmelsesmærket: **B078/B5** - Id er produktionsstedets identifikation:

AMV: Vattenfall A/S, Amagerværket, blok 3; AVV: Dong Energy A/S, Avedøreværket, blok 1; ASV: Dong Energy A/S, Asnæsværket, blok 2 & blok 5; ELK: Dong Energy A/S, Emineral Lager Korsør; FYV: Vattenfall A/S, Fynsværket, blok 7.

ENV: Dong Energy A/S, Enstedværket, blok 3; ESV: Dong Energy A/S, Esbjergværket, blok 3; SSV: Dong Energy A/S, Studstrupværket, blok 3 & blok 4; Vattenfall A/S, Nordjyllandsværket, blok 2 & blok 3;

ELA: Vattenfall A/S, Emineral Lager Aalborg.

Certificeringens gyldighed kan verificeres på Dancerts hjemmeside www.dancert.dk

Gældende varedeklaration kan downloades fra www.emineral.dk

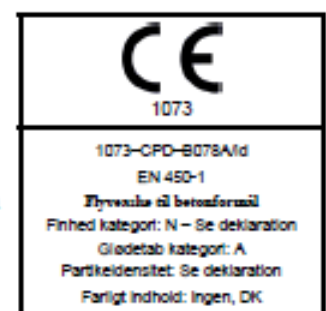
Egenskab	Metode	Krav i henhold til DS/EN 450-1:2007+A1	Emineral har for Type B5 supplerende deklareret
Glødetab / Restkulstof (Kategori A) ⁽¹⁾	EN 196-2	≥ 0,0 - ≤ 5,0 (7,0)	
Chlorid (Cl ⁻)	EN 196-2	≤ 0,10 (0,10)	≤ 0,02 (0,02) *
Svovlsyre anhydrid (SO ₂)	EN 196-2	≤ 3,0 (3,5)	
Fri calciumoxid (Fri CaO)	EN 451-1	≤ 1,0 / < 2,5 (2,6)	
Reaktiv calciumoxid (Reakt CaO)	EN 197-1 ⁽⁶⁾	≤ 10,0 (11,0)	
Finhed + 0,045 mm (Kategori N)		≤ 40 (45)	
- variation	EN 451-2	Dekl.værdi ± 10 % (± 15) % -point	(4)
Aktivitetsindeks	28 dogn	EN 196-1	≥ 75 (70) %
	90 dogn		≥ 85 (80) %
Volumenbestandighed (hvis krævet) ⁽²⁾	EN 196-3	≤ 10 (10,0) mm	
Partikel densitet	EN 196-6	Dekl.værdi ± 200 (± 225) kg/m ³	2300 kg/m ³
Reaktivt silicium dioxid (Reakt SiO ₂) ⁽⁴⁾	EN 197-1	≥ 25 (22)	
Sum SiO ₂ / Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ ^{(4) (5)}	EN 196-2 ⁽⁶⁾	≥ 70 (65)	
Total alkali (Na ₂ O _{ekv}) ^{(4) (5)}	EN 196-2	≤ 5,0 (5,5)	
Magnesium oxide (MgO) ⁽⁵⁾	EN 196-2	≤ 4,0 (4,5)	
Oploseligt fosfat (P ₂ O ₅) ⁽⁵⁾	Annex C ⁽⁷⁾	≤ 100 (110) mg/kg	
Afbindingstid ⁽⁵⁾	EN 196-3	≤ 100 % test cement x 2	

Noter:

Ubenævnte værdier er i masseprocent.

Kravværdier er statistiske værdier; grænseværdier for enkeltværdier er angivet i parentes.

- ⁽¹⁾ Emineral bestemmer restkulstof i stedet for glødetab, med anvendelse af LECO- eller ELTRA-udstyr. Glødetab/restkulstof for kategori A er mellem 0,0 masse- % og 5,0 masse- %, med en grænseværdi for enkeltværdier på 7,0 masse- %
Ved leverancer fra ELK er det oplyste restkulstofindhold et beregnet gennemsnit af siloens indhold min og maks. værdier oplyses ved henvendelse til Emineral
- ⁽²⁾ Volumenbestandighed bestemmes kun når indholdet af fri CaO er mellem 1,0 og 2,5 % -point.
- ⁽³⁾ Middelværdien målt over en given periode.
- ⁽⁴⁾ Værdier for disse egenskaber oplyses på forlangende.
- ⁽⁵⁾ Disse egenskaber kræves kun bestemt for flyveaske fremstillet ved samforbrænding iht. DS/EN 450-1.
- ⁽⁶⁾ Prøvningsmetoden er modificeret som angivet i DS/EN 450-1, pkt. 5.2.1.
- ⁽⁷⁾ Annex C i DS/EN 450-1.
- ⁽⁸⁾ Bestemmes kun når indholdet af CaO er >10,0 masse- %



Deklaration for flyveaske til betonformål

Produktbetegnelse:	Flyveaske, Type B6
Leverandør:	Emineral a/s, Nefovej 50, 9310 Vodskov
Gyldig fra:	2010-11-30(revision 5)

Dancert har med EC certifikat 1073-CPD-B078B/Id certificeret overensstemmelse med kravene i DS/EN 450-1:2007+A1, for flyveaske kategori B, og med certifikat nr B078 certificeret overensstemmelse med Eminerals deklarerede maksimale indhold af chlorid*.

Flyveasken er tildelt overensstemmelsesmærket: B078/B6 - Id er produktionsstedets identifikation:

AMV: Vattenfall A/S, Amagerværket, blok 3; AVV: Dong Energy A/S, Avedøreværket, blok 1; ASV: Dong Energy A/S, Asnæsværket, blok 2 & blok 5; ELK: Dong Energy A/S, Emineral Lager Korsør; FYV: Vattenfall A/S, Fynsværket, blok 7; ENV: Dong Energy A/S, Enstedværket, blok 3; ESV: Dong Energy A/S, Esbjergværket, blok 3; SSV: Dong Energy A/S, Studstrupværket, blok 3 & blok 4; Vattenfall A/S, Nordjyllandsværket, blok 2 & blok 3; ELA: Vattenfall A/S, Emineral Lager Aalborg;
 Certificeringens gyldighed kan verificeres på Dancerts hjemmeside www.dancert.dk
 Gældende varedeklaration kan downloades fra www.emineral.dk

Egenskab	Metode	Krav i henhold til DS/EN 450-1:2007+A1	Emineral har for Type B6 supplerende deklareret
Glødetab / Restkulstof (Kategori B) ⁽¹⁾	EN 196-2	≥ 2,0 - ≤ 7,0 (9,0)	
Chlorid (Cl ⁻)	EN 196-2	≤ 0,10 (0,10)	≤ 0,02 (0,02)*
Svovlsyre anhydrid (SO ₃)	EN 196-2	≤ 3,0 (3,5)	
Fri calciumoxid (Fri CaO)	EN 451-1	≤ 1,0 / < 2,5 (2,6)	
Reaktiv calciumoxid (Reakt CaO)	EN 197-1 ⁽⁸⁾	≤ 10,0 (11,0)	
Finhed + 0,045 mm (Kategori N)		≤ 40 (45)	
- variation	EN 451-2	Dekl.værdi ± 10 % (± 15) % -point	(4)
Aktivitetsindeks	28 døgn	≥ 75 (70) %	
	90 døgn	≥ 85 (80) %	
Volumenbestandighed (hvis krævet) ⁽²⁾	EN 196-3	≤ 10 (10,0) mm	
Partikel densitet	EN 196-6	Dekl.værdi ± 200 (± 225) kg/m ³	2300 kg/m ³
Reaktivt silicium dioxid (Reakt SiO ₂) ⁽⁴⁾	EN 197-1	≥ 25 (22)	
Sum SiO ₂ / Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	EN 196-2 ⁽⁶⁾	≥ 70 (65)	
Total alkali (Na ₂ O _{ekv}) ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	EN 196-2	≤ 5,0 (5,5)	
Magnesium oxide (MgO) ⁽⁵⁾	EN 196-2	≤ 4,0 (4,5)	
Opløseligt fosfat (P ₂ O ₅) ⁽⁵⁾	Annex C ⁽⁷⁾	≤ 100 (110) mg/kg	
Afbindingstid ⁽⁵⁾	EN 196-3	≤ 100 % test cement x 2	

Noter:

Ubenævnte værdier er i masseprocent.

Kravværdier er statistiske værdier; grænseværdi for enkeltværdier er angivet i parentes.

⁽¹⁾ Emineral bestemmer restkulstof i stedet for glødetab, med anvendelse af LECO- eller ELTRA-udstyr.

Glødetab/restkulstof for kategori B er mellem 2,0 masse- % og 7,0 masse- %, med en grænseværdi for enkeltværdier på 9,0 masse- %.

Ved leverancer fra ELK er det oplyste restkulstofindhold et beregnet gennemsnit af siloens indhold min og maks. værdier oplyses ved henvendelse til Emineral

⁽²⁾ Volumenbestandighed bestemmes kun når indholdet af fri CaO er mellem 1,0 og 2,5 % -point.

⁽³⁾ Middelværdien målt over en given periode.

⁽⁴⁾ Værdier for disse egenskaber oplyses på forlangende.

⁽⁵⁾ Disse egenskaber kræves kun bestemt for flyveaske fremstillet ved samforbrænding iht. DS/EN 450-1.

⁽⁶⁾ Prøvningsmetoden er modificeret som angivet i DS/EN 450-1, pkt. 5.2.1.

⁽⁷⁾ Annex C i DS/EN 450-1.

⁽⁸⁾ Bestemmes kun når indholdet af CaO er >10,0 masse- %



1. Identification of the Substance/Preparation and Company

Product name: **Elkem Microsilica** ®

Product application: Cementitious systems

Address/Phone No.: **Elkem ASA,
Materials**
P.O.Box 8126 Vaagsbygd
N-4675 Kristiansand, Norway
Telephone: + 47 38 01 75 00
Telefax: + 47 38 01 49 70
<http://www.materials.elkem.com>

Contact person: Ame Skagen, e-mail: ame.skagen@elkem.no

Emergency Phone No.: Not applicable

2. Composition/Information on Ingredients

Synonyms: Silica fumes, Microsilica, Silica powder, Amorphous silica, Silicon dioxide powder, condensed SiO₂-fume, Silica fume.

IUPAC-name: Silicon dioxide

CAS No.: 69012-64-2
EINECS No.: 273-761-1

Symbols and indications of danger: None
R and S Phrases: None

Microsilica may contain small amounts of crystalline quartz (<0.5%).

3. Hazards Identification

The product is unlikely to cause harmful effects when handled and stored as advised.

4. First Aid Measures

Inhalation:	Remove exposed person from dusty area. Fresh air.
Skin contact:	Wash contaminated skin with water and/or a mild detergent.
Eye contact:	Rinse eyes with water/saline solution. If discomfort persists, obtain medical attention.
Ingestion:	Not applicable.

5. Fire Fighting Measures

The product is not combustible and the dust entails no danger of explosion.

Extinguishing media: Not applicable

6. Accidental Release Measures

Avoid exposure to dust of the product. Released material should be collected in suitable containers.

7. Handling and Storage

Handling:	Avoid dust generation. See section 8.
Storage:	Keep away from hydrofluoric acid (HF). Not to be stored at temperatures near to or below 0°C.

8. Exposure Controls/Personal Protection

A) Occupational exposure controls:

Avoid inhalation of dust. Ensure good dust ventilation during use. Wear a CE-marked respirator according to EN 149 FFP 2S/3S during dust generating operations. Use protective gloves and eye protection. Facilities for Eye flushing should be available.

Occupational Exposure Limits (ACGIH¹⁾, 2005):

Substance	[CAS No.]	8hr TWA		ACGIH TLV 15 minute STEL		Notations
		ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
Silica fume (SiO ₂)	[69012-64-2]	-	2 ^(R)	-	-	-
Silica, crystalline (SiO ₂) Quartz*	[14808-60-7]	-	0,05 ^(R)	-	-	A2
	Cristobalite* [14464-46-1]	-	0,05 ^(R)	-	-	-

¹⁾ American Conference of Governmental Industrial Hygienists

* Changes are proposed in the NIC (Notice of Intended Changes)

^(R) Respirable fraction

B) Environmental exposure controls:

See sections 6, 7 and 12.

Limit values ambient air (Directive 1999/30/EC):

	Averaging time	Limit value
PM ₁₀ ★	24 Hrs	50 µg/m ³
PM ₁₀	Calendar year	40 µg/m ³

★ not to be exceeded more than 35 times a calendar year

9. Physical and Chemical Properties

Form:	Ultrafine amorphous powder (respirable dust), dust forms agglomerates.
Colour:	Grey
Odour:	Odourless
Melting Point (°C):	1550-1570
Solubility (Water):	Insoluble/Slightly soluble
Solubility (Organic solvents):	Insoluble/Slightly soluble
Specific Gravity (water =1):	2.2-2.3
Bulk density (kg/m ³) approx.:	150-700
Specific surface (m ² /g):	15-30
Particle size, mean (µm):	≈ 0.15 (≈ 80 weight% of primary particles have a diameter < 5 µm).

10. Stability and reactivity

Conditions to avoid:	See below
Materials to avoid:	Hydrofluoric acid (HF).

Hazardous Decomposition Product(s):

The product reacts with hydrofluoric acid (HF) forming toxic gas (SiF₄).
Heating the product above 1000°C can result in the formation of crystalline SiO₂-modifications as cristobalite / tridymite which may cause pulmonary fibrosis (silicosis).

11. Toxicological Information

Acute effects:

INGESTION:	Finely divided dust may cause mechanical irritation and dehydration of mucous membranes.
INHALATION:	Finely divided dust may cause mechanical irritation and dehydration of mucous membranes.
SKIN CONTACT:	Finely divided dust may cause mechanical irritation and dehydration.
EYE CONTACT:	Finely divided dust may cause mechanical irritation and dehydration.

Chronic effects:

Inhalation of dust from the product is considered to entail minimal risk of pulmonary fibrosis (silicosis). However, chronic obstructive lung disease is suspected following long term exposure (years) for concentrations above recommended occupational exposure limits.

12. Ecological Information

The product is not characterised as dangerous for the environment.

MOBILITY:	The product is not mobile under normal environmental conditions.
PERSISTENCE:	Not relevant for inorganic substances.
BIOACCUMULATION:	Not relevant.
ECOTOXICITY:	Elkem Microsilica: <i>Daphnia magna</i> : 24 h EC ₅₀ > 1002 mg.l ⁻¹ 24 h EC ₁₀₀ >1002 mg.l ⁻¹ NOEC 319 mg.l ⁻¹ Coarse microsilica has been subject to Microtox™ screening test. No acute toxicological effects could be observed in the test organisms.

13. Disposal Considerations

The material should be recovered for recycling if possible.

This material is not classified as hazardous waste according to Commission Decisions 2000/532/EC and 2001/118/EC. Prior to disposal of large quantities of this material advice should be sought from the relevant Waste Regulation Authority.

14. Transport Information

UN	-
IMDG/IMO	Not subject to classification
ADR/RID	Not subject to classification
ICAO/IATA	Not subject to classification

15. Regulatory Information

Product classification and labelling:

Symbol:	Not subject to classification
R-phrases:	None
S-phrases:	None

The text of this Data Sheet is prepared in compliance with:

- Commission Directive 2001/58/EC.
- Council Directive 67/548/EEC and its subsequent amendments.

16. Other Information

Literature references are available upon application to the manufacturer.

Elkem Microsilica[®] is a registered trademark owned by Elkem ASA.

PRODUKTBESKRIVELSE

Dynamon SX-N er et svært effektivt superplastiserende tilsetningsstoff basert på modifiserte akrylpolymerer.

Produktet tilhører Dynamonsystemet basert på den Mapeiutviklede DPP-teknologien (DPP = Designed Performance Polymers) der tilsetningsstoffenes egenskaper skreddersys til ulike betongformål.

Dynamonsystemet er utviklet på basis av Mapeis egen sammenstilling og produksjon av monomerer.

BRUKSOMRADE

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

Noen spesielle bruksområder er:

- Vanntett betong med krav til høy eller svært høy fasthet og med strenge krav til bestandighet i aggressive miljøer.
- Betong med særlige krav til høy støpelighet; i konsistensklasser S4 og S5 etter NS-EN 206-1.
- Selvkomprimerende betong med ønske om lengre åpentid. Om nødvendig kan SKB stabiliseres med en viskositetsøker – f.eks. **Viscofluid TA**.
- Til produksjon av frostbestandig betong – da i kombinasjon med luftinnførende tilsetningsstoffer - f.eks. **Mapeair L** eller **Mapeair 25**. Valg av type luftinnførende stoff gjøres ut fra egenskapene til de andre delmaterialer som er tilgjengelige.
- Til golvstøp for å oppnå en smidig betong med bedret støpelighet. Store doseringer og lave temperaturer kan retardere betongen noe.

Dynamon SX-N skiller seg vesentlig fra superplastiserende tilsetningsstoffer basert på sulfonerte melaminer eller naftalener, og også fra første generasjon akrylbaserte polymerer både gjennom sin effektivitet som vannreducerer og sin forlenging av åpentid/slumptid.

Den doseringsmengde som trengs for å oppnå en bestemt støpelighet vil derfor være lavere for **Dynamon SX-N** enn for tidligere SP-stoffer. Med forlengingen av åpentiden vil det nå ved vanlige leveranser være mulig å gjøre betongen ferdig på betongstasjonen, og "oppfrisking" med SP-stoffer på byggeplass blir mindre aktuelt.

Det er likevel ikke noe problem å etterdosere stoffet direkte i automikser. Doseringstidspunktet for **Dynamon SX-N** er mindre viktig, men dersom **Dynamon SX-N** tilsettes etter at minst 80% av blandevannet er inne, vil blandetiden generelt være kortest. Det er likevel viktig med utprøvinger tilpasset eget blandeutstyr.



EGENSKAPER

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

Denne effekten kan prinsipielt utnyttes på tre måter:

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

VÆR OPPMERKSOM PÅ

Dynamon SX-N lar seg kombinere med andre Rescon Mapei tilsetningsstoffer, som f.eks. styrkningsakselererende stoffer som **Mapequick SA** og styrkningsretarderende stoffer som **Mapetard R**. Produktet lar seg også kombinere med luftinnførende tilsetningsstoffer for produksjon av frostbestandig betong, f.eks. **Mapeair L** eller **Mapeair 25**.

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

EMBALLASJE

Dynamon SX-N leveres i 25 liters kanner, 200 liters fat, i 1000 liters containere og i bulk. Produktet må oppbevares ved temperaturer mellom +8°C og +35°C og bevarer sine egenskaper i minst ett år i lukket emballasje. Fargenyanser kan oppstå i produksjon av polymerene som inngår i **Dynamon EX**, men dette påvirker ikke produktets bruksegenskaper. Produktet bør røres forsiktig om før bruk for å sikre et homogent og likevirkende produkt. Produktet bør ikke utsettes for sollys.

TEKNISKE SPESIFIKASJONER		
Form:	Væske	
Farge:	Gullbrun	
Viskositet:	Lettflytende; <30 mPa · S	
Tørrestoffinnhold, %:	18,5 ± 1,0	
Spesifikk vekt, g/cm ³ :	1,06 ± 0,02	
pH-verdi:	6,5 ± 1	
Kloridinnhold, %:	< 0,01	
Alkaliinnhold (Na ₂ O-ekvivalenter) %:	< 2,0	
BRUKSEGENSKAPER I BETONG		
<i>Som vannreducerende stoff (lik konsistens) T 3.1</i>		
Sementmengde kg/m ³ (Norcem standard)	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt)	0	1,0
Masseforhold (w/c-tall)	0,51	0,41
Vannreduksjon (%)	-	20
Trykkfasthet (i N/mm ²):		
1døgn	26	41
7døgn	42	60
28døgn	52	68
<i>Som SP-stoff (slumpforbedrer) T 3.2</i>		
Sementmengde, kg/m ³ (Norcem standard sement):	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt):	0	1,0
Masseforhold (w/c-tall):	0,48	0,48
Luftinnhold:	2,1	1,8
Konsistens, mm:		
- synkmål, 5 min	30	220
- synkmål, 30 min	20	200
- synkutbedrelse, 5 min		420
- synkutbedrelse, 30 min		380

DOSERING

Dynamon SX-N tilsettes for å oppnå ønsket resultat (styrke, bestandighet, støpelighet, sementreduksjon) ved å variere doseringen mellom 0,3 og 2,0% av sementmengden.

Ved øket dosering økes også betongens åpentid, dvs. tiden betongen lar seg bearbeide.

Større doseringsmengder og lave betongtemperaturer gir en retardert betong. Vi anbefaler alltid prøvestøper med aktuelle parametere.

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

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

Dynamon SX-N kan også tilsettes direkte i automikser på bygg- eller anleggsplass. Betongen bør da blandes med maksimal hastighet på trommelen i minst 5 minutter, pluss ett minutt pr. m² betong i lasset.

VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon, se eget HMS-datablad. HMS-databladene finnes på www.resconmapei.com

MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktene.

All ovenstående informasjon må likevel betraktes som retningsgivende og gjenstand for vurdering.

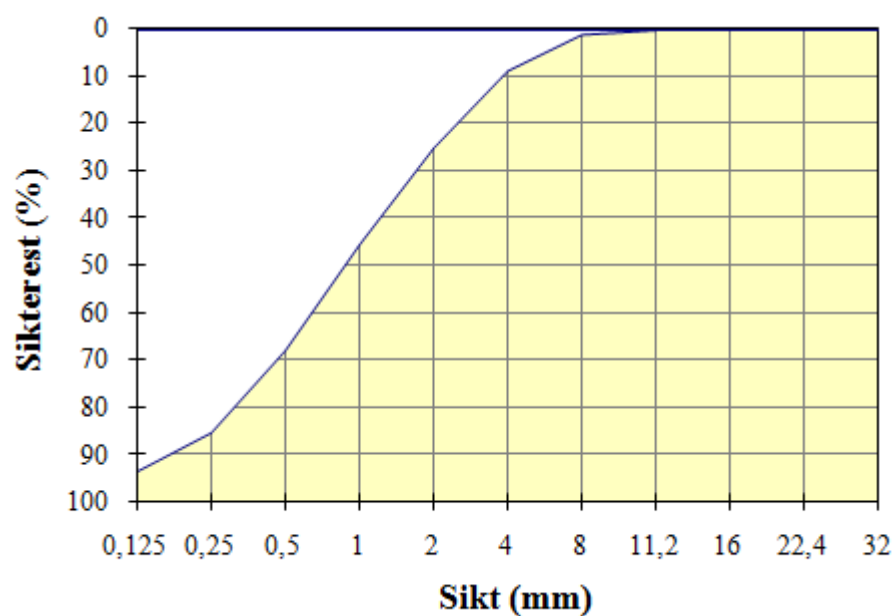
Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse. Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt eller ved feilaktig utførelse.

Alle leveranser fra Rescon Mapei AS skjer i henhold til de til enhver tid gjeldende salgs- og leveringsbetingelser, som anses akseptert ved bestilling.

Siktekurve

Type:	Forsand 0-5
Dato:	07.02.2011
FM =	2,80

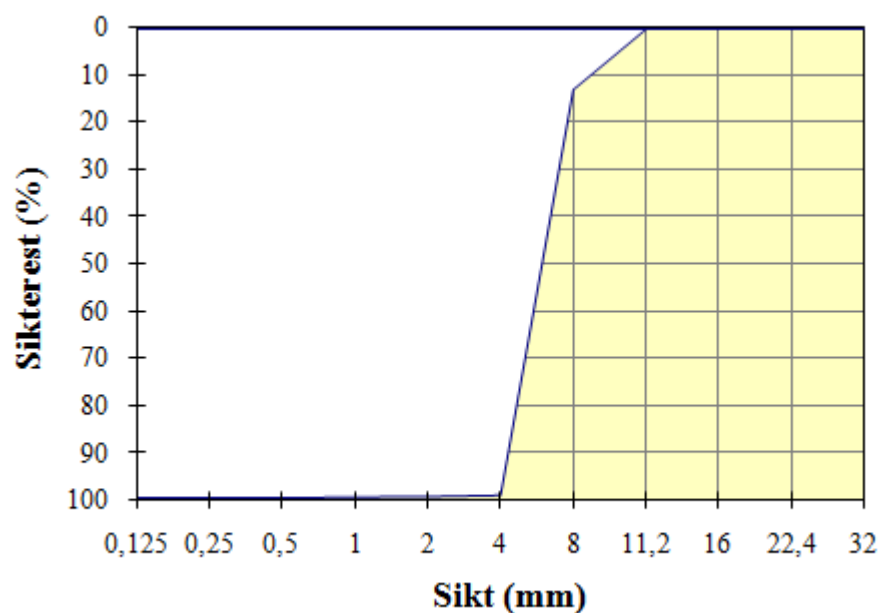
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	0	0	0,0
11,2	0	0	0,0
8	9	9	1,0
4	80	80	8,7
2	231	231	25,0
1	420	420	45,5
0,5	627	627	67,9
0,25	788	788	85,3
0,125	864	864	93,5
Bunn	924	924	



Siktekurve

Type:	Forsand 5-8
Dato:	07.02.2011
FM =	5,59

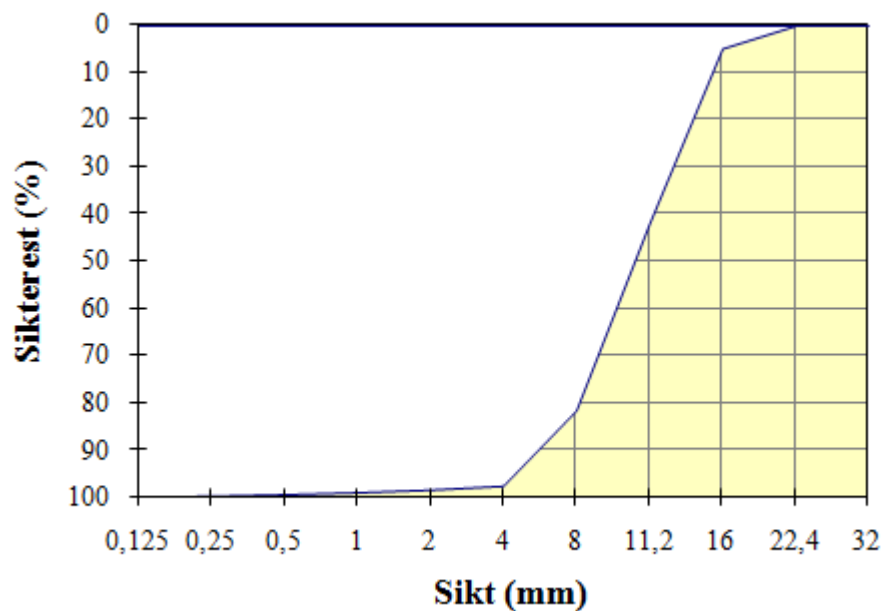
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	0	0	0,0
11,2	0	0	0,0
8	137	137	12,8
4	1057	1057	99,0
2	1060	1060	99,3
1	1061	1061	99,3
0,5	1063	1063	99,5
0,25	1063	1063	99,5
0,125	1063	1063	99,5
Bunn	1068	1068	



Siktekurve

Type:	Forsand 8-16
Dato:	07.02.2011
FM =	6,29

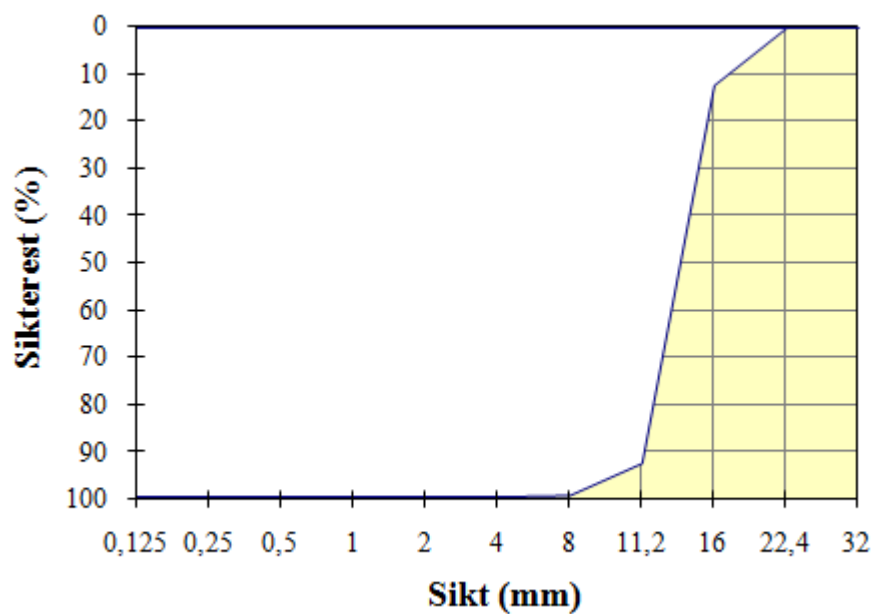
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	93	93	4,8
11,2	812	812	41,9
8	1578	1578	81,5
4	1887	1887	97,4
2	1903	1903	98,2
1	1914	1914	98,8
0,5	1922	1922	99,2
0,25	1928	1928	99,5
0,125	1931	1931	99,7
Bunn	1937	1937	



Siktekurve

Type:	Forsand 11-16
Dato:	07.02.2011
FM =	6,57

Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	176	176	12,1
11,2	1337	1337	92,1
8	1436	1436	99,0
4	1440	1440	99,2
2	1440	1440	99,2
1	1440	1440	99,2
0,5	1440	1440	99,2
0,25	1440	1440	99,2
0,125	1440	1440	99,2
Bunn	1451	1451	



Sammensatt Tilslag

Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m ³]	Abs. fukt [%]	Alk. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Forsand	2650	0,9	0,0	0,00	0,000	0,000	
II	Forsand 5-8mm	2680	0,5	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Forsand 8-11	2680	0,5	0,0	0,00	0,000	0,000	
IV	Forsand 11-16	2700	0,5	0,0	0,00	0,000	0,000	
V	Forsand Grus 0-8mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VI	Forsand pukk 0-16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VII	Forsand 8-16	2700	0,0	0,0	0,00	0,168	0,168	ok
VIII	Forsand 5-8	2700	0,0	0,0	0,00	0,026	0,026	ok
IX	Forsand 0-5	2700	0,0	0,0	0,00	0,494	0,494	ok
X	Forsand 11-16	2700	0,0	0,0	0,00	0,312	0,312	ok
Sammensatt		2700		0,0	0,00	1,000	1,000	

