

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP





Universitetet for miljø- og biovitenskap
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave høsten 2011

Fagområde	Dato	Antall sider
Betongteknologi	15. desember 2011	72 + vedlegg

Tittel:

Verifisering av programmet TempSim

Verification of the program TempSim

Utført av:

Silje Helen Foss

Intern veileder: Christian O. Sørensen, IMT, UMB

Ekstern veileder: Bernt Kristiansen, AF Gruppen

Forord

Masteroppgaven *Verifisering av programmet TempSim* ble skrevet høsten 2011 ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, IMT, ved Universitetet for miljø- og biovitenskap. Oppgaven ble gjennomført under veiledere Christian O. Sørensen fra IMT og Bernt Kristiansen fra AF Gruppen.

Jeg vil takke:

- Veileder Bernt Kristiansen (materialteknolog, AF Gruppen) for mye veiledning og støtte, samt utlån av utstyr.
- AF Gruppen for økonomisk hjelp til masteroppgaven og reiser i forbindelse med denne.
- Veileder Christian O. Sørensen (UMB) for god hjelp med det skrive tekniske i oppgaven.
- Like mye vil jeg takke Frode Skåttun (betongtekniker, Unicon) for hjelp med gjennomføring av mange forsøk og gode svar på mine spørsmål om betong.
- Øyvind Sæter (betongtekniker, Unicon) for god veiledning til oppgaven og Eivind Heimdal (avdelingssjef i Teknologi, Unicon) for tilgang til laboratoriet på Sjursøya, data og utstyr.
- Gutta på laboratoriet til Unicon for bistand i forsøk og trykking av terninger.
- Til slutt vil jeg takke Thorkild Rasmussen (produktteknisk konsulent, Aalborg Portland), som videreutviklet programmet TempSim, for opplæring i programmet, utførelse av adiabatisk målinger på laboratoriet i Aalborg, samt hjelp til mine spørsmål om TempSim.

I forbindelse med at jeg skrev masteroppgaven for AF Gruppen fikk jeg anledning til å ta Støpeleder kurs i regi av AF Gruppen. I tillegg til dette fikk jeg to turer til Aalborg og omvisning på Aalborg Portland Cementier.

Silje Helen Foss

Ås, 13. desember 2011

Sammendrag

Hensikten med denne oppgaven er å verifisere TempSim, et program som simulerer både temperatur og fasthet til betong. Dette programmet er sammensatt av flere Excel ark som, ved hjelp av matematiske formler, simulerer temperatur- og fasthetsutviklingen til ulike betongresepter. I denne sammenhengen skal jeg belyse teorien som ligger til grunn for programmet. Dette er avbinding, modenhetsprinsippet, betongens egenskapsutvikling og beregningsmodell for varme- og fasthetsutvikling. Rådataen til programmet TempSim finner jeg fra laboratorieforsøk utført både i Aalborg i Danmark og på Sjursøya i Norge. Denne informasjonen er brukt som input for simulering i TempSim. Resultater hentet fra feltarbeid på ulike byggeplasser i Osloområdet er sammenlignet med temperatursimuleringene fra TempSim. Dersom resultatene fra programmet stemmer overens med resultatene fra feltarbeidet er programmet verifisert.

Opgaven er delt inn i fire deler:

- Litteraturstudie med fokus på lavvarmebetong, flyveaske, tilsetningsstoffer og herdeteknologi.
- Feltarbeid som består av temperaturlogging av bunnplate, dekker, vegger og søyler/-bjelker på byggeplass.
- Laboratoriearbeid som består av:
 - temperaturmålinger
 - kalorimetrimålinger
 - trykkfasthetsprøver
 - måling av retarderingseffekt fra tilsetningsstoffer
- Input av data i programmet TempSim og verifisering av programmet.

Etter endt forsøksrunde kan jeg konkludere med:

TempSim ble i utgangspunktet utviklet for å simulere temperaturutviklingen på massive konstruksjoner, der temperaturen kan bli kritisk høy. Det er derfor vanskelig å verifisere programmet på grunnlag av små og slanke konstruksjoner, som tynne vegger og søyler. TempSim beregner kun varmetap fra 4 sider i konstruksjonene, mens det i virkeligheten foregår varmetap fra alle 6 sidene. Dette har større betydning for konstruksjoner av små dimensjoner, som søyler og bjelker, enn for større konstruksjoner, som dekker og tykke vegger. Derfor vil simuleringen av søyler gi en høyere varmeutvikling enn det som er realiteten på en byggeplass. Feil i input av randbetingelser i programmet, som vær og vind, vil også ha større innvirkning på søyler og bjelker. Programmet er ikke verifisert på grunnlag av ønsket om et maksimum avvik i temperaturkurven på ± 2 °C og ± 2 timer. Det gjenstår fremdeles videreutvikling av programmet for at det skal gi bedre simuleringsresultater på søyler og bjelker. I tillegg er det avgjørende med flere målinger av søyler og bjelker for å få programmet verifisert. Selv om TempSim på det nåværende tidspunkt ikke er verifisert, er det et brukbart hjelpemiddel i simulering av temperatur og fasthet.

Innvirkning av tilsetningsstoffer

Som allerede kjent har plastiserende tilsetningsstoff vannreducerende effekt som bidrar til en mer bearbeidelig betong over lengre tid. I tillegg til vannreducerende effekt har P-stoff også en retarderende effekt. Superplastiserende stoff har en større vannreducerende effekt enn P-stoff, og skal i utgangspunktet ha liten eller ingen retarderende effekt. Fra mine forsøk fant jeg at dette stemte for P-stoff, men i tillegg hadde også SP-stoffene retarderende effekt. Høy dosering av P-stoff gir en lenger avbindingstid enn SP-stoffene. Derimot vil lav dosering av SP-stoffet *Glenium Sky 234* gi en lenger avbindingstid enn ved like mengder P-stoff. *Glenium C151* skiller seg ut da stoffet gir en generelt kortere avbindingstid i forhold til de andre SP-stoffene. I mine simuleringer har TempSim medberegnet den retarderende effekten til betongen. Dersom en allikevel ønsker å legge inn retarderingstimer, for eksempel ved bruk av retarder i betongen, er det mulig i den nye norske utgaven av TempSim.

Abstract

The purpose of this task is to verify the temperature simulation program TempSim. In this context, I will illustrate the theory that forms the basis for the program. This is setting time, maturity principle, development of characteristic qualities, and calculation model for heat and strength development. I found the input data to the program TempSim from laboratory experiments conducted in Aalborg in Denmark and Sjørsøya in Norway. Actual results obtained from field work at various construction sites in the Oslo area will be compared with simulations from TempSim. If the results from the program are consistent with the results of the fieldwork, the program is verified.

The task is divided into four parts:

- Literature study with focus on low heat concrete, additives and curing technology.
- Field work consisting of temperature logging of the ground slab, floors, walls, columns and beams on building site.
- Laboratory work consisting of:
 - temperature measurements
 - adiabatic calorimetry
 - compressive strength testing
 - monitoring the effect of retardation from additives
- Input of data in program TempSim and verification of program.

Results and conclusion:

Verification of TempSim

TempSim was originally developed to simulate the thick structures where the temperature can be critically high. It is therefore difficult to verify this program on basis of thin structures, such as walls and columns. TempSim calculates the heat loss from four sides of the structure, while in reality heat transfer takes place at all six surfaces. This is of greater significance for structures of small dimensions, such as beams and columns, than for larger structures, such as floors and thick walls. Errors in the input of boundary conditions in the program, such as the weather, will have greater impact on columns and beams. This program has not been verified on the basis of the desire for maximum deviation in the temperature curve of $\pm 2^\circ\text{C}$ and ± 2 hours. Further development remains for the program to perform better at simulation of columns and beams. Additional multiple investigations of columns and beams are needed for complete program verification. Although TempSim at this time is not verified, it is a usable tool for simulation of temperature and strength.

Effect of additives

Both the plasticizers and the super-plasticizers, *Glenium C151*, *Glenium Sky 234* and *Glenium Sky 552* have retarding effect. From my simulations, it appears that TempSim has already taking into account the delay in initial setting. If one still wants to include retarding hours, for example due to the use of retarder, this is possible in the new Norwegian edition of TempSim.

Innhold

Forord	1
Sammendrag	2
Abstract	4
1. Innledning	7
2. Litteraturstudie	8
2.1 Betong.....	8
2.2 Forhold som virker inn på sementens varmeutvikling og fasthetsutvikling.....	8
2.2.1 Innvirkning av sementens klinkermineraler på hydrasjonsreaksjonen.....	8
2.2.2 Sementtype.....	9
2.2.3 Lufttemperatur og vind.....	10
2.2.4 Betongens fasthetsklasse.....	10
2.2.5 Sementmengde.....	10
2.2.6 Tilsetningsstoffer.....	10
2.3 Pozzolaner.....	14
2.3.1 Fremstilling av flyveaske.....	15
2.3.2 Kjemisk sammensetning av flyveaske.....	15
2.3.3 Fysisk virkning av flyveaske.....	17
2.3.4 Betong med alternativ aske.....	19
2.4 Lavvarmebetong.....	20
2.4.1 Flyveaskedosering.....	20
2.5 Avbindingstid.....	21
2.6 Simulering av herdeforløpet.....	23
2.6.1 Betongens egenskaper.....	23
2.6.2 Randbetingelser.....	31
3. Forsøk	34
3.1 Betonglaboratoriet i Aalborg.....	34
3.2 Unicon sitt laboratorium på Sjursøya.....	36
3.2.1 Utstøping av betong i terninger til trykkfasthetsmåling.....	37
3.2.2 Temperaturmåling i herdekasse.....	38
3.2.3 Temperaturmåling i isoporkasse.....	39
3.3 Temperaturmåling på byggeplass.....	40
4. Resultater	41
4.1 Varmeutviklingsparameterne Q_{∞} , τ_e , α	41
4.1.1 Sammenlikning herdekasse og TempSim.....	43
4.2 Flyveaskens innvirkning på varmeutviklingen.....	45
4.3 Resultater fra målinger på Sjursøya.....	50
4.3.1 Trykkfasthetsmålinger.....	50
4.3.2 Konsistenstap i ulike betongblandinger.....	51
4.3.3 Avbindingstid i betongblanding.....	56

4.3.4 Avbindingstid i mørtelblanding.....	57
4.4 Resultat fra temperaturmålinger i felten.....	60
4.4.1 Sammenlikning av temperatursimulering i TempSim med temperaturforløpet på byggeplass	61
4.5 Betydning av randbetingelser.....	63
5. Diskusjon.....	64
6. Konklusjon.....	66
7. Feilkilder.....	67
8. Figurliste.....	69
9. Tabeller.....	70
10. Litteraturliste.....	71

Vedlegg

1. Sammenlikning av temperatursimulering i TempSim med temperaturforløpet på byggeplass....	74
2. Siktekurver.....	96
3. Blanderresepter.....	99
4. Varmebidrag fra flyveaske med resepter.....	110
5. Tilsetningsstoffer.....	116
6. Trykkfasthetsdata.....	130
7. Målinger på betong.....	133

1. Innledning

Bakgrunn for oppgaven

Betonglignende materialer har vært brukt siden oldtiden, og på midten av 1800-tallet kom sement og betong til Norge. I de siste hundre årene har vi tilsatt ulike stoffer til betongen for å forbedre dens egenskaper, men fremdeles søkes det etter mer kunnskap om tilsetningsstoffer og deres innvirkning på betong. I denne oppgaven har jeg sett litt nærmere på noen av disse tilsetningsstoffene.

Før utstøping av en betongkonstruksjon er det ofte ønskelig å kunne forutsi utviklingen av betongen, både med tanke på temperatur, varme- og styrkeutvikling. Programmet TempSim er et planleggingsverktøy som muliggjør simulering av temperatur og fasthetsutvikling i en konstruksjon [1]. Brukeren velger ulike forutsetninger som skal gjelde for den enkelte betongresepten, slik som konstruksjon, kvalitet, sementtype, forskaling, temperatur ved utstøping, samt vindforhold m.m. AF Gruppen har et ønske om å kunne bruke TempSim til å simulere herdeutviklingen til lavvarmebetong. I samarbeid med Aalborg Portland er det i en ny utgave av TempSim lagt til flere funksjoner for å spesifisere hver enkelt resept som legges inn. Min oppgave er å verifisere dette programmet slik at AF Gruppen kan bruke dette som et verktøy. For å verifisere resultatene fra TempSim har jeg gjort temperaturmålinger, kalorimetrimålinger og styrkemålinger på utvalgte betongresepeter.

Jeg har fokusert på lavvarmebetong etter ønske fra AF Gruppen. For å fremskaffe rådataen til en spesiell betongresept har jeg gjort laboratorieforsøk i Aalborg og på Sjursøya. AF Gruppen bestiller betong fra betongleverandøren Unicon, som bruker sement fra Aalborg i Danmark. Programmet TempSim er basert på betongresepeter med Aalborg sement. For å skaffe informasjon om trykkfastheten til betongresepten har jeg både utført forsøk i laboratoriet til Unicon på Sjursøya og laboratoriet til Aalborg Portland i Aalborg. I tillegg tar Unicon jevnlig fasthetsmålinger på betongen de leverer og disse resultatene har jeg brukt for å få et mest mulig korrekt resultat.

2. Litteraturstudie

2.1 Betong

Betong er en blanding av sement, vann og ulike tilslagspartikler som stein, grus og sandmaterialer. Sement er et hydraulisk bindemiddel, det vil si at det herder og størkner ved kontakt med vann [1]. Ved vannkontakt utløses store mengder kalsium (Ca) og en del alkalihydroksider (NaOH og KOH). Disse vil til sammen danne kalsiumhydroksid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, som gjør betongen svært basisk. Dette hindrer armeringskorrosjon i armert betong. Et resultat av reaksjonen mellom sement og vann er at det etter kort tid vil utvikles herdevarme, som forsterker den videre kjemiske reaksjonen mellom sement og vann. Sementens tidlige reaksjon med vann har betydning for betongproduksjonen. Den ferske betongen skal være bevegelig under avstøpningen for deretter å stivne til en fast kropp og ha stor styrke. Overgangen fra bløtt materiale til fast stoff kalles avbinding. Den kjemiske reaksjonen mellom sement og vann krever en vannmengde tilsvarende 25 % av sementmengden. En del vann blir løsere bundet opp, dette utgjør 15 % av sementmengden ved fullstendig kjemisk reaksjon (fullstendig hydratasjon). Dette utgjør et v/c -tall = 0,4. Dersom v/c -tallet er mindre enn 0,4 vil en tilsvarende mindre del av sementen reagere med vannet. Er v/c -tallet 0,4 vil betongen være stiv å jobbe med dersom det ikke benyttes tilsetningsstoffer. Den vannmengden som ikke inngår i den kjemiske reaksjonen vil bli værende igjen i betongen og etterlate porer etter hvert som betongen tørker ut. Betongen jeg skal gjøre målinger på har v/c -tall lik 0,4 og det er brukt tilsetningsstoffer for å gjøre betongen mer bearbeidelig. Det lave masseforholdet gir betongen lavere porøsitet og permeabilitet, og dermed blir betongpastaen tettere og sterkere. Dette fører til at det er vanskelig for skadelige stoffer å trenge inn i betongen, og det forsinkes nedbrytning av betongen.

2.2 Forhold som virker inn på sementens varmetvikling og fasthetsutvikling

2.2.1 Innvirkning av sementens klinkermineraler på hydratasjonsreaksjonen

Ulike klinkermineraler som finnes i betong er C_3A , C_4AF , C_3S og C_2S . Hydratasjonsreaksjonen mellom sement og vann er eksoterm, det vil si at det avgis varme [2]. Størrelsen på varmen påvirkes av den kjemiske sammensetningen av sementen, der C_3A og C_3S primært er ansvarlig for den høye varmetviklingen. Trikalsiumsilikat, C_3S , er sementens viktigste komponent, da den hydrerer og herder raskt etter vannkontakt. Dette gjør at sementen får høy tidligfasthet, altså at betongen stivner raskt. Trikalsiumaluminat, C_3A , bidrar indirekte til høy tidligfasthet. C_3A frigjør store mengder varme ved kontakt med vann og varmen gjør at reaksjonen mellom C_3S og vann framskyndes. Sementen er tilsatt gips for å forsinke C_3A 's hurtige reaksjon med vann og dermed hindre lynavbinding. Sementens kjemiske sammensetning angis vanligvis som dens beregnede innhold av disse klinkermineralene. Utover disse inneholder sementen alkaliforbindelser, gips og eventuelt flyveaske. En typisk klinkersammensetning i Portlandsement er:

Tabell 1 Klinkersammensetning i en Portlandsement [1]

Klinkertype	Mengde
C ₃ S (alitt)	45 – 60 %
C ₂ S (belitt)	15 – 30 %
C ₃ A (trikalsiumaluminat)	1 – 8 %
C ₄ AF (feritt)	8 – 15 %
CaSO ₄ (kalsiumsulfat)	2 – 5 %

2.2.2 Sementtype

Det finnes sementtyper som har ulik kjemisk sammensetning for å oppnå spesielle egenskaper som hurtig fasthetsutvikling (f.eks industrisement), lav varmeutvikling med en lavvarmesement og sement som er bestandig mot spesielle kjemiske stoffer (f.eks sulfatresistent sement) [3]. Det finnes sementer som reagerer hurtigere med vann og utvikler dermed mer varme enn andre sementer. Disse er godt egnet til vinterstøp, da en ønsker rask tidligfasthet. Sementens finhet har også innvirkning på hydratasjonshastigheten, da større finhet vil gi høyere hastighet. Det er fordi mer finmalt sement har større reaksjonsflate som igjen gir større hydratasjonsgrad. Sement kan klassifiseres gjennom sementtype, mekaniske og fysiske krav etter NS-EN 197-1 eller andre egenskaper definert i nasjonale standarder. NS-EN 197-1 deler sementtypene inn i 5 klasser (I, II, III, IV, V), der CEM I er Portlandsement. Forskjellen mellom de ulike Portlandsementene er graden av finhet eller den kjemiske sammensetningen, og disse styrer sementenes egenskaper. Standarden deler sementtypene etter trykkfasthet og angir to hovedstyrkeklasser: tidligfasthet og standardfasthet. Tidligfasthet deles igjen inn i klassene høy og normal tidligfasthet. Disse er karakterisert med henholdsvis bokstavene R (rapid) og N (normal). I mine forsøk er det Rapid Portland sement som blir brukt.

Portland sement, CEM I

Rapid Portland sement herder raskere enn standard portland sement. Rapidsement brukes hvis man ønsker høy tidligstyrke (tidlig riving av forskalingen, elementproduksjon) eller ved vinterstøp. Ved vinterstøp er den høye hydratasjonsvarmen i tidlig herdeforløp en fordel. Rapid Portland sement betegnes som en *CEM I 52,5R* sement. Tallet 52,5 angir minimum trykkfasthet etter 28 døgn, og nåværende rapid sementen har en 28 døgns styrke på 66 MPa.

Unicon får levert sement fra Aalborg Portland, og det er derfor jeg gjør målinger med betongresepter av Portland sement.

2.2.3 Lufttemperatur og vind

Fasthetsutviklingen til betongen avhenger av både materialsammensetningen og temperaturen. Jo høyere temperaturen er ved utstøping av betongen, jo større hastighet har fasthetsutviklingen. Dette betyr at en større del av fasthetsutviklingen vil finne sted i begynnelsen, men sluttstyrken blir den samme. På vinterstid, når temperaturen er lav, vil det ta lenger tid før betongen størkner og herder, enn ved sommerstid med høy lufttemperatur. Vind har også innvirkning på herdningen av fersk betong. Ute på byggeplass med mye vind er det fare for uttørking av overflaten dersom betongen ikke dekkes til. Ved beregning av fasthet- og varmetutviklingen i TempSim skal jeg ta med både temperatur og vindforhold i beregningene. For eksemplet vil et dekkestøp bli påvirket av vind, spesielt om det ikke blir dekket til etter utstøping. Dersom det regner mye er det rimelig å anta at vannlaget vil ha avkjølede virkning på dekket.

2.2.4 Betongens fasthetsklasse

Trykkfastheten til betong blir oppgitt i MPa, og det er som regel sylindertykkfastheten som er oppgitt. En høyere fasthetsklasse gir høyere varmetutvikling og raskere fasthetsutvikling enn en lavere fasthetsklasse. Betong med lav fasthetsklasse er dermed mer følsom for lave temperaturer enn betong med høyere fasthetsklasse. Terningtrykkfastheten kan for eksempel angis som B35, som da vil ha en 28 døgns fasthet på 35 MPa. Sylindertykkfastheten er omtrent 80 % av terningtrykkfastheten.

2.2.5 Sementmengde

Som tidligere nevnt vil reaksjonen mellom vann og sement utvikle varme, på vinterstid kan en øke sementmengden for å øke temperaturen i betongen.

2.2.6 Tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoffer tilsettes i satser, bestående av sement og tilslag, vanligvis samtidig med vannet, eller etter vanntilsetning. Formålet er å oppnå en gunstig virkning på egenskapene til den ferske eller herdnende betongen. Tilsetningsstoffer kommer både i væske- og pulverform, og blir tilsatt i små mengder i forhold til sementmengden. Det finnes en rekke tilsetningsstoffer med ulike virkninger. NS-EN 934-2 angir blant annet følgende klasser av tilsetningsstoffer: vannreducerende, plastiserende, superplastiserende, størkningsretarderende, størkningsakselererende, herdingsakselererende og luftinnførende. De mest benyttede stoffene finnes i disse klassene, men det finnes også andre for helt spesielle formål. I bruken av et tilsetningsstoff følger det ofte med en eller flere bivirkninger. Dette må en ta i betraktning ved bruk av tilsetningsstoff. Virkningen av tilsetningsstoffet kan også avhenge av sementtype, andre tilsetningsstoffer, v/c-forhold, tilslagstype, betongtemperatur o.a. Det kan derfor være lurt å gjøre noen prøveblandinger med tilsetningsstoffet først. Ved dosering av tilsetningsstoffet oppnås ofte størst effekt ved å tilsette stoffet etter en forblending av de andre betongkomponentene. Dette er for å unngå at de tilsatte mengdene suges opp av de porøse tilslagskornene, som kan føre til en lavere virkningsgrad av stoffet.

2.2.6.1 Plastiserende stoffer

Ved bruk av plastiserende og superplastiserende stoffer (P- og SP-stoffer) oppnår en ønsket konsistens på betongen med mindre vann. Dette gir oss en betong med mindre total vannmengde, og dermed en betong med mindre sementbehov for samme v/c-tall. Under sementproduksjonen blir sementkornene elektrisk ladde, og de har en tendens til å klistre seg sammen til klaser som ikke løser seg opp i betongblanderen. Plastiserende stoffer nøytraliserer polariteten til de små partiklene i massen slik at de får en negativ ladning utad. Partiklene vil da frastøte hverandre og sementklasene løser seg opp. Sementoverflaten blir dermed større, og sementen blir bedre utnyttet. En annen effekt plastiserende stoffer har på partiklene er at de danner en hinne rundt sementkornene. P-stoff danner en relativt tett hinne som forhindrer vann i å trenge inn til sementkornenes overflate under en viss periode etter vanntilsetning, og har dermed en retarderende effekt på betongen. SP-stoff danner en åpnere hinne rundt sementkornene og hindrer ikke vannet like mye i å trenge inn, og har dermed ikke like stor retarderende effekt som P-stoff. Hinnene besørger en viss avstand mellom partiklene og dermed reduseres tiltrekningen på grunn av elektrostatiske krefter. Virkningstiden til SP-stoffet er kort fordi den tynne filmen brytes fort ned. Filmdannelsen fra både P- og SP-stoff har en smørende effekt slik at sementkornene blir bedre fordelt rundt i massen. Brukstiden, den tiden man har plastiserende effekt av stoffet, varierer for de ulike produktene. P-stoff kan som sagt gi en retarderende effekt på betongen, og lav betongtemperatur vil forsterke en eventuell retarderende effekt. Ved vinterstøp er det ønskelig at herdeprosessen skal komme raskt i gang og siden P-stoff har større retarderende effekt enn SP-stoff, blir ofte en blanding av SP- stoff og P-stoff brukt, eventuelt at kun SP-stoff blir brukt. En overdosering av P- og SP-stoff medfører fare for separasjon og vannutskillelse.

2.2.6.2 Luftinnførende stoff

All betong inneholder luftporer fra blandeprosessen. Luftinnførende middel tilfører en kontrollert mengde, jevnt fordelte luftbobler som blir værende igjen under herdingen. Luftboblene gir betongen en mikroluftporestruktur som gjør betongen frostbestandig. I fersk betong vil de små luftboblene ha en smørende effekt og bearbeideligheten øker. Samtidig synker faren for separasjon og slamlagdannelse. Bivirkningen av luftinnførende middel er at trykkfastheten reduseres med 5 prosent for hvert prosentpoengs økning i luftporevolum [4]. Derfor stilles det krav til totalt luftporeinnhold i betong, der særlig porestørrelse og fordelingen av porene er viktig. For å kompensere for fasthetstapet kan en reduseres betongens masseforhold. Ved å kombinere luftinnførende stoff med plastiserende eller superplastiserende stoffer, kan en redusere masseforholdet. Eller en kan øke sementmengden. I betong med flyveaske kan luftinnblandingen påvirkes og endres med kvaliteten på flyveasken. Mengde og type karbonrester i flyveasken kan variere noe, og slik variasjon kan endre virkningen av det luftinnførende stoffet. Generelt svekker karbon effekten av luftinnførende tilsetningsstoff. Vekselvirkningen mellom askekarbon og luftinnførende tilsetningsstoffer gjenstår det mye forskning på.

2.2.6.3 Retardere

Retarderende stoff forsinket avbindingstiden og/eller den tidlige herdingen av sementen. Dette stoffet legger seg som en tungt løselig hinne rundt sementpartiklene, da spesielt rundt C_3A - og C_4AF -overflater, og hemmer dermed hydratiseringen av sementen. Samtidig vil tilsetningen av retarder fremme hydratiseringen av C_3S og C_2S , som igjen bidrar til en høyere 28-døgns styrke. Jo lavere innhold av C_3A i sementen, desto større vil den retarderende effekten være. Med fallende betongtemperatur vil en også se at retarding øker. Retarder kan ha virkningstid fra noen få timer opp til flere døgn. Ved overdosering kan en risikere at betongen binder av senere enn ønsket, men en vibrasjonsbehandling kan hjelpe til med å sette i gang avbindingen. Størkningsretarderende stoffer blir for eksempel brukt ved lange transporter av betong, ved sommerstøp for å unngå for hurtig størkning, og for å unngå støpeskjøt [4]. Ved tilsetning av retarder vil betongen unngå de samme temperaturstigninger som en betong uten retarder, og tidspunktet for den maksimale temperaturstigningen vil bli utsatt. Dette er kunnskap en kan utnytte i massive konstruksjoner der en ønsker en lavere varmeutvikling. Retarder kan gi høyere endelig trykkfasthet.

2.2.6.4 Akselerator

Akseleratorer øker reaksjonen mellom vann og sementens kalsiumsilikater og kalsiumaluminater, altså sementhydratiseringen. Dette resulterer i enten et kortere størkningsforløp, en fortere fashetsutvikling eller begge deler. Det finnes to typer akseleratorer:

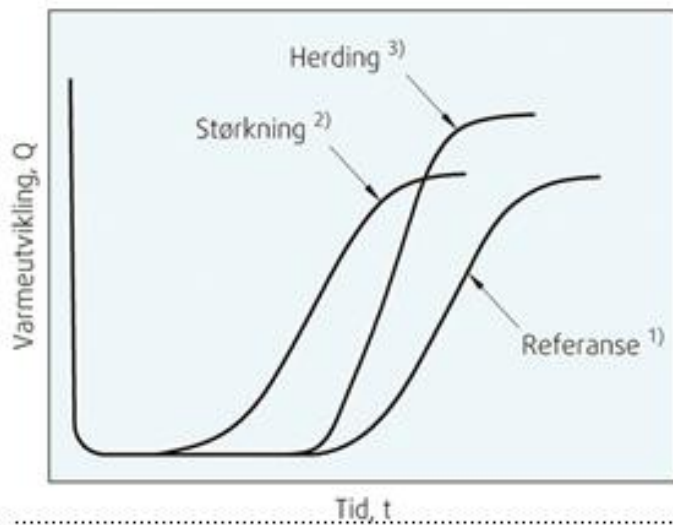
1) Størkningsakselerator som bidrar til at varmeutviklingen fra hydratasjonsreaksjonen produseres tidligere og tiden fra betongen går fra plastisk til stiv tilstand reduseres. Det blir ofte brukt størkningsakselerator når en ønsker å:

- forhindre hydraulisk trykk ved støp i høye former. Da vil tilsetningsstoffet sørge for at nedre del av formen størkner før neste del støpes ut
- pusse betongoverflater tidlig etter utstøp
- bruke sprøytebetong

2) Herdingsakselerator som gir betongen en raskere varmeutvikling og dermed en raskere utvikling av tidlig fasthet. Herdingsakselerator blir ofte brukt når:

- en ønsker å rive forskaling på et tidlig tidspunkt
- det er store mengder flyveaske i betongen som forårsaker en langsommere herdeutvikling
- det er tilsatt store mengde P-stoff som kan gi uønsket retarding av betongen

Ved stor tilsetning av akselerator, eller dersom akseleratoren inneholder store mengder alkalier, kan det føre til reduisering av langtidsfastheten. Se figuren som sammenlikner varmeutviklingen til betong med størkningsakselererende, herdingsakselererende og en referansebetong. Betong med størkningsakselerator vil få en tidligere varmeutvikling enn referansebetongen, men helningen på kurven er lik. Betongen med herdingsakselerator vil få en raskere varmeutvikling og dermed en brattere varmeutviklingskurve [4].



Figur 1 Varmeutvikling til betong med og uten akselerator [4]

På dager med mye sol og høy temperatur er det ikke nødvendig med akselerator i betongen da varmeutviklingen vil komme raskt i gang av seg selv.

Litt informasjon om de ulike tilsetningsstoffene som blir tilsatt i de betongene jeg tar målinger av

Rheomatrix 101 er et viskositetsmodifiserende stoff til flytbetonger. Tilsetningsstoffet motvirker separasjon og bleeding. Og det påvirker ikke avbindingstiden og tidligfastheten.

Pozzolith 433 R brukes til retardering av betong og mørtel. Stoffet forsinker herdingen, og demper varmeutviklingen i betongen.

Glenium C151 er et superplastiserende tilsetningsstoff som har vannreducerende effekt på betongen. I tillegg forbedrer stoffet de fysiske egenskapene og derved betongens bestandighet.

Glenium SKY 552 er et superplastiserende tilsetningsstoff til betong som gir forsinkelse i absorpsjonen på sementpartiklene, og dispergerer dermed effektivt. Stoffet gir betongen god stabilitet, lang brukstid, rask størkning og herding.

P er et plastiserende tilsetningsstoff til betong som reduserer vannmengden for samme konsistens. Eller den kan øke synkmålet ved konstant masseforhold. Stoffet forbedrer bearbeidligheten, og økt dosering gir økt retardasjon.

Miroair 100 1:19 er et luftinnførende tilsetningsstoff som danner porer i betongen slik at vannet i kapillær poresystemet ikke sprenger betongen ved kulde.

Produktbeskrivelse av disse er hentet fra *BASF Construction Chemicals* [5] og ligger i vedlegg 5.A.

2.3 Pozzolaner

Pozzolan er et fint støv som ved reaksjon med kalsiumhydrat danner et liknende produkt som ved reaksjon mellom sement og vann. Pozzolan brukes som erstatning for en del av sementen. Det finnes flere typer pozzolaner, men silikastøv og flyveaske er de mest brukte i Norge. Flyveaske kommer fra asken fra forbrenning av kull, og inneholder 40 - 70 % SiO_2 . Silika er et renere pozzolan enn flyveaske og fremkommer industrielt som et biprodukt i elektrokjemisk industri. Silika inneholder 95 % SiO_2 . Silikondioksid (SiO_2) i pozzolanet reagerer med kalsiumhydroksidet (CaOH)₂ i hydratisert sement, til kalsiumsilikathydrater, C-S-H. Denne reaksjonen kalles pozzolanreaksjonen. C-S-H er et fast stoff (gel) som fører til en tettere partikkelpakning i betongen, derfor vil økt andel av C-S-H gi både økt fasthet og tetthet i betongen. Pozzolaner blir tilsatt i betongen på grunn av at de har stor overflate per vektenhet og vil binde til seg mer vann enn større partikler. Dette bidrar til å forhindre at betongmassen separerer under transport og utstøping, forutsatt at SP-stoff er tilsatt.

Silikastøv er et reaktivt pozzolan som gir betongen god holdbarhet. Silika gjør at fasthetsutviklingen går langsommere enn i en betong uten silika, men den endelige fastheten i betongen blir større. Flyveaske bidrar ikke like mye til styrkeutviklingen som sement, og enda mindre enn silikastøvet. Dette tar en høyde for ved å beregne det ekvivalente v/c-forholdet som innebærer at innholdet av flyveaske og silika multipliseres med en aktivitetsfaktor på henholdsvis 0,7 og 2. Et annet ord for dette tallet er vann/bindemiddel-forholdet, v/b-forholdet [6]:

der bindemiddelmengden er $b = c + \sum k \cdot p$.

der

c = sementinnholdet

v er vanninnhold

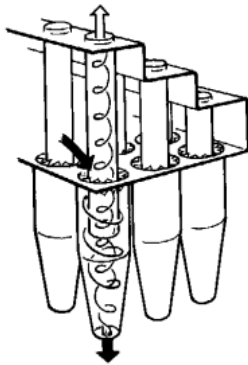
k er aktivitetsfaktor for pozzolanet

p er pozzolan (flyveaske og eller silika).

I Danmark regner de ikke med en like stor aktivitetsfaktor på flyveaske, og ved utregning av v/b-forholdet i TempSim er k-faktor satt til 0,4. Derfor vil en ved input av resepten i TempSim se at v/b-forholdet ikke stemmer helt overens med de norske beregningene av v/b-forholdet.

2.3.1 Fremstilling av flyveaske

Aske er restprodukt som gjenstår etter forbrenning av kull og består hovedsakelig av ubrennbar materiale. Asken kan deles opp i bunnaske fra forbrenningen og flyveaske fra røykgassrensingen. Sammensetningen av asken avhenger av brenselet, forbrenningsmetode og hvilken rensemetode som blir benyttet. Syklon er en rensemetode som tar bort de største partiklene. Dette er en mekanisk utskiller som roterer røykgassen, der sentrifugalkraften tvinger de største partiklene ut mot syklonveggen. Tyngdekraften gjør at disse faller nedover og kan mates ut i syklonbunnen med en cellemater. Resterende røykgass passerer ut av syklonen vertikalt i senter av syklonen [7].



Normalt benyttes en *multisyklon* som består av flere sykloner. En multisyklon vil ikke alltid gi det ønskede resultatet og det er nødvendig med en etterrensing av røykgassen. Da kan det benyttes posefilter, elektrofilter, skrubber eller kondensator. Ved rensing gjennom posefilter passerer røykgassen gjennom en tekstilpose. Støvet samler seg på tekstilet og spyles av med luft. Ved større anlegg benyttes elektrofilter. Disse består av plateformede oppsamlingselektroder forbundet med jord. Røykgassen føres inn i et elektrisk felt i filteret slik at partiklene blir elektrisk ladde og avsettes på en oppsamlingselektrode. Med vibrasjon ristes partiklene av elektrodene og de faller ned i en cellemater. Det tredje alternativet er en skrubber som er et vasketårn hvor vann spyles inn i røykgassen og vasker ut partiklene. Det siste alternativet er kondensering av røykgassen.

2.3.2 Kjemisk sammensetning av flyveaske

Flyveaske er en sammensetning av flere mineraler der SiO_2 , Al_2O_3 og Fe_2O_3 utgjør den største andelen.

Tabell 2 Typisk sammensetning av flyveaske:

Komponent	Innhold [%]
SiO_2	36 – 59
Al_2O_3	20 – 35
Fe_2O_3	3 – 19
CaO	1 – 12
MgO	0,7 – 4,8
K_2O	0,5 – 6
Na_2O	0,1 – 3,5
SO_3	0,1 – 2
TiO_2	0,5 – 1,8
Glødetap	0,5 – 5

SiO_2 , Al_2O_3 og Fe_2O_3

Aluminiumoksid og jernoksid inngår i liknende reaksjoner som SiO_2 .

Klorider (Cl^-)

Et høyt kloridinnhold fjerner passiveringen av armeringsjernet og fremmer derved korrosjon. Klorider er derfor uønsket i betongen.

Fri kalk, CaO

Fri kalk som ikke er bundet til Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , kan reagere med vann og danne kalsiumhydroksid $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Denne ekspansive reaksjonen kan føre til skader i betongen. EN 450 sier at flyveaske ikke skal inneholde mer en 1,0 % fri kalk, med mindre det kan dokumenteres at en større andel ikke er skadelig for betongen.

MgO

Magnesiumoksid kan reagere med vann og virke ekspanderende i betongen. En tommelfingerregel er at maksimum innhold av MgO ikke må overstige 5 % av samlet pulvermengde i betongen.

Alkalier, K_2O og Na_2O

Betong er et alkalisk materiale, der alkaliene vesentlig kommer fra sementen. Blir alkaliinnholdet for høyt, og med nok fukt til stede, vil enkelte reaktive tilslag reagere med alkaliene. Det dannes en gel med større volum enn utgangsstoffene, som kan føre til at det dannes riss og betongen sprekker opp. Alkaligelen kan fortsette å ta opp vann og alkalier, som gjør alkalireaksjonen svært farlig for betong. En alkalireaksjon er altså en kjemisk-fysisk reaksjon. Kalsiumhydroksidet og alkalier gir høy pH i betongens porevann, altså et alkalisk miljø. Flyveaske binder alkalier og forhindrer alkalikiselreaksjoner. Ved bruk av pozzolane materialer tåles erfaringsmessig et høyere alkaliinnhold før eventuelle skader oppstår. Antatt mekanisme bak pozzolaners gunstige effekt er deres evne til å redusere porevæskens pH og binde opp alkalier.

Sulfat, SO_3

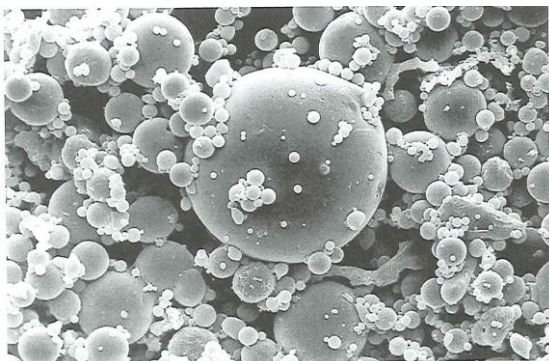
Noen sulfatforbindelser svekker fastheten til betongen og et maksimuminnhold av sulfat i flyveaske er 3,0 % i følge EN 450. Betongen inneholder allerede sulfat fra tilsetning av gips (CaSO_4) og det er mulig at en ytterligere tilsetning av sulfat vil kunne påvirke hydratasjonsforløpet.

Glødetap

Dette er et uttrykk for restproduktets innhold av organisk materiale. I flyveaske er glødetapet uforbrent kull. Uforbrent kull vil reagere med betongens tilsetningsstoffer som P-stoff og L-stoff. Høyt glødetap eller varierende glødetap kan gjøre det vanskelig å styre luftinnholdet og konsistensen på den friske betongen. I følge EN 450 må flyveaske ha et maksimum glødetap på 5 %.

2.3.3 Fysisk virkning av flyveaske

Tilsetning av flyveaske i betong medfører en forbedret bearbeidelighet, på grunn av at flyveasken er så finmalt at de små partiklene fordeler seg i mellom de store partiklene [8]. Ved å erstatte en del av sementvekten med flyveaske i en bestemt betongresept, og fremdeles beholde den samme vannmengden vil synkmålet øke. Denne plastiserende effekten kalles kulelagereffekten på grunn av den mer eller mindre perfekte sfæriske formen (kuleform) på flyveaskepartiklene. Konsistensen på betongen blir mer flytende med økende finhet på flyveasken. Det betyr at flyveaske med stort glødetap vil ha et større vannbehov på grunn av den irregulære partikkelformen og en indre porøsitet i kullpartikler [9, s.54-58].



Figur 3 Flyveaske observert gjennom mikroskop [1]

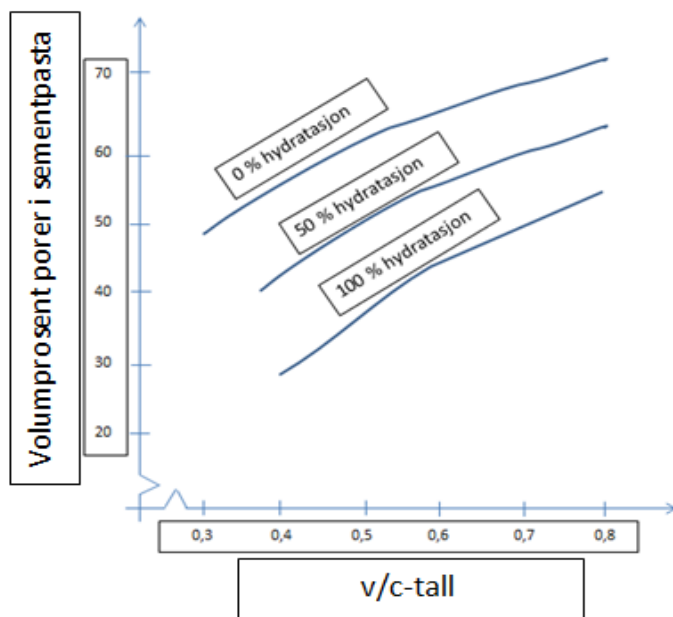


Figur 2 Flyveaske

Generelt vil flyveaske gjøre pumping og kompaktering av betongen lettere. Viskositeten til pastaen vil øke og dette vil forhindre vannseparasjon ("bleeding") som er at noe av vannet trekker opp til overflaten av betongen. Økt viskositet gjør at den ferske betongen er stabil å arbeide med. *Lutze og Vom Berg* [9] sier at flyveaske ikke har noen innvirkning på den tidlige fastheten til betong. Derimot vil flyveaske påvirke avbindingstiden og slutfastheten til betongen. Ved å erstatte en del av sementen med flyveaske vil betongen få en lavere varmeutvikling og dette er en fordel i konstruksjoner som er spesielt utsatt for sprekke dannelser [9].

Pozzolanreaksjonen for flyveaske går saktere enn hydratiseringen av sementen. 28 døgns fastheten til en Portland sement betong vil bli oppnådd senere for en betong der en del av sementvekten er erstattet med flyveaske. Med tilstrekkelig fukt tilgjengelig for betongen vil den, på grunn av pozzolanreaksjonen, få et nytt fasthetsforløp der fastheten kan øke over flere år. Den endelige fastheten vil kunne bli mye høyere enn i en lik betong uten flyveaske. Det nye fasthetsforløpet gjør også at betongen har en bedre motstand mot kryp. Undersøkelser beskrevet i *håndboken for flyveaske* [9] viser at betong med flyveaske får mindre kryp når den settes under et like stort trykk etter 28 døgns, som en betong uten flyveaske.

Betong med flyveaske krever mer styring og kontroll. Flyveasken påvirker blant annet virkningen av luftinnførende middel. Variasjoner i flyveaskeleveransen vil slå kraftigere igjennom på betong med store mengder flyveaske enn betong med moderat mengde flyveaske. Det kan være vanskelig å oppnå en tilstrekkelig fin porestruktur i betong med 50 % flyveaske. Det totale poreinnholdet i en ren Portland sement betong synker med økende hydratasjonsgrad og lavt v/c-tall. Motsatt vil et økende v/c-tall og minkende hydratasjonsgrad føre til større volumprosent porer.



Figur 4 Poremengden er avhengig av v/c-tall og hydratasjonsgrad i sementpasta [10]

Dersom flyveaske erstatter sementen i et 1:1 forhold og vanninnholdet holdes konstant vil det totale poreinnholdet øke med økende flyveaskeinnhold [9, s. 24-25]. Dette skjer fordi reaksjonsproduktet fra pozzolanreaksjonen utgjør mindre volum enn reaksjonsproduktet fra reaksjonen mellom sement og vann. På den ene siden øker totalt porevolum med økende flyveaskeinnhold, når flyveaske erstatter en del av sementvekten. På den andre siden ser en tendens til et større antall små porer i porestrukturen til betong med flyveaske i forhold til betong uten flyveaske.

2.3.4 Betong med alternativ aske

Alternativ aske er aske som ikke stammer fra kullfyring. Aske fra avfallsforbrenning er et eksempel på alternativ aske. Asken fra kullfyrte kraftverk har vært brukt lenge og en har større erfaring med bruk av denne typen aske. Brenningsforholdene bestemmer hvor stor andel av asken som er amorf (uten bestemt form) og krystallinsk (gitter struktur). Ulike brenningsforhold vil altså gi ulik struktur som gjør det vanskelig å forutsi askens kjemiske reaksjon i betong. Det er altså vanskelig å si hvordan alternative asker påvirker egenskaper til betongen. Innholdet av tungmetaller i alternative asker er betydelig større enn i tradisjonell flyveaske. Tungmetaller påvirker ikke de tekniske egenskapene til betongen, men de er allikevel uønsket. Det kan skje en opphoping av tungmetaller i betongen som gjør det vanskelig med gjenbruk. Det er også en fare for utvasking av tungmetaller, som er uheldig dersom slik betong brukes i for eksempel drikkevannstank. Det fraktes årlig 900 000 tonn tungmetallholdig flyveaske med lastebiler til nedlagte miner i Norge og Tyskland. I et pilotanlegg i Nykøbing i Falster [11] er det laget et elektrodialyseanlegg som fjerner nikkel og bly fra flyveasken fra avfallsforbrenning ved hjelp av elektriske kraftfelt. Forsøket viser at flyveasken blir så ren at den ikke trenger kategoriseres som farlig avfall og kan brukes i sement og betongkonstruksjoner. Avhengig av rensemetoden kan flyveaske inneholde ulike mengde alkalimetaller (kalium og natrium) og klorid. I mine forsøk bruker jeg kun tradisjonell flyveaske fra kullforbrenning.

Resultater ved tilsetning av tradisjonell flyveaske:

- Betong tilsatt flyveaske har langsom styrkeutvikling, og får en lavere 28 døgns fasthet enn en betong uten flyveaske, men den endelige slutfastheten er høyere enn i betong uten flyveaske.
- Flyveaske har en tydelig påvirkning på avbindingstiden, der betong tilsatt flyveaske får en senere avbindingstid.
- Betong tilsatt flyveaske reagerer langsomt, særlig ved lave temperaturer. Dette gir forlenget risiko for frostskafer.
- Det er vanskeligere å styre luftinnholdet i betong med flyveaske.
- Betong med flyveaske får en forlenget risiko for plastisk svinn.
- Flyveaske bidrar til en tettere betong og bedre holdbarhet.
- Flyveaske binder alkalier og sørger dermed for mindre risiko for alkalikiselreaksjoner.
- Flyveaske forbedrer sulfatbestandigheten og har bedre motstand mot kloridangrep.

2.4 Lavvarmebetong

Lavvarmebetong er betong som har lav herdevarme, som er forårsaket av stor mengde flyveaske og et lavt v/c-forhold. "AF har god erfaring med lavvarmebetong med flyveaske på prosjekter innen både bygg og anlegg. Bakgrunnen for bruk av LVB er betongens gode bestandighetsegenskaper samt egenskaper som begrenser risikoen for riss på grunn av dens lave herdevarme. AF har i løpet av de 5 siste årene betydelig erfaring med produksjon og utstøping av LVB. AF har benyttet LVB på prosjektene Bjørvika (Sørenga-kontrakten med ca. 55.000 m³), bygging av Kai Sjursøya (12.000 m³) og på bygging av vanntette parkeringskjellere på Rolf Hoffmosveg og Hoffsvæien samt bygging av Holmenkollen stasjon"[12].

Den lave varmeutviklingen og derav følgende langsomme modenhetsutviklingen kan også være en ulempe. For eksempel krever betongen beskyttelse mot uttørking i meget lang tid ved vinterstøp.

2.4.1 Flyveaskedosering

Doseringen av flyveaske skal være minimum 30 % og maksimum 65 % av Portlandsementvekten. For flyveaske regnes virkningsfaktor 0,7 ved beregning av masseforhold. NS-EN 206-1 punkt 5.2.5.2.2 stiller krav til k-faktor på 0,4 på flyveaske. Erfaring fra tidligere prosjekter AF har gjennomført og dokumentasjon fra SINTEF [12] viser at k-faktoren på flyveaske på 0,7 kan anvendes. Flyveaskens bidrag til 28 døgns fasthet sammenliknet med Portlandsement kompenseres hvis nødvendig med lavere masseforhold for betonger med høyt innhold av flyveaske. Betongblandingene skal tilfredsstillende kravet til fasthetsklasse B35 og ha et masseforhold $m = v/b \leq 0,40$. Lavvarmebetongen inneholder både silikastøv, og ca. 50 % flyveaske av sementvekt.

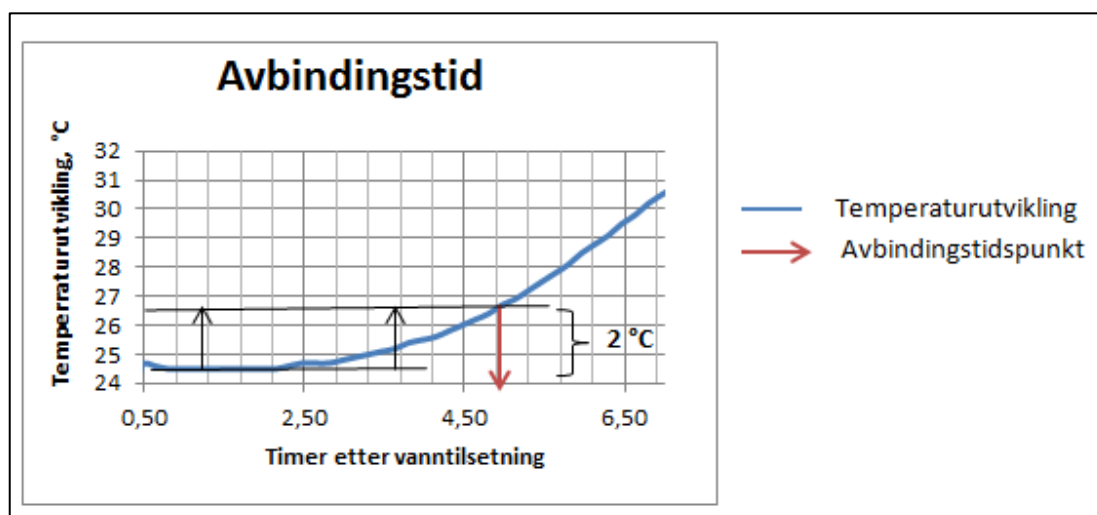
2.5 Avbindingstid

I TempSim er det mulig å legge inn retardasjonstiden til hver enkelt betongresept. De tre parameterne Q_{∞} , α , og τ_e forblir uendret, og varmeutviklingsforløpet starter først når modenheten i punktet passerer den angitte retarderingen. Dette er vist som 4 modenhetstimer i figuren fra TempSim. Hvis styrken estimeres med programmet vil retarderingsperioden trekkes fra terminen. I dette eksempelet vil en få estimert en 1 døgns styrke ved at programmet i virkeligheten estimerer en 20 timers styrke. Dette fortsetter på de to øvrige terminene, der fastheten etter 7 døgn (168 timer) estimeres som en 164 timers styrke, etc. Dersom en velger å taste inn målte styrker, påvirker ikke det styrkeutviklingen. En eventuell retardering er da allerede med i styrkeresultatene.

The screenshot shows the 'Reseptopplysninger' (Recipe Information) window in TempSim. It has two tabs: 'Resept' (Recipe) and 'Egenskaber' (Properties). Under 'Resept', there are two 'Estimer' (Estimate) buttons. The 'Trykkfasthet*' (Compressive strength) section has three rows for different curing periods: 1 day (16 MPa), 7 days (40 MPa), and 28 days (61 MPa), each with a '100' multiplier. The 'Varmeutvikling' (Heat development) section includes fields for Q_u (262 kJ/kg Pulver), T_e (12,1 M-timer), a (1,04), Retardering (4 M-timer), Varmefylde (1,05 kJ/kg/°C), and Varmekapasitet (8 kJ/m/h/°C). A note '*Terning' is also present.

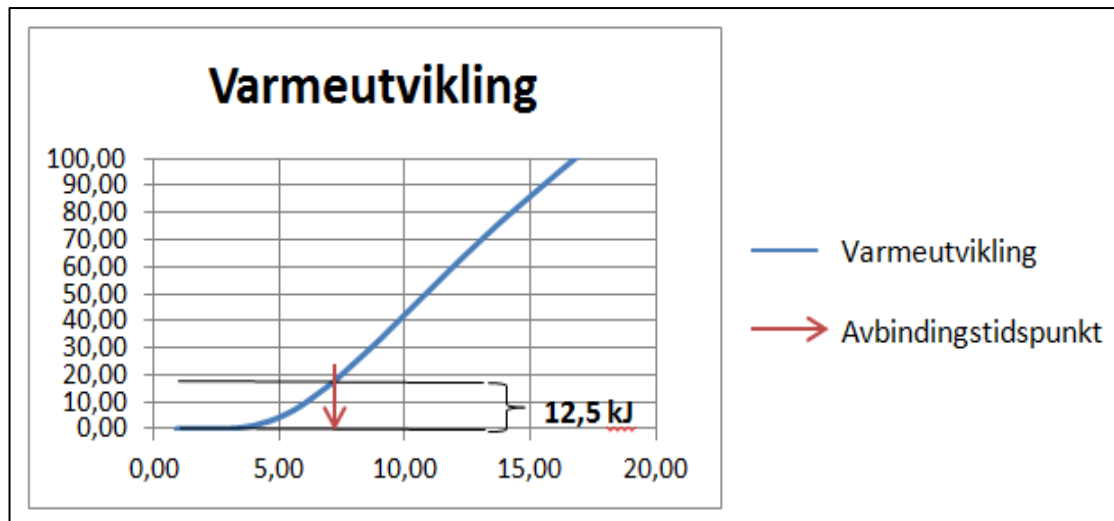
Figur 5 Innlegging av reseptopplysninger i TempSim

Ved å måle temperatur- eller varmeutviklingen til resepter med ulike mengder tilsetningsstoffer, kan en finne avbindingstiden knyttet til en bestemt mengde tilsatt tilsetningsstoff. Norsk Standard NS 3661 har definert avbindingstid som betongens alder ved en inntrengningsmotstand på 3,5 MPa for et bestemt stempel som presses inn i betongen. En kan også bruke både temperaturutviklingskurven og varmeutviklingskurven til å bestemme samme tiden. En trendlinje legges parallell med det lineære forløpet i begynnelsen av temperaturutviklingen. Trendlinjen parallellforskyves med 2 °C (tilsvarende temperaturutviklingen inntil en inntrengningsmotstand på 3,5 MPa er oppnådd). I skjæringspunktet mellom trendlinjen og temperaturutviklingskurven kan en lese av avbindingstiden på tidsaksen[13]. Se figur 5.



Figur 6 Bestemmelse av avbindingstid ut fra temperaturutviklingskurven til en tilfeldig betong

For å finne avbindingstiden fra varmeutviklingskurven parallellforskyves trendlinjen med 12,5 kJ. I skjæringspunktet mellom den forskjøvne trendlinjen og varmeutviklingskurven kan en lese av avbindingstiden på tidsaksen. Avbindingstiden blir angitt som betongens modenhet i avbindingstidspunktet. Se figur 6



Figur 7 Bestemmelse av avbindingstid ut i fra varmeutviklingskurven til en betong

Det er foreløpig ikke mulig å legge inn dosering av ulike tilsetningsstoff i TempSim. Derfor er det beste å få en adiabatisk kalorimetri av den betongresepten som det skal simuleres på. Men dette vil kreve mye ressurser dersom en ønsker å kjøre simuleringer av ulike betongresepeter. Thorkild Rasmussen, produktteknisk konsulent Aalborg Portland, videreutviklet TempSim i en norsk utgave. Her ble det mulig å legge inn retarderingstid, som en selv må beregne ut fra tilsatt mengde tilsetningsstoff.

2.6 Simulering av herdeforløpet

Det som ligger til grunn for en simulering av herdeforløpet i TempSim er

- Geometri: form og størrelse på betongkonstruksjonen
- Betongens egenskaper:
 - varmeutvikling enten i tabellform eller som modell
 - varmekapasitet
 - ledningsevne
 - fasthetsutvikling i tabell eller som modell
- Randbetingelser:
 - underlaget som betongen støpes ut på
 - forskalingen
 - vær og vind
 - herdetiltak som iverksettes, dette kan være tildekking, fyring osv.
 - starttemperaturen til betongen ved utstøping

2.6.1 Betongens egenskaper

2.6.1.1 Hastighetsfunksjonen

$H(\Theta)$ kalles hastighetsfunksjonen [2] og bygger på Arrhenius formel som beskriver hydratiseringshastigheten ved et temperaturnivå Θ , i forhold til hastigheten ved 20 °C.

$$H_{20}(\Theta) = e^{\frac{E(\Theta)}{R} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + \Theta} \right)}$$

der

$H_{20}(\Theta)$ = relativ hastighet ved temperatur Θ .

$E(\Theta)$ = aktiveringsenergi

$E = 33500$ J/mol for $\Theta \geq 20$ °C

$E = 33500 + 1470(20 - \Theta)$ for $\Theta < 20$ °C

R = gasskonstanten, 8,314 J/mol · °C

Θ = temperatur, °C

Aktiveringsenergien er hentet fra en omfattende forsøksserie i [14].

2.6.1.2 Modenhetsbegrepet

Begrepet *modenhet* uttrykker hvor langt betongen er kommet i herdeprosessen. Dette tallet angir den alderen som ville gitt den samme fastheten som betongen har, dersom betongen hadde herdnet ved 20 °C. Uansett tid og temperaturforløp betongen har hatt vil betongen ha oppnådd samme fasthet ved samme modenhet. Ved hjelp av hastighetsfunksjonen er det mulig å sammenlikne herdeforløpet med forskjellige temperaturhistorier. Modenhet er tidsintegralet av hastighetsfunksjonen fra blandetidspunktet t_0 til tidspunkt t :

$$M = \int_{t_0}^t H_{20}(\Theta) \cdot dt$$

En kjenner temperaturutviklingen vanligvis som et målt temperaturforløp. Ved numeriske beregninger er det tilsvarende differensialuttrykket mer anvendelig.

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

Man beregner M ved å dele et målt temperaturforløp opp i n tidsintervall av lengden Δt . For hvert intervall beregnes den tilsvarende verdien av hastighetsfunksjonen, $H(\theta_i)$. Tilveksten i betongens modenhet ΔM_i i tidsintervallet Δt bestemmes som produktet $H(\theta_i) \cdot \Delta t$. Oppnådd modenhet bestemmes til slutt ved å summere de beregnede modenhetstilvekstene for hvert tidsintervall. [2]

Eksempel

En betong som herdner ved konstant temperatur 30 °C i 5 døgn, vil ha en energi:

$$E(30) = 33500, \text{ når } \theta > 20 \text{ °C}$$

Hydratasjonshastighet:

$$H(30) = e^{\frac{33500}{8,314} \cdot \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{293+30} \right)} = 1,56$$

Modenhet:

$$M = H(30) \cdot \Delta t = 5 \cdot 1,56 = 7,8 \text{ døgn}$$

Det vil si herdning i 5 døgn ved 30 °C tilsvarer herdning i 7,8 døgn ved 20 °C.

Både varmeutviklingen og fasthetsutviklingen kan beskrives tilnærmet entydig som en funksjon av betongens modenhet i den første fasen av herdeforløpet. Hvis vi kjenner egenskapsutviklingen til en betongresept gjennom laboratorieforsøk utført ved 20 °C, kan vi altså anslå utviklet varme eller oppnådd fasthet på et tidlig stadium for et hvert herdeforløp ved hjelp av modenhetsprinsippet.

2.6.1.3 Betongens fasthetsutvikling

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

der

M = modenhet, timer

τ_e = retardasjonsparameter (modenhet i vendepunktet på avkjølingskurven), timer

α = krumningsparameter (varmeutviklingskurvens krumning)

$f_{c\infty}$ = sluttfasthet, MPa

Dersom betongen inneholder silika eller flyveaske, som gir bidrag til sluttfastheten, kan det bli problemer med tilpasning til trykkfasthetsdataene. Derfor bør fasthetsutviklingsmodellen bygges opp slik at begynnelsen på fasthetsutviklingen legges til avbindingstidspunktet. Dersom en bygger opp modellen slik at fasthetsutviklingen begynner ved tidspunkt for tilsetning av vann til betongen, får man en modell som er lite fleksibel og som har liten evne til å fange opp variasjoner mellom betongblandningene. Ved å ta hensyn til avbindingstiden vil retardering fra for eksempel P-stoff fanges opp, mens fasthetsutviklingen etter avbinding forblir uforandret.

2.6.1.4 Betongens varmeutvikling fra adiabatisk kalorimetri [2]

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

der

Q_{∞} = total varmeutvikling, kJ/kg pulver (sement + flyveaske)

τ_e = retardasjonsparameter, timer

α = krumningsparameter

Desto lavere tallverdi for τ_e jo tidligere start på varmeutviklingskurven. En større tallverdi for α vil gi en slakere stigning på kurven. Den enkleste måten å finne parameterne Q_{∞} , α , og τ_e for en gitt betong på er å legge data fra bestemmelsen av varmeutviklingen (målt betongtemperatur og tidspunkt for hver enkelt måling, beregnet adiabatisk temperatur og adiabatisk varmeutvikling) inn i et regnearkprogram på PC og gjennomføre en kurvetilpasning. I eksempelet under er det først satt inn helt tilfeldige verdier for Q_{∞} , τ_e og α , øverst i kolonne S. I kolonne R ("Mat-h") er modenhetstimene oppført. I kolonne S ("valgt") er målt varmeutvikling i henhold til modenhetstime oppført. I kolonne T "model" er varmeutviklingen beregnet til hver modenhetstime ved hjelp av

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

Foreløpig gjelder disse verdiene: $Q_{\infty} = 300$, $\tau_e = 10$, $\alpha = 1,0$.

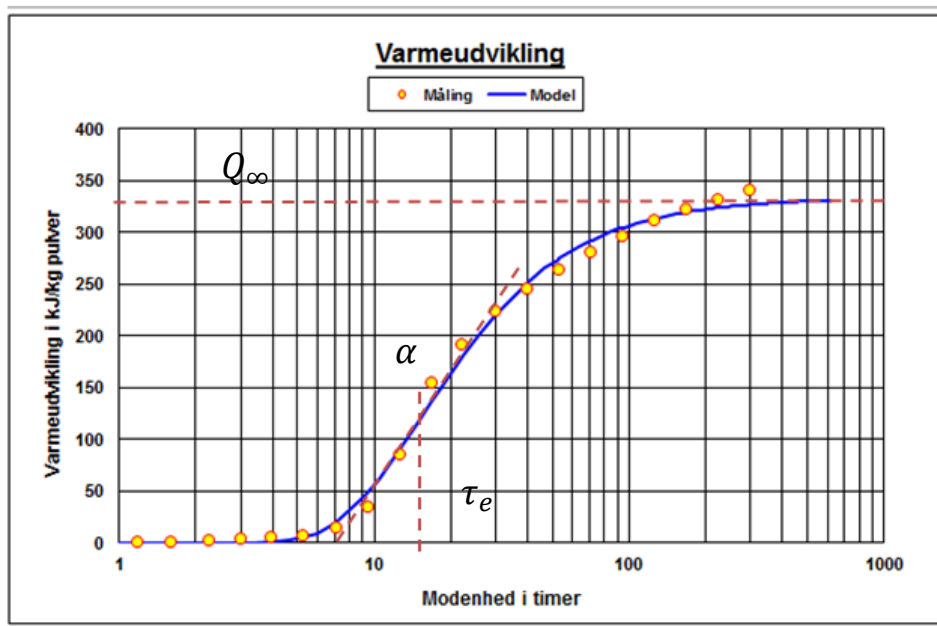
I kolonne U ("afgivelserne") er differansen mellom de målte verdiene og de beregnede verdiene for varmeutvikling, altså differansen mellom kolonne S og T. I celle U28 er kvadratene av hver differanse summert opp. Deretter brukes "problemløser" i excel, her anføres at cellen U28 (målcellen) skal gjøres minst mulig ved å endre verdiene i S2, S3 og S4. Da vil verdiene i cellene S2, S3 og S4 endre seg til henholdsvis 333, 15.4 og 1.3.

	Q	R	S	T	U
1					
2			Q_{∞}		
3			τ_e		
4			α		
5					
6					
7					
8	Mat-h	Valgt	Model	Afgivelserne	
9	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00
10	1,18	0,55	0,06	0,48	
11	2,25	1,92	3,51	-1,59	
12	3,00	3,29	10,68	-7,39	
13	3,97	5,00	24,23	-19,23	
14	5,29	7,40	45,36	-37,97	
15	7,11	14,59	73,45	-58,87	
16	9,45	34,79	104,17	-69,38	
17	12,65	85,47	136,04	-50,58	
18	16,77	154,29	165,23	-10,94	
19	22,29	191,61	191,54	0,08	
20	29,76	224,14	214,38	9,76	
21	39,68	245,71	233,17	12,54	
22	53,09	263,86	248,49	15,37	
23	70,82	279,96	260,50	19,46	
24	94,71	296,05	269,94	26,11	
25	126,03	311,46	277,12	34,34	
26	168,62	321,73	282,73	39,00	
27	224,45	331,66	286,93	44,73	
28	299,38	340,22	290,14	50,07	21583,21

	R	S	T	U
1				
2		Q_{∞}		
3		τ_e		
4		α		
5				
6				
7				
8	Mat-h	Valgt	Model	Afgivelserne
9	0,86	0,00	0,00	0,00
10	1,18	0,55	0,00	0,55
11	2,25	1,92	0,00	1,92
12	3,00	3,29	0,05	3,24
13	3,97	5,00	0,78	4,22
14	5,29	7,40	5,31	2,09
15	7,11	14,59	20,30	-5,71
16	9,45	34,79	49,13	-14,34
17	12,65	85,47	90,80	-5,34
18	16,77	154,29	136,39	17,90
19	22,29	191,61	180,77	10,85
20	29,76	224,14	219,79	4,35
21	39,68	245,71	250,94	-5,23
22	53,09	263,86	274,91	-11,05
23	70,82	279,96	292,35	-12,39
24	94,71	296,05	304,94	-8,89
25	126,03	311,46	313,69	-2,23
26	168,62	321,73	319,91	1,82
27	224,45	331,66	324,14	7,52
28	299,38	340,22	327,08	13,14
				1379,7845

Figur 8 Før og etter bruk av problemløseren i Excel

En annen mulighet er å lese verdiene for Q_{∞} , α , og τ_e ut i fra varmeutviklingskurven.



Figur 9 Varmeutviklingskurve med parameterne Q_{∞} , α , og τ_e

Den siste metoden gir mer unøyaktige resultater og en utregning i Excel er derfor å anbefale. I midlertidig vil adiabatisk kalorimetri gi meg verdiene for Q_{∞} , τ_e , α og jeg kan bruke *problemløseren* i Excel kun som en sjekk på at verdiene stemmer.

Dersom en ikke har eksakte verdier for Q_{∞} , τ_e , α for en bestemt betongresept som skal brukes til simulering i TempSim, kan programmet kjøre en egen estimering av disse parameterne.

2.6.1.5 Spesifikk varmekapasitet

Størrelsen på temperaturstigningen, når et materiale får tilført varmeenergi, er fastlagt ved materialets spesifikke varmekapasitet, c . Dette kalles for "varmefylde" i TempSim. Enheten for c er $\text{kJ/kg/}^\circ\text{C}$. Ved $20\text{ }^\circ\text{C}$ har vann spesifikk varmekapasitet på $4,19\text{ kJ/kg/}^\circ\text{C}$, som betyr at temperaturen stiger $1\text{ }^\circ\text{C}$ når 1 kg vann får tilført $4,19\text{ kJ}$. Vann er den bestanddelen i betong som har høyest spesifikk varmekapasitet. For de fleste andre delmaterialer i betong er spesifikk varme ca. $0,85\text{ kJ/kg/}^\circ\text{C}$. Spesifikk varme er temperaturavhengig, og etter hvert som betongen herder vil varmekapasiteten til betongen bli lavere. Det er fordi vannet vil omdannes til fast stoff og derved få en lavere varmekapasitet. For allminnelig betong kan følgende typiske verdier brukes:

Material	Varmekapasitet ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)	Densitet/Romvekt (kg/m^3)
Fersk betong	1,0 – 1,1	2350 – 2400
Herdnet betong	0,8 – 1,0	2350 – 2400
Tre	2,4	640
Vann	4,19	1000

Tabell 3 Varmekapasiteten for enkelte materialer som blir brukt i oppgaven [3]:

Ved adiabatisk kalorimetri, som er beskrevet på side 25, benyttes varmekapasitet til å beregne varmeutviklingen på grunnlag av temperaturstigninger i betongen.

Varmekapasitet

Varmekapasiteten til betongen, c_B , er avhengig av betongens sammensetning og kan beregnes etter følgende formel [2]:

$$c_B = \frac{c_c m_c + c_v m_v + c_{t1} m_{t1} + c_{t2} m_{t2} + c_{t3} m_{t3} + c_{ts} m_{ts}}{m_c + m_v + m_{t1} + m_{t2} + m_{t3} + m_{ts}}$$

der

c_c = varmekapasitet for sement

m_c = mengden av sement

c_v = varmekapasitet for vann

m_v = mengden vann

c_{t1}, c_{t2}, c_{t3} = varmekapasitet for henholdsvis 1., 2. og 3. tilslagsfraksjon

c_{ts} = varmekapasitet for tilsetningsstoff

m_{t1}, m_{t2}, m_{t3} = mengden av henholdsvis 1., 2. og 3. tilslagsfraksjon

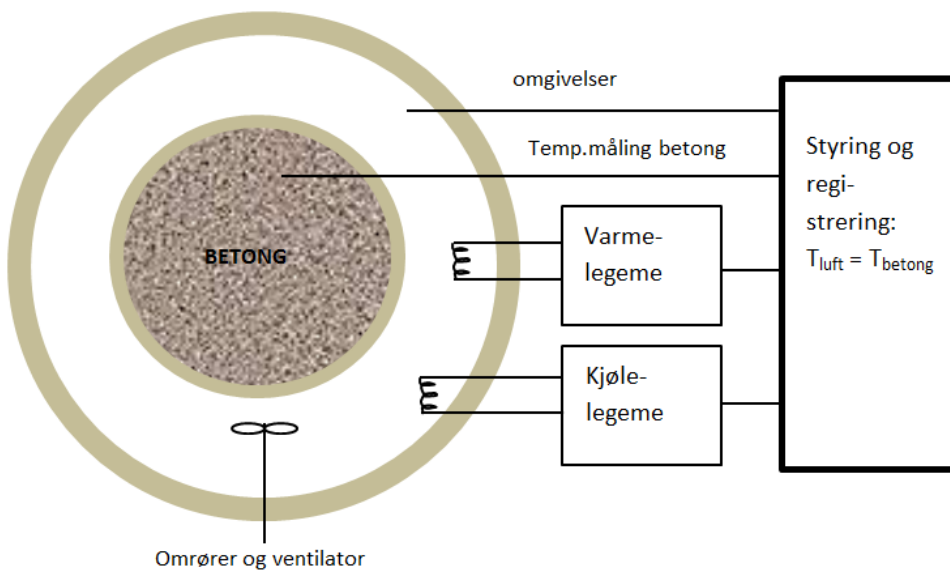
m_{ts} = mengden av tilsetningsstoffer

Ved de adiabatisk kalorimetrimålingene i Aalborg er ulike verdier for "varmefylden" funnet for de 5 reseptene. For resept 2 er "varmefylden" funnet til $0,99\text{ kJ/kg/}^\circ\text{C}$.

Det finnes tre måter å finne varmeparameterne Q_{∞} , α , og τ_e for en bestemt betong. Den ene metoden er måling av varmeutvikling i et full-adiabatisk kalorimeter, den andre er måling av varmeutvikling i en herdekasse (semi-adiabatisk kalorimetri), og det tredje alternativet er å bruke programmet TempSim til å estimere varmeparameterne ut ifra betongresepten.

2.6.1.6 Måling av varmeutvikling i adiabatisk kalorimeter

For å karakterisere hydrasjonsegenskapene og tidlig fasthetsegenskaper til sement brukes kalorimetrisk tester. Full-adiabatisk test måler temperaturforløpet under helt isolerte forhold, det vil si ingen varmeutveksling med omgivelsene. Dette er vanskelig å utføre i praksis dersom en ikke har riktig utstyr. Laboratoriet i Aalborg er utstyrt med riktig utstyr til å utføre full-adiabatiske målinger, og derfor ble det en tur til Aalborg for å være med på oppstarten av disse målingene. Ved slike målinger isoleres prøvelegemet termisk fra omgivelsene, slik at den utviklede varmen omsettes til en temperaturstigning i prøven. Deretter kan en beregne den utviklede varmemengden på grunnlag av den registrerte temperaturstigningen. Kalorimeteret består av en godt isolert kasse som rommer minst 5 liter betong, et varmeelement og en automatisk logger. Loggeren registrerer temperaturen i betongen i herdekassen og luften i omgivelsene rundt herdekassen hver 15 minutt under herdning.



Figur 10 Adiabatiske måler [15]

For å hindre varmeutveksling mellom betongprøven og omgivelsene skal styringen sikre at temperaturen i det ytterste kammeret følger betongens temperatur. Under målingen registreres temperaturforløpet som funksjon av tiden. Når en vet romvekten, varmekapasitet og sementinnhold, kan en regne om måleresultatene til utviklet varmemengde pr. kg pulver som funksjon av tiden etter formelen:

$$Q_T = \frac{(T_T - T_S) \cdot c \cdot p}{CIH}$$

der

Q_T = Utviklet varmemengde ved tiden τ , kJ/kg sement

T_T = temperaturen ved tiden τ , °C

T_S = starttemperatur, °C

c = betongens spesifikke varmekapasitet, kJ/kg/°C

p = betongens densitet, kg/m³

CIH = betongens sementinnhold, kg/m³

Dersom det er innblandet pozzolaner regnes vanligvis utviklet varmemengde på grunnlag av kg sement og kg pozzolaner (uten aktivitetsfaktor k). Varmemengden i betongen er ikke konstant under herdeforløpet, men det er vanlig å bruke en konstant verdi som er utregnet fra betongsammensetningen. Deretter regner en resultatene om til modenhetstimer. De adiabatisk måleresultatene kan dermed uttrykkes som utviklet varmemengde som funksjon av modenhetstimer. Formelen er beskrevet tidligere i punkt 2.6.1.4.

2.6.1.7 Måling av varmeutvikling i herdekasse

Dersom en ikke har tilgang til et full-adiabatisk kalorimeter, kan en bruke en enkel herdekasse.

Måling i herdekasse innebærer avgivelse av varme til omgivelsene. For å finne varmeparameterne til betongen, må en først vite avkjølingstallet til herdekassen, og videre bruke dette til å regne ut Q_∞ , α , og τ_e for betongen.

2.6.1.8 Estimering av varmeparameterne ved hjelp av TempSim

Dersom en ikke har nok informasjon om varmeutviklingen til resepten kan en bruke programmet til å estimere disse verdiene. På side 44-45 har jeg sammenliknet kurven jeg fikk ved bruk av estimerte verdier med kurven jeg fikk med verdiene fra herdekasse og adiabatisk kalorimetri.

2.6.1.9 Trykkfasthetsprøving

Trykkfastheten til betongen bestemmes ved prøving av støpte prøvelegemer. Prøvelegemene kan være terninger eller sylindere. Terningene har størrelse 100 mm i sidekanter, sylindere kan ha diameter-/høydeforhold lik 100/200 eller 150/300mm. I TempSim skal det legges inn fasthetsverdier fra terninger. Ved fasthetsmålingene på laboratoriet i Aalborg støpte vi i sylindere og jeg regner om verdien til terningfasthet. På Sjursøya støpte vi terninger. Terningene skal lagres i vannbad i 20 °C i 28 døgn før de trykkes til brudd i en trykkpresse etter 1, 7 og 28 døgn. [3, s. 101].

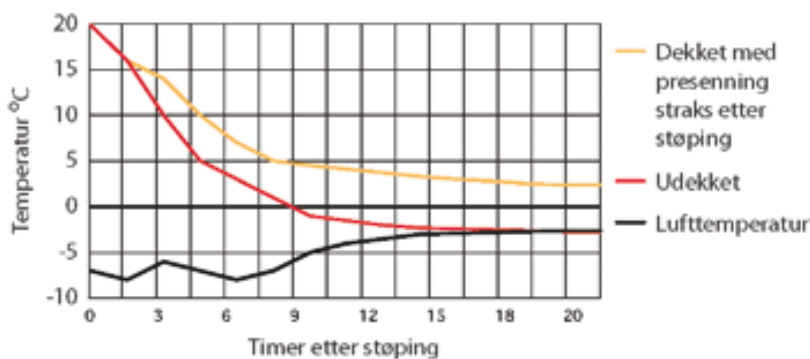
2.6.1.10 Varmetap fra konstruksjonen

Konveksjon

Varmetap på grunn av konveksjon oppstår når varm luft på utsiden av forskalingen transporteres bort og erstattes med kald luft. Varmetap på grunn av konveksjon er i stor grad avhengig av hvor raskt luften inntil forskaling byttes ut, som igjen blir påvirket av vindforholdene på stedet.

Stråling

Varmeoverføring gjennom stråling er energioverføring fra et varmt legeme til et kaldere legeme. Dersom et legeme har høyt absorpsjonstall har den en god evne til å ta opp eller avgi strålingsvarme.



Figur 11 Forskjell i temperaturfallet på en tildekket plate og en som ikke er tildekket [16].

Varmeledningsevne

Et materials varmeledningsevne angir materialets evne til å lede termisk energi. Enheten for varmeledningsevne λ , er $\text{kJ/m/h/}^\circ\text{C}$. Dette tallet angir den varmemengden, som i løpet av 1 time passerer 1 m^2 av en 1 m tykk vegg, når temperaturforskjellen mellom de to sidene er $1 \text{ }^\circ\text{C}$. I [17] er det redegjort for metoder til estimering av varmeledningsevne. For betong vil varmeledningsevnen primært avhenge av densitet og fuktinnhold, og en kan regne med følgende tallverdier:

for fersk betong: $7,5 - 8,4 \text{ kJ/m/h/}^\circ\text{C}$

for herdnet betong: $5,9 - 7,5 \text{ kJ/m/h/}^\circ\text{C}$

I praksis benyttes vanligvis $8 \text{ kJ/m/h/}^\circ\text{C}$ for fersk betong og $6 \text{ kJ/m/h/}^\circ\text{C}$ for herdnet betong.

I TempSim heter denne verdien "varmekapasitet" og jeg har brukt $8,0 \text{ kJ/m/h/}^\circ\text{C}$ for fersk betong.

2.6.2 Randbetingelser

2.6.2.1 Utstøpingstemperatur

Det er mulig å regne ut temperaturen til betongen ved utstøping dersom en har temperaturen til delmaterialene i betongen. Det vil utvikles varme under blandingen slik at utstøpingstemperaturen er 2 - 4 °C høyere enn beregnet. Under transport og utstøpingen vil betongen utveksle varme med omgivelsene, så den reelle utstøpingstemperaturen er den temperaturen betongen har når den er utstøpt. Denne utregningen kan være til hjelp dersom en ønsker å kunne variere temperaturen på betongen ved utstøp. Ved vinterstøp kan det være ønskelig å bruke varmt vann i resepten for at varmeutviklingen skal komme i gang så tidlig som mulig. Ved sommerstøp kan det derimot være ønskelig å bruke kaldt vann for å senke maksimaltemperaturen i betongen.

	Mengde, M kg/m ³	Spesifikk varme, c kJ/kg/°C	Varmekapasitet, M·c, kJ/°C/m ³	Temperatur, Θ °C	Energi, M·c·Θ, kJ/m ³
Sement	300	0,85	255	40	10200
Tilslag	1850	0,85	1572,5	15	25388
Vann	150	4,19	628,5	60	37710
Total (sum)	2300		2456		71498
Beregnet	$C_{\text{betong}} = \frac{2456}{2300} = 1,07$		$\Theta_{\text{betong}} = \frac{71498}{2456} = 29$		

Tabell 4 Eksempel – beregning av betongtemperatur, Θbetong.

Når betongtemperaturen i utgangspunktet er lav, vil reaksjons-hastigheten i starten være langsom. Varmetapet skjer over lengre tid og det totale varmetapet blir større. Likeledes blir temperaturstigningen mindre. Ved vinterstøp er det spesielt viktig å ta hensyn til muligheten for en langsommere temperaturutvikling, både ved å velge betong med tilstrekkelig varmeproduksjon og ved å sørge for riktig utgangstemperatur.

2.6.2.2 Effekt av konstruksjonsforhold

Det totale varmetapet fra en konstruksjonsdel avhenger av geometrien og dimensjonen til konstruksjonen. Varmen som utvikles i betongen vil ledes ut til overflaten og deretter avgis til omgivelsene. Motstanden mot den indre varmetransporten avhenger av materialets varmeledningsevne, samt av transportveien. For store dimensjoner er transportveien lang, og motstanden vil være stor, slik at varmetransporten går tregt. For små dimensjoner, som veggstøp, er transportveien kort og varmetransporten går raskere. Det er forholdet mellom varmekapasiteten til konstruksjonens volum og varmeavgivelsen fra konstruksjonens totale overflate som bestemmer konstruksjonens avkjølingsforhold. Dette kan beskrives matematisk med avkjølingstallet:

$$a = \frac{\sum(k \cdot A)}{V \cdot R \cdot c} \quad [h^{-1}]$$

der

a = avkjølingstallet, h^{-1}

k = transmisjonstall i overflaten, $kJ/m^2/h/^\circ C$

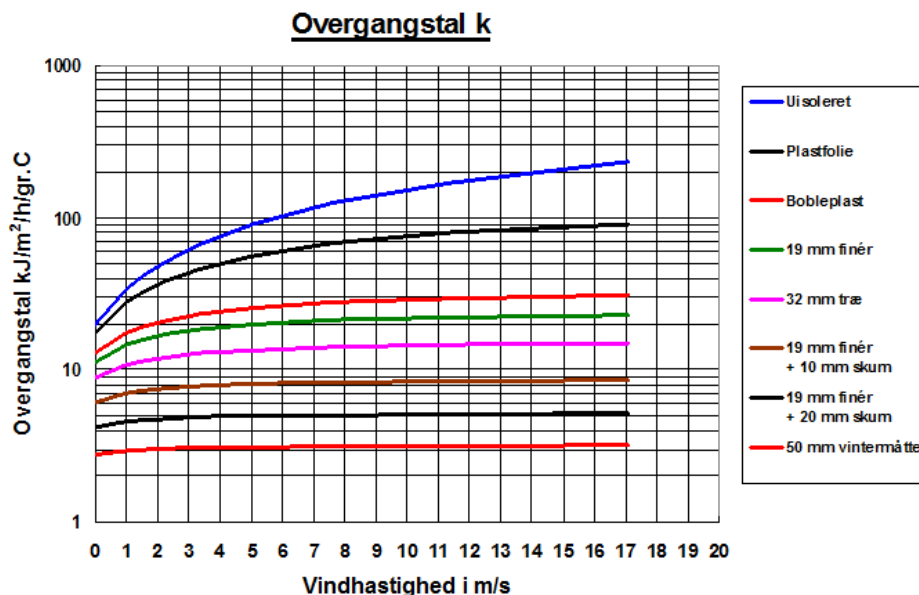
A = overflateareal, m^2

V = volum, m^3

R = romvekt, kg/m^3

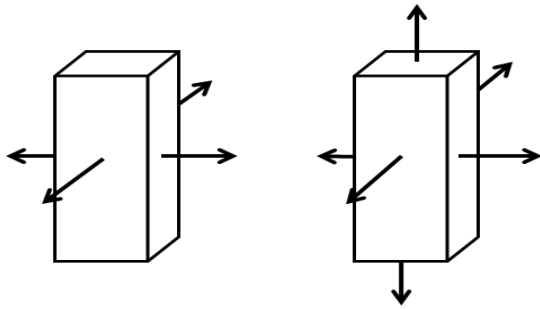
c = varmekapasitet, $kJ/kg/^\circ C$

Et høyt avkjølingstall vil bety stort varmetap til omgivelsene. Transmisjonstallet k (kalt overgangstall i TempSim) for enkelte forskalingsløsninger kan en finne i figur 11. Figuren er hentet fra TempSim og viser at vindhastigheten har stor påvirkning på avkjølingen.



Figur 12 Oversikt over overgangstall for ulike forskalingsløsninger

Temperatursimuleringer ble opprinnelig utviklet for å kunne regne på massive konstruksjoner der temperaturutviklingen kan bli kritisk høy. Ved simulering av temperatur på *slanke* konstruksjoner, som søyler og *tynne* vegger, er det sannsynlig at simuleringen ikke vil stemme overens med temperaturforløpet på byggeplassen. TempSim regner at varmetapet skjer fra fire sider, mens på byggeplassen foregår varmetapet fra alle 6 sidene i konstruksjonen. Dette kan føre til at varmetapet på byggeplassen reelt er høyere enn det TempSim regner med.



Figur 13 Varmetapet henholdsvis i TempSim og på byggeplassen

Rivning av forskalingen

Ved veggstøp kan forskalingen rives når betongfastheten er over 5 MPa i randen (NS 3420). Ved dekkestøp kan forskalingen rives når betongfastheten er over 8 MPa i den kanten som er utsatt for størst påkjenning. (Dette forutsetter at forskalingen erstattes med understøttelse med maksimalt 2 m avstand), fra NS 3420. TempSim vil angi minimum styrke (F_{\min}) og maksimum styrke (F_{\max}) for hver hele time.

Ved vinterstøp stiller NS 3420 krav til at betongens temperatur ikke skal synke under 0 °C før den har oppnådd en fasthet på 5 MPa. En betong med høy fasthetsklasse vil gi raskere varme- og fasthetsutvikling enn en betong med lavere fasthetsklasse. Betong med lav slutfasthet (høyt v/c-tall) er, på grunn av sin lave varmeutvikling, mer ømfintlig for lav lufttemperatur enn en betong med høyere fasthetsklasse. TempSim vil ved simulering av temperatur- og fasthetsutviklingen av en betongkonstruksjon angi i modenhetstimer når betongen er frostsikker.

3. Forsøk

3.1 Betonglaboratoriet i Aalborg

Fem ulike resepter ble blandet i betonglaboratoriet i Aalborg. Disse ligger i vedlegg 4.A.1-5. Resept 1 og 2 inneholder 50 % flyveaske, mens resept 3 og 4 har 30 % flyveaske. Resept 5, som ikke inneholder flyveaske, er tatt med for å finne hvilken påvirkning flyveaske har på temperaturutviklingen i betongen. Det var ønskelig at reseptene skulle inneholde de samme bestanddelene som blir brukt i Norge. Sementtype er Aalborg Rapid sement (CEM I) da Unicon leverer betong med CEM I. Flyveaske B4 og tilsetningsmidlene Micro Air, P-stoff, Glenium C151 og Glenium Sky 552, ble flydd ned til Aalborg. Tilslagstypen som brukes i Norge er Svelvik sand. Tilslagstypen som ble brukt til kalorimetrimålingene i Danmark er *Nr. Halne sand, kvartssand* 1-4 mm, *Søsten* 4-8 mm og *Vikans granit* 8-16 mm. Unicon leverer også betong som inneholder 16-22 mm stein, men dette har ikke noen særlig betydning for varmeutviklingen til betongen [18]. I vedlegg 2 kan en se sammenlikningen av siktekurven på resept 1 og 2 mellom norsk og dansk tilslag. Fra maskevidde 0-8 mm sammenfaller siktekurven for norsk og dansk tilslag. For maskevidde 11 mm og 16 mm er det henholdsvis 12 % og 25 % avvik. Fra kalorimetrimålingene i Aalborg benytter jeg adiabatisk kalorimetri som bruker den utviklede varmen til å akkumulere en temperaturstigning i prøven, uten å avgir varme til omgivelsene. Hver betongblanding legges i en totalt isolert herdekasse og ligger i 7 dager. Det benyttes automatisk logging som leser av temperaturen hvert 15 minutt og etter 7 dager skal dette gi den informasjonen en trenger.



Figur 14 Adiabatisk kalorimeter

Blanding av en betongresept

Ved blanding av en betongresept må det tas hensyn til fuktinnhold i både tilslag og tilsetningsstoffer når vannbehovet skal fastlegges. På Aalborg Portland sementfabrikk varmes tilslaget opp før blanding som sørger for fuktfritt tilslag. Dette er ikke tilfelle i Norge og da må en først finne ut hvor mye fukt hvert enkelt tilslag inneholder for å finne riktig kombinasjonsmengde. Når blandingen starter, noteres starttiden og det grove tilslaget blandes inn først. Deretter følger det finere tilslaget og dette blandes sammen i ett minutt. L- og P-stoff blandes først inn i vannet som deretter tilsettes tilslagsblandingen. SP-stoff (G. 151 og G.552) tilsettes etter 30 sekunder med blanding. Blandemaskinen fortsetter blandingen i 90 sekunder før den er klar.



Figur 16 Blanding av tørrstoff



Figur 15 Innblanding av vann i tørrstoffet

3.2 Unicon sitt laboratorium på Sjursøya

Hver dag sender Unicon på Sjursøya ut betong på bestilling fra byggeplasser i Oslo. Det var ønskelig å se på egenskapene til slik betong som jeg har kalt "dagens betong". Temperaturmålinger er tatt av betongen for å se om det er forskjell på de ulike reseptene. Synkmål og utbredelsesmål er utført for å se på konsistenstapet, og trykking av terninger er gjort for å finne fastheten til de ulike betongblandingene. Nedenfor er en oversikt over hvilke målinger som er gjort på de ulike betongblandingene, samt hvor en kan finne resepten til hver enkelt blanding.

Nr.	"Dagens betong" Type betong	Måned det er målt i 2011	D_{maks} (mm)	Temp.- måling	Trykkfasthet- måling	Konsistens- måling	Luft- måling	vedlegg
1	Normal med P	Aug.	22	x	5 terninger	x		3.B.1
2	Vanlig uten P	Aug.	22	x	5 terninger	x		3.B.2
3	Normal, B000	Sept.	22	x	-	x	x	3.B.3
4	SKB, B102	Sept.	16	x	-	x	x	3.B.4
5	Normal, B100	Okt.	16	x	6 terninger	-	-	3.B.5
6	Glid uten P	Okt.	16	x	-	-	-	3.B.6
7	Glid med 0,2 % P	Okt.	16	x	-	-	-	3.B.7
8	Glid med 0,7 % P	Okt.	16	x	-	-	-	3.B.8
9	Normal uten silika	juni	22	x	10 terninger			3.B.9

Tabell 5 Oversikt over målinger utført på betongblandinger

3.2.1 Utstøping av betong i terninger til trykkfasthetsmåling (vedlegg 7.B)

Trykking av terningene etter henholdsvis 1, 7 og 28 døgn for å finne verdier som kan legges inn i TempSim.



Figur 17 Støping av prøvestykker

3.2.2 Temperaturmåling i herdekasse



Figur 18 Måling av temperaturutvikling i herdekasse

For å måle avbindingstiden til betong bruker jeg herdekasser som er bygd opp av en 15 mm tykk finérplate og et 100 mm tykt isoporlag innenfor, med et hulrom på 200 x 200 mm.

Utstyr

- temperaturlogger (automatisk) som fortløpende lagrer hele temperaturforløpet
- termokabel (2-leder)

Fremgangsmåte

- avisoler termokabelen i den ene ende og sett på en miniplugg som passer inn i digitaltermometeret.
- plasser den avisolerte enden av kabelen der det er ønskelig å måle temperaturen i betongprøven. Dette kan være der det er forventet høyest maksimaltemperatur (i midten av prøven).
- målingene skal utføres med jevne mellomrom, for eksempel hvert 10 minutt. Maksimal temperatur oppnås normalt fra 18 til 36 timer etter utstøping.

Temperaturføleren er i denne oppgaven et termoelement av type T (kobber og konstantan, Cu-CuNi).



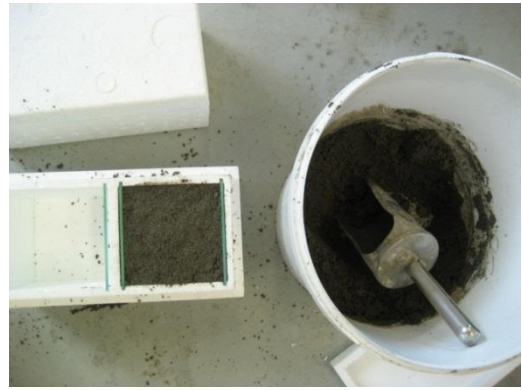
Figur 19 Testo temperaturlogger 177-T4 og termoelement.

3.2.3 Temperaturmåling i isoporkasse

For å måle avbindingstiden til tilsetningsstoffer bruker jeg én mørtelblanding som referanse og tilsetter ulike mengder tilsetningsstoffer. Mørtelblandingen er en form for betong, men har kun tilslag med D_{maks} lik 8 mm. Blandingen herder i små herdekasser av isopor på størrelse 100 mm x 100 mm. Mørtelblandingen herder i 24 timer og temperaturen logges hvert 10 minutt. Jeg har tatt utgangspunkt i en referanseblanding med 50 % flyveaske og et v/b-forhold på 0,41.

Referanseblandingen inneholder ikke silikastøv. Det ble tilsatt ulike mengder P- og SP-stoffer til referanseblandingen for å sammenlikne avbindingstidene.

Resepten til referanseblandingen ligger under vedlegg 3.A. Siden temperaturen har innvirkning på varmeutviklingen til betongen skal det gjennomføres temperaturmålinger av mørtelblandinger i lufttemperatur på 22 °C og 5 °C. Trolig vil mørtelblandingene som står i lavere lufttemperatur ha en senere varmeutvikling og dermed en senere avbinding enn mørtelblandingene som står i en høyere temperatur.



Figur 20 Måling av temperaturutvikling i isoporkasse

3.3 Temperaturmåling på byggeplass

På byggeplassen skal jeg ta 2 temperaturmålinger i senter av betongen, eventuelt 1 temperaturmåling i randsonen og 1 temperaturmåling utenfor forskalingen, altså luftmåling. Det skal i tillegg registreres sol-, regnforhold og vindmålinger. Dette kan jeg finne ved hjelp av Meteorologisk institutt sine timesmålinger i området, i tillegg til det jeg selv registrerer på plassen. Jeg bruker nettsider som yr.no og klima.no. Deretter må jeg registrere type forskaling, tykkelsen og eventuelt når tildekking av betongen skjer.

Jeg bruker en logger som logger temperaturen automatisk i flere dager. Deretter bruker jeg programmet *Testo* som gir ut temperaturresultatene fra loggerne. Disse resultatene skal jeg bruke til å sammenlikne med temperaturresultatene fra TempSim. Stemmer dette overens, betyr det at TempSim er verifisert og at AF kan bruke programmet til å simulere på sine betongresepter.

Det er trolig at temperaturmålingene i *grove* konstruksjoner (30 cm og større) er mer sammenfallende med TempSim sine simuleringer. *Slankere* konstruksjoner vil derimot variere mer på grunn av den store overflaten som har mer å si for maksimaltemperaturen inni betongen.

4. Resultater

4.1 Varmeutviklingsparameterne Q_{∞} , τ_e , α

Fra de adiabatisk kalorimetrimålingene får en parameterne Q_{∞} , τ_e , α . Disse parameterne skal brukes som input i TempSim. Fra trykkfasthetsmålingene har jeg fått ulike fastheter til betong med D_{maks} lik 16 mm og betong med D_{maks} lik 22 mm i TempSim. Disse verdiene kan legges inn i TempSim. Sementmengden har innvirkning på varmeutviklingen, og derfor skal sementmengden legges inn i programmet. Resept 2, som er mest lik reseptene fra byggeplasmålingene, ga disse tallverdiene fra de adiabatisk målingene:

Resept			Varmeutviklingsparametere		
Sement	270	kg/m ³	Total utviklet varme, Q_{∞}	279	kJ/kg
Betongens densitet	2328		Vendepunkt, τ_e	20	Timer
			Krumning, α	1,03	

Dersom en ikke har utført adiabatisk kalorimetrimålinger på de ulike betongreseptene kan TempSim estimere disse verdiene ut ifra resepten som legges inn. En kan altså selv velge, ut ifra hvor mye informasjon en har om varmeutviklingen til hver resept, om en vil legge inn egne verdier eller få programmet til å estimere disse verdiene. Det samme gjelder for trykkfastheten. Se figur 21 under.

Reseptoplysninger

Resept | Egenskaber

RAPID cement - Aalborg

Sement	260	kg/m ³
Flyveaske	131	kg/m ³
Mikrosilica	8	kg/m ³
Vann	146	kg/m ³
Romvekt	2337	kg/m ³
Luftinnhold	3,5	%
Vann/Sement-tal	0,43	

Reseptoplysninger

Resept | Egenskaber

Estimer | Estimer

Trykkfasthet*

Døgn	MPa
1	20
7	42
28	61

Varmeutvikling

Qu	262	kJ/kg Pulver
Te	12,2	M-timer
a	1,03	
Retardering	0	M-timer
Varmefylde	1,05	kJ/kg/°C
Varmekapasitet	8	kJ/m/h/°C

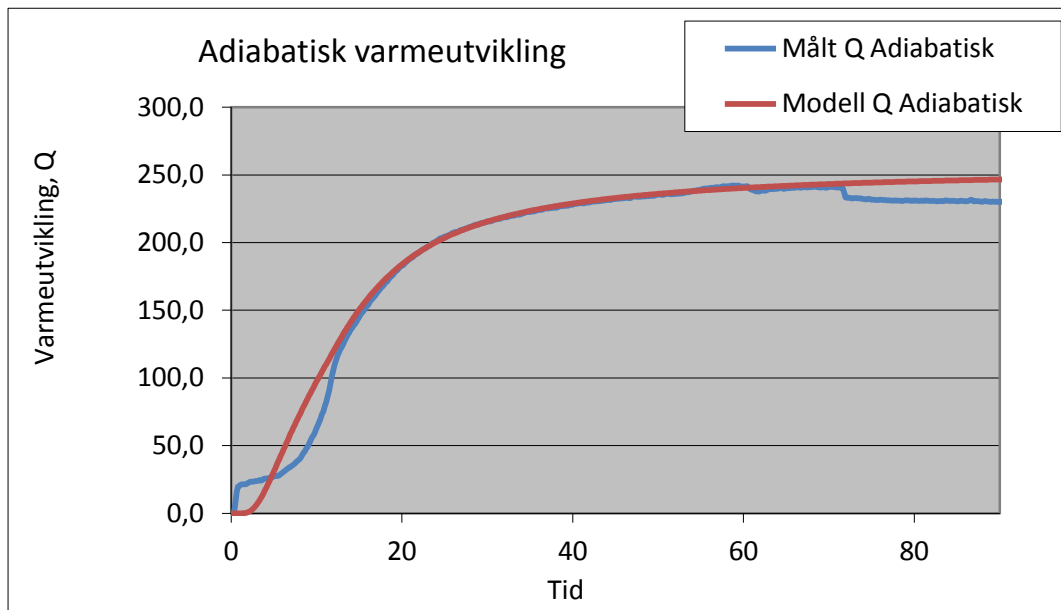
*)Terning

Figur 21 Input av reseptoplysninger, trykkfasthet og varmeutviklingsparametere

Måling i herdekasse

Resept 2 fra målingene i Aalborg er ikke helt lik med reseptene som det er gjort temperaturmålinger av på byggeplassen. Da kan en bruke en herdekasse til å finne varmeparameterne, men det forutsetter at en vet avkjølingstallet til herdekassen. Nedenfor er resepten det er tatt målinger på og resultatet av målingen:

Resept			Varmeutviklingsparametere		
Sement	263	kg/m ³	Total utviklet varme, Q_{∞}	262	kJ/kg
Betongens densitet	2339		Vendepunkt, τ_e	12	Timer
			Krumning, α	1,03	



Figur 22 Tilpasning av varmeparametere til varmeutviklingskurven fra herdekasse

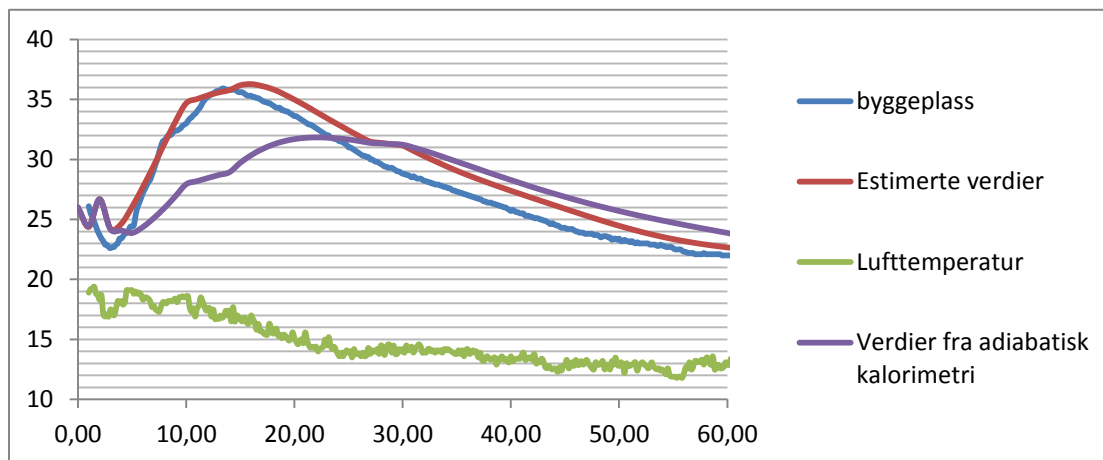
Estimering i TempSim

Som nevnt tidligere kan en også få TempSim til å estimere disse verdiene. Dette kan være nyttig dersom en ikke har mulighet til å bruke herdekasse eller et full-adiabatisk kalorimeter. Ved estimering av varmeutviklingsparametere i TempSim får en disse verdiene:

Resept			Varmeutviklingsparametere		
Sement	258	kg/m ³	Total utviklet varme, Q_{∞}	262	kJ/kg
Betongens densitet	2339		Vendepunkt, τ_e	12,1	Timer
			Krumning, α	1,03	

Det er liten forskjell på de estimerte verdiene og verdiene fra adiabatisk måling i herdekasse. Derimot er det større forskjell på estimerte verdier og verdiene fra et full-adiabatisk kalorimeter.

Dersom jeg simulerer temperaturutviklingen til samme betongresept med estimerte verdier og verdier fra full-adiabatisk kalorimetri og sammenlikner med en måling av et dekke på byggeplassen får jeg dette resultatet:



Figur 23 Simulering av temperaturen ved bruk av adiabatisk målinger og estimerte verdier

Det er en tydelig forskjell på kurven med de estimerte verdiene og kurven med verdier fra adiabatisk kalorimetri i Aalborg. Ved å bruke de estimerte verdiene får jeg en kurve som stemmer bedre overens med virkeligheten. Her ser en at kurven med de estimerte verdiene når maksimaltemperaturen raskere enn kurven med verdiene fra de full-adiabatisk kalorimetrimålingene.

4.1.1 Sammenlikning herdekasse og TempSim

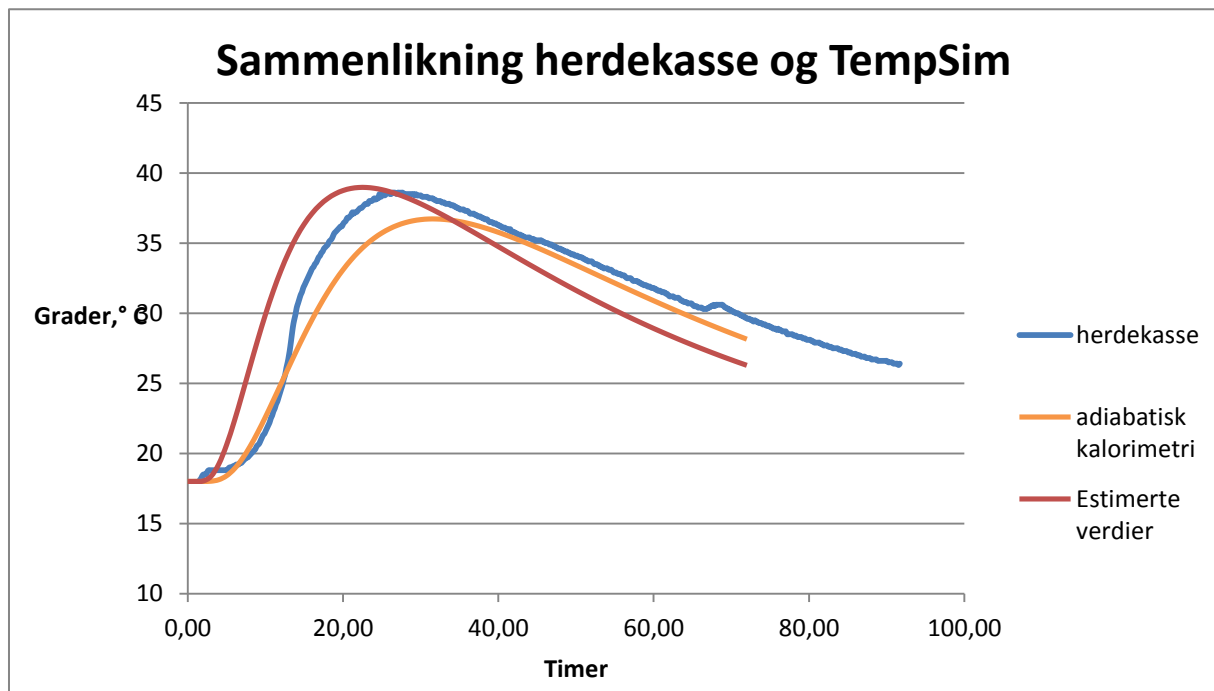
Videre er det interessant å se på en sammenlikning mellom temperaturforløpet i en herdekasse og simuleringen i TempSim. Herdekassen er bygd opp av en 15 mm tykk finérplate og et 100 mm tykt isoporlag innenfor. Betongarealet får et mål på 200 x 200 mm. I TempSim velger jeg å se på denne kassen som en søyle på 0,20 x 0,20 m. Herdekassen er ikke helt tett og dette må en ta med i beregningen av overgangstallet.

I følge Norcems artikkel om herdeteknologi [16] er overgangstallet for 100 mm etafoam omtrent 1,49 $\text{kJ/m}^2/\text{t}/^\circ\text{C}$. Dette gjelder da alle sidene i herdekassen (6 sider), men TempSim regner kun med 4 sider. Dette kan vi gjøre noe med:

1. For en søyle regner TempSim varmetapet fra 4 sider, men varmetapet skjer reelt fra alle 6 sidene, hvis man ikke ser bort i fra varmetapet gjennom topp og bunn. Det kan kompenseres for ved å regne med et fiktivt overgangstall på $(6 \times 1,49)/4 = 2,2 \text{ kJ/m}^2/\text{t}/^\circ\text{C}$.
2. Betongvolumet er såpass lite at en må ta hensyn til den energien som skal brukes til å varme opp formmaterialet i herdekassen. Hvis treformen veier et par kg vil formens varmekapasitet utgjøre 10 – 15 % av betongens varmekapasitet. TempSim regner normalt med en varmefylde på 1,05 $\text{kJ/kg}/^\circ\text{C}$, og hvis en skulle kompensere for at formmaterialet skal varmes opp kan det gjøres med en varmefylde på 1,10 $\text{kJ/kg}/^\circ\text{C}$ for betongen. Videre skal halvdelen av isoporen også varmes opp til betongens temperatur, og hvis en skal regne det *inn i betongens varmefylde*, skal den være omtrent 1,2 $\text{kJ/kg}/^\circ\text{C}$.

3. Herdekassen er nok ikke helt tett i alle kanter så en økning i overgangstallet vil nok gi et mer likt resultat med virkeligheten. I tillegg burde herdekassen stått i et helt lukket rom, det gjorde den ikke, og derfor prøver jeg med et overgangstall på 4,0.

Jeg kjører simulering både med estimerte verdier og med verdier fra de adiabatisk kalorimetr målingene for å se om dette vil gi noen forskjell. Ved en simulering med overgangstall på 4 og en varmfylde på 1,2 får en dette forløpet:



En ser at kurven med de estimerte verdiene når maksimaltemperaturen mye raskere enn det betongen i herdekassen virkelig gjør. I tillegg er maksimaltemperaturen i dette tilfellet høyere enn i herdekassen. Samtidig ser en at kurven med de adiabatisk kalorimetr målingene viser en mer liknende kurveformasjon med kurven fra herdekassen, men maksimaltemperaturen er lavere og nås 4 timer senere enn i herdekassen. Herdekassen når maksimaltemperaturen på 39 °C etter 26 timer. Simuleringen med de adiabatisk verdiene når maksimaltemperaturen på 37 °C etter 30 timer, mens simuleringen med estimerte verdier når maksimaltemperaturen på 39 °C etter kun 22 timer.

	Maksimaltemperatur	Ved tidspunkt
Estimerte verdier	39 °C	22 timer
Herdekasse	39 °C	26 timer
Verdier fra adiabatisk kalorimetri	37 °C	30 timer

Kurven med de estimerte verdiene når altså maksimaltemperaturen alt for tidlig i forhold til det virkelige temperaturforløpet i herdekassen. Derimot når denne kurven samme maksimaltemperatur som det den virkelige kurven gjør.

4.2 Flyveaskens innvirkning på varmeutviklingen

En kan regne ut varmebidraget fra flyveasken for hver av de fire reseptene, ved å ta utgangspunkt i resept 5. Det forutsettes at sementen (i hver av de fire reseptene) har utviklet lik varme (kJ/kg) som i resept 5 (med ren sement og samme v/c-forhold). Utregningen av Q_{∞} , τ_e , α for resept 5 er forklart på side 25. Under er et utsnitt av betongens temperaturforløp fra adiabatisk kalorimetri.

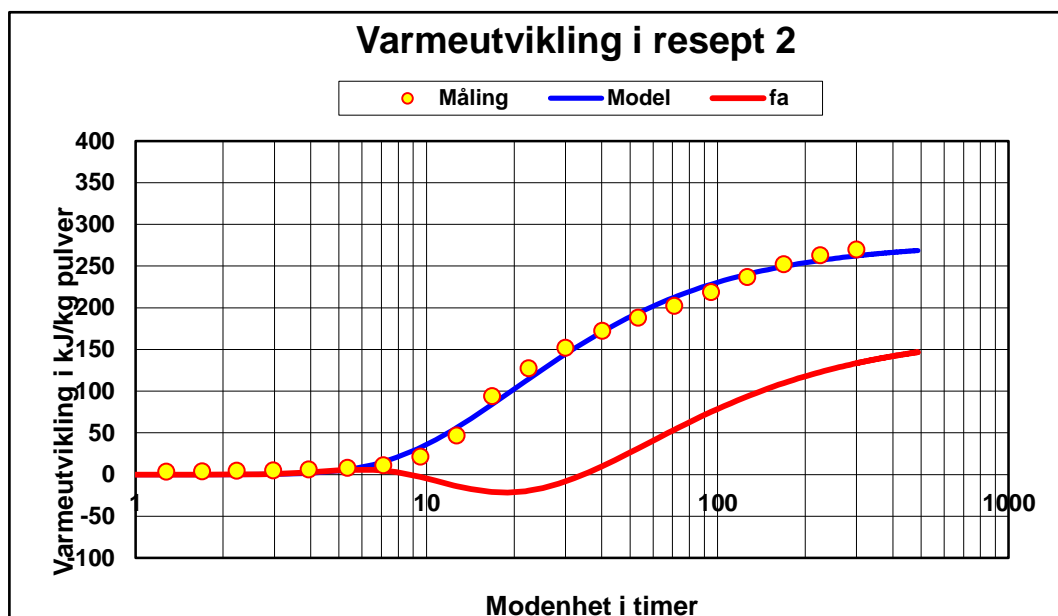
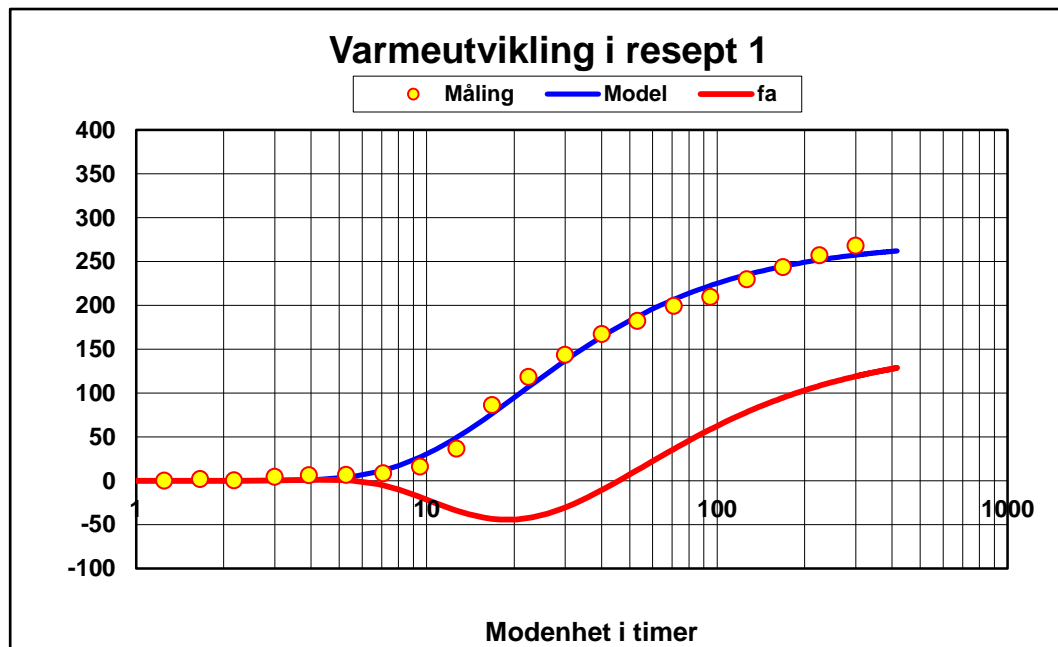
Kolonne C viser de målte verdiene av varmeutviklingen til betongen. I kolonne D er verdiene til den tilpassede kurven til de målte varmeutviklingsverdiene for resept 1. Kolonne E viser beregnet varmeutvikling til sementen ut i fra parameterne $Q_{\infty} = 333$ kJ/kg sement, $\tau_e = 15,4$ timer og $\alpha = 1,33$ for hver modenhetstime. Kolonne F viser varmeutviklingen etter hver modenhetstime for flyveasken alene. Formelen for varmeutviklingen til flyveaske ser slik ut:

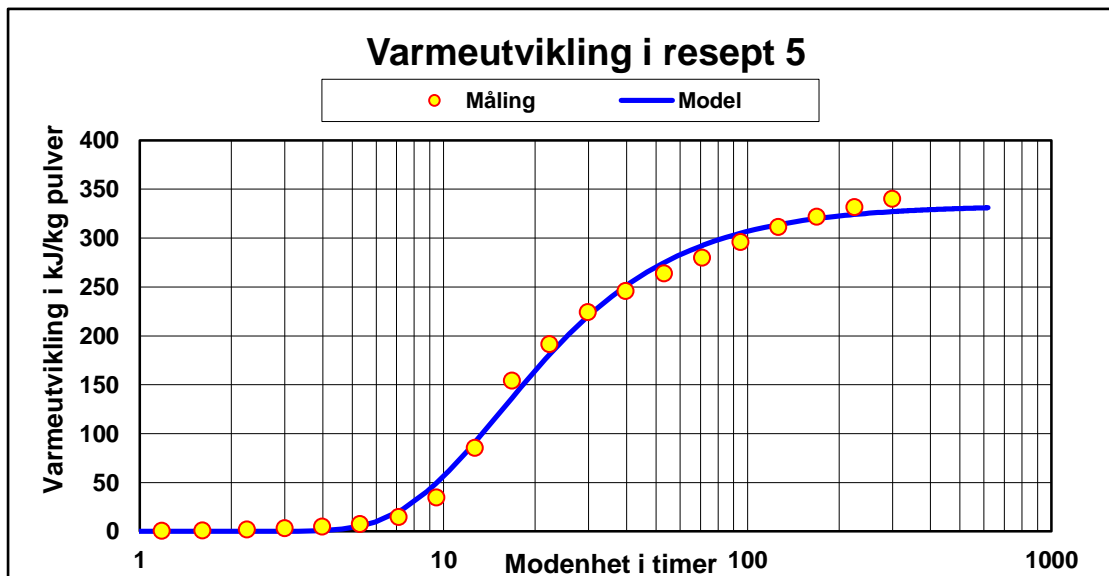
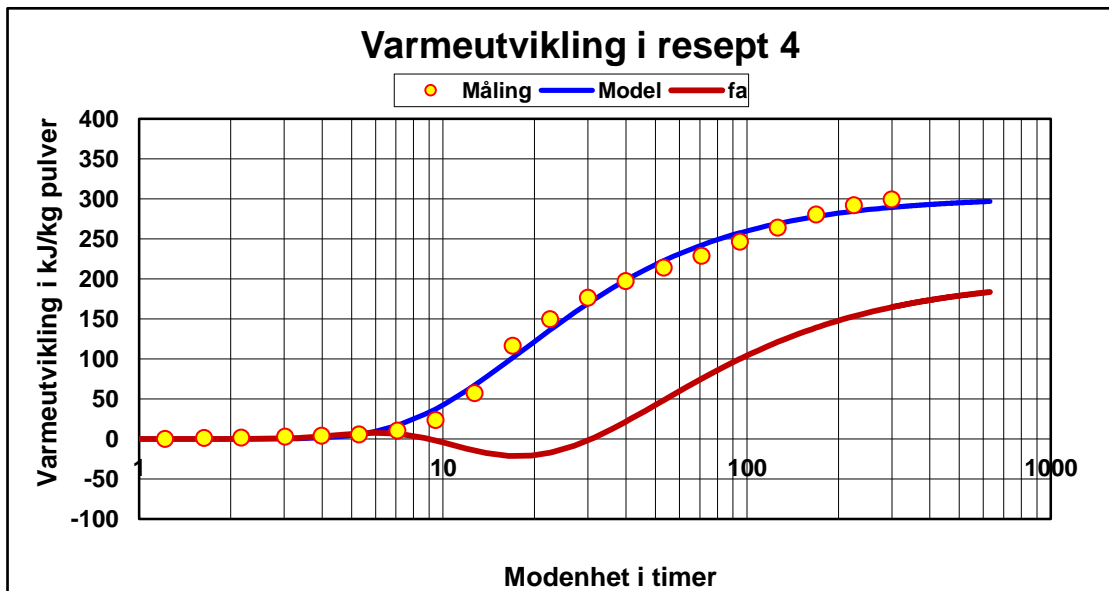
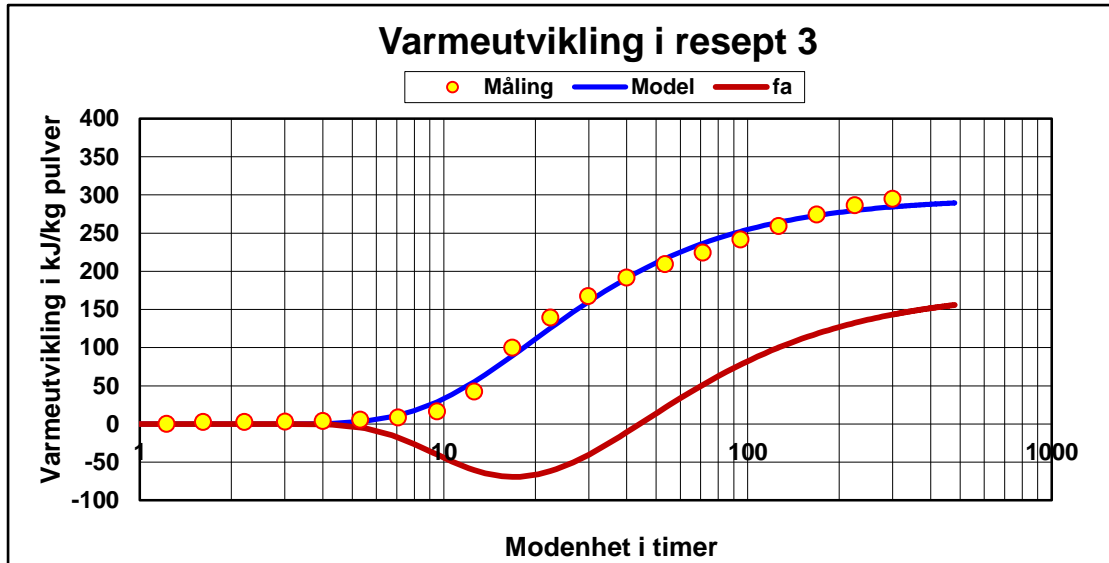
$$[\text{mengde sement og flyveaske (kg/m}^3\text{)} \times \text{modell}] - [\text{mengde sement (kg/m}^3\text{)} \times \text{modell}] = \text{varme fra FA} \\ \text{mengde flyveaske (kg/m}^3\text{)}$$

			Q_{∞}	333	kJ/kg sement
			τ_e	15,4	timer
			α	1,33	
A	B	C	D	E	F
Modenhet	Valgte punkter	Målte varmeutviklingsverdier til betongen (sement + flyveaske)	Modell til de målte verdiene	Varmeutvikling til sement alene	Varmeutvikling for flyveaske alene
0,94	2,14	2,14	0,00	0,0	0,00
1,25	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
1,66	1,82	1,82	0,00	0,0	0,00
1,76		4,03	0,00	0,0	0,00
2,17	0,57	0,57	0,00	0,0	0,01
3,00	4,34	4,34	0,11	0,0	0,24
3,93	6,23	6,23	0,78	0,7	0,93
4,24		0,00	1,23	1,3	1,13
5,28	6,54	6,54	3,74	5,2	0,74
5,49		0,25	4,44	6,5	0,40
72,50		196,26	208,07	293,2	37,88
...
77,02		203,50	211,62	296,1	42,72
81,64		203,81	214,88	298,7	47,29
86,36		207,90	217,89	301,0	51,62
91,18		213,88	220,66	303,1	55,70
94,86	209,79	209,79	222,62	304,6	58,62
96,10		212,93	223,24	305,1	59,57
101,09		220,17	225,62	306,8	63,20

Ved 100 modenhetstimer ligger flyveaskens bidrag i de 4 reseptene mellom 50 og 100 kJ/kg flyveaske. Til sammenligning er sementens bidrag etter 100 modenhetstimer i resept 5 ca. 300 kJ/kg.

Kurvene for varmeutviklingen til betongen (blå) og flyveasken alene (rød) er vist nedenfor for alle reseptene. *Måling* viser de målte verdiene av varmeutviklingen til betongen. *Model* viser beste tilpasning av kurve i forhold til de målte verdiene. *Fa* er kurven til varmeutviklingen fra flyveasken alene.





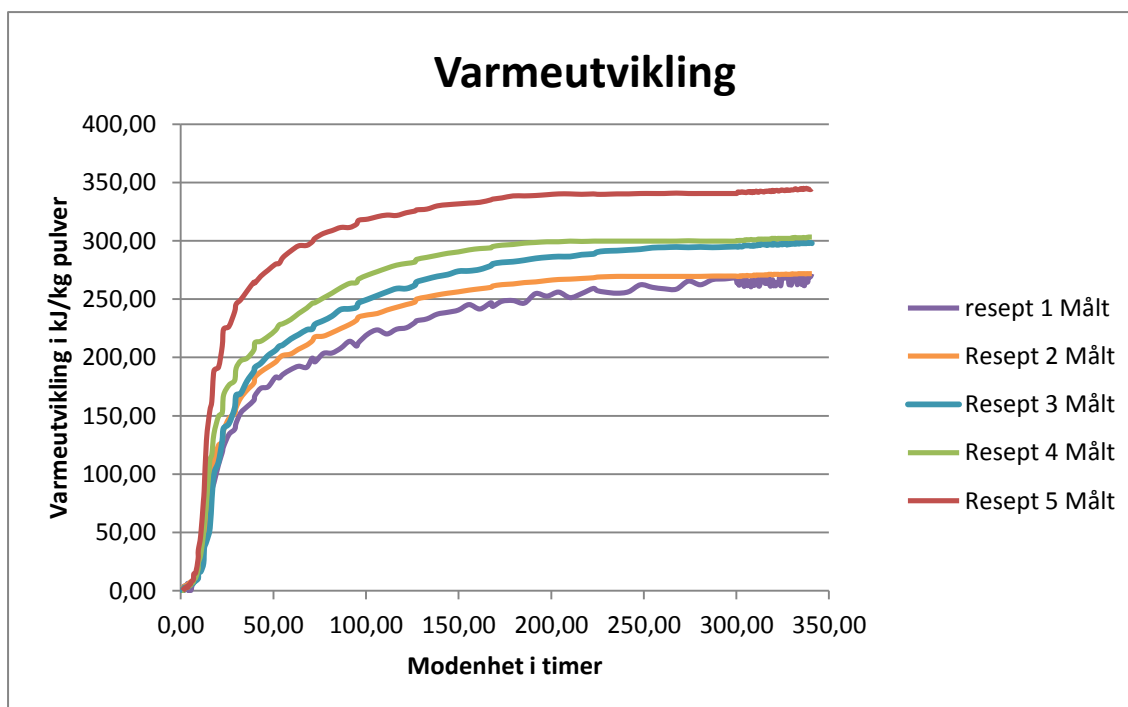
Flyveasken bidrar i en periode med en tilsynelatende "negativ varmeutvikling". Dette er ikke et uttrykk for at det skjer en reaksjon som forbruker varme (altså en endoterm reaksjon, i motsetning til eksoterm reaksjon som utvikler varme). Det er en vekselvirkning som gjør at sementen reagerer litt langsommere enn i resepten uten flyveaske. En forklaring kan være at P- og SP-stoffene absorberes mer på sementens overflate, enn på flyveaskens overflate. Siden reseptene med flyveaske har et mindre innhold av sement er doseringen av tilsetningsstoffene derfor litt høyere i forhold til sementen. Dette gir retarderende effekt til betongen. I tillegg vil pozzolanreaksjonen for flyveaske gå saktere enn hydratiseringen av sement, som resulterer i en lengre avbindingstid enn i en betong uten flyveaske.

Det er en klar tendens på de fire reseptene med flyveaske at jo høyere flyveaskedosering i forhold til sementen, jo langsommere vil flyveasken reagere og utvikle varme. Dette skyldes at flyveaskens reaksjoner er avhengige av Ca(OH)_2 og den pH-verdien (alkalier) som skapes ved sementens reaksjon. Det er derfor som forventet at flyveasken utvikler mindre varme i resept 1 (50 % FA) i forhold til resept 3 (30 % FA), og i resept 2 i forhold til resept 4. Resept 3 har en lav start på varmeutviklingen, dette er trolig på grunn av en ukjent feil. Den lille forskjellen i varmeutviklingen til resept 2 og 4 er mer som forventet.

Det er forventet størst varmebidrag i reseptene med høyt sementinnhold. Det skyldes at reaksjonen mellom sement og vann utvikler varme og dermed blir temperaturen høyere. Flyveasken blir mer påvirket av en temperaturen enn det sement gjør. En kan derfor forvente at flyveasken i resept 2 (høyere sementinnhold) utvikler mer varme enn i resept 1 og at flyveasken i resept 4 (høyere sementinnhold) utvikler mer varme enn i resept 3. Betydningen av denne effekten er ikke så stor, men den kommer som direkte årsak av at bindemiddelinnholdet er lavere i resept 1 og 3.

Det er som regel varmeutviklingen i de første 2-4 døgn som har betydning for temperaturstigningen, avhengig av konstruksjonens tykkelse. For en meget tykk konstruksjon varer det lengre. Deretter er utviklingen ofte så langsom at konstruksjonen kjøler hurtigere enn varmen utvikles. Ved 100 modenhetstimer ligger flyveaskens bidrag i de fire reseptene mellom 50 og 100 kJ/kg flyveaske. Til sammenlikning er sementens bidrag etter 100 modenhetstimer i resept 5 ca. 300 kJ/kg flyveaske. Det kan en sammenlikne med den aktivitetsfaktor (k-faktor) man må regne med i v/b-tallet. Med en aktivitetsfaktor på 0,7 vil fordelen være vesentlig større enn med en k-faktor på 0,5 [18].

Dersom en ser på avbindingstiden til de 5 ulike reseptene ser en at resept 5 har en kortere avbindingstid enn de andre reseptene som inneholder flyveaske. Dette viser akkurat det samme som er nevnt tidligere, at flyveasken bidrar til en langsommere varmeutvikling i betongen.



Figur 24 Sammenstilling av alle 5 reseptene

4.3 Resultater fra målinger på Sjursøya

4.3.1 Trykkfasthetsmålinger

Etter krav fra Kontrollrådet for betongprodukter gjennomfører Unicon jevnlig fasthetsmålinger på betongresepter som leveres til byggeplasser. For å få sikrere fasthetstall på de ulike betongreseptene, har jeg i tillegg til egne fasthetsmålinger, tatt med gjennomsnittlige fasthetsmålinger etter 7 og 28 døgn fra Unicon sitt fasthetsbibliotek. Da Unicon kun oppgir sylindrefasthet etter 28 døgn, har jeg antatt at 28 døgns fasthet til terninger er 1,2 x sylindrefasthet. Videre har ikke Unicon målt 1 døgns fasthet på betongreseptene, derfor bruker jeg de verdiene jeg har fått i mine forsøk. For hver betongresept jeg tar temperaturmålinger av på byggeplassen, må jeg velge fastheter etter 1, 7 og 28 døgn som jeg setter inn i TempSim for simulering. Verdiene for trykkfasthet ligger under vedlegg 6.

Ved å sammenlikne fastheten fra mine forsøk og biblioteket til Unicon har jeg laget en tabell over de verdiene jeg bruker som input i TempSim.

Resept ID B000 betyr normal betong med D_{maks} lik 22 mm.

Resept ID B100 betyr normal betong med D_{maks} lik 16 mm

Resept ID B102 betyr selvkomprimerende betong (SKB) med D_{maks} lik 16 mm.

Resept ID	Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]
B000	16,4	44,2	74,31
B100	20	43,8	58,1
B102	15,5	44,2	63,4

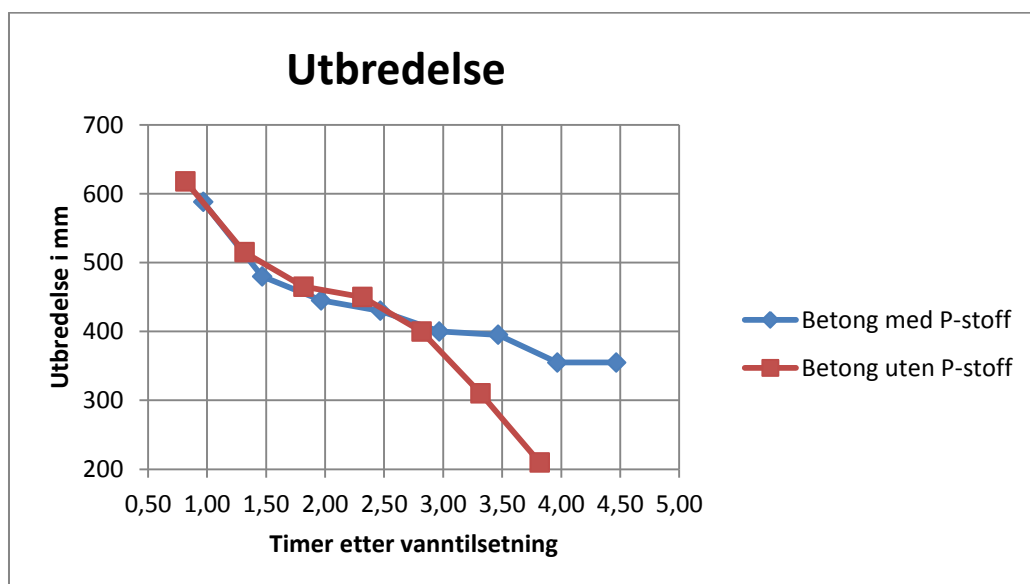
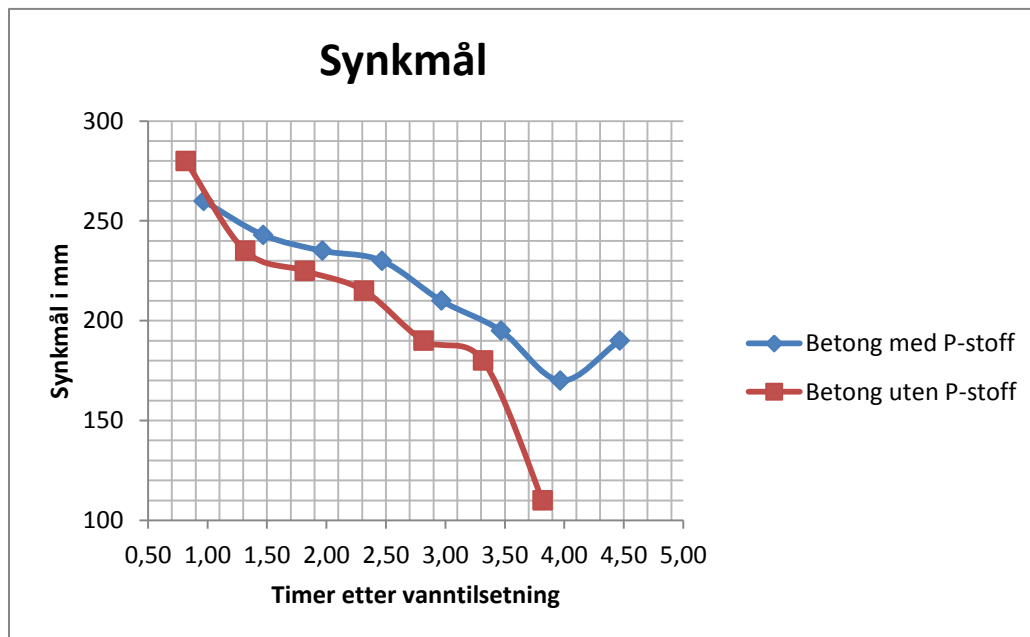
Tabell 6 Trykkfasthet til input i TempSim

4.3.2 Konsistenstap i ulike betongblandinger

4.3.2.1 Synkmål og utbredelsesmål i betongblanding 1 og 2, med og uten P-stoff

(Vedlegg 3.B.1 - 2)

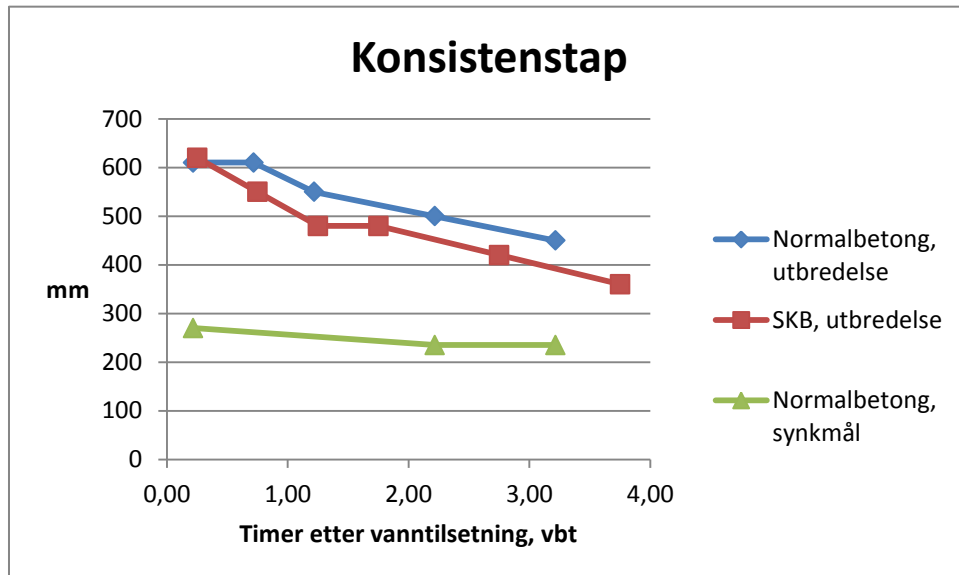
På laboratoriet på Sjørøya har jeg målt synkmål og utbredelsesmål på to nesten identiske betongresepter. Jeg tok utgangspunkt i en betongblanding som ble kjørt ut på en byggeplass i Oslo den dagen. Den ene blandingen er tilsatt P-stoff og den andre er uten P-stoff. (Resepten er nesten identisk med den som støpes ut i Stovner). Jeg kjørte 8 målinger av synk og utbredelse, dette ble gjort hvert 30 minutt.



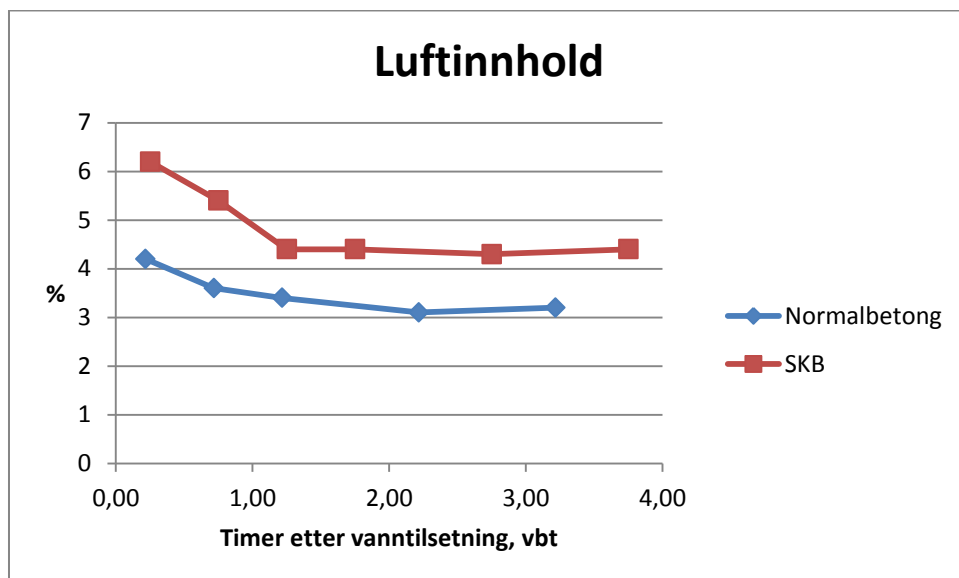
Ved måling nr. 2 ble det ikke rørt i betongblandingene før måling, derfor falt synkmålet og utbredelsesmålet en del mer enn for de resterende målingene. Ved måling nr. 8 ble det rørt mer i betongen med P-stoff enn ved de andre målingene, derfor ble synkmålet større enn forventet. Av resultatene ser en tydelig at betongblandingen med P-stoff har større synkmål. Utbredelsesmålet er noenlunde likt fram til tre timer etter blanding, da blir betongen uten P-stoff betraktelig stivere. Fire timer etter vanntilsetning er betongen blitt så stiv at det er vanskelig å utføre flere målinger på blandingen uten P-stoff. Blandingen som inneholder P-stoff derimot har bedre konsistens. P-stoff bidrar altså til en mer bearbeidelig betong over lengre tid.

4.3.2.2 Konsistensmåling til betong 3 og 4, normal betong og SKB

Det var også ønskelig å se forskjellen på normal betong og SKB. Betongreseptene er lik dem jeg tok temperaturmålinger på i Kværnerbyen. (Vedlegg 3.B.3 – 4).



Figur 25 Konsistenstap i normalbetong og SKB



Figur 26 Luftinnhold i normalbetong og SKB

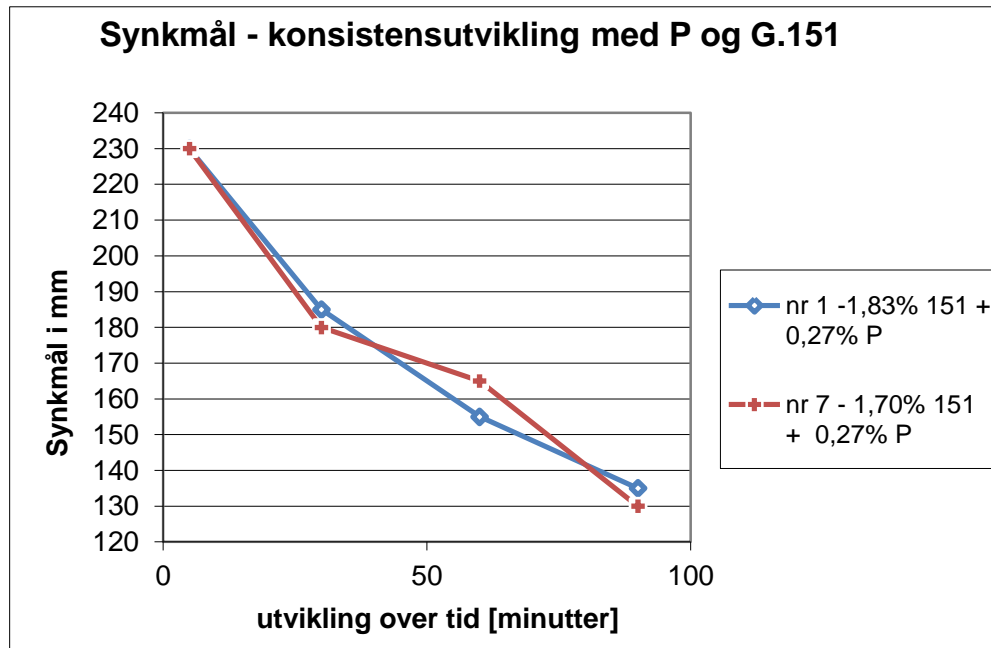
SKB har et mindre sementinnhold og større innhold av det superplastiserende stoffet, *Glenium C 151*, enn *normalbetongen*. Begge betongtypene starter ut med et nesten likt utbredelsesmål. Dette er ikke som forventet da det på bestillingen av den selvkomprimerende betongen står ønsket konsistens på 650 mm, mens det på normalbetongen er ønsket konsistens på 200 mm. SKB har et større konsistenstap enn normalbetongen. Det er tilsatt en større mengde luftinnhold i normalbetongen (1,5 %) enn i SKB (0,5 %). Luftinnførende middel har en smørende effekt på betongen som igjen bidrar til større utbredelse. Allikevel tror jeg ikke at 1 % luftinnførende middel er årsaken til den store forskjellen i utbredelse. I resepten til de to betongblandingene ser en at v/b-forholdet er litt forskjellig. SKB har et v/b-forhold på 0,37 og den normale betongen har et v/b-forhold på 0,40. Dette betyr at den normale betongen har et større vanninnhold enn den selvkomprimerende betongen som kan ha noe av betydning for den bløte konsistensen. I tillegg er det i den normale betongen tilsatt retarder som gjør at den binder av senere enn den selvkomprimerende betongen. Dette kan også ha vært medvirkende til den bløte konsistensen.

4.3.2.3 Betongblanding med P-stoff og Glenium C151.

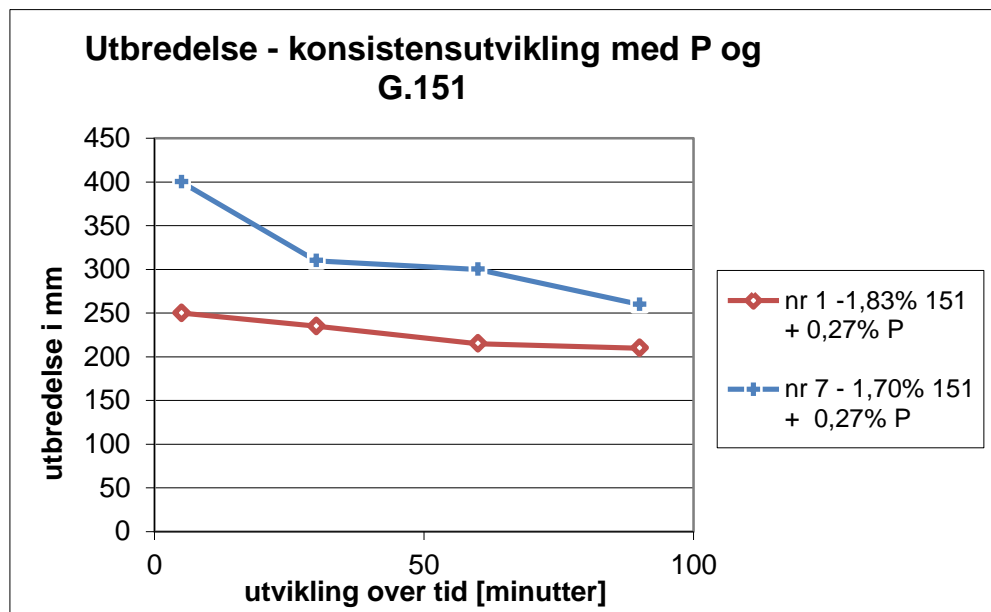
I Røddeko i Danmark har Unicon kjørt flere betongblandinger som kombinerer ulike tilsetningsstoffer. Siden det i denne oppgaven er fokusert på P-stoff, og SP-stoff av typen *Glenium C151* og *Glenium SKY 234* har jeg fått ta med de målingene de gjorde av disse.

Resepten er følgende (pr.m³):

Rapid sement: 268 kg, Flyveaske: 135 kg, Silika: 0 kg, v/b: 0,398



Figur 27 Synkmål ved kombinasjon av P- og SP-stoff



Figur 28 Synkmål ved kombinasjon av P- og SP-stoff

Synkmålet til blandingene er omtrent likt. Utbredelsesmålet er derimot forskjellig med ulike mengder G. 151. Blanding nr. 7 med en mindre andel G.151 har større utbredelsesmål enn blanding nr. 1. Det ser altså ut til at G.151 bidrar til en fastere betong.

4.3.3 Avbindingstid i betongblanding

nr.	"Dagens betong" – type	Menge tilsetningsstoff i % av sementvekten					Avbindingstid [timer]	Vedlegg [nr.]
		P	G.151	G.552	L	R		
1	Normal med P	0,5	1,4	-	1,0	-	5	3.B.1
2	Normal uten P	-	1,6	0,7	1,0	-	7,4	3.B.2
3	Normal, B000	-	1,9	0,3	1,1	0,2	9,5	3.B.3
4	SKB, B102	-	3,1	-	0,5	-	9,5	3.B.4
5	Normal, B100	-	1,9	0,5	0,5	0,1	9,4	3.B.5
6	Glid uten P	-	0,9	-	1,1	-	5,1	3.B.6
7	Glid med 0,2 % P	0,2	0,9	-	1,1	-	7,0	3.B.7
8	Glid med 0,7 % P	0,7	0,9	-	1,1	-	9,4	3.B.8
9	Normal uten silika, B000	0,5	-	1,4	1,0	-	5	3.B.9

Tabell 7 Oversikt over målinger utført på ulike betongresepter

4.3.4 Avbindingstid i mørtelblanding

En betongblanding med P- og SP-stoff vil få ulik avbindingstid ved ulike herdetemperaturer. Derfor ønsket jeg å utføre temperaturmålinger på mørtelblandinger som herdet både ved 22 °C og 5 °C. Ved herding i 5 °C ble resultatene vanskelige å lese av. Kurvene ble unøyaktige og det var ikke alle blandinger som fikk topping av temperaturkurven. Dette gjorde det vanskelig å finne avbindingstiden til de ulike tilsetningsstoffer. Jeg har valgt å ikke ta med disse resultatene i oppgaven. Etter fire forsøk (12 kasser) i kjøleskapet endte jeg opp med kun å gjennomføre målinger på blandinger i romtemperatur på 20 - 26 °C. Kassene har stått i samme rom, men på forskjellige dager. Derfor er variasjonen i romtemperatur så stor på de ulike målingene. Dette vil igjen gi utslag på maksimaltemperaturen til mørtelblandingene. Jeg endte opp med minimum 9 temperaturmålinger av hvert tilsetningsstoff. Dette gir meg en pekepinn på avbindingstiden og kurveformasjonen.

Tilsetningsstoff	Mengde i prosent av sementmengde	Start-temp.	Maks.-temp.	Tidspunkt for maks. temp.	Rom-temp.	Avbindings-tid (avrundet til nærmeste halve).		Retarderings-tid i forhold til referanseverd i på 6 timer.
	[%]	[°C]	[°C]	[timer]	[°C]	[timer]	[timer]	
Referanse	0,0	24,6	37,0	10,3	22-25	5,0	Snitt:	
Referanse	0,0	17	39		23-26	7,0	6	
P-stoff	0,5	24	37,2	10,6	22-25	5,5		0
P-stoff	0,5	21	39,5	12,5	24-25	7,5		1,5
P-stoff	0,5	17	40,5	13,5	23-26	8,0		2,0
P-stoff	1,0	24,5	37,5	11,7	24-25	6,5		0,5
P-stoff	1,0	22	39,0	14,2	24-25	9,0		3,0
P-stoff	1,5	22	39,0	15,4	24-25	11,5		5,5
P-stoff	1,5	21	35,0	16,4	24-25	11,5		5,5
P-stoff	2,0	23,5	34	17,0	24-25	11,5		5,5
P-stoff	2,0	27	39,0	19,5	24-25	14		6,0
G.151	0,5	18,4	31,7	13,4	20-24	8,5		2,5
G.151	0,5	19,5	33,7	12,7	23-25	7,5		1,5
G.151	0,5	16,5	39	13,4	23-26	7,0		1,0
G.151	1,0	24	37	12,3	23-25	7,5		1
G.151	1,0	19,5	33,7	13,4	23-25	7,5		1,5
G.151	1,0	19,5	41	12,3	23-26	7,0		1,0
G.151	1,5	24	37	13,3	23-25	9		3
G.151	1,5	19,5	34	14,5	23-25	8		2
G.151	2,0	24	37	16,4	23-25	11		5
G.151	2,0	17	36	14,5	23-25	12		6
G.552	0,5	19,5	33,5	12,8	20-24	7,0		1,0
G.552	0,5	19	31,8	12,7	20-24	7,0		1,0
G.552	0,5	18	42,5	11,3	23-26	6,5		0,5
G.552	0,5	20	41	12,0	23-26	7,0		1
G.552	1,0	23,5	36,8	12,3	22-25	7,0		1,0
G.552	1,0	17	36	14,0	23-25	9		3
G.552	1,5	17,3	36	12,6	20-24	10,0		4,0
G.552	1,5	24	37	13,3	22-25	9		3
G.552	2,0	24	37	16,4	22-25	11,5		5,5
G.552	2,0	19	33,6	14,4	20-24	12,5		6,5
G.234	0,5	20	34,6	12,2	22-25	8,0		2,0
G.234	0,5	17	36	13,3	22-25	8		2
G.234	0,5	18	40	12,7	26-31	8		2
G.234	1,0	18,5	41	13,7	26-31	8,5		2,5
G.234	1,0	20	35,4	14,4	22-25	9,0		3,0
G.234	1,0	17	36,5	14,0	22-25	10		4
G.234	1,5	24	35,5	13,6	22-25	9,5		3,5
G.234	1,5	20	36	14,7	22-25	10,5		4,5
G.234	2,0	23,3	34,3	15,3	22-25	11,5		5,3
G.234	2,0	19	33,7	16,2	22-25	13,0		7

Tabell 8 Sammenstilling av resultatene fra alle mørtelblandingene

Disse målingene er altså ment som en pekepinn på retarderingseffekt de ulike mengder av tilsetningsstoff har på betongen. Det må flere målinger til, og da gjerne i herdekasser, for å kunne gi et korrekt og endelig svar på eksakt retardering og kurveformasjon til de ulike mengdene av tilsetningsstoff. Mine målinger er utført i 1 liters isoporkasse i et rom med varierende romtemperatur. Dette fører til variasjoner i maksimaltemperaturen og avbindingstiden for samme mengde av tilsetningsstoffet. Det ideelle ville vært å kjøre alle målingene samme dag, for å sikre seg lik lufttemperatur i omgivelsene, men dette ville ikke la seg gjennomføre rent praktisk. Avbindingstiden for de ulike mengdene av tilsetningsstoffer er ved første øyekast ganske lik for alle produktene, men det er noen tendenser til ulikheter. P-stoff har en lenger avbindingstid ved 1,5 – 2,0 % tilsatt mengde enn like mengder med SP-stoff. Glenium C151 skiller seg ut ved at mørtelen har noenlunde lik avbindingstid ved 0,5 – 1,0 % tilsatt mengde. I tillegg gir Glenium C151 generelt en kortere avbindingstid enn de andre SP-stoffene.

En oversikt over gjennomsnittlige avbindingstider fra mine målinger:

Type TSS	Mengde av tilsetningsstoffet			
	0,5 %	1,0 %	1,5 %	2,0 %
P	7 timer	7,8 timer	11,5 timer	13 timer
G.151	7,7 timer	7,5 timer	8,5 timer	11,5 timer
G.552	7 timer	8 timer	9,5 timer	12 timer
G.234	8 timer	9 timer	10 timer	12 timer

Tiden det tar før blandingen oppnår maksimaltemperatur:

Type TSS	Mengde av tilsetningsstoffet			
	0,5 %	1,0 %	1,5 %	2,0 %
P	12,2 timer	13 timer	16 timer	18,3 timer
G.151	13,2 timer	12,7 timer	14 timer	15,5 timer
G.552	12,2 timer	13,1 timer	13 timer	15,5 timer
G.234	12,9 timer	14 timer	14 timer	16 timer
Gjennomsnitt	12 - 13 timer	13 - 14 timer	14 - 15 timer	16 timer

4.4 Resultat fra temperaturmålinger i felten

Ved temperaturmålingene brukte jeg to loggere med 4 måleledninger til hver logger. Dette skulle i utgangspunktet gi 8 målinger på hver konstruksjon. I noen tilfeller så jeg meg nødt til å bruke kun én logger per konstruksjon for å utnytte at det ble støpt ulike konstruksjoner på samme dag. Dessverre fungerte ikke alltid loggerne og måleledningene som forventet. Men i flesteparten av tilfellene fikk jeg minst 1 måling av lufttemperaturen og 1-2 målinger av temperaturen i midten av konstruksjonen. Dette er nok målinger til å sammenlikne med simuleringen fra TempSim. Ved utstøping av for eksempel et betongdekk er det behov for flere betongbiler for å fylle hele dekket. Da er det viktig å finne ut akkurat hvilken betongbil, og dermed hvilken blanderesept, som er gjeldende for det stedet en har plassert ut måleledningene.

4.4.1 Sammenlikning av temperatursimulering i TempSim med temperaturforløpet på byggeplass

I TempSim kan en lese av temperaturen for hver time på ulike steder i konstruksjonen. Det kan være i overkant, underkant eller ulike plasser innover i konstruksjonen. Dersom en ikke har plassert målerne i midten av konstruksjonen, kan en få TempSim til å vise temperaturen på nesten samme plassering i konstruksjonen. For eksempel i et dekkestøp på 30 cm tykkelse, kan en lese av temperaturen for hver 2 cm nedover i dekket. Det er også estimert minimums-, maksimums- og middeltemperatur i konstruksjonen. I mine forsøk har jeg forsøkt å feste målerne i midten av konstruksjonen og kan dermed se på maksimumstemperaturen i simuleringen.

Ved sammenlikning av dekkestøpene var det avvik både i maksimumstemperaturen og tidspunktet for når betongen nådde den. Jeg har prøvd både med estimerte verdier, og verdier fra adiabatisk kalorimetri, av Q_{∞} , τ_e , α . Grafene ligger i vedlegg 1.

På dekkestøpene, med estimerte verdier, varierte maksimumstemperaturen mellom 0 – 2,5 °C, med tiden 0 – 3 timer. Med ett unntak på 4 °C og 5 timer. På veggstøpene, med estimerte verdier, varierte maksimumstemperaturen med 0 – 3,5 °C med tiden 0 - 4 timer. Ved bruk av estimerte verdier på søyle- og bjelkestøpene varierte maksimumstemperaturen mellom 1,5 – 9,3 °C med tiden 1 – 4 timer. Ved bruk av adiabatisk verdier på søyler og bjelker varierte maksimumstemperaturen med 0,4 – 3,7 °C på tiden 1 – 4 timer. Resultatene viser at simuleringer med estimerte verdier fra TempSim gir bedre resultater på konstruksjoner av store dimensjoner. Derimot vil de adiabatisk verdiene gi bedre kurver for konstruksjoner av små dimensjoner. Det er nok de estimerte verdiene som er riktig å bruke på alle konstruksjoner, da jeg fikk de samme verdiene ved semi-adiabatisk kalorimetri i herdekasse.

Fra disse sammenlikningene vil jeg trekke en konklusjon at TempSim har en mer nøyaktig temperatursimulering på konstruksjoner av store dimensjoner, som vegg- og dekkestøp. Simulering på konstruksjoner av mindre dimensjoner, gir en mindre nøyaktig kurve. Som tidligere nevnt er TempSim konstruert for å simulere på store og tykke konstruksjoner. Mine simuleringer viser noe av den samme tendensen, men har allikevel ikke så klare forskjeller mellom for eksempel vegger på 20 cm og dekker på 30 cm tykkelse. Det virker som om det er størrelsen på dimensjonen som har størst innvirkning på simuleringene. Brukeren må, ved bruk av estimerte verdier i simulering av søyler og bjelker, regne med et større varmetap til omgivelsene. For dette vil ikke TempSim inkludere i beregningene, da den kun beregner varmetap fra 4 sider, og ikke fra 6 sider.

Videre er det en klar tendens til at temperatursimuleringen med verdier fra adiabatisk kalorimetri har en slakere kurve mot maksimaltemperaturen enn det den virkelige temperaturutviklingen på byggeplassen har. Simulering med estimerte verdier gir, i de fleste tilfellene, en høyere maksimumstemperatur enn på byggeplassen. Simuleringen med verdier fra adiabatisk kalorimetri gir en lavere maksimumstemperatur, og denne nås, i de fleste tilfellene, flere timer senere enn i virkeligheten. Forklaringen på dette finner en fra varmeutviklingsparameterne Q_{∞} , τ_e , α . Retardasjonsparameteren τ_e bestemmer hvor tidlig varmeutviklingen settes i gang. Simuleringen med de estimerte verdiene har Q_{∞} lik 261 kJ/kg pulver og τ_e lik 12 timer, mens de full-adiabatisk kalorimetrimålingene ga en Q_{∞} lik 279 kJ/kg pulver og τ_e lik 20 timer. En lavere verdi av τ_e vil gi en tidligere start på varmeutviklingskurven og derfor vil kurven med de estimerte verdiene starte

varmeutviklingen tidligere og være brattere. Selv om de adiabatisk kalorimetrimålingene ga en høyere verdi på Q_∞ vil en sen start i varmeutviklingen resultere i en lavere temperaturutvikling.

4.5 Betydning av randbetingelser

Antall randbetingelser en velger å legge inn i TempSim kan ha innvirkning på formasjonen på temperaturkurven. T_{min} og T_{max} definerer et temperaturforløp av omgivelsene som en sinus-funksjon med minimumstemperatur kl. 02:00 og maksimumstemperatur kl. 14:00. En kan også velge å legge inn randbetingelsene etappevis. Det er maksimalt mulig å legge inn 8 randbetingelser, men det vanligvis nok å legge inn 3 til 4. Randbetingelser er valgt etter værprognosen på yr.no og temperaturmåling av luften på byggeplassen. For et enda mer nøyaktig resultat kunne en plassert ut en vindmåler på byggeplassen. I randbetingelsene legger en inn både minimums- og maksimumstemperatur i omgivelsene, vindhastighet, samt oppbygning av formes tverrsnitt.

Ved planlegging av et betongstøp kan en legge inn vind og lufttemperatur, for deretter å justere på oppbygningen av formen etter hvilken fasthet en ønsker på betongen etter en viss tid. For eksempel kan et ønske være at et 21 cm betongdekke, med et 7 mm plattendekke under, skal ha oppnådd en fasthet på 37 MPa etter 2 døgn. Med en vindhastighet på 7 m/s, må det legges på to lag med 10 cm tykke vintermatter innen en time etter utstøping. I tillegg må en på undersiden av dekket, legge 5 cm mineralull, samt dekke til med plast for å holde unna vinden på undersiden.

Konstruksjonsbeskrivelse

Plate/Vegg | **Plate m. underlag** | Bjelke / Søyle | Bjelke m. underlag

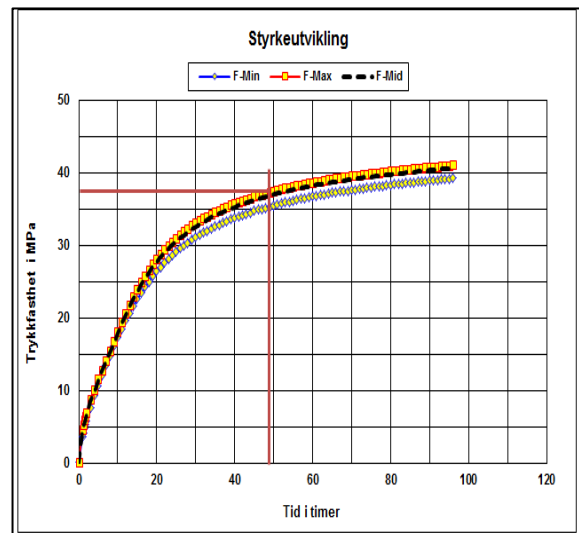
Platens tykkelse: 0,21 meter
 Betontemperatur: 24 °C
 Udstøpning start klokken: 8 time (dec) Afsluttet etter: 0 timer
 Tids step på grafer: 1 timer Beregn indtil: 96 timer

Symmetri

Side 1 / Overside			Side 2 / Underside		
Tid	Temperatur °C	Overg.-tal	Tid	Temperatur °C	Overg.-tal
Timer	Min	Max	Timer	Min	Max
0,0	3	6	0,0	3	6
1,0	3	6			
					12,5

Beregn

Figur 29 Input av informasjon i TempSim



Figur 30 Fasthetsresultatet fra simuleringene

5. Diskusjon

Ved å bruke værprognoser og erfaringsdata for den aktuelle betongen kan en simulere herdingsprosessen og tilpasse herdingstiltak. I mine simuleringer brukte jeg værdata fra yr.no for at situasjonen skulle bli mest mulig lik en forhåndssimulering. Disse værdataene er gitt for utvalgte plasser i Oslo, og ikke for de byggeplassene jeg utfører mine målinger på, slik at temperatur og vind kan variere fra værprognosen. I tilfeller der temperaturen fra mine målinger ikke stemte overens med yr.no sine prognoser, brukte jeg temperaturmålingen fra felten som randbetingelser, og dermed stemte kurven fra TempSim bedre overens med kurven fra feltmålingen.

I sammenlikningen av kurvene fra TempSim og byggeplassen er det en tydelig tendens til at TempSim simulerer en lenger avbindingstid enn det som er reelt på byggeplassen. Betongen på byggeplassen vil, i de fleste tilfeller, nå maksimaltemperaturen raskere enn det TempSim simulerer. I dagens versjon av TempSim er det ikke mulig å legge inn virkningen av tilsetningsstoffer annet enn retarderingseffekten. Dette legges inn som antall retarderingstimer, og forutsetter at brukeren er klar over retarderingseffekten til de ulike tilsetningsstoffene. Mesteparten av blandereseptene angir retarder, men 60 % av målingene viser at TempSim medberegner en retarderingstid på 1 – 5 timer. Dette er på grunn av retarderingsparameteren τ_e , som angir hvor tidlig varmetviklingen starter. Jeg har brukt varmetviklingsparameterne jeg fikk fra adiabatisk kalorimetri i herdekasse, med liknende blanderesept jeg tar temperaturmålinger av på byggeplassen. Dette betyr at retarderingstiden allerede innlagt i simuleringen. Dersom det tilsettes stoffer i betongen med andre virkninger enn retarderingseffekt, er det ikke mulig å legge dette inn i TempSim. Da må brukeren selv se på mulige endringer av parameterne Q_∞ , τ_e , α . Eventuelt at en utfører adiabatisk kalorimetrimålinger med samme blanderesepten.

Det er større forskjell på konstruksjoner av store dimensjoner, som dekker og bunnplater, enn i mindre konstruksjoner, som vegger og søyler. Simuleringene er generelt langt mer usikre ved små dimensjoner, fordi feil i forutsetningene om randbetingelser har en større betydning. Som tidligere nevnt ble TempSim opprinnelig utviklet for å simulere på massive konstruksjoner, der temperaturen kan bli kritisk høy. Derfor bør brukeren av programmet, ved simulering av *mindre* konstruksjoner være klar over at simuleringene kan avvike mer enn ved simulering av *større* konstruksjoner.

Med vind- og værforhold mener jeg vindhastighet og lufttemperaturen. Det er ikke mulig å legge inn andre faktorer som regn- og solpåvirkning i TempSim. Regn kan føre til en større avkjøling av betongen og eventuelt kan dette kompenseres for ved å legge inne en lavere lufttemperatur i randbetingelsene. Påvirkning fra solen kan også føre til raskere uttørking på overflaten av betongen.

AF Gruppen bruker TempSim til planlegging og dokumentasjon. TempSim simulerer og forteller hvilke klima det skal være rundt konstruksjonen for å oppnå en viss fasthet, som igjen dokumenteres med temperaturmålingene. Hvis virkelige temperaturmålinger ikke stemmer overens med de planlagte, så er ikke tiltakene riktige. Avvikene fra målingene på byggeplassen er ± 4 °C og ± 4 timer på de konstruksjoner av store dimensjoner, mens på mindre konstruksjoner er avviket enda større. Etter ønske fra AF Gruppen skal ikke programmet verifiseres dersom det er mer avvik enn ± 2 °C og ± 2 timer. Simuleringene stemmer ganske bra med de *store* konstruksjonene og med det som er

utført i laboratoriet, og da vet en at matematikken stemmer. Da er det varmetapet rundt de *mindre* konstruksjonene en må jobbe litt mer med.

6. Konklusjon

Innvirkning av tilsetningsstoffer

Som allerede kjent har plastiserende tilsetningsstoff vannreducerende effekt som bidrar til en mer bearbeidelig betong over lengre tid. I tillegg til vannreducerende effekt har P-stoff også en retarderende effekt. Superplastiserende stoff har en større vannreducerende effekt enn P-stoff, og skal i utgangspunktet ha liten eller ingen retarderende effekt. Fra mine forsøk fant jeg at dette stemte for P-stoff, men i tillegg hadde også SP-stoffene retarderende effekt. P-stoff har generelt litt lenger avbindingstid ved 1,5 – 2,0 % mengde enn SP-stoffene. Derimot har *Glenium Sky 234* en lenger avbindingstid ved 0,5 – 1,0 % dosering, i forhold til både P-stoff og de andre SP-stoffene. *Glenium C151* skiller seg ut ved at mørtelen har noenlunde lik avbindingstid ved 0,5 – 1,0 % tilsatt mengde. I tillegg gir *Glenium Sky 151* generelt en kortere avbindingstid. I mine simuleringer har TempSim medberegnet den retarderende effekten til betongen. Dersom en allikevel ønsker å legge inn retarderingstimer, for eksempel ved bruk av retarder i betongen, er det mulig i den nye norske utgaven av TempSim.

Praktiske begrensninger ved bruk av TempSim og videre utvikling av programmet

TempSim er konstruert for å kunne simulere temperaturutviklingen på store og *tykke* konstruksjoner, der temperaturen i midten av konstruksjonen kan bli kritisk høy. Mine forsøk viser at simuleringene på dekker og vegger gir bedre resultater enn for simulering av søyler. TempSim beregner varmetap fra 4 sider på en søyle, mens det i virkeligheten vil foregå varmetap fra 6 sider. Dersom en ønsker å simulere på søyler må brukeren selv ta dette med i beregningene, for det vil ikke TempSim gjøre. Dette kan gjøres ved å bruke et større overgangstall enn det overgangstallet som kombinasjonen av konstruksjon og værforhold vil gi.

Videre har oppgaven vist at verdiene for varmeutviklingen som TempSim estimerer er de samme som en får ved adiabatisk kalorimetri i herdekasse. Det skulle derfor ikke være noe problem å bruke estimerte verdier i simuleringen. Brukeren av dette programmet vil nok i de fleste tilfeller benytte seg av de estimerte verdiene fra programmet, da det sparer både tid og krefter. Dersom det er tilsatt store mengder tilsetningsstoffer med stor retarderende effekt er det mulig å legge inn retarderingstiden i TempSim.

På bakgrunn av disse resultatene kan jeg ikke verifisere programmet, da det er for store avvik i forhold til det AF Gruppen ønsker. Ved videre utvikling av programmet kunne det være ønskelig å få med varmetapet fra alle 6 sidene i søyler og bjelker, og ikke bare fra 4 sider som programmet regner med i dag. Flere målinger av søyler og bjelker vil også være avgjørende for om TempSim kan verifiseres.

7. Feilkilder

Egenskaper til fersk betong

Ved testing av egenskapene til fersk betong er det viktig at det blir brukt samme fremgangsmåte ved målingene. For hver synkmåling jeg utførte, var det viktig at jeg rørte like mye i blandingen, for en ulik røring i betongen kan resultere i feil synkmåling.

Avbindingstid i mørtelblandinger

Ved oppveiling av resepten er det alltid en mulighet for at vekten ikke er kalibrert og viser feil resultat. Andre faktorer som søl på vekten, resterende vann i bøtta etter vasking eller noen gram forskjell i veiingen, kan også spille inn på resultatet. Men, måling i mørtelblanding skal kun gi en pekepinn om avbindingstid og kurveformasjon til de ulike tilsetningsstoffene, og ved å utføre 2 x 4 målinger av hvert stoff fikk jeg det. Forsøkene med mørtelblandinger i romtemperatur på 5 °C burde vært utført i herdekasser, men det ville vært vanskelig å utføre. Jeg brukte isoporkasser fordi de fikk plass i kjøleskapet og var lette å håndtere.

Temperaturmålinger i felten

Ved måling av temperatur i veggkonstruksjoner hendte det at jeg måtte feste ledningen etter at forskalingsformen var lukket, dette gjorde det vanskelig å få føleren i midten av konstruksjonen. I simuleringene har jeg brukt maksimumstemperaturen til å sammenlikne kurver med. Dersom følerne ikke har vært plassert helt i midten av konstruksjonen, kan dette ha ført til avvik fra målingen på byggeplassen. Det er også viktig å feste ledningene godt til armeringsjernet, da det er fort gjort at ledninger blir ødelagt ved utstøping i forskalingen, for eksempel ved at vibratoren har kommet borti noen av følerne ved vibrering av betongen, som resulterer i snodige eller ufullstendige kurver. Ved måling av betongkonstruksjoner kan det hende at den uisolerte enden kommer borti armeringsjernet og dermed blir temperaturmålingen feil. Dette skjedde under noen av målingene mine og jeg ble tipset av leverandøren til *Testo* om å isolere enden med en teip bit. Etter dette ga temperaturmålingene bedre resultater. På Sjursøya blir målingene utført i et lukket system. Ute på byggeplassen kan strømforsyningen være utsatt for jordingsfeil og dette kan påvirke resultatene på loggeren. Noen av målingene mine viste at temperaturen i betongen var helt ned i -10 °C, selv om lufttemperaturen var over 0 °C. Da må disse målingene kastes og utføres på nytt. Det er en fordel at hver logger har 4 målere, der 3 av dem logger temperaturen i betongen. Eventuelt kan en bruke to logger på én konstruksjon for å få best mulig resultat. Selv om loggeren er sikret mot fukt kan det være lurt å pakke den inn i en plastpose. Det beste ville nok være en liten kasse med et varmeelement i, men i mine forsøk brukte jeg kun plastposer.

Selv om yr.no angir temperatur og vindforhold hver time i Oslo, er dette kun for bestemte steder i Oslo. Byggeplassen kan ligge i en grop som gjør at vindforholdene er annerledes enn på yr.no. Dersom byggeplassen ligger i en skyggegropp vil temperaturmålingen ikke bli påvirket av solforhold. Derfor er det viktig å se på temperaturmålingen jeg selv tok i felten. Det ideelle hadde vært å plassere en vindmåler på byggeplassen, men det hadde jeg dessverre ikke tilgang til.

For å verifisere TempSim er det ønskelig med et størst mulig antall målinger for å få et mest riktig resultat. Dette gjelder både fasthetsmålinger og temperaturmålinger. Jeg endte opp med 6 målinger av dekker, 5 målinger av dekker på underlag, 6 målinger av vegg, 3 målinger av søyler og 1 måling av bjelke på underlag. I tillegg utførte jeg rundt 10 målinger til på ulike konstruksjoner som ikke ble vellykkede. Det var flere grunner til at målingene mislyktes:

1. Ytre påvirkning på byggeplassen som forklart tidligere.
2. Testo-apparatet virket ikke alltid som det skulle. Enten logget den ikke temperaturer i det hele tatt eller så logget den temperaturer, men jeg fikk ikke overført dem til datamaskinen.
3. Tidspress. Jeg hadde ikke alltid mulighet til å være tilstede på byggeplassen hele dagen og jeg måtte feste loggeren til de konstruksjonene gutta på byggeplassen mente skulle bli støpt den dagen. Det var ikke alltid dette stemte, og det endte opp med noen målinger kun av lufttemperaturen.
4. Forskalingsformen var allerede lukket da jeg kom til byggeplassen, og det var vanskelig å få festet målerne riktig.

Angående fasthetsmålingene fikk jeg tilgang til fasthetsmålinger som Unicon selv hadde utført, og dette ga meg et større register på fastheter.

Planlegging

På byggeplasser skjer det hele tiden endringer i fremdriften og en må regne med at utsettelse av betongstøp kan skje. Dette gjorde det vanskelig å planlegge og jeg endte med å møte opp på byggeplassen og ta målinger av det som tilfeldigvis ble støpt den dagen. I tillegg var det vanskelig å få informert alle på de ulike byggeplassene at loggeren ikke måtte røres. Derfor ble temperaturloggingen i noen tilfeller avsluttet tidligere enn ønsket. Ved temperaturmåling av mørtelblandinger på laboratoriet var jeg avhengig av å ha tilgang til nok former. Det tok litt tid før jeg fikk tak i disse og dermed ble temperaturmålingene utsatt og antall målinger ble ikke like mange som jeg skulle ønske. Allikevel er dette nok målinger til å få en pekepinn på retarderingseffekten til tilsetningsstoffene. Av denne masteroppgaven lærte jeg at det er lurt å starte opp tidlig med forsøk for en vet aldri hvilke uforventede momenter som kan dukke opp.

8. Figurliste

Figur 1 Varmeutvikling til betong med og uten akselerator [4]	13
Figur 2 Flyveaske	17
Figur 3 Flyveaske observert gjennom mikroskop [1]	17
Figur 4 Poremengden er avhengig av v/c-tall og hydratasjonsgrad i sementpasta [10]	18
Figur 5 Innlegging av reseptopplysninger i TempSim	21
Figur 6 Bestemmelse av avbindingstid ut fra temperaturutviklingskurven til en tilfeldig betong	21
Figur 7 Bestemmelse av avbindingstid ut i fra varmeutviklingskurven til en betong	22
Figur 8 Før og etter bruk av problemløseren i Excel	25
Figur 9 Varmeutviklingskurve med parameterne Q_{∞} , α , og τ_e	26
Figur 10 Adiabatisk måler [15]	28
Figur 11 Forskjell i temperaturfallet på en tildekket plate og en som ikke er tildekket [16].	30
Figur 12 Oversikt over overgangstall for ulike forskalingsløsninger	32
Figur 13 Varmetapet henholdsvis i TempSim og på byggeplassen	33
Figur 14 Adiabatisk kalorimeter	34
Figur 15 Innblanding av vann i tørrstoffet	35
Figur 16 Blanding av tørrstoff	35
Figur 17 Støping av prøvestykker	37
Figur 18 Måling av temperaturutvikling i herdekasse	38
Figur 19 Testo temperaturlogger 177-T4 og termoelement.	38
Figur 20 Måling av temperaturutvikling i isoporkasse	39
Figur 21 Input av reseptopplysninger, trykkfasthet og varmeutviklingsparametere	41
Figur 22 Tilpasning av varmeparametere til varmeutviklingskurven fra herdekasse	42
Figur 23 Simulering av temperaturen ved bruk av adiabatisk målinger og estimerte verdier	43
Figur 24 Sammenstilling av alle 5 reseptene	49
Figur 25 Konsistenstap i normalbetong og SKB	53
Figur 26 Luftinnhold i normal betong og SKB	53
Figur 27 Synkmål ved kombinasjon av P- og SP-stoff	55
Figur 28 Synkmål ved kombinasjon av P- og SP-stoff	55
Figur 29 Input av informasjon i TempSim	63
Figur 30 Fasthetsresultatet fra simuleringene	63

9. Tabeller

Tabell 1 <i>Klinkersammensetning i en Portlandsement [1]</i>	9
Tabell 2 <i>Typisk sammensetning av flyveaske:</i>	15
Tabell 3 <i>Varmekapasiteten for enkelte materialer som blir brukt i oppgaven [3]:</i>	27
Tabell 4 <i>Eksempel – beregning av betongtemperatur, Θbetong.</i>	31
Tabell 5 <i>Oversikt over målinger utført på betongblandinger</i>	36
Tabell 6 <i>Trykkfasthet til input i TempSim</i>	50
Tabell 7 <i>Oversikt over målinger utført på ulike betongresepter</i>	56
Tabell 8 <i>Sammenstilling av resultatene fra alle mørtelblandingene</i>	58

10. Litteraturliste

- [1] SINTEF, B.K., *Sement. Typer og egenskaper*. Byggforskblad 572.204, 2006.
- [2] SINTEF, B.K., *Styring av betongens herdneforløp*. Byggforskblad 520.030, 1994.
- [3] Gjerp, P., M. Opsahl, and S. Smeplass, *Grunnleggende betongteknologi*. 2004: Byggnæringens forl.
- [4] SINTEF, B.K., *Tilsetningsstoffer for betong*. Byggforskblad 572.207, 2010.
- [5] *BASF Construction Chemicals*. 08.12.2011; Available from: www.basf-cc.no.
- [6] Mathiesen, M.T.H.A.B.D., *Anvisning i grønn beton*. Center for Grønn Beton, teknologisk institutt, Desember 2002.
- [7] NVE, E., Norges forskningsråd og Innovasjon Norge, *Varmeproduksjon basert på faste brensler*. Varmeproduksjon.
- [8] Østnor, T., *Forskning på alternative bindemidler innen COIN*. SINTEF Byggforsk, 2007.
- [9] Berg, D.L.D.W.v., ed. *Handbook on fly ash in concrete*. august 2008, Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf.
- [10] Maage, M., S. Helland, and R. Kompen, *Praktisk betongteknologi*. Norsk Betongforening, 1998.
- [11] Pernille Erland Jensen, A., DTU, *Fjernelse af tungmetaller fra røggasrensningsprodukter fra affaldsforbrænding*. Center for Arktisk Teknologi, Institut for Byggeri og Anlæg, 2008.
- [12] Kristiansen, B., *Beskrivelse av lavvarmebetong*. AF Gruppen Norge AS, 2011.
- [13] *Samtale med Eivind Heimdal, Unicon*. 2011.
- [14] Freiseleben Hansen, P. and E.J. Pedersen, *'Kalibrering og afprøving av Maturity-computer'*. Nordisk Betong, 1977.
- [15] Rasmussen, T. and T. Andersen, *Hærdeteknologi*. Beton-teknik, 1989.
- [16] Sjøpler, B., K. Kjellsen, and T. Fredvik, *Betong: Herdeteknologi*. Mur+Betong, 2009.
- [17] Kjær, U., *Rapport nr. 103 "Termiske egenskaper af beton"*. Betong- og Konstruktionsinstituttet, 1980.
- [18] *Samtale med Thorkild Rasmussen, Aalborg Portland*. 2011.
- [19] SINTEF, B.K., *Kvalitetskontroll av fersk betong*. Byggforskblad 520.027, 2006.
- [20] *Synkmål, in Prøving av fersk betong, del 2*. 2000: NS-EN 12350.

- [21] *Samtale med Frode Skåttun, Unicon. 2011.*
- [22] *Luftinnhold. Trykkmåling, in Prøving på fersk betong, del 7. 2000: NS-EN 12350.*
- [23] *Statens vegvesen, 14.625 Luftinnhold. Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 1997.*
- [24] *Densitet, in Prøving av fersk betong, del 6. 2000: NS-EN 12350.*

11. Vedlegg

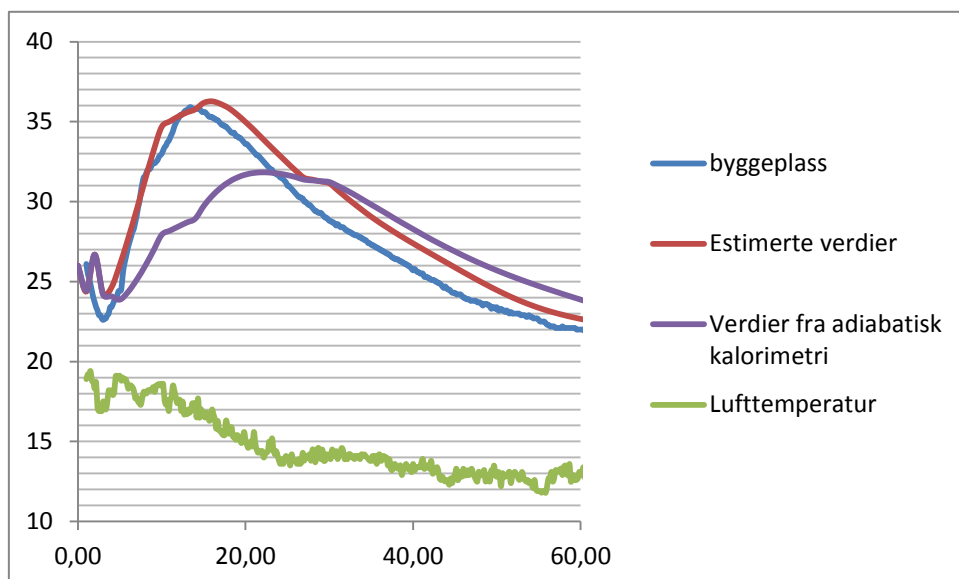
- 1. Sammenlikning av temperatursimulering i TempSim med temperaturforløpet på byggeplass**
- 2. Siktekurver**
- 3. Blanderresepter**
- 4. Varmebidrag fra flyveaske med resepter**
- 5. Tilsetningsstoffer**
 - 5.A Produktbeskrivelse**
 - 5.B Temperaturkurver for betong**
- 6. Trykkfasthetsmålinger**
- 7. Målinger på betong**
 - 7.A Målinger på fersk betong**
 - 7.B Målinger på herdnet betong**

1. Sammenlikning av temperatursimulering i TempSim med temperaturforløpet på byggeplass

1.1 Bunnplatestøp på Idun, Sandaker 9.6.2011



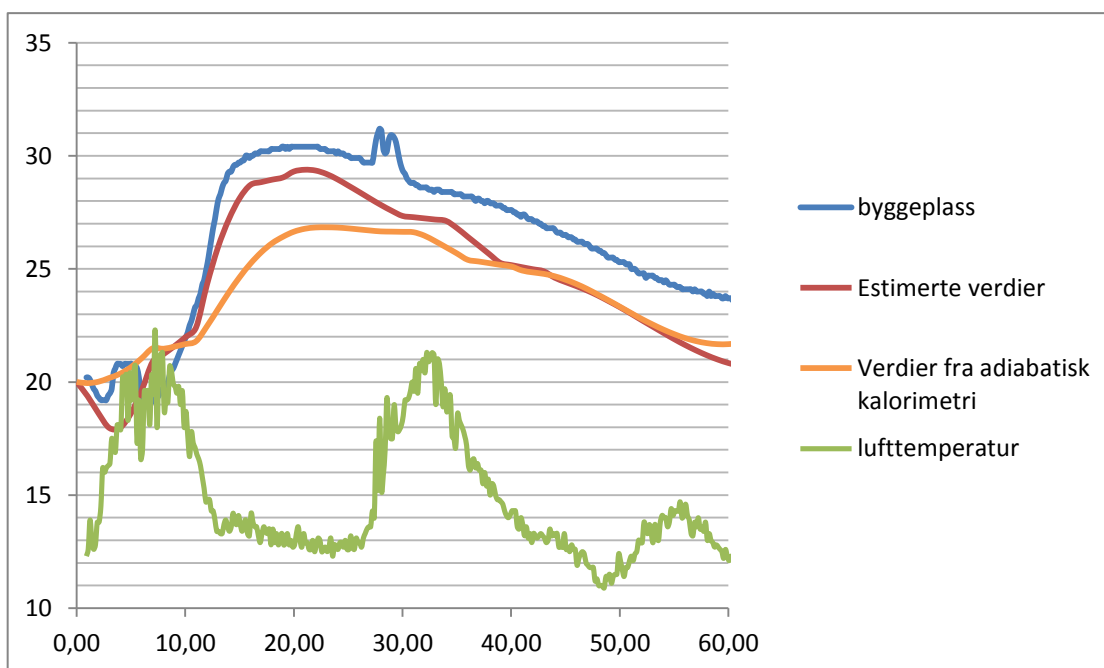
Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Bunnplate	Overside		
Sement	261	kg/m ³	Tykkelse	0,30 m	0	17/19	48
Flyveaske	129	kg/m ³	Betongtemp.	26 °C	23	15/19	62
Mikrosilika	10	kg/m ³	Utstøping start	15:00			
Vann	146	kg/m ³	Retarding	0			
Romvekt	2340	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside: herdnet betong		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	Temperatur [°C]		19
					Romvekt [kg/m ³]		2300
Byggeplass	36 °C	13 t	Qu [kJ/kg P]	262	Varmefylde [kJ/kg/°C]		0,90
Estimert	36 °C	15 t	Te [timer]	12,1	Varmeledning [kJ/m/h/°C]		6,0
Forskjell	0 °C	2 t	α	1,04			



1.2 Bunnplatestøp på Fossumhagen, Stovner 29.9.2011

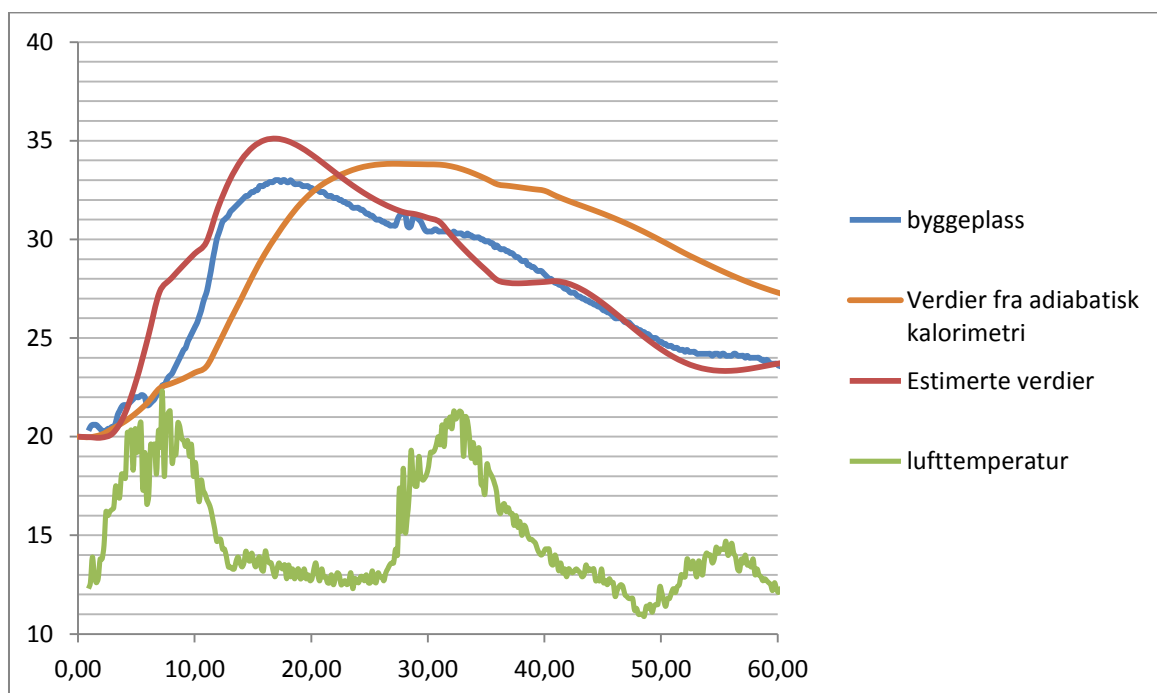


Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Bunnplate	Overside		
Sement	278	kg/m ³	Tykkelse	0,3 m	0	12/12	62
Flyveaske	137	kg/m ³	Betongtemp.	20 °C	7	12/20	62
Mikrosilika	11	kg/m ³	Utstøping start	09:00	13	14/22	62
Vann	156	kg/m ³	Retarding	0	25	13/14	62
Romvekt	2379	kg/m ³			32	13/21	62
Resultater			Egenskaper		Underside: herdnet betong		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	Temperatur [°C]		10
Byggeplass	30,4 °C	20 t	Qu [kJ/kg P]	262	Romvekt [kg/m ³]		2300
Estimert	29,3 °C	20 t	Te [timer]	12,1	Varmefylde [kJ/kg/°C]		0,90
Forskjell	1,1 °C	0 t	α	1,04	Varmeledning [kJ/m/h/°C]		6,0



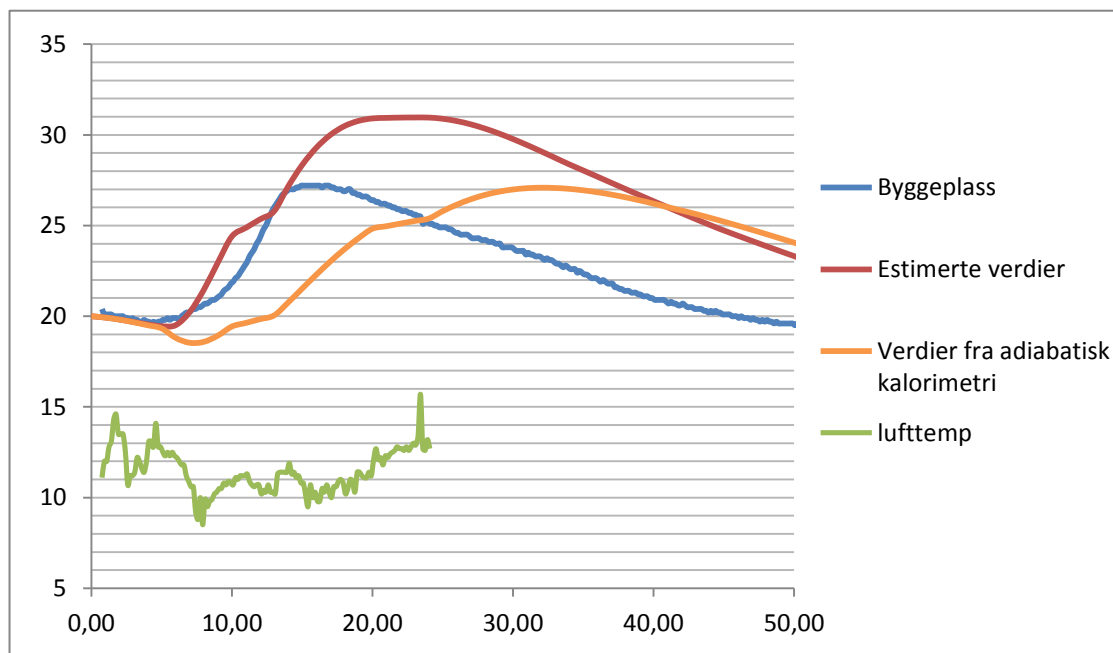
1.3 Bunnplatestøp på Fossumhagen, Stovner 29.9.2011

Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Bunnplate	Overside		
Sement	278	kg/m ³	Tykkelse	0,45 m	0	12/12	62
Flyveaske	137	kg/m ³	Betongtemp.	20 °C	7	12/20	62
Mikrosilika	11	kg/m ³	Utstøping start	09:00	13	14/22	62
Vann	156	kg/m ³	Retardering	0	25	13/14	62
Romvekt	2379	kg/m ³			32	13/21	62
Resultater			Egenskaper		Underside: herdnet betong		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	Temperatur [°C]		10
Byggeplass	32,8 °C	16 t	Qu [kJ/kg P]	262	Romvekt [kg/m ³]		2300
Estimert	35 °C	16 t	Te [timer]	12,1	Varmefylde [kJ/kg/°C]		0,90
Forskjell	2,2 °C	1 t	α	1,04	Varmeledning [kJ/m/h/°C]		6,0
Adia. kalo.	33,8 °C	26 t	Varmeutvikling	Adia. kalo.			
Forskjell	1 °C	10 t	Qu [kJ/kg P]	279			
			Te [timer]	19			
			α	1,03			



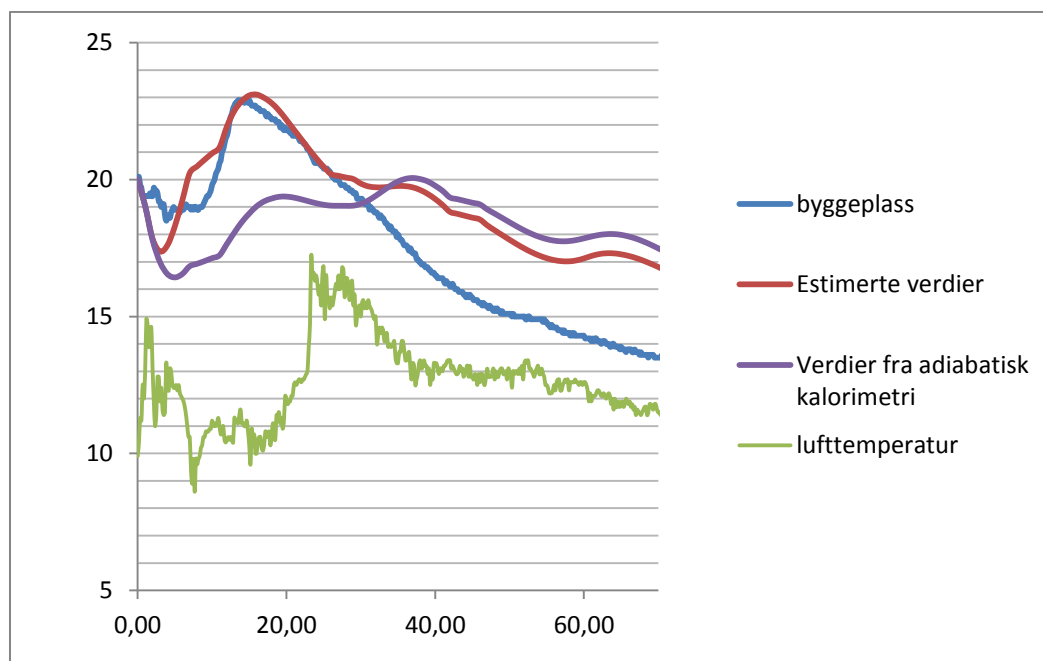
1.4 Dekkestøp mot underlag i Kværnerbyen 31.10.11 – 0,4 meter tykkelse

Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Dekke	Overside		
Sement	263	kg/m ³	Tykkelse	0,4 m	0	11/14	76
Flyveaske	130	kg/m ³	Betongtemp.	20 °C	1	9/14	76
Mikrosilika	10	kg/m ³	Utstøping start	09:00	9	9/11	76
Vann	149	kg/m ³	Retardering	0	15	10/11	62
Romvekt	2378	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside: herdnet betong		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	Temperatur [°C]		10
					Romvekt [kg/m ³]		2300
Byggeplass	27 °C	15 t	Qu [kJ/kg P]	263	Varmefylde [kJ/kg/°C]		0,90
Estimert	31 °C	20 t	Te [timer]	12,2	Varmeledning [kJ/m/h/°C]		6,0
Forskjell	4 °C	5 t	α	1,03			
Adia. kalo.	27 °C	30 t	Varmeutvikling	Adia. kalo.			
Forskjell	0 °C	15 t	Qu [kJ/kg P]	279			
			Te [timer]	19			
			α	1,03			



1.5 Dekkestøp med underlag i Kværnerbyen 31.10.11 – 0,22 meter tykkelse

Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Dekke	Overside		
Sement	263	kg/m ³	Tykkelse	0,22 m	0	10/15	62
Flyveaske	130	kg/m ³	Betongtemp.	20 °C	7	9/15	62
Mikrosilika	10	kg/m ³	Utstøping start	09:00	23	9/17	62
Vann	149	kg/m ³	Retardering	0	37	13/17	62
Romvekt	2378	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside: herdnet betong		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	Temperatur [°C]		10
					Romvekt [kg/m ³]		2300
Byggeplass	32,8 °C	13,5 t	Qu [kJ/kg P]	263	Varmefylde [kJ/kg/°C]		0,90
Estimert	32,8 °C	16 t	Te [timer]	12,2	Varmeledning [kJ/m/h/°C]		6,0
Forskjell	0 °C	2,5 t	α	1,03			

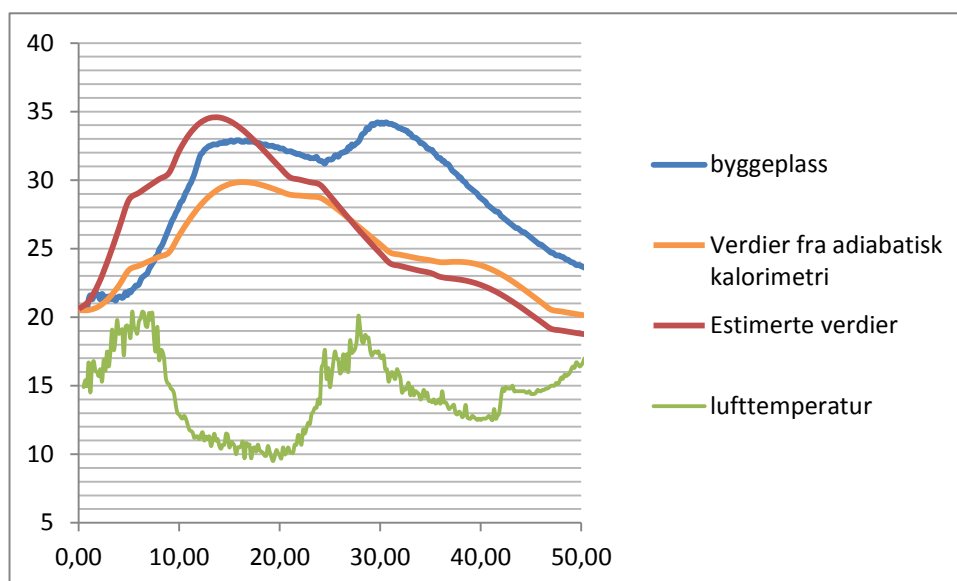


1.6 Dekkestøp på Fossumhagen, Stovner 9.9.2011

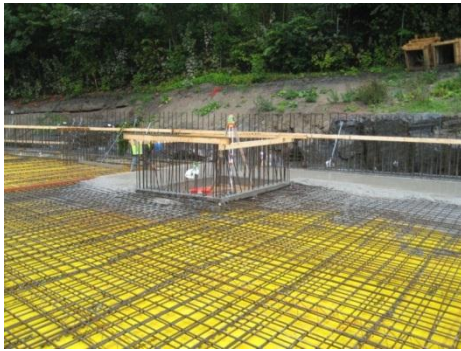


Denne betongen inneholder retarder, og ved å sette inn 3 timer retarderingstid får jeg en denne kurven:

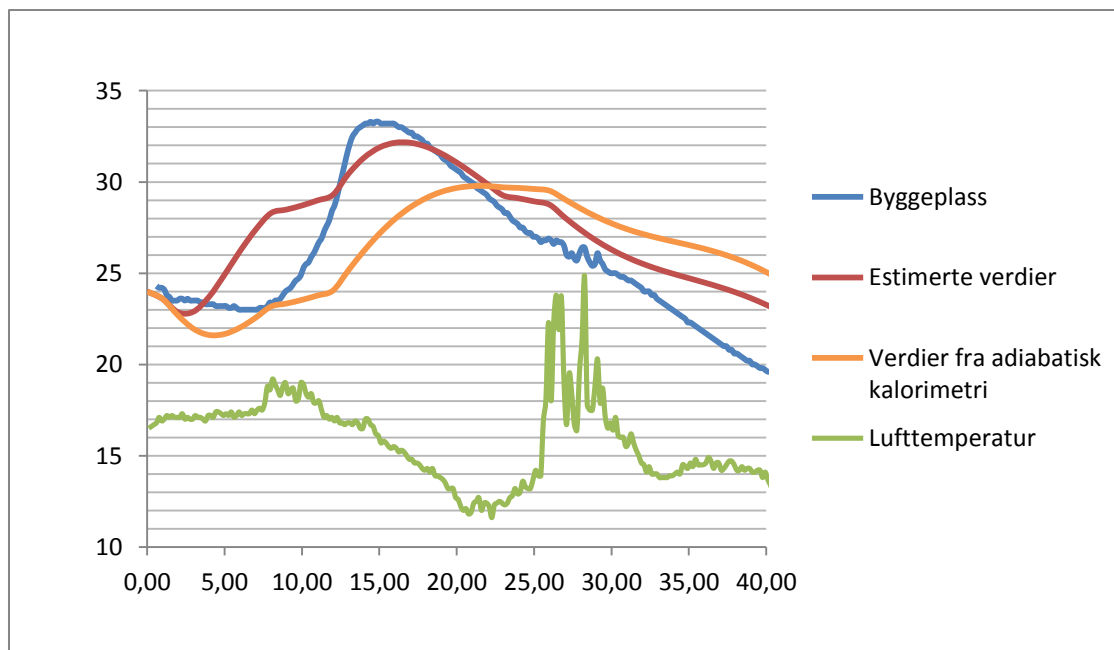
Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept		Konstruksjonsbeskrivelse			Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B100		Konstruksjon	Dekke	Overside		
Sement	271	kg/m ³	Tykkelse	0,35 m	0	15/15	62
Flyveaske	138	kg/m ³	Betongtemp.	20,6 °C	6	15/20	48
Mikrosilika	0	kg/m ³	Utstøping start	11:00	11	12/20	48
Vann	145	kg/m ³	Retardering	0	20	10/20	48
Romvekt	2378	kg/m ³			28	10/18	48
Resultater		Egenskaper			39	13/18	48
	Maks.-temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	Underside		
					0	15/15	62
Byggeplass	33,9 °C	16 t	Qu [kJ/kg P]	263	6	15/20	48
Estimert	34,5 °C	13 t	Te [timer]	12,2	11	12/20	48
Forskjell	1,6 °C	3 t	α	1,03	20	10/20	48
					28	10/18	48
					39	13/18	48



1.7 Dekkestøp i Kværnerbyen 5.9.2011



Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B100		Konstruksjon	Dekke	Overside		
Sement	272	kg/m ³	Tykkelse	0,25 m	0	17/17	62
Flyveaske	137	kg/m ³	Betongtemp.	24 °C	8	15/20	34
Mikrosilika	0	kg/m ³	Utstøping start	09:00	20	13/19	34
Vann	138	kg/m ³	Retardering	0			
Romvekt	2338	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	0	17/17	62
Byggeplass	33,3 °C	14 t	Qu [kJ/kg P]	262	8	15/20	34
Estimert	32,1 °C	16 t	Te [timer]	12,2	20	13/19	34
Forskjell	1,2 °C	2 t	α	1,03			

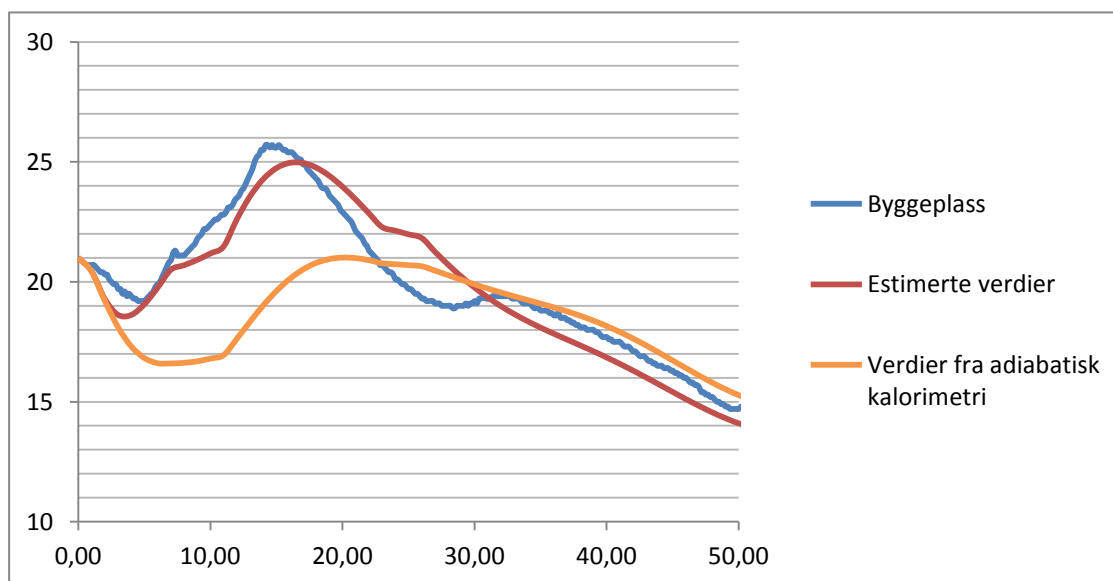


1.8 Dekkestøp i Kværnerbyen 19.9.2011



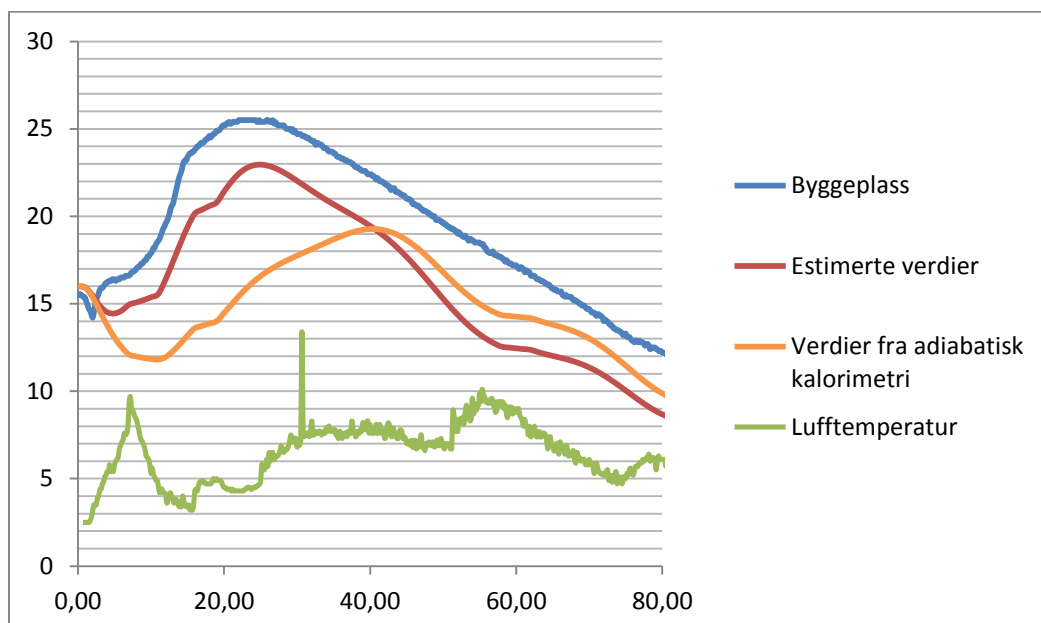
Temperaturmålingen fra byggeplassen så ut til å være feilaktig, derfor brukte jeg yr.no sin værmelding denne dagen.

Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjonsbeskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Dekke	Overside		
Sement	270	kg/m ³	Tykkelse	0,25 m	0	11/11	62
Flyveaske	134	kg/m ³	Betongtemp.	21 °C	7	11/14	48
Mikrosilika	10	kg/m ³	Utstøping start	08:00	20	11/13	48
Vann	154	kg/m ³	Retardering	0			
Romvekt	2327	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside		
	Maks.-temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	0	11/11	62
Byggeplass	25,7 °C	14 t	Qu [kJ/kg P]	262	7	11/14	48
Estimert	25 °C	16 t	Te [timer]	12,2	20	11/13	48
Forskjell	0,7 °C	2 t	α	1,04			



1.9 Dekkestøp Kværnerbyen 09.11.11 - 40 cm

Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Dekke	Overside		
Sement	264	kg/m ³	Tykkelse	0,40 m	0	3/3	62
Flyveaske	131	kg/m ³	Betongtemp.	16 °C	7	3/9	62
Mikrosilika	10	kg/m ³	Utstøping start	06:30	13	4/9	62
Vann	148	kg/m ³	Retardering	0	53	4/9	34
Romvekt	2337	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	0	3/3	62
					7	3/9	62
Byggeplass	25,5 °C	22 t	Qu [kJ/kg P]	261	13	4/9	62
Estimert	23 °C	24 t	Te [timer]	12,1	53	4/9	34
Forskjell	2,5 °C	2 t	α	1,04			

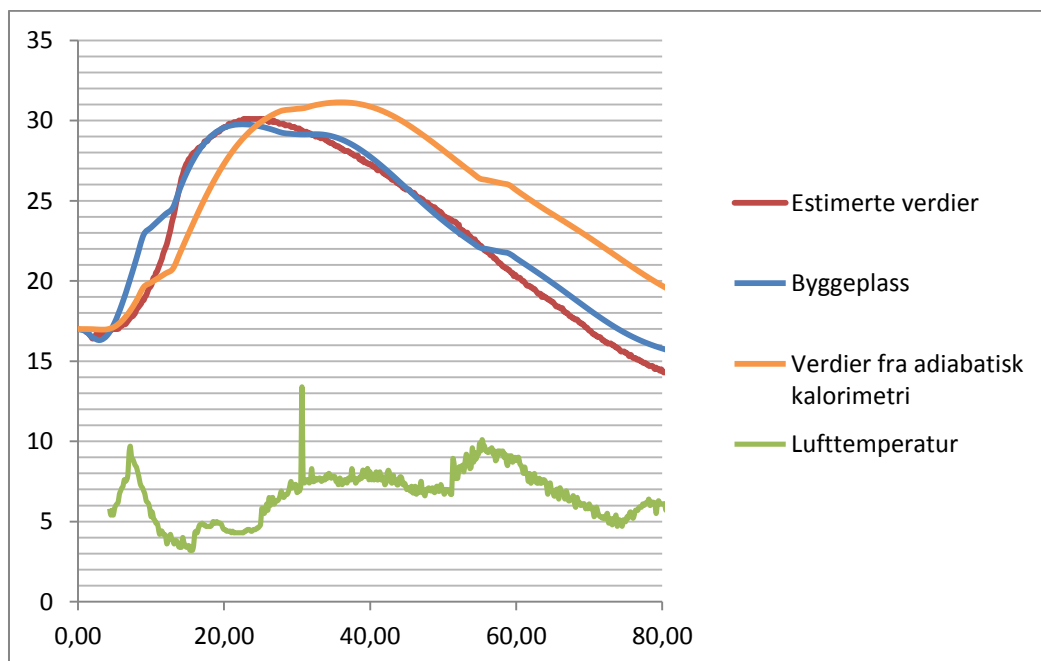


1.10 Dekkestøp Kværnerbyen 09.11.11 - 70 cm



Følerne ble plassert 15 cm fra dekkekanten, og målingen fra TempSim er hentet fra samme posisjon i dekket. I tillegg vil det i dette tilfellet være mindre, men konstant vind på undersiden av dekket.

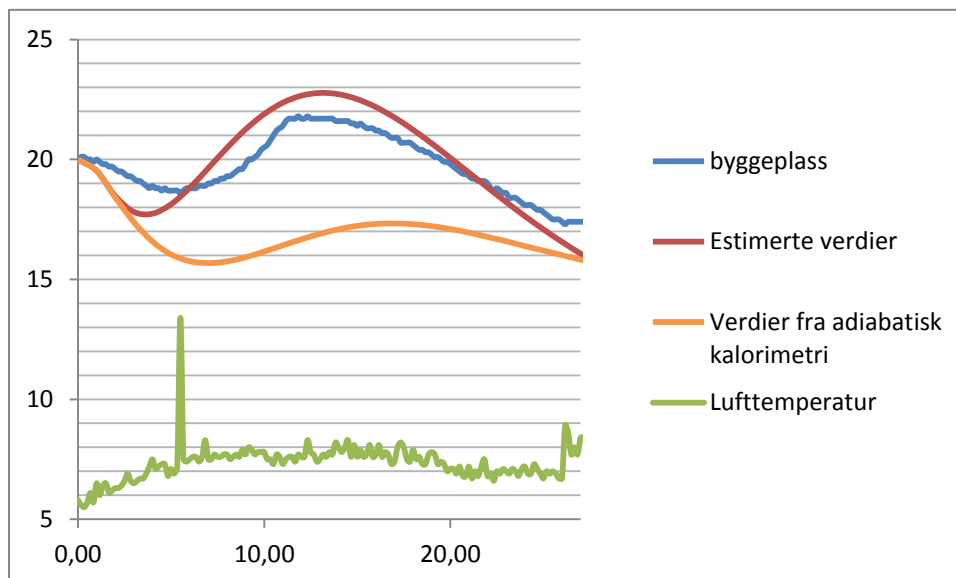
Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Dekke	Overside		
Sement	264	kg/m ³	Tykkelse	0,70 m	0	5/9	62
Flyveaske	131	kg/m ³	Betongtemp.	16 °C	9	4/9	62
Mikrosilika	10	kg/m ³	Utstøping start	07:00	25	4/7	34
Vann	148	kg/m ³	Retardering	0	50	7/9	34
Romvekt	2337	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	0	5/9	48
Byggeplass	30,1 °C	24 t	Qu [kJ/kg P]	261	9	4/9	48
Estimert	29,8 °C	22 t	Te [timer]	12,1	25	4/7	48
Forskjell	0,3 °C	2 t	α	1,04	50	7/9	48



1.11 Dekkestøp Kværnerbyen 10.11.11 - 25 cm



Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Dekke	Overside		
Sement	274	kg/m ³	Tykkelse	0,25 m	0	5/7	34
Flyveaske	135	kg/m ³	Betongtemp.	20 °C			
Mikrosilika	11	kg/m ³	Utstøping start	07:30			
Vann	154	kg/m ³	Retardering	0			
Romvekt	2324	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	0	5/7	34
Byggeplass	30,1 °C	24 t	Qu [kJ/kg P]	262			
Estimert	29,8 °C	22 t	Te [timer]	12,1			
Forskjell	0,3 °C	2 t	α	1,04			

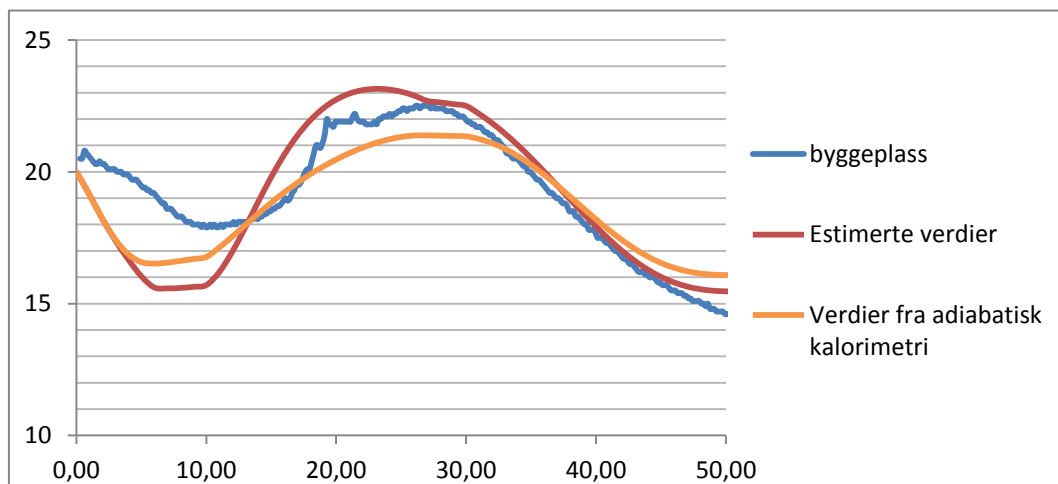


VEGGER

1.12 Veggstøp Kværnerbyen 16.9.2011



Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Vegg	Overside		
Sement	270	kg/m ³	Tykkelse	0,12 m	0	11/11	18,5
Flyveaske	134	kg/m ³	Betongtemp.	21 °C	6	11/14	18,5
Mikrosilika	10	kg/m ³	Utstøping start	15:00	24	11/14	18,5
Vann	152	kg/m ³	Retardering	0			
Romvekt	2324	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	Estimerte verdier	0	11/11	18,5
					6	11/14	18,5
Byggeplass	22,5 °C	26 t	Qu [kJ/kg P]	262	24	11/14	18,5
Estimert	23 °C	22 t	Te [timer]	12,1			
Forskjell	0,5 °C	4 t	α	1,04			
Adia. kalo.	21,4 °C	26 t					
Forskjell	0,9 °C	0 t					

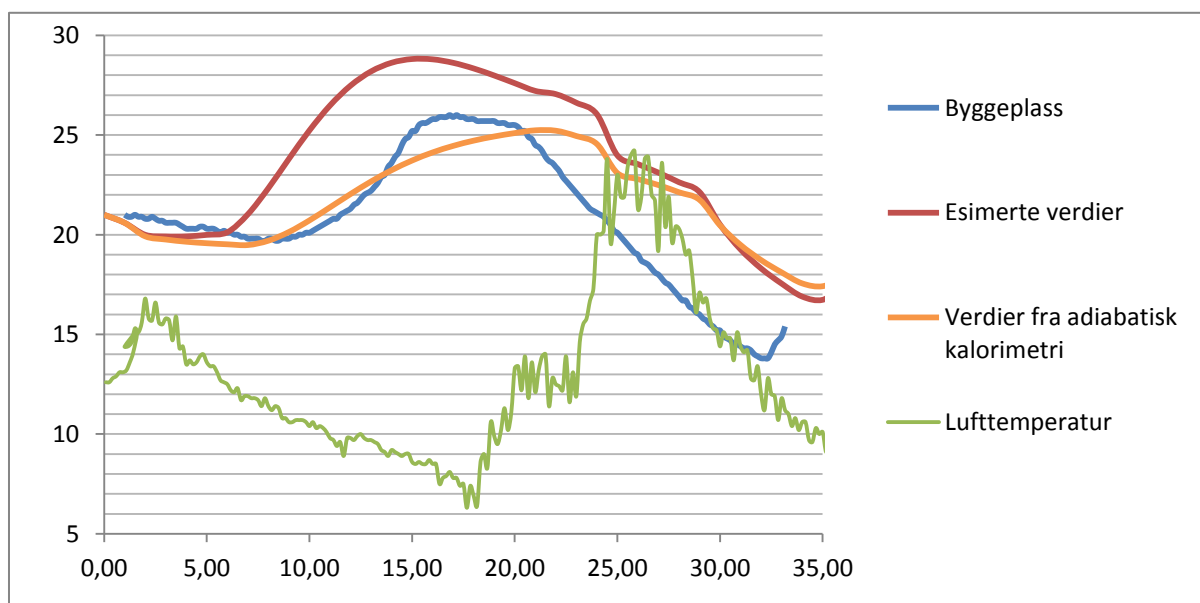


1.13 Veggstøp Kværnerbyen 22.9.2011

Forskalingen ble fjernet etter ca. 18 timer.



Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B102		Konstruksjon	Vegg	Overside		
Sement	260	kg/m ³	Tykkelse	0,30 m	0	12/13	26
Flyveaske	131	kg/m ³	Betongtemp.	20 °C	2	12/15	26
Mikrosilika	8	kg/m ³	Utstøping start	14:45	18	6/15	76
Vann	146	kg/m ³	Retardering	0	26	6/21	76
Romvekt	2337	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside		
Kurve	Maks.-temp.	Tid	Varmeutvikling	Estimert			
Byggeplass	25,8 °C	16 t	Qu [kJ/kg P]	262	0	12/13	26
Estimerte	28,8 °C	15 t	Te [timer]	12,1	2	12/15	26
Forskjell	3 °C	1 t	α	1,03	18	6/15	76
			Varmeutvikling	Adia. kalo.	26	6/21	76
Byggeplass	25,8 °C	16 t	Qu [kJ/kg P]	279			
Adia. kalo.	25,2 °C	21 t	Te [timer]	20			
Forskjell	0,6 °C	5 t	α	1,03			

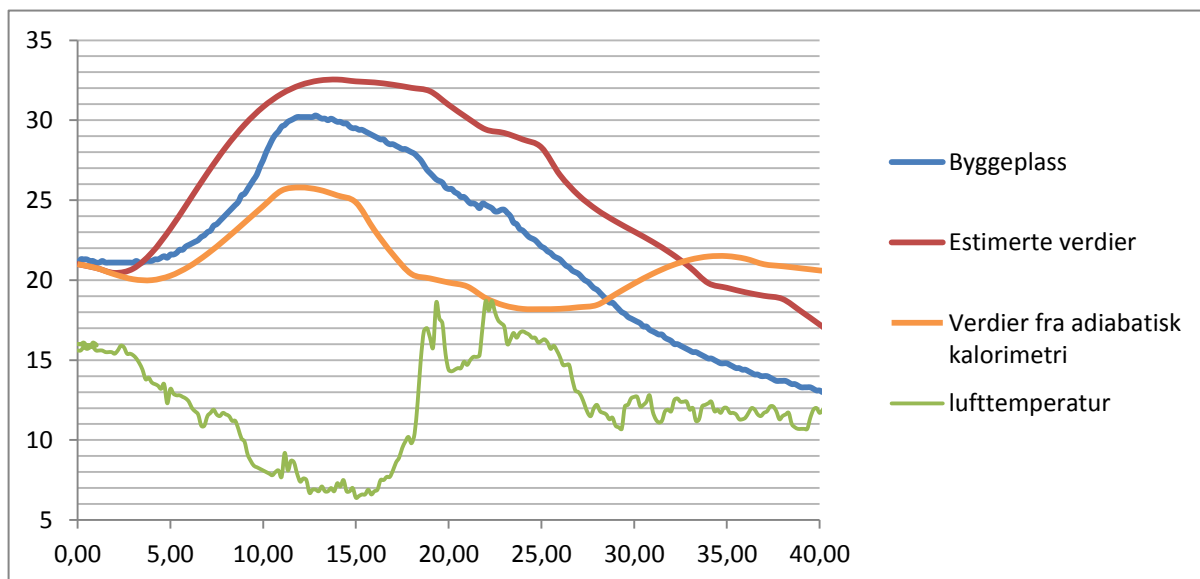


1.14 Veggstøp Kværnerbyen 26.9.2011



Forskalingen ble fjernet etter ca. 19 timer.

Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Vegg	Overside		
Sement	272	kg/m ³	Tykkelse	0,30 m	0	16/16	24,3
Flyveaske	135	kg/m ³	Betongtemp.	21 °C	15	7/16	24,3
Mikrosilika	10	kg/m ³	Utstøping start	14:45	19	7/19	76
Vann	152	kg/m ³	Retardering	0	29	11/19	76
Romvekt	2327	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	0	16/16	24,3
					15	7/16	24,3
Byggeplass	30,3 °C	13 t	Qu [kJ/kg P]	262	19	7/19	76
Estimert	32,5 °C	13 t	Te [timer]	12,1	29	11/19	76
Forskjell	2,2 °C	0 t	α	1,03			
Byggeplass	30,3 °C	13 t					
Adia. kalo.	25,6 °C	11 t					
Forskjell	4,7 °C	2 t					



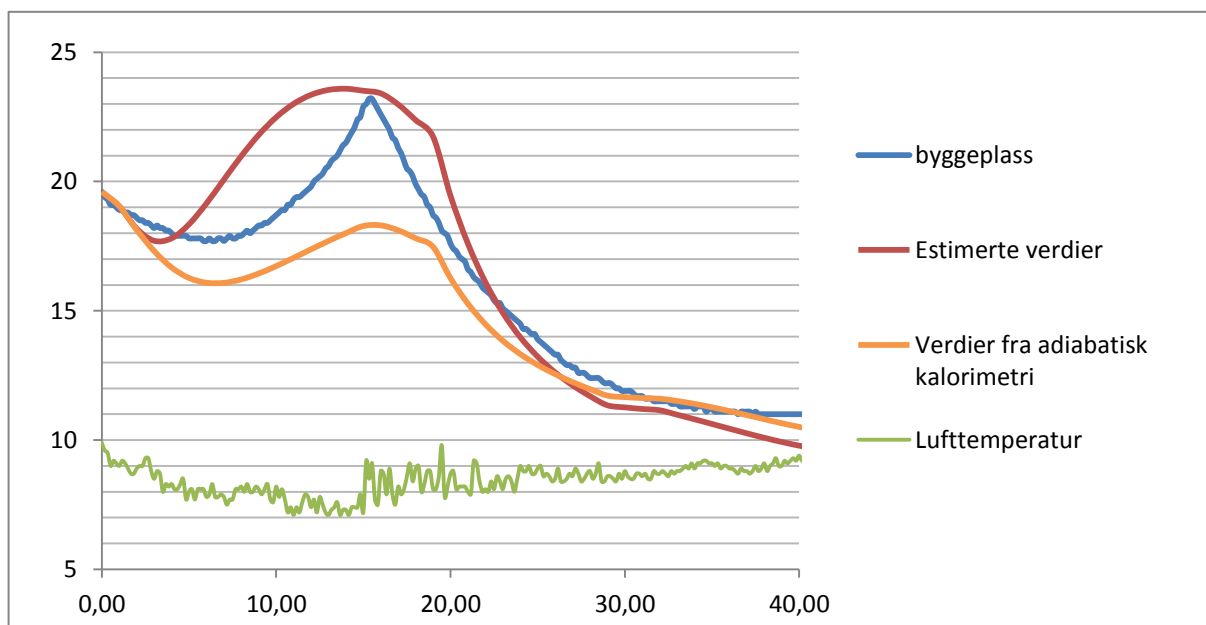
1.15 Veggstøp Kværnerbyen 3.11.11



To målinger av samme vegg.

Veggforskalingen ble fjernet etter omtrent 15 timer.

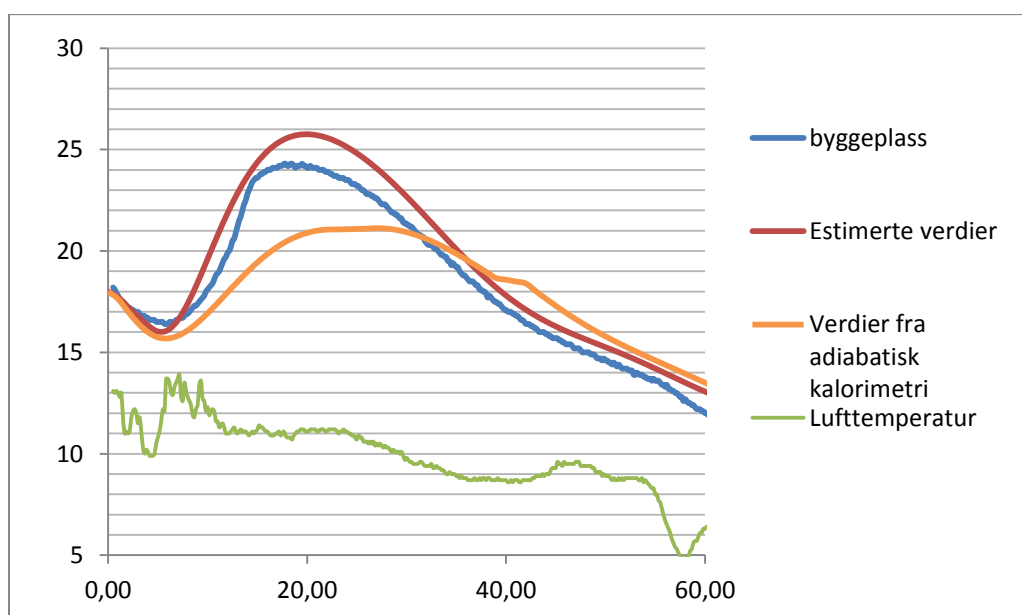
Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B002		Konstruksjon	Vegg	Overside		
Sement	258	kg/m ³	Tykkelse	0,20 m	0	9/9	24,3
Flyveaske	128	kg/m ³	Betongtemp.	20 °C	15	8/9	90
Mikrosilika	10	kg/m ³	Utstøping start	16:00	26	8/9	62
Vann	144	kg/m ³	Retardering	0	44	9/10	62
Romvekt	2339	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	0	9/9	24,3
Byggeplass	23,2 °C	15 t	Qu [kJ/kg P]	262	15	8/9	90
Estimert	24 °C	14 t	Te [timer]	12,1	26	8/9	62
Forskjell	0,8 °C	1 t	α	1,03	44	9/10	62



1.16 Veggstøp Kværnerbyen 4.11.11

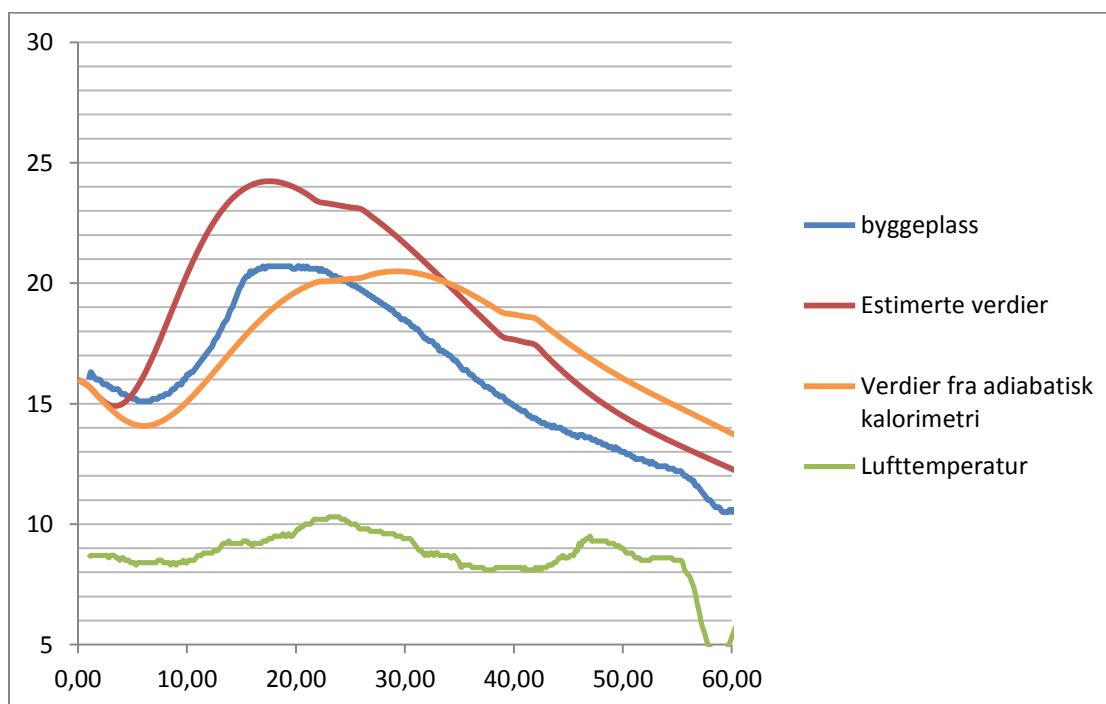


Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B002		Konstruksjon	Vegg	Overside		
Sement	264	kg/m ³	Tykkelse	0,20 m	0	9/9	20,4
Flyveaske	130	kg/m ³	Betongtemp.	20 °C	22	9/10	20,4
Mikrosilika	10	kg/m ³	Utstøping start	16:00	36	8/9	20,4
Vann	148	kg/m ³	Retardering	2 timer			
Romvekt	2333	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	0	9/9	20,4
Byggeplass	24,3 °C	18 t	Qu [kJ/kg P]	262	22	9/10	20,4
Estimert	25,7 °C	19 t	Te [timer]	12,1	36	8/9	20,4
Forskjell	1,4 °C	1 t	α	1,03			



1.17 Veggstøp Kværnerbyen 4.11.11

Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B000		Konstruksjon	Vegg	Overside		
Sement	264	kg/m ³	Tykkelse	0,20 m	0	9/9	20,4
Flyveaske	130	kg/m ³	Betongtemp.	20 °C	22	9/10	20,4
Mikrosilika	10	kg/m ³	Utstøping start	16:00	36	8/9	20,4
Vann	148	kg/m ³	Retardering	2 timer			
Romvekt	2333	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper		Underside		
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	0	9/9	20,4
					22	9/10	20,4
Byggeplass	20,7 °C	16 t	Qu [kJ/kg P]	262	36	8/9	20,4
Estimert	24,2 °C	17 t	Te [timer]	12,1			
Forskjell	3,5 °C	1 t	α	1,03			
			Varmeutvikling	Adia. kalo.			
Byggeplass	20,7 °C	16 t	Qu [kJ/kg P]	279			
Adia. kalo.	20,5 °C	28 t	Te [timer]	20			
Forskjell	0,2 °C	12 t	α	1,03			

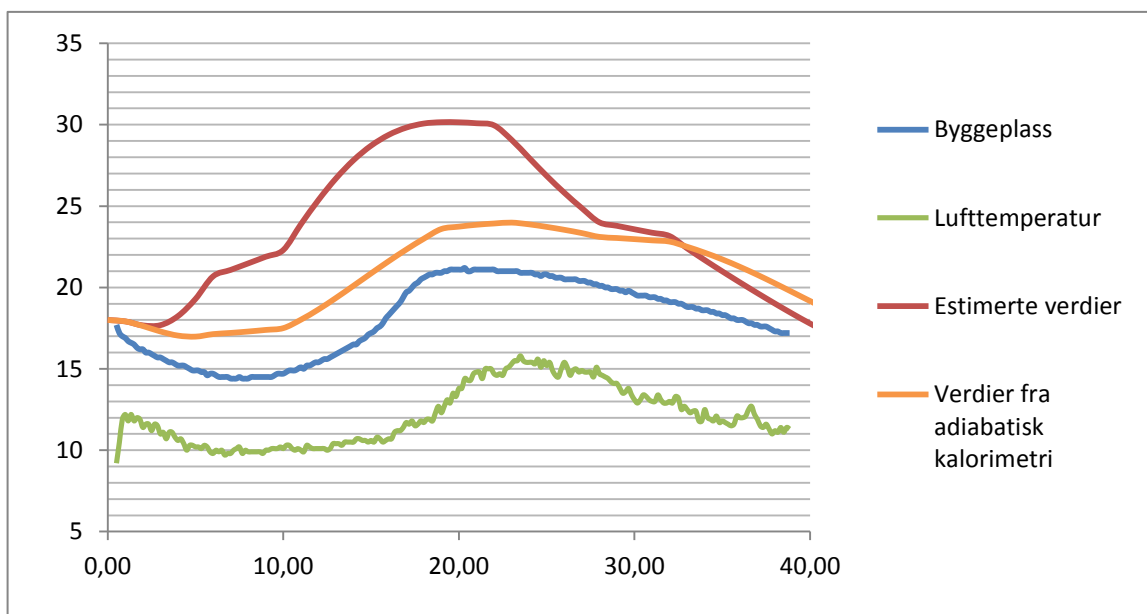


1.18 Søylestøp Fossumhagen, Stovner 26.10.11



Forskalingen ble revet etter omtrent 16 timer.

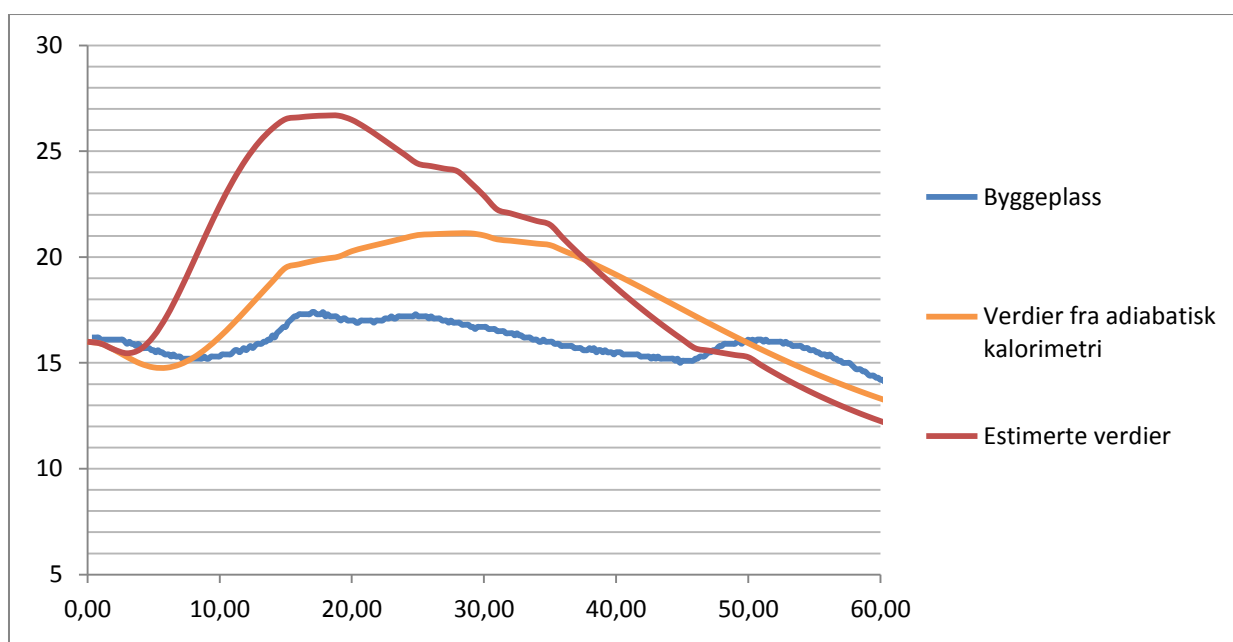
Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B100		Konstruksjon	Søyle	Sidekanter 1,2,3,4		
Sement	273	kg/m ³	Tykkelse	0,3*0,6 m	0	10/12	21,7
Flyveaske	135	kg/m ³	Betongtemp.	18 °C	6	10/12	21,7
Mikrosilika	11	kg/m ³	Utstøping start	17:00	16	10/15	62
Vann	154	kg/m ³	Retardering	0 timer	23	10/15	62
Romvekt	2333	kg/m ³			37	12/12	62
Resultater			Egenskaper				
	Maks.-	Tid	Varmeutvikling	Adiabatisk			
Byggeplass	21,2 °C	20,5 t	Qu [kJ/kg P]	279			
TempSim	24 °C	22 t	Te [timer]	20			
Forskjell	2,8 °C	1,5 t	α	1,03			
			Varmeutvikling	Estimert			
Byggeplass	21,2 °C	20,5 t	Qu [kJ/kg P]	262			
Estimert	30,2 °C	19 t	Te [timer]	12,1			
Forskjell	9 °C	1,5 t	α	1,03			



1.19 Søylestøp Fossumhagen, Stovner 28.10.11



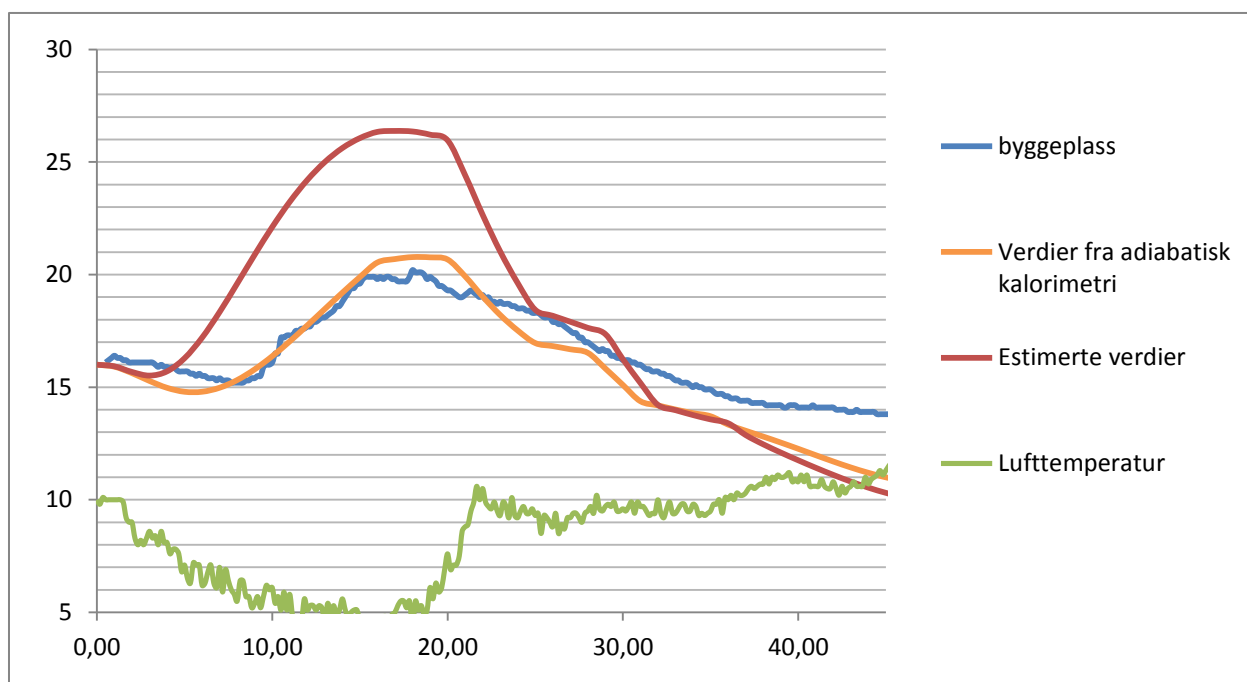
Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B100		Konstruksjon	Søyle	Sidekanter 1, 2, 3, 4		
Sement	273	kg/m ³	Tykkelse	0,3*0,6 m	0	10/10	25
Flyveaske	134	kg/m ³	Betongtemp.	16 °C	16	4/10	25
Mikrosilika	11	kg/m ³	Utstøping start	15:00	22	4/8	25
Vann	153	kg/m ³	Retardering	0 timer	26	8/10	25
Romvekt	2384	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper				
	Maks.-	Tid	Varmeutvikling	Adiabatisk			
Byggeplass	17,4 °C	17 t	Qu [kJ/kg P]	279			
Adiabatisk	21,1 °C	26 t	Te [timer]	20			
Forskjell	3,7 °C	6 t	α	1,03			
			Varmeutvikling	Estimert			
Byggeplass	17,4 °C	17 t	Qu [kJ/kg P]	262			
Estimert	26,7 °C	19 t	Te [timer]	12,1			
Forskjell	9,3 °C	2 t	α	1,03			



1.20 Søylestøp Fossumhagen, Stovner 28.10.11

Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B100		Konstruksjon	Søyle	Sidekanter 1, 2, 3, 4		
Sement	273	kg/m ³	Tykkelse	0,3*0,6 m	0	10/10	25
Flyveaske	134	kg/m ³	Betongtemp.	16 °C	16	4/10	100
Mikrosilika	11	kg/m ³	Utstøping start	16:00	22	4/8	100
Vann	153	kg/m ³	Retardering	0 timer	26	8/10	100
Romvekt	2384	kg/m ³					
Resultater			Egenskaper				
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	Adiabatisk kalorimetri			
Byggeplass	20,2 °C	18 t	Qu [kJ/kg P]	279			
Adiabatisk	20,6 °C	19 t	Te [timer]	20			
Forskjell	0,4 °C	1 t	α	1,03			
			Varmeutvikling	Estimert			
Byggeplass	20,2 °C	18 t	Qu [kJ/kg P]	262			
Estimert	26,4 °C	17 t	Te [timer]	12,1			
Forskjell	6,2 °C	1 t	α	1,03			

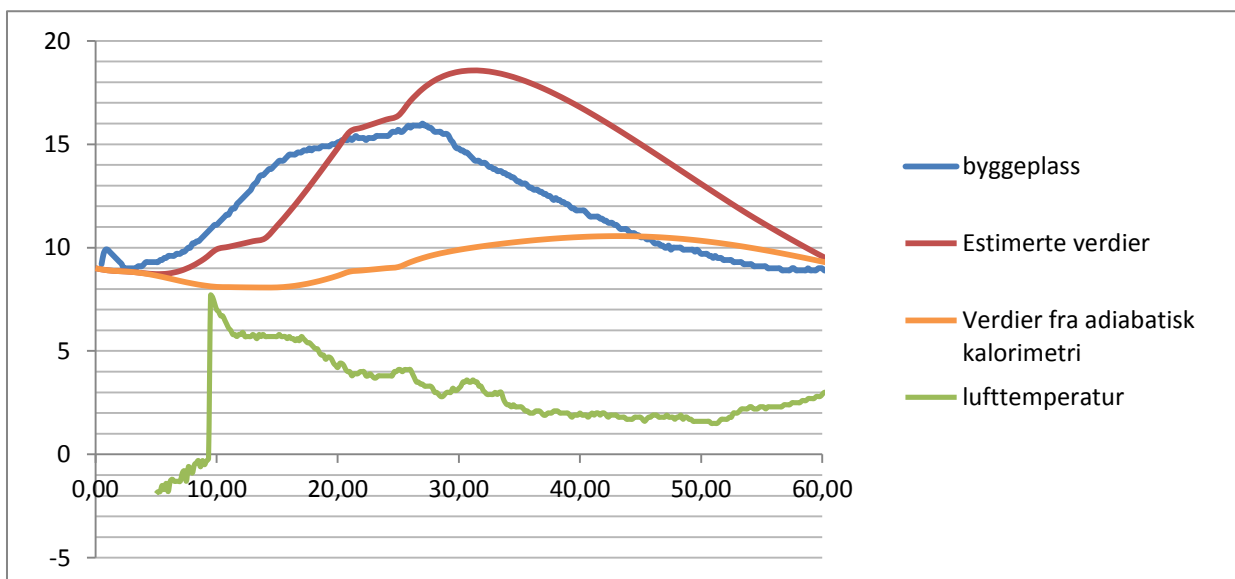
Forskalingen fjernes etter 16 timer



1.21 Bjelke mot underlag, Fossumhagen, Stovner 16.11.11



Input i TempSim					Randbetingelser		
Resept			Konstruksjons- beskrivelse		Tid	Temp [°C]	Overgangstall [kJ/m ² /h/°C]
Resept ID	B100		Konstruksjon	Bjelke	Side 1: overside		
Sement	273	kg/m ³	Tykkelse	0,3*0,6 m	0	-3/-3	34
Flyveaske	135	kg/m ³	Betongtemp.	18 °C	10	-1/1	48
Mikrosilika	11	kg/m ³	Utstøping start	10:00			
Vann	154	kg/m ³	Retardering	0 timer	Side 2 og 3: sidekanter		
Romvekt	2333	kg/m ³			0	-3/0	14,8
Resultater			Egenskaper		10	-1/1	14,8
	Maks.- temp.	Tid	Varmeutvikling	estimert	18	0/0	62
Byggeplass	17,1 °C	26 t	Qu [kJ/kg P]	262	Underlag: herdnet betong		
Estimert	18,6 °C	30 t	Te [timer]	12,1	Temp	-3	
Forskjell	1,5 °C	4 t	α	1,03	Romvekt	2300	
					Varmekapasitet	0,90	
					Varmeledning	6,0	



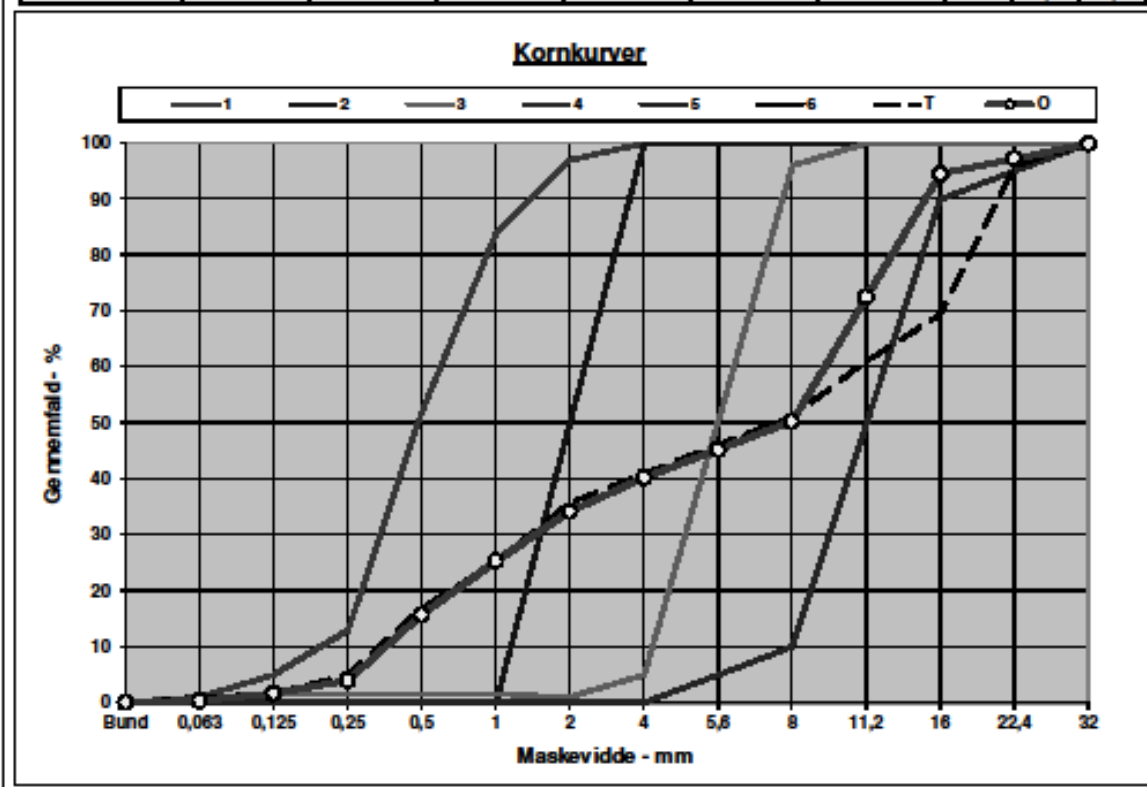
Vedlegg 2. Siktekurver

Sammenlikning av tilslag fra Danmark og Norge.

T er det norske tilslaget vi tilstreber og O er den aktuelle fra Danmark.

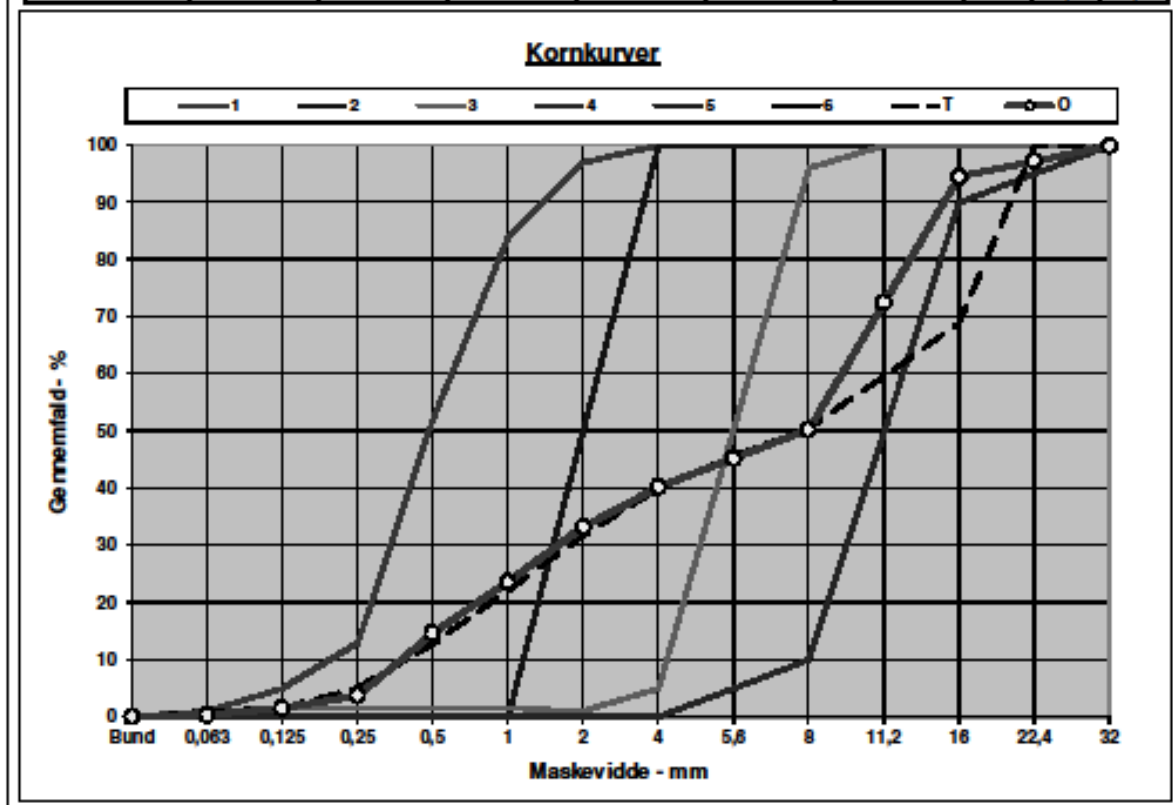
Receipt2000 Versjon 4.2 - 2011.06.06 - Kornkurver

Kornkurver									
Receipt-ID	Resept 1 - DK - LAB					Beton-ID	A35N22		
Receipt-Navn	-					Version	2011.07.20		
	Sand			Sten			Tilstr.	Opnået	Afv.
Markning på graf	1	2	3	4	5	6	T	O	A
Materialer	Nr. Halne sand		Kvartssand 1-4		Støsten 4-8 mm sans granit 8-16 mm				
Mængde kg/m ³	550,5	183,5		91,7	1009,2				
Vægt %	30	10		5	55				
Volumen %	30,2	10		5,1	54,7				
Densitet kg/m ³	2639	2672		2600	2678				
Absorption %	0,35	0,8		1,5	0,7				
Miljøklasse	A	A		A	A				
Maskevidde mm	Gennemfald - %								
64	100	100		100	100		100	100,0	0,0
32	100	100		100	100		100	100,0	0,0
22,4	100	100		100	95		95,9	97,2	1,3
16	100	100		100	90		89,4	94,5	25,1
11,5	100	100		100	50		61,1	72,5	11,4
8	100	100		96	10		51,2	50,3	-0,9
5,6	100	100		50,5	5		46,1	45,3	-0,8
4	100	100		5	0		40,9	40,2	-0,7
2	97	50		1	0		35,8	34,1	-1,7
1	84	0		1,5	0		25	25,3	0,3
0,5	52	0		1,5	0		16,9	15,7	-1,2
0,25	13	0		1,5	0		5,1	4,0	-1,1
0,125	5	0		1,5	0		1,5	1,6	0,1
0,063	1	0		0,3	0		1	0,3	-0,7
Bund	0	0		0	0		0	0,0	0,0



Receipt2000 Version 4.2 - 2011.06.06 - Kornkurver

Kornkurver									
Receipt-ID	Resept 2 - DK - LAB					Beton-ID	A35N22		
Receipt-Navn	-					Version	2011.07.20		
	Sand			Sten			Tilstr.	Opnået	Afv.
Mærkning på graf	1	2	3	4	5	6	T	O	A
Materiale	Nr. Halve sand	Kvartssand 1-4		Seston 4-8 mm	ans granit 8-16 mm				
Mængde kg/m ³	497,9	213,4		88,9	978,0				
Vægt %	28	12		5	55				
Volumen %	26,2	12		5,1	54,7				
Densitet kg/m ³	2630	2672		2600	2678				
Absorption %	0,35	0,8		1,5	0,7				
Miljøklasse	A	A		A	A				
Maskevidde mm	Gennemfald - %								
64	100	100		100	100		100	100,0	0,0
32	100	100		100	100		100	100,0	0,0
22,4	100	100		100	95		100	97,2	-2,8
16	100	100		100	90		60	94,5	25,5
11,5	100	100		100	50		59,7	72,5	12,8
8	100	100		95	10		50,5	50,3	-0,2
5,6	100	100		50,5	5		45,7	45,3	-0,4
4	100	100		5	0		39,9	40,2	0,3
2	97	50		1	0		31,7	33,2	1,5
1	84	0		1,5	0		22	23,6	1,6
0,5	52	0		1,5	0		12,8	14,6	1,8
0,25	13	0		1,5	0		5,1	3,7	-1,4
0,125	5	0		1,5	0		1,5	1,5	0,0
0,063	1	0		0,3	0		1	0,3	-0,7
Bund	0	0		0	0		0	0,0	0,0



Vedlegg 3. Blanderesepter

3.A Mørtelblanding: referanseblanding

BETONGRESEPT:		Referanseblanding				
Delmaterialer		%	kg	liter	kg/l	Vann i TSS
Aalborg Rapid	600		600,0	189,9	3,16	
SILIKA	0	0,0	-	0,0	2,20	
FLYVEASKE	300		300,0	136,4	2,20	
P	0,00	0,00	-	0,0	1,03	60,0 %
L	0,00	0,00	-	0,0	1,00	99,0 %
G. 151	0,00	0,00	-	0,0	1,00	72,0 %
G.234	0	0	0			82,0 %
G.552	0	0	0			85,0 %
0-8mm	2700	100,0	2700,0	1011,2	2,67	3,20 %
8-16mm		0,0	0,0	0,0	2,67	
16-22mm		0,0	0,0	0,0	2,70	
LUFTINNHOOLD I FERSK BETONG	4,0			40,0		
$V/(c+s*2+F*,7)$	0,410					
VANN	332,1			332,1	1,00	
Tilsatt vann			332,1			
SUM	3932,1		3 932,1	1710		
Absorbert fukt						
0-8mm	0,0 %					

3.B.1 Blandelogg for normal betong med P-stoff

Blanderapport

v. 1.14

side 1 d. 26.08.2011 kl. 11:24



Inspec.lot no.: 040000998189 Prod. Id, SKAKO: 2011082620056 Antal satse: 2

Salgsordre	351765	Receipt	UL57S-B000		
Prod.ordre	100651788				
Debitorkonto	1006912				
Adresse	AF Gruppen Norge AS Bygg Turbinveien 4 0196 Oslo 1120 Rune Farmen 48261355			Ønsket temperatur	10 °C
Fabrik	0101 Sjørøya1	Produceret (m³)	7,00	Ønsket konsistens	220
Følgeseddel	257763	Blandedato	26.08.2011	Blandemester	gegu
		Blandetidspunkt	10:38	Blander	000
				Vognnr.	598

Sammensætning	Materiale navn	Fugt %	Densitet kg/m³	Tilset(ber)	Blandet kg	1 m³(ber)	V.O.T.er
Pulver	Aalborg Portland CEM I 52,5 N		3.160	1.832	1.847	262	264
Pulver	Flyveaske k=0,7		2.200	906	902	129	129
Pulver	Silikastøv k=2		2.200	70	73	10	10
Additiver	Glenium 151	85,0	1.030	29,22	29,03	4,18	4,15
Additiver	Glenium SKY 552	82,5	1.040	13,40	13,39	1,91	1,91
Additiver	Microair 100 (1:19)	99,4	1.000	18,32	18,19	2,62	2,60
Additiver	P	60,0	1.190	9,16	9,22	1,31	1,32
Tilslag	0-8 Svelviksand	3,0	2.672	6.588,00	6.573,00	914,10	912,19
Tilslag	16-22 Svelviksand	0,2	2.650	3.990,00	3.982,00	568,83	567,78
Tilslag	8-16 mm Svelviksand	0,2	2.688	2.150,00	2.154,00	306,53	307,13
Vand	Kaldt vann		1.000	768	770	138	110
				Total fugt i tilslag			29
				Total kg	16.374	16.371	2.339
				Volumen (liter)	7.001	6.999	1.000

	Bør verdi	Målt/ bereg.	
Temperatur	10		°C
Total vand	147	147,148	l/m3
Ækvivalent cement målt/beregnet	372,152	375,069	kg/m3
Ækvivalent V/C- forhold målt/beregnet	0,395	0,392	
Konsistens	220		mm
Blandetid målt/beregnet	60,000	63,500	sec
Målt luftindhold på frisk betan	3,500		%
Wallmeter målt/beregnet			
Beregning af densitet	2338,877	2338,991	kg/m3

3.B.2 Blandelogg for normal betong uten P-stoff

Blanderapport

v. 1.14

side 1 d. 26.08.2011 kl. 11:29



Inspec.lot no.: 040000998375 Prod. Id, SKAKO: 2011082620059 Antal satse: 1

Salgsordre	351765	Receipt	UL57S-B000	
Prod.ordre	100651896			
Debitorkonto	1006912			
Adresse	AF Gruppen Norge AS Bygg Turbinveien 4 0196 Oslo 1120 Rune Farmen 48261355			Ønsket temperatur 10 °C Ønsket konsistens 220 Blandemester gegu Blander 000 Vognnr. 707
Fabrik	0101 Sjursøya1	Produceret (m³)	6,00	
Følgeseddel	257765	Blandedato	26.08.2011	
		Blandetidspunkt	11:01	

Sammensætning	Materiale navn	Fugt %	Densitet kg/m³	Tilsat(ber)	Blandet kg	1 m³(ber)	V.O.T.er
Pulver	Aalborg Portland CEM I 52,5 N		3.160	1.570	1.580	262	263
Pulver	Flyveaske k-0,7		2.200	776	778	129	130
Pulver	Silika støv k-2		2.200	60	59	10	10
Additiver	Microair 100 (1:19)	99,4	1.000	15,70	15,54	2,62	2,59
Additiver	Glenium 151	85,0	1.030	25,05	24,90	4,18	4,15
Additiver	Glenium SKY 552	82,5	1.040	11,48	11,57	1,91	1,93
Tilslag	0-8 Svelviksand	3,0	2.672	5.652,00	5.658,00	914,53	916,06
Tilslag	16-22 Svelviksand	0,2	2.650	3.421,00	3.427,00	569,10	570,36
Tilslag	8-16 mm Svelviksand	0,2	2.688	1.844,00	1.820,00	306,67	302,90
Vand	Kaldt vann		1.000	661	658	139	110
				Total fugt i tilslag			29
				Total kg	14.036	14.032	2.339
				Volumen (liter)	6.001	5.997	1.000

	Ber verdi	Målt/ bereg.	
Temperatur	10		°C
Total vand	147	146,655	l/m3
Ækvivalent cement målt/beregnet	372,152	373,916	kg/m3
Ækvivalent V/C- forhold målt/beregnet	0,395	0,392	
Konsistens	220		mm
Blandetid målt/beregnet	60,000	90,000	sec
Målt luftinnhold på frisk betong	3,500		%
Wallmeter målt/beregnet			
Beregning af densitet	2339,192	2339,980	kg/m3

3.B.3 Blandelogg for normal betong, B000 (Dmaks lik 22 mm)

Blanderapport

v. 1.14

side 1 d. 03.10.2011 kl. 17:34



Inspec.lot no.: 040001080743 Prod. Id, SKAKO: 2011091920067 Antal satse: 2

Salgsordre	369238	Receipt	UL57S-B000		
Prod.ordre	100704391				
Debitorkonto	1006912				
Adresse	AF Gruppen Norge AS Bygg Turbinveien 4 0196 Oslo 1120 Rune Farmen 48261355			Ønsket temperatur	10 °C
Fabrik	0101 Sjursøya2	Produceret (m³)	7,01	Ønsket konsistens	200
Følgeseddel	433493	Blandedato	19.09.2011	Blandemester	guda
		Blandetidspunkt	10:02	Blander	001
				Vognnr.	711

Sammensetning	Materialenavn	Fugt %	Densitet kg/m³	Tilset(ber)	Blandet kg	1 m³(ber)	V.O.T.er
Pulver	Aalborg Portland CEM I 52,5 N		3.160	1.894	1.890	270	270
Pulver	Flyveaske k-0,7		2.200	936	932	134	133
Pulver	Silikastøv k-2		2.200	72	74	10	11
Additiver	Glenium 151	85,0	1.030	35,14	35,17	5,02	5,02
Additiver	Glenium SKY 552	82,5	1.040	6,06	6,02	0,87	0,86
Additiver	Microair 100 (1:19)	99,4	1.000	19,88	19,91	2,84	2,84
Additiver	Pozzolith R 433 Retarder	90,0	1.040	2,80	3,00	0,41	0,43
Tilslag	0-8 Svelviksand	4,0	2.672	6.559,00	6.554,00	900,97	899,08
Tilslag	16-22 Svelviksand	1,2	2.650	3.972,00	3.987,00	560,66	562,07
Tilslag	8-16 mm Svelviksand	0,7	2.688	2.130,00	2.145,00	302,12	303,89
Vand	Kaldt vann		1.000	692	694	144	99
				Total fugt i tilslag			45
				Total kg	16.319	16.340	2.331
				Volumen (liter)	7.000	7.009	1.000

	Ber verdi	Målt/ bereg.	
Temperatur	10		°C
Total vand	152	152,029	l/m3
Ækvivalent cement målt/beregnet	384,811	383,831	kg/m3
Ækvivalent W/C- forhold målt/beregnet	0,395	0,396	
Konsistens	200		mm
Blandetid målt/beregnet	60,000	60,500	sec
Målt luftindhold på frisk beton	3,500		%
Wattmeter målt/beregnet			
Beregning af densitet	2331,259	2331,192	kg/m3

3.B.4 Blandelogg for SKB, B102

Blanderapport

v. 1.14

side 1 d. 03.10.2011 kl. 17:20



Inspec.lot no.: 040001080356 Prod. Id, SKAKO: 2011091920024 Antal satse: 2

Salgsordre	371600	Receipt	UL57S-B102		
Prod.ordre	100704067				
Debitorkonto	1006912				
Adresse	AF Gruppen Norge AS Bygg Turbinveien 4 0196 Oslo 1120 Rune Farmen 48261355			Ønsket temperatur	10 °C
Fabrik	0101 Sjursøya1	Produceret (m³)	6,99	Ønsket konsistens	650
Følgeseddel	258890	Blandedato	19.09.2011	Blandemester	kgko
		Blandetidspunkt	09:10	Blander	000
				Vognnr.	669

Sammensætning	Materialenavn	Fugt %	Densitet kg/m³	Tilslat(bør)	Blandet kg	1 m³(bør)	V.O.T.er
Pulver	Aalborg Portland CEM I 52,5 N		3.160	1.816	1.834	259	262
Pulver	Flyveaske k-0,7		2.200	914	914	131	131
Pulver	Silika støv k-2		2.200	56	55	8	8
Additiver	Glenium 151	85,0	1.030	55,40	55,23	7,91	7,90
Additiver	Microair 100 (1:19)	99,4	1.000	9,54	9,47	1,36	1,36
Additiver	Rheomatrix 101 200L	98,8	1.000	10,50	10,54	1,50	1,51
Tilslag	0-8 Svelviksand	3,1	2.672	7.137,00	7.122,00	988,89	988,52
Tilslag	8-16 Brekke	1,4	2.650	5.696,00	5.671,00	802,43	800,32
Vand	Kaldt vann		1.000	661	661	136	95
				Total fugt i tilslag			42
				Total kg	16.355	16.332	2.337
				Volumen (liter)	6.999	6.988	1.000

	Bør verdi	Målt/ bereg.	
Temperatur	10		°C
Total vand	146	145,994	l/m3
Ækvivalent cement målt/beregnet	366,834	369,659	kg/m3
Ækvivalent V/C- forhold målt/beregnet	0,398	0,395	
Konsistens	280		mm
Blandetid målt/beregnet	120,000	120,000	sec
Målt luftindhold på frisk beton	3,500		%
Wallmeter målt/beregnet			
Beregning af densitet	2336,610	2337,113	kg/m3

3.B.5 Blandelogg for normal betong, B100 (Dmaks lik 16 mm)

Blanderapport

v. 1.14

side 1 d. 17.10.2011 kl. 15:10



Inspec.lot no.: 040001182260 Prod. Id, SKAKO: 2011101320049 Antal satse: 4

Salgsordre	393553	Receipt	UL57S-B100		
Prod.ordre	100769640				
Debitorkonto	1006912				
Adresse	AF Gruppen Norge AS Bygg Fossumveien 200 0988 Oslo 4687 Simen Andreassen 91140421			Ønsket temperatur	20 °C
Fabrik	0135 Lørenskog	Produceret (m³)	10,99	Ønsket konsistens	200
Følgeseddel	2017668	Blandedato	13.10.2011	Blandemester	thjo
		Blandetidspunkt	14:33	Blander	000
				Vognnr.	601

Sammensætning	Materiale navn	Fugt %	Densitet kg/m³	Tilsat(bør)	Blandet kg	1 m³(bør)	V.O.T.er
Pulver	Aalborg Portland CEM I 52,5 N		3.160	2.992	2.996	272	273
Pulver	Flyveaske k-0,7		2.200	1.480	1.486	134	135
Pulver	Silika støv k-2		2.200	115	115	10	11
Additiver	Glenium 151	85,0	1.030	58,96	58,86	5,36	5,36
Additiver	Glenium SKY 552	82,5	1.040	16,48	16,32	1,50	1,49
Additiver	Microair 100 (1:19)	99,4	1.000	14,16	14,45	1,29	1,32
Additiver	Pozzolith R 433 Retarder	90,0	1.040	3,04	3,44	0,27	0,31
Tilslag	Grefsrud AS, avd. Vilberg	4,7	2.680	11.360,00	11.345,00	987,84	986,02
Tilslag	11-16 Feiring Bruk	-0,5	2.840	9.000,00	9.000,00	822,50	823,09
Vand	Kaldt vann		1.000	740	738	110	67
Vand	Varmt vann		1.000	408	408	37	37
Total fugt i tilslag							42
Total kg				26.187	26.181	2.382	2.382
Volumen (liter)				10.993	10.989	1.000	1.000

	Bør verdi	Målt/ bereg.	
Temperatur	20		°C
Total vand	153,999	153,876	l/m³
Ækvivalent cement målt/beregnet	386,934	388,283	kg/m³
Ækvivalent V/C- forhold målt/beregnet	0,398	0,396	
Konsistens	200		mm
Blandetid målt/beregnet	60,000	124,750	sec
Målt luftindhold på frisk beton	3,500		%
Wattmeter målt/beregnet			
Beregning af densitet	2382,279	2382,428	kg/m³

Notifikasjoner

500014776 Y3 - UPR0D P16 3* Dosering TTS excl lufttbl. (%)
 Grns. 10,000 Fak. 13,000

3.B.6 Blandelogg for Glidebetong, uten P-stoff

Blanderapport

v. 1.14

side 1 d. 13.10.2011 kl. 12:27



Inspec.lot no.: 040001170602 Prod. Id, SKAKO: 2011101120114 Antal satse: 1

Salgsordre	392607	Receipt	UN22A-B000		
Prod.ordre	100762095				
Debitorkonto	1001987				
Adresse	Unicon AS Intern - Prøvestøb Sjursøya 0193 Oslo Frode Skåttun 95282077			Ønsket temperatur	10 °C
Fabrik	0101 Sjursøya2	Produceret (m³)	1,50	Ønsket konsistens	220
Følgeseddel	435084	Blandedato	11.10.2011	Blandemester	jabr
		Blandetidspunkt	14:52	Blander	001
				Vognnr.	001

Sammensætning	Materialetnavn	Fugt %	Densitet kg/m³	Tilset(ber)	Blandet kg	1 m³(ber)	V.O.T.er
Pulver	Aalborg Portland CEM I 52,5 N		3.160	650	647	434	431
Pulver	Silkastøv k-2		2.200	34	33	23	22
Additiver	Microair 100 (1:19)	99,4	1.000	7,41	7,40	4,94	4,93
Additiver	Glenium 151	85,0	1.030	6,18	6,21	4,12	4,13
Tilslag	0-8 Svelviksand	4,0	2.672	1.369,00	1.347,00	877,68	862,17
Tilslag	16-22 Svelviksand	0,4	2.650	940,00	953,00	624,10	631,86
Tilslag	8-16 mm Svelviksand	0,6	2.688	226,00	238,00	149,93	157,49
Vand	Kaldt vann		1.000	203	206	174	137
			Total fugt i tilslag				38
			Total kg	3.436	3.438	2.291	2.288
			Volumen (liter)	1.500	1.502	1.000	1.000

	Bør verdi	Målt / bereg.	
Temperatur	10		°C
Total vand	182,118	183,498	l/m³
Ækvivalent cement målt/beregnet	479,260	474,623	kg/m³
Ækvivalent W/C- forhold målt/beregnet	0,380	0,387	
Konsistens	220		mm
Blandetid målt/beregnet	60,000	99,000	sec
Målt luftindhold på frisk beton	5,000		%
Wattmeter målt/beregnet			
Beregning af densitet	2290,914	2288,317	kg/m³

3.B.7 Blandelogg for Glidebetong, med 0,2 % P-stoff

Blanderapport

v. 1.14

side 1 d. 13.10.2011 kl. 12:29



Inspec.lot no.: 040001170596 Prod. Id, SKAKO: 2011101120118 Antal satse: 1

Salgsordre	392607	Receipt	UN22A-B000		
Prod.ordre	100762161				
Debitorkonto	1001987				
Adresse	Unicon AS Intern - Prøvestøb Sjursøya 0193 Oslo Frode Skåttun 95282077			Ønsket temperatur	10 °C
				Ønsket konsistens	220
				Blandemester	jabr
				Blander	001
				Vognnr.	001
Fabrik	0101 Sjursøya2	Produceret (m³)	1,50		
Følgeseddel	435087	Blandedato	11.10.2011		
		Blandetidspunkt	15:20		

Sammensætning	Materialemavn	Fugt %	Densitet kg/m³	Tilset(ber)	Blandet kg	1 m³(ber)	V.O.T.er
Pulver	Aalborg Portland CEM I 52,5 N		3.160	650	654	434	436
Pulver	Sillkastev k-2		2.200	34	34	23	23
Additiver	Microair 100 (1:19)	99,4	1.000	7,41	7,42	4,94	4,95
Additiver	P	60,0	1.190	1,56	1,42	1,04	0,95
Additiver	Glenium 151	85,0	1.030	6,18	6,17	4,12	4,11
Tilslag	0-8 Svelviksand	4,0	2.672	1.369,00	1.345,00	877,33	862,24
Tilslag	16-22 Svelviksand	0,4	2.650	940,00	949,00	623,85	630,19
Tilslag	8-16 mm Svelviksand	0,6	2.688	226,00	228,00	149,87	151,10
Vand	Kaldt vann		1.000	202	206	173	137
				Total fugt i tilslag			38
				Total kg	3.436	3.431	2.291
				Volumen (liter)	1.500	1.500	1.000

	Ber verdi	Målt/ bereg.	
Temperatur	10		°C
Total vand	182,118	184,242	l/m³
Ækvivalent cement målt/beregnet	479,260	481,366	kg/m³
Ækvivalent V/C- forhold målt/beregnet	0,380	0,383	
Konsistens	220		mm
Blandetid målt/beregnet	60,000	373,000	sec
Målt luftindhold på frisk beton	5,000		%
Wattmeter målt/beregnet			
Beregning af densitet	2290,664	2287,499	kg/m³

3.B.8 Blandelogg for Glidebetong, med 0,7 % P-stoff

Blanderapport

v. 1.14

side 1 d. 13.10.2011 kl. 12:33



Inspec.lot no.: 040001170826 Prod. Id, SKAKO: 2011101120122 Antal satse: 1

Salgsordre	392607	Receipt	UN22A-B000		
Prod.ordre	100762285				
Debitorkonto	1001987				
Adresse	Unicon AS Intern - Prøvestøb Sjursøya 0193 Oslo Frode Skåttun 95282077			Ønsket temperatur	10 °C
Fabrik	0101 Sjursøya2	Produceret (m³)	1,50	Ønsket konsistens	220
Følgeseddel	435091	Blandedato	11.10.2011	Blandemester	jabr
		Blandetidspunkt	16:43	Blander	001
				Vognnr.	001

Sammensætning	Materialemavn	Fugt %	Densitet kg/m³	Tilset(ber)	Blandet kg	1 m³(ber)	V.O.T.er
Pulver	Aalborg Portland CEM I 52,5 N		3.160	650	657	434	438
Pulver	Silkastøv k-2		2.200	34	34	23	23
Additiver	Microair 100 (1:19)	99,4	1.000	7,41	7,38	4,94	4,92
Additiver	P	60,0	1.190	4,62	4,52	3,08	3,01
Additiver	Glenium 151	85,0	1.030	6,18	6,13	4,12	4,08
Tilslag	0-8 Svelviksand	4,0	2.672	1.368,00	1.377,00	876,63	881,78
Tilslag	16-22 Svelviksand	0,4	2.650	939,00	948,00	623,35	628,83
Tilslag	8-16 mm Svelviksand	0,6	2.688	226,00	198,00	149,75	131,08
Vand	Kaldt vann		1.000	200	203	172	135
			Total fugt i tilslag				39
			Total kg	3.435	3.435	2.290	2.288
			Volumen (liter)	1.500	1.502	1.000	1.000

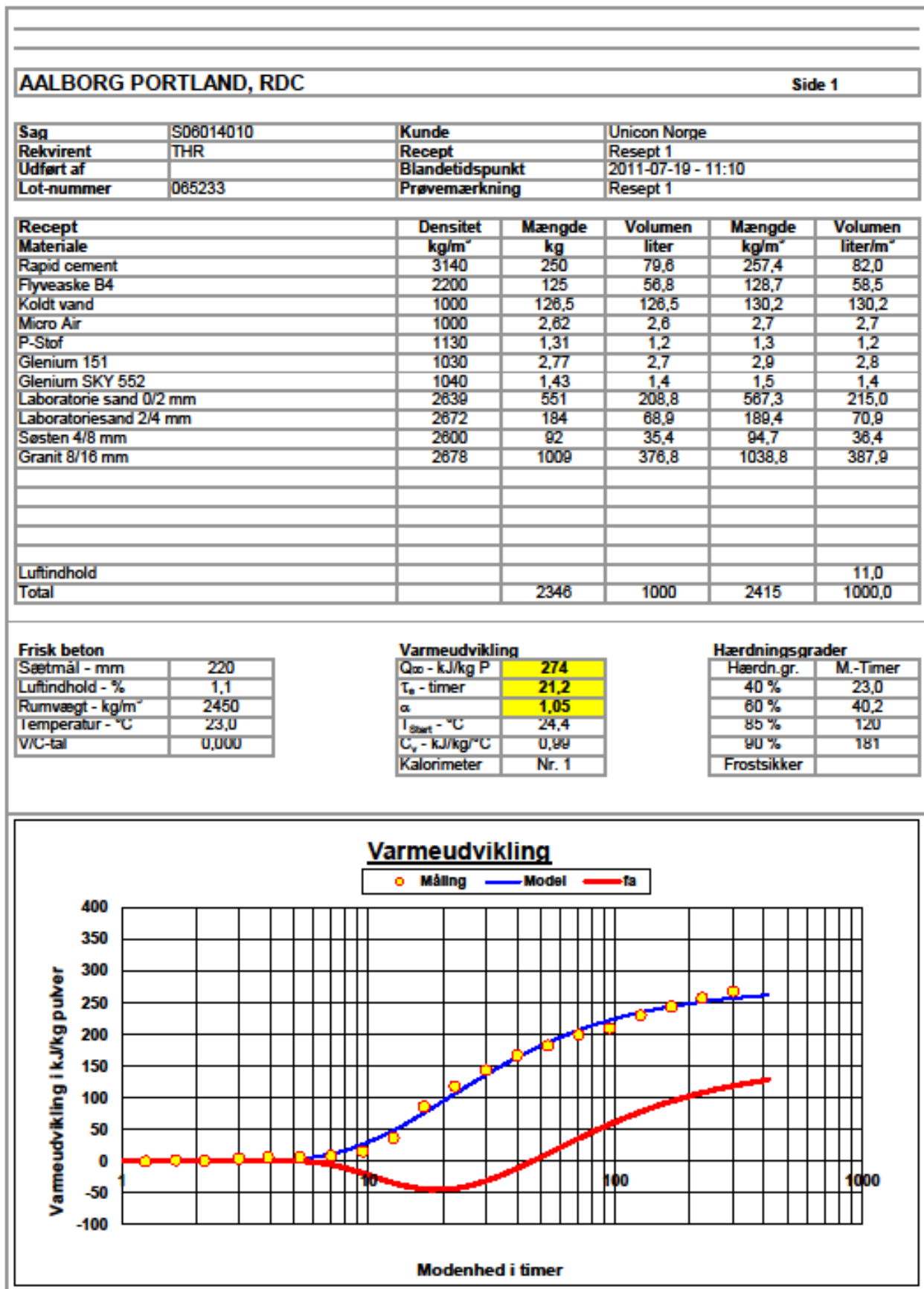
	Ber verdi	Målt/ bereg.	
Temperatur	10		°C
Total vand	182,118	183,930	l/m³
Ækvivalent cement målt/beregnet	479,260	482,835	kg/m³
Ækvivalent V/C- forhold målt/beregnet	0,380	0,381	
Konsistens	220		mm
Blandetid målt/beregnet	60,000	205,000	sec
Målt luftindhold på frisk beton	5,000		%
Wattmeter målt/beregnet			
Beregning af densitet	2290,172	2287,660	kg/m³

3.B.9 Blandelogg for normal betong uten silika, B000

BETONGRESEPT: Blanding 27.06.22 FA 0,7						Fukt i sand:	4,0 %	Blandeskjema	
						Fukt i stein 16mm:	2,6 %	30	Liter
						Fukt i stein 22mm:	0,5 %		
Delmaterialer		%	liter	kg/l	Vann i TSS		Fukt	kg oppveid	
Aalborg Rapid	266		84,2	3,16		7,98		7,980	Aalborg Rapid
SILIKA	0	0,0	0,0	2,20		0		0	SILIKA
FLYVEASKE	133		60,5	2,20		3,99		3,99	FLYVEASKE
P	1,32	0,50	1,3	1,03	60,0 %	0,0396	0,02376	0,0396	P
L	2,61	0,98	2,6	1,00	99,0 %	0,0783	0,077517	0,0783	L
G. 151	3,84	1,44	3,8	1,00	72,0 %	0,1152	0,082944	0,1152	G. 151
						0		0	0
0-8mm	915,21	75,7	342,8	2,67		27,4563	0,878602	28,3349	0-8mm
8-16mm	305,5	24,3	114,4	2,67		9,165	0,174135	9,3391	8-16mm
16-22mm	567,7	0,0	210,3	2,70		19,8895	0,059609	19,9291	16-22mm
						0		0	0
LUFTINNHOLD I FERSK BETONG	4,0		40,0			0,12		0,12	LUFTINNHOLD I FERSK BETONG
						0		0	0
$V/(c+s^2+F^*,7)$	0,395								$V/(c+s^2+F^*,7)$
VANN	141,8		141,8	1,00					VANN
Tilsatt vann						4,9645575	1,296566	3,7276	Tilsatt vann
								73,534	kg
SUM	2337,0		1002					31,6	liter

Vedlegg 4. Varmebidrag fra flyveaske, med resepter

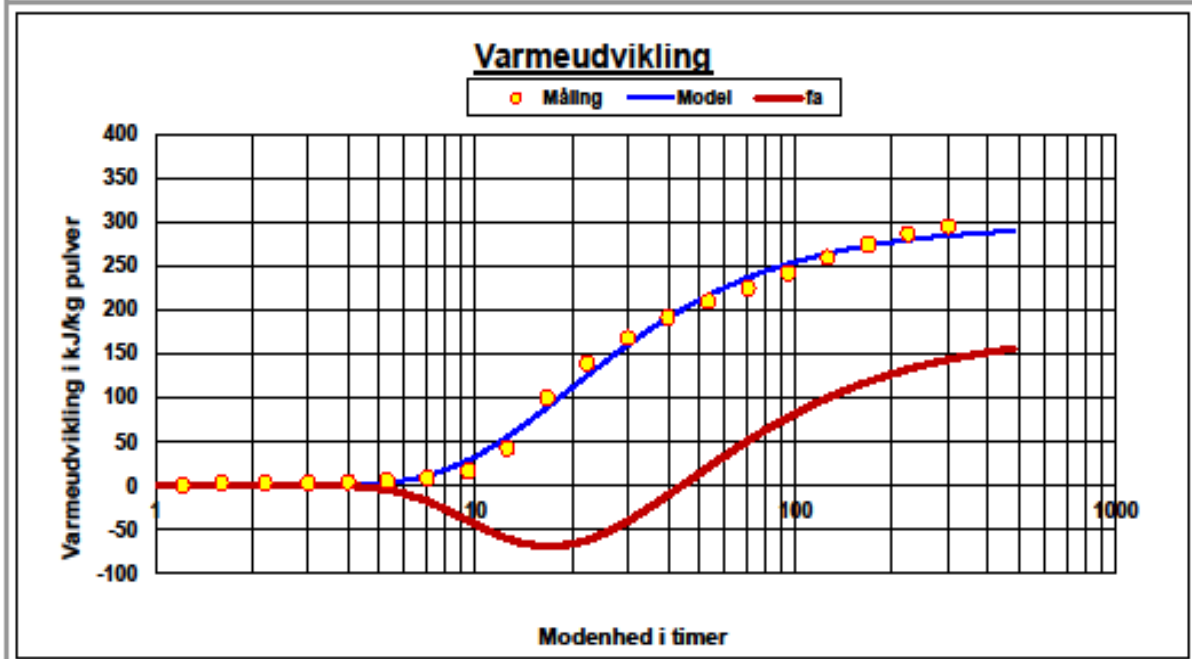
4.A.1 Resept 1



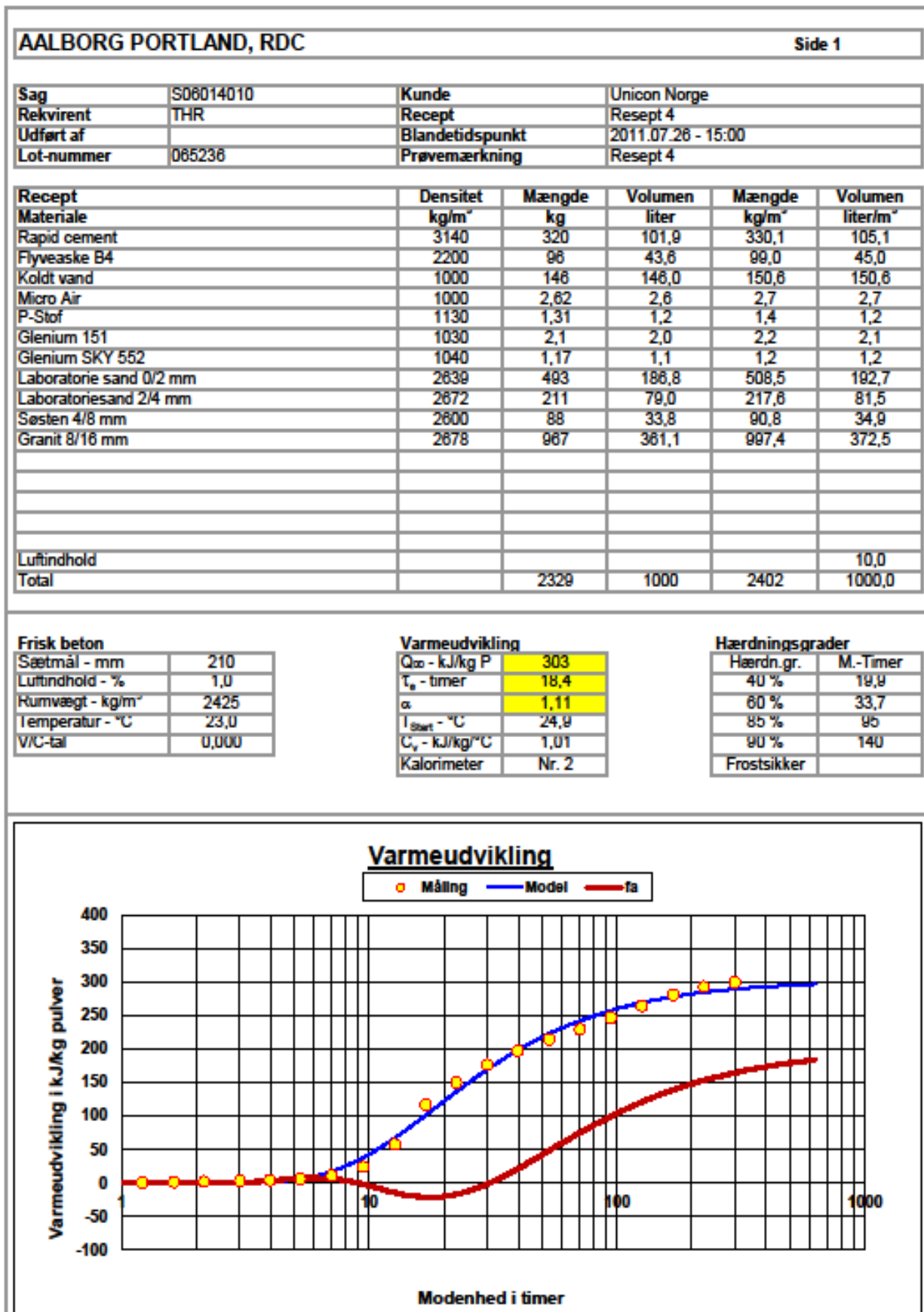
ADIABATISK KALORIMETRI - RDC - Version 1.1 - 2011.04.05 - Prøvningsrapport

4.A.3 Resept 3

AALBORG PORTLAND, RDC				Side 1	
Sag	S06014010	Kunde	Unicon Norge		
Rekvirent	THR	Recept	Resept 3		
Utført af		Blandetidspunkt	2011.07.26 - 13:30		
Lot-nummer	085235	Prøvemærkning	Resept 3		
Recept	Densitet	Mængde	Volumen	Mængde	Volumen
Materiale	kg/m³	kg	liter	kg/m³	liter/m³
Rapid cement	3140	290	92,4	299,2	95,3
Flyveaske B4	2200	87	39,5	89,8	40,8
Koldt vand	1000	132	132,0	136,2	136,2
Micro Air	1000	2,62	2,6	2,7	2,7
P-Stof	1130	1,31	1,2	1,4	1,2
Glenium 151	1030	2,8	2,7	2,9	2,8
Glenium SKY 552	1040	1,4	1,3	1,4	1,4
Laboratorie sand 0/2 mm	2839	550	208,4	587,5	215,0
Laboratoriesand 2/4 mm	2872	183	68,5	188,8	70,7
Søsten 4/8 mm	2800	92	35,4	94,9	36,5
Granit 8/16 mm	2878	1008	376,4	1040,1	388,4
Luftindhold					9,0
Total		2350	1000	2425	1000,0
Frisk beton					
Sætmål - mm	230				
Luftindhold - %	0,9				
Rumvægt - kg/m ³	2444				
Temperatur - °C	23,0				
V/C-tal	0,000				
Varmeudvikling					
Q _∞ - kJ/kg P	297				
T _g - timer	19,7				
α	1,16				
T _{start} - °C	23,3				
C _p - kJ/kg·°C	0,99				
Kalorimeter	Nr. 1				
Hærdningsgrader					
Hærdn. gr.	M.-Timer				
40 %	21,3				
60 %	35,2				
85 %	95				
90 %	138				
Frostsikker					

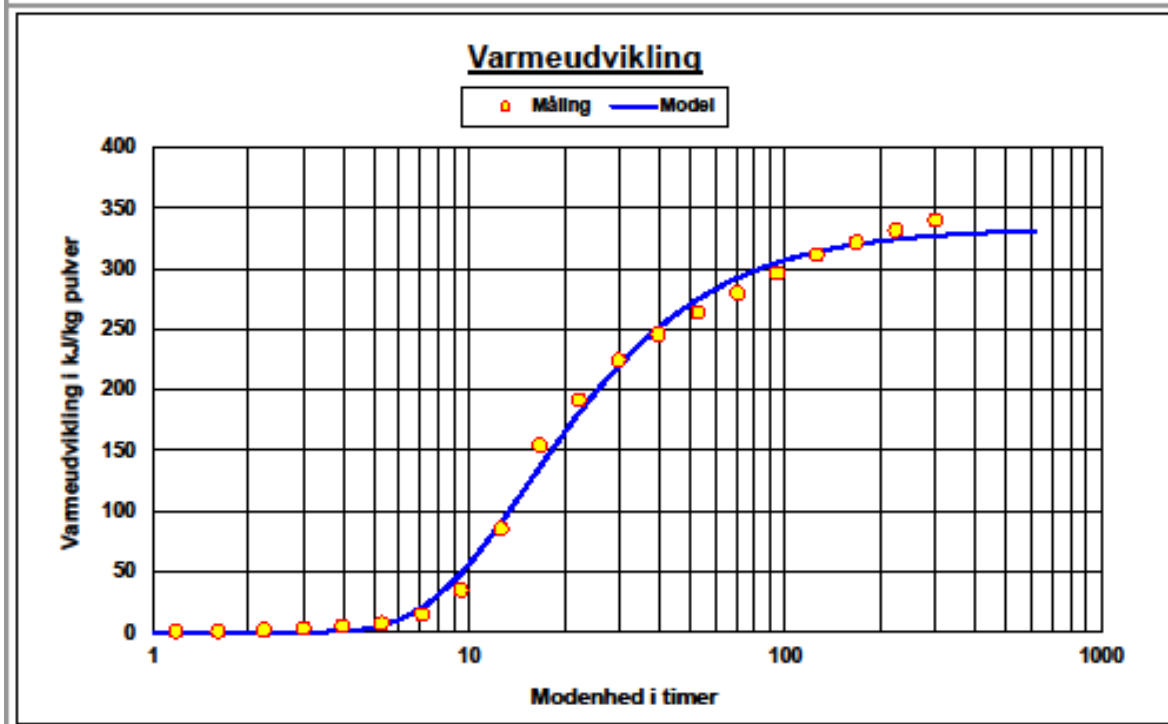


4.A.4 Resept 4



4.A.5 Resept 5

AALBORG PORTLAND, RDC				Side 1	
Sag	S06014010	Kunde	Unicon Norge		
Rekvirent	THR	Recept	Resept 5		
Utført af		Blandetidspunkt	2011.08.04 - 10:10		
Lot-nummer	065237	Prøvemærkning	Resept 5		
Recept	Densitet	Mængde	Volumen	Mængde	Volumen
Materiale	kg/m³	kg	liter	kg/m³	liter/m³
Rapid cement	3140	351	111,8	361,7	115,2
Koldt vand	1000	132	132,0	136,0	136,0
Micro Air	1000	2,82	2,8	2,7	2,7
P-Stot	1130	1,31	1,2	1,4	1,2
Glenium 151	1030	2,8	2,7	2,9	2,8
Glenium SKY 552	1040	1,4	1,3	1,4	1,4
Laboratorie sand 0/2 mm	2639	566	214,5	583,3	221,0
Laboratoriesand 2/4 mm	2672	189	70,7	194,8	72,9
Søsten 4/8 mm	2600	94	36,2	96,9	37,3
Granit 8/16 mm	2678	1038	387,6	1069,8	399,5
Luftindhold					10,0
Total		2378	1000	2451	1000,0
Frisk beton		Varmeudvikling		Hærdningsgrader	
Sætnål - mm	210	Q ₂₀ - kJ/kg P	333	Hærdn. gr.	M.-Timer
Luftindhold - %	1,0	T _v - timer	15,4	40 %	16,5
Rumvægt - kg/m ³	2425	α	1,33	60 %	25,5
Temperatur - °C	23,0	T _{start} - °C	25,1	85 %	60
V/C-tal	0,000	C _v - kJ/kg°C	0,99	90 %	84
		Kalorimeter	Nr. 1	Frostsikker	



ADIABATISK KALORIMETRI - RDC - Version 1.1 - 2011.04.05 - Prøvningsrapport

Vedlegg 5. Tilsetningsstoffer

A. Produktbeskrivelse av tilsetningsstoffer

B. Temperaturkurver til betong

5.A.1 Produktbeskrivelse av Rheomatrix 101



The Chemical Company

RHEOMATRIX® 101

April, 2008

RHEOMATRIX 101 ER ET MEGET EFFEKTIVT VISKOSITETSMODIFISERENDE STOFF TIL FLYTBETONGER

Tekniske data:

Konsistens:	Viskøs væske.	pH-verdi:	6,5 + 1,5.
Farge:	Brunlig.	Ekvivalent Na ₂ O:	Under 2,0 %.
Tørrestoff:	1,2 +/- 0,12	Kloridinnhold:	< 0,01%.
Spesifikk vekt:	1,00 + 0,02 kg/l.	Aktiv komponentet:	Syntetisk copolymer

Produktbeskrivelse.

RheoMATRIX 101 er et innovativt produkt. Det er en vannopløsning av en syntetisk copolymer med høy molekylvekt.

Takket være dens spesialtilpassede effekt i betongen, gir RheoMATRIX 101 mulighet for å oppnå den rette balansen mellom motvirkende effekter som flyteevne, passeringsevne og motstand mot separasjon.

Smart Dynamic Construction™:

RheoMATRIX 101 er et av hovedelementene i BASF's Smart Dynamic Construction konsept, som gir følgende fordeler:

- Økonomi: Besparelser på finstoffinnhold (<0,125mm), opp til 40% raskere utstøping og opp til 5 timer høyere produktivitet.
- Økologi: Mindre finstoff, mindre CO₂ utslipp og bedre bestandighet.
- Ergonomi: Ingen vibrering, mindre støy og lavere seighet på betongen.

Bruksområder.

RheoMATRIX 101 anvendes til produksjon av alle typer betong som tidligere har krevd et økt finstoffinnhold. Slik som bløte

gulvbetonger og SKB produsert med lavt fillerinnhold.

Egenskaper og fordeler.

RheoMATRIX 101 er tilpasset til betonger hvor en ønsker økt viskositet, og dette gjelder spesielt for SKB betonger med et lavt finstoffinnhold.

RheoMATRIX 101 tilbyr betongindustrien følgende fordeler:

- Motvirker separasjon og bleeding
- Kan brukes sammen med alle sementtyper-
- Påvirker ikke avbindingstid og tidligfasthet.
- Blandingen blir mer robust overfor endringer i vannbehov.

RheoMATRIX 101 består av en vannopløselig polymer som modifierer blandingens reologiske egenskaper. Polymeren tilpasser seg til pastaens viskositet for å få den optimale stabiliseringen.

RheoMATRIX 101 har en dobbeltfunksjon:

- Den fastholder betongens indre kohesjon under støpingen.
- Den motvirker separasjon når betongen er utstøpt.

BASF Construction Chemicals Norway
Granerud Industriområde
NO-2120 Sagstua

T +47 62 97 00 20

Adding Value to Concrete

5.A.2 Produktbeskrivelse av Phozzolith 433 R



The Chemical Company

Pozzolith 433 R

Mars 2011

RETARDERENDE TILSETNINGSSTOFF

Tekniske data:

Produkt:	Retarder.	Ekv.alkaliinnhold:	< 0,3%.
Aktive komponenter:	Sakkarose	Densitet:	1,04 + 0,02 kg/l.
Tørrstoffinnhold:	10,0 + 1,4%.	pH-verdi:	8,0 + 1,0.
Kloridinnhold:	< 0,1%.	Utseende:	lysebrun væske.

Produktbeskrivelse.

Pozzolith 433 R er et tilsetningsstoff i væskeform som brukes til retarding av betong og mørtel.

Bruksområder.

Pozzolith 433 R kan brukes til alle typer betong, hvor det er behov for forsinket størkning/herdning. Den kan brukes til betong i alle konsistens-klasser.

Egenskaper.

Pozzolith 433 R inneholder stoffer som forsinker hydratasjonen av sementen, og demper varmeutviklingen. Den gir dessuten spesielt god slutfasthet i grove betong-konstruksjoner.

Dosering.

Normaldosering er 0,2% – 1,2% av sementmengden. Skal doseres sammen med siste halvdel av blandevannet. Retningsgivende retarding ved forskjellige doseringer med ved 20 °C

Ønsket forsinkelse i timer	Cem I(Norc.Std) Dosering i % av sementvekt	Cem II(Std.Fa) Dosering i % av sementvekt
2	0,25%	0,2%
4	0,5%	0,4%
6	0,7%	0,6%
8	0,9%	0,8%
10	1,1%	1,0%

BASF Construction Chemicals Norway
Granrud Industriområde
NO-2120 Sagstua
T +47 62 97 00 20
F +47 62 97 18 85

Forpakning.

Pozzolith 433 R leveres i følgende forpakninger:

- 25 l kanne.
- 1000 l palletank.
- Bulk.

Lagring.

Pozzolith 433 R skal oppbevares ved min. 10°C og maksimum 25°C. I originalemballasje, ved foreskrevet temperatur, er holdbarheten minst 12 mnd.

Sikkerhetstiltak.

Se eget sikkerhetsdatablad.



0921

BASF Admixtures Deutschland GmbH
Kirschenallee Gebäude G35
D-64293 Darmstadt
0921-BPR-2003
EN 934-2

Pozzolith 433 R
Set retarding admixtures
EN 934-2: T 8

Maksimum kloridinnhold: < 0,1 %
Maksimum alkalieinnhold: < 0,3 %
Helseskadelige bestanddeler: Ingen

5.A.3 Produktbeskrivelse av Glenium C151



The Chemical Company

GLENIUM C151

Nov. 2009

SUPERPLASTISERENDE TILSETNINGSSTOFF FOR BETONG.

Tekniske data:

Konsistens:	Viskøs væske.	pH- verdi:	6,6 ± 1,0.
Farge:	Gullig.	Ekvivalent Na ₂ O:	< 2,0%.
Tørrstoff:	15,0 ± 1,5%.	Kloridinnhold:	< 0,01%.
Densitet:	1,03 ± 0,02kg/l.		

Produktbeskrivelse.

Glenium C151 er basert på en kjede av modifiserte polykarboxylater. Produktet er primært utviklet til bruk ved produksjon av høyfast betong, men kan godt benyttes i ordinære betonger.

Glenium C151 har en elektrostatiske virkemåte som forbedrer effektiviteten av sementdispersjonen.

Bruksområder.

Den gode dispergeringseffekten gjør Glenium C151 til det ideelle tilsetningsstoff der det ønskes stor vannreducerende evne.

Egenskaper.

- God flyt med lave v/c-forhold.
- Glenium C151 forbedrer de fysiske egenskaper og derved betongens bestandighet.

Andre anbefalte kombinasjoner.

Kan kombineres med alle Glenium produkter, samt

- Luftinnførende.
- Plastiserende.
- Akselererende.
- Retarderende.
- Fiber.

Dosering.

Anbefalt doseringsmengde 0,2-2,0% av sementmengden, avhengig av betongsammensetning og krav.

Andre doseringer kan være aktuelle i særlige tilfeller og under særlige utførelsesforhold.

Prøveblandinger anbefales.

Bruksanvisning.

Den optimale effekten oppnås ved å tilsette Glenium C151 straks etter tilsetting av ca. 50% av blandevannet. Unngå å tilsette Glenium C151 til de tørre materialer.

Glenium C151 kan tilsettes på bilen på byggeplass. For å få full utnyttelse av stoffet bør betongen blandes godt, 1-2min pr m³.

Forpakning.

- 1000 liters containere.
- Tank.

Lagring.

Oppbevares i tett lukket beholder ved vanlig temperatur, min. +5 °C, i 12 mnd.

Sikkerhetstiltak.

Se produktets sikkerhetsdatablad.

BASF Construction Chemicals Norway
Grønerud Industriområde
NO-2120 Sagstua
T +47 62 97 00 20
F +47 62 97 18 85

Adding Value to Concrete

5.A.4 Produktbeskrivelse av Glenium SKY 552



The Chemical Company

GLENIUM® SKY 552

Januar 2010

SUPERPLASTISERENDE TILSETNINGSSTOFF TIL PRODUKSJON AV ALLE TYPER BETONG.
Tekniske data:

Konsistens:	Viskøs væske.	pH-verdi:	6,5 + 1,5.
Farge:	Vaniljefarget	Ekvivalent Na₂O:	< 2,0 %.
Tørrstoff:	17,5% ± 1,0	Kloridinnhold:	< 0,01%.
Densitet:	1,04 + 0,02 kg/l.		

Produktbeskrivelse.

Glenium Sky 552 er et superplastiserende tilsetningsstoff basert på polykarboxylater (PCE).

Glenium Sky 552 er primært utviklet til bruk ved produksjon av ferdigbetong.

Den gir en forsinkelse i absorpsjonen på sementpartiklene og dispergerer dermed effektivt.

Sammenlignet med andre PCE-produkter, er det mulig å oppnå høykvalitetsbetong med lang brukstid uten at herdeprosessen forsinkes.

Total Performance Control konseptet sikrer at betongprodusenter, entreprenører og byggherrer får en betong som er av samme høye kvalitet som opprinnelig spesifisert.

Bruksområder.

Glenium Sky 552 anvendes til produksjon av alle typer betong.

Egenskaper og fordeler.

Glenium Sky 552 gir følgende fordeler:

- Høy plastiserende effekt.
- God stabilitet.
- Lang brukstid.
- Rask størkning og herding.

Dosering.

Alminnelig anbefalt doseringsmengde av Glenium Sky 552 ligger på 0,5 – 1,5 % av sementmengden.

Bruksanvisning.

Glenium Sky 552 er klar til bruk og tilsettes betongblandingen som en separat komponent.

For å oppnå optimalt resultat, anbefales det å tilsette Glenium Sky 552 sammen med blandevannet eller når alle materialer er våte.

Unngå tilsetting av Glenium Sky 552 i tørre materialer.

Kompatibilitet.

I tilfelle av optimering av spesielle krav kan anvendelse av følgende kompatible produkter anbefales:

- Rheomatrix 101 eller Glenium Stream for fremstilling av betong med enda bedre stabilitet.
- Luftinnførende tilsetningsstoff Mikro Air 100 eller Amex 11 for å forbedre fryse/tine motstand.
- X-SEED aksellerator for høyere tidlig-fasthet.

BASF Construction Chemicals Norway
 Granerud Industriområde
 NO-2120 Sagstua
 T +47 62 97 00 20
 F +47 62 97 18 85

Adding Value to Concrete

5.A.5 Produktbeskrivelse av P



The Chemical Company

P

Desember, 2006

PLASTISERENDE TILSETNINGSSTOFF FOR BETONG.

Tekniske data:

Konsistens:	Lettflytende.	pH-verdi:	7- 9,5.
Farge:	Mørk brun.	Ekvivalent Na₂O:	< 5,0%.
Tørrstoffinnhold:	40,0 +/- 2,0.	Kloridinnhold:	< 0,1 %.
Densitet:	1,19 +/- 0,03.		

Produktbeskrivelse.

P er et vannreducerende tilsetningsstoff for betong. Produktet består av lignosulfonater som kommer fra celluloseindustrien.

Bruksområde.

P kan benyttes i stort sett all betong, for å redusere vannmengden og eller øker synkmålet på betongen.

Egenskaper.

- Reduserer vannmengden ved samme konsistens.
- Øker synken, ved konstant masseforhold.
- Forbedrer bearbeidbarheten.
- Økt dosering gir økt retardasjon.

Andre anbefalte kombinasjoner.

Kan kombineres med alle Glenium produkter.

Dosering.

Normaldosering: 0,2 – 0,8 % av sementvekten. Dette er avhengig av sementtype, og kan i enkelte tilfeller økes betraktelig. Kan også benyttes som retarder. Prøveblandinger anbefales.

Bruksanvisning.

P bør tilsettes før alt vannet er tilsatt, forsinket tilsetning kan gi ukontrollerbar retardering.

Forpakning.

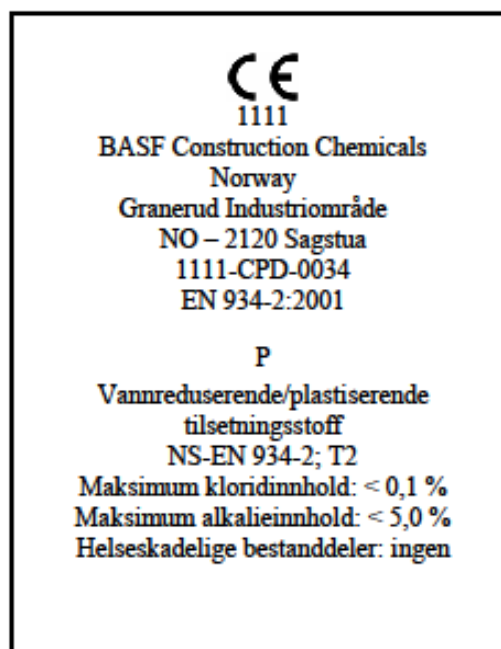
Kanner
200 kg fat
1000 kg containere
Bulk

Lagring.

Oppbevares i tett lukket beholder ved vanlig temperatur, min. +5 °C, i 12 mnd.

Sikkerhetstiltak.

Se produktets sikkerhetsdatablad.



BASF Construction Chemicals Norway
Granerud Industriområde
NO-2120 Sagstua

T +47 62 97 00 20

Adding Value to Concrete

5.A.6 Produktbeskrivelse av Micro air 100 1:19



The Chemical Company

MICRO AIR 100 1:19

Juni, 2010

LUFTINNØRENDE TILSETNINGSSTOFF FOR BETONG.

Tekniske data:

Konsistens:	Lettflytende.	Ekvivalent Na ₂ O:	< 0,1%.
Farge:	Lys gul.	Kloridinnhold:	< 0,01%.
Tørrstoff:	0,63 ± 0,3%.	Aktiv komponent:	Fett syrer, polyglykol.
Densitet:	1,00 ± 0,02kg/l.	Overholder kravene til ASTM C 494	
pH-verdi:	9,2 ± 1,0.	(type A og F) og ASTM 1017.	

Produktbeskrivelse.

MICRO AIR 100 1:19 er luft innførende tilsetningsstoff som danner porer i betongen slik at vannet i kapillær poresystemet ikke sprenger betongen ved kulde.

Ved bruk av MICRO AIR 100 1:19 får man et meget stabilt system med små luftporer i betongen. Det er meget viktig å være klar over at tilsetning av luft i betongen reduserer fastheten i betongen.

Bruksområder.

MICRO AIR 100 1:19 kan anvendes i all betong med krav til frostbestandighet, dvs. all betong som utsettes for fukt og gjentatte fryse/tine vekslinger.

Hvis betongen er plassert i marint miljø, eller om det er tine salter tilstede, kreves høyere innhold av luftporer enn for normale betonger.

Kan også benyttes som støpeforbedrende tilsetning.

Egenskaper.

Ved bruk av MICRO AIR 100 1:19 oppnår man følgende:

- Økt frostbestandighet.
- Minsket permeabilitet.
- Minsket separasjon og bleeding.

- Forbedret bearbeidbarhet.

- Klarer fryse / tine vekslinger bedre enn betong uten MICRO AIR 100 1:19.
- Stabilt luftporesystem.

Andre anbefalte kombinasjoner.

MICRO AIR 100 1:19 kan benyttes sammen med de aller fleste typer tilsetningsstoffer til betong.

Dosering.

Dosering av MICRO AIR 100 1:19 for og få et bra luftpore system varierer fra 0,2 – 1,5 % av sementvekten. Grunnen til denne store variasjonen beror på forskjellige tilslag, sement- typer og tilvirkningsprosesser.

Det bør derfor alltid påregnes prøveblandinger av betong med MICRO AIR 100 1:19.

Vanlig krav i Norge er et luftinnhold i fersk betong på 5 % ± 1,5 % (etter SVV's krav). Som tommel-fingerregel får en, en fasthetsreduksjon på 5 % for hver prosentenhett luftinnholdet i betongen øker.

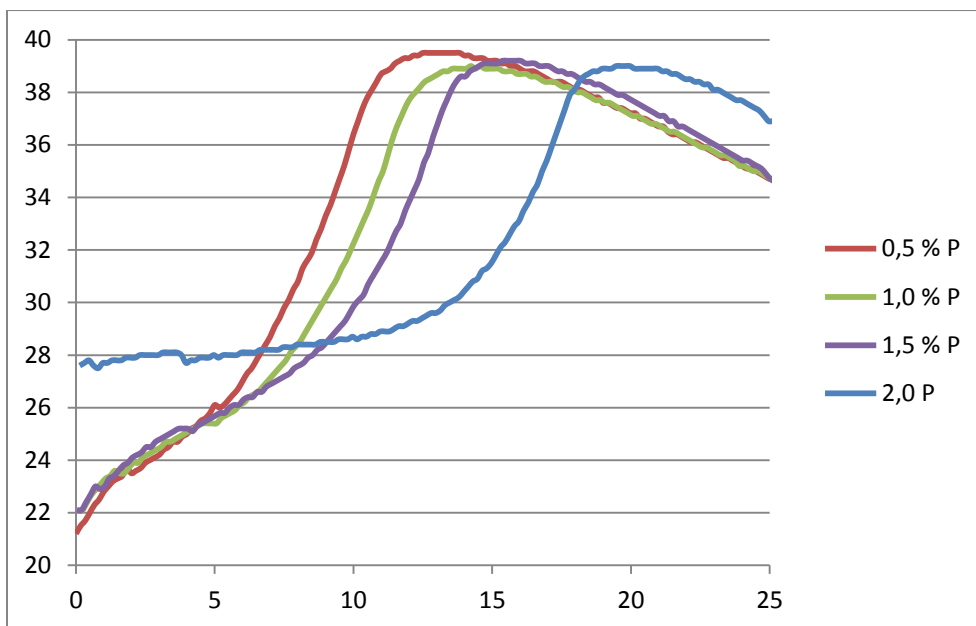
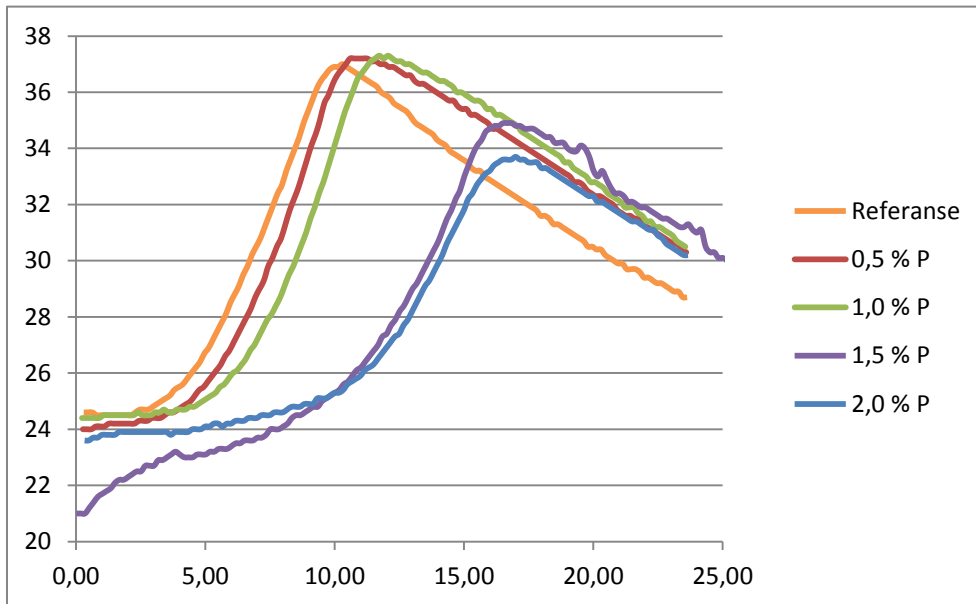
Bruksanvisning.

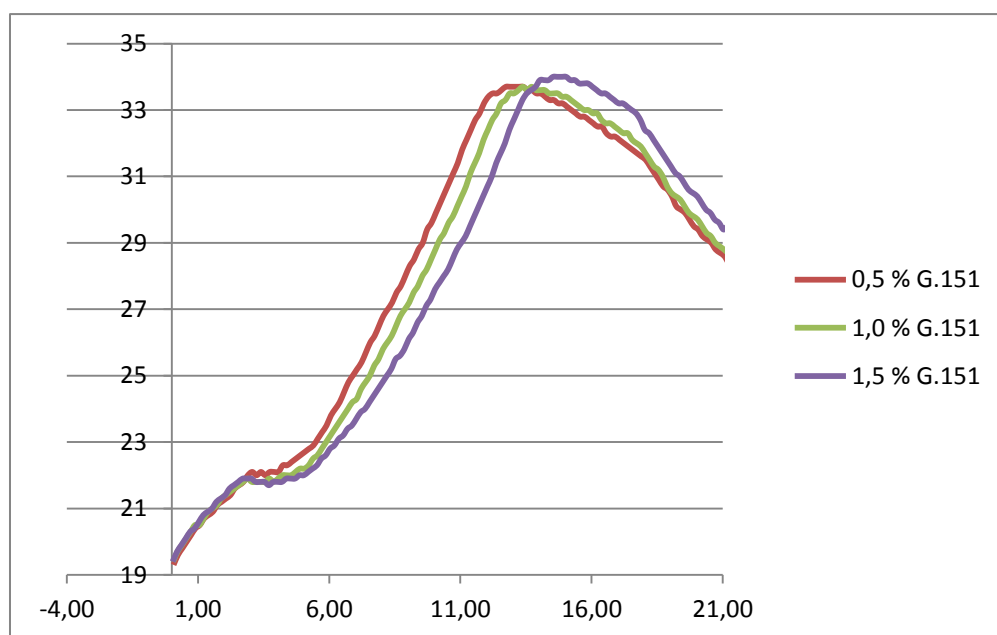
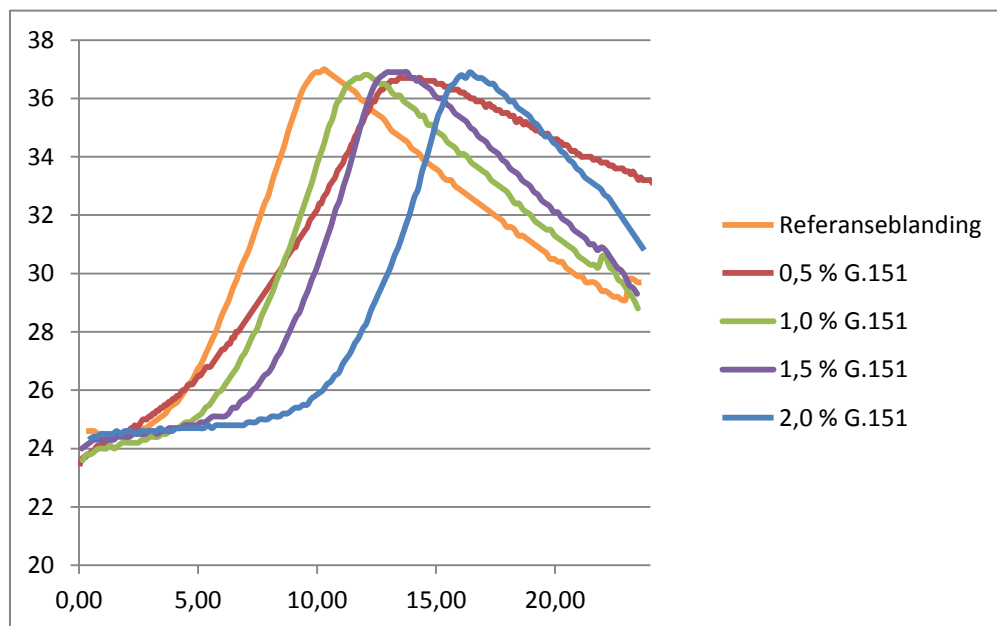
MICRO AIR 100 1:19 bør tilsettes sammen med blandevannet.

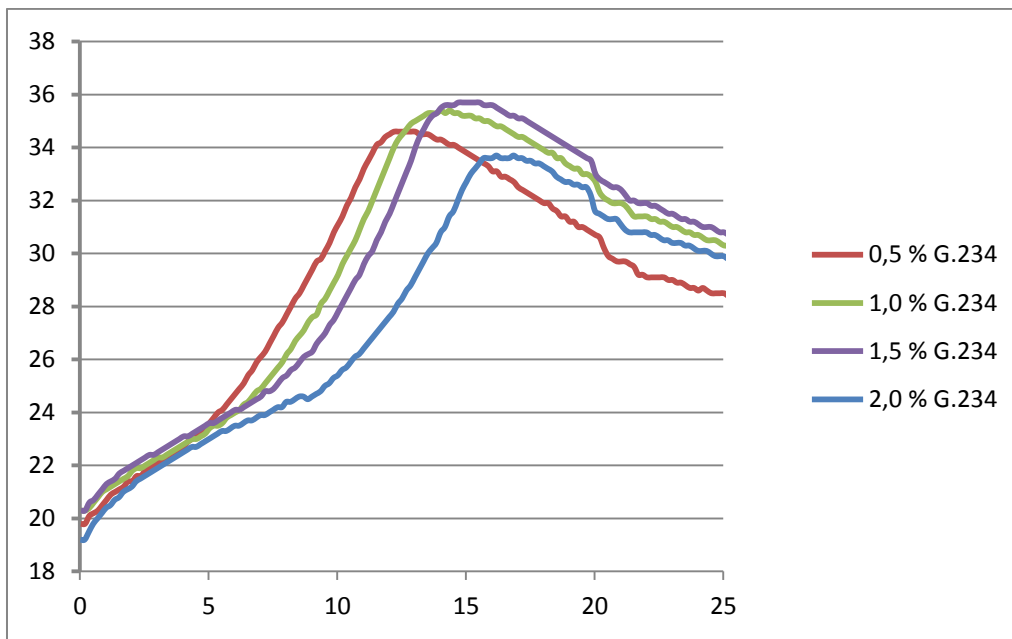
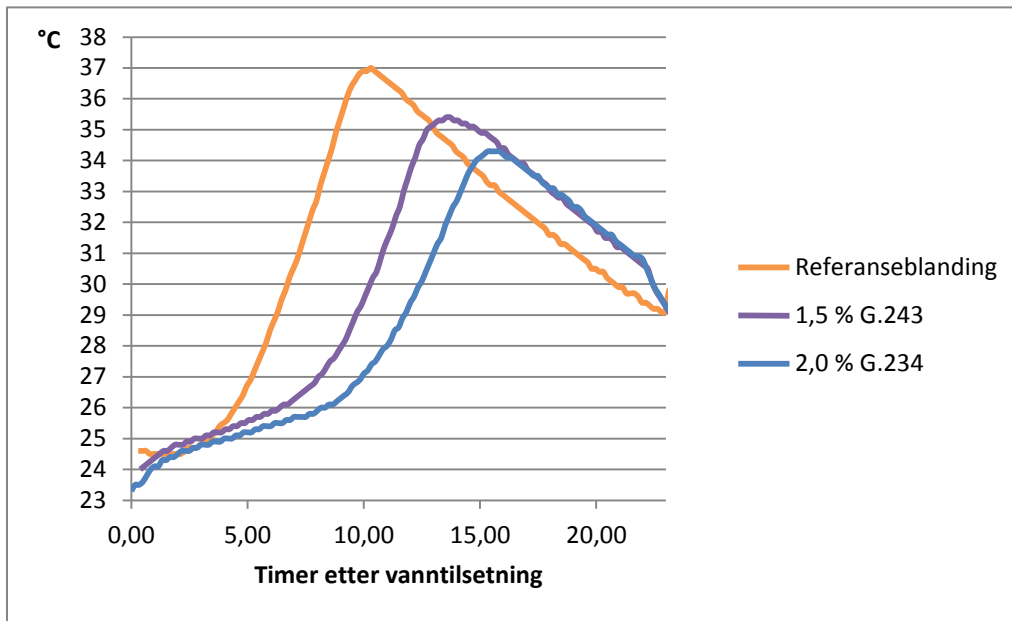
BASF Construction Chemicals Norway
Grønerud Industriområde
NO-2120 Segtvee
T +47 62 97 00 20
F +47 62 97 18 85

Adding Value to Concrete

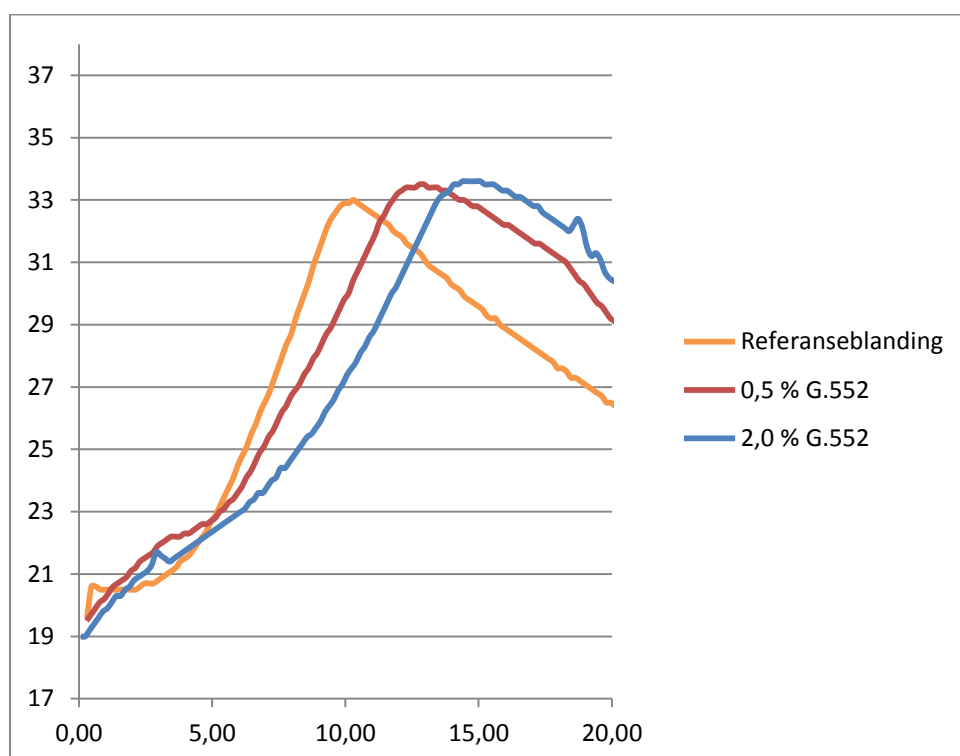
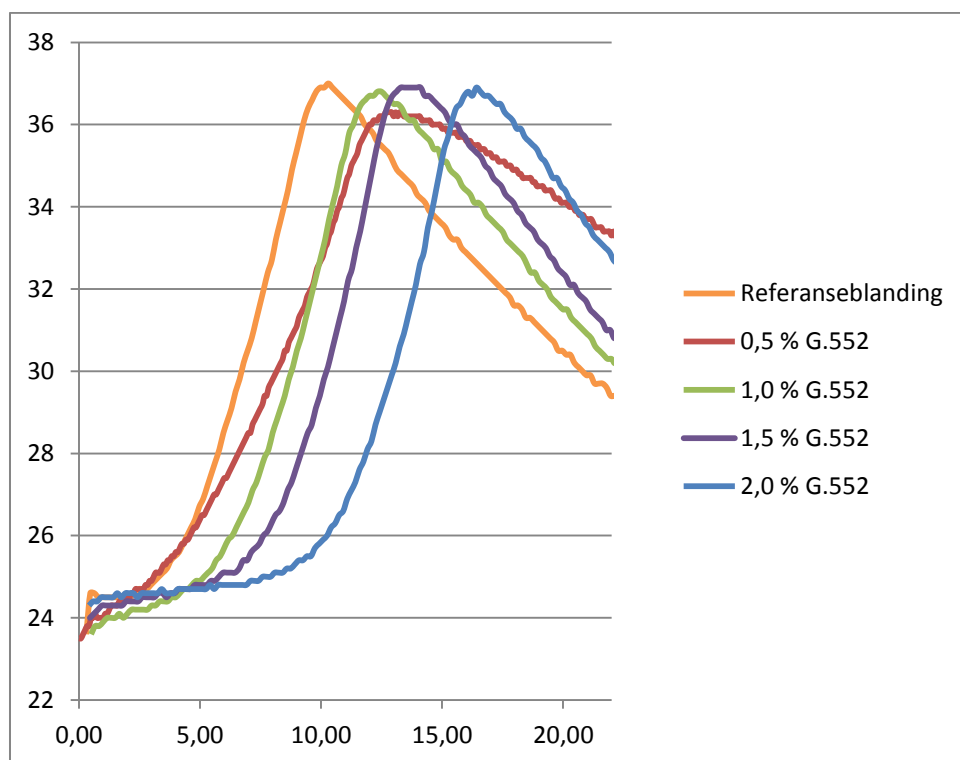
5.B Temperaturkurver til å måle av avbindingstid til betong

5.2.4.1 Retarderingsseffekt til P-stoff ved lufttemperatur på 22 °C

5.2.4.2 Retarderings-effekt til SP-stoff ved lufttemperatur på 22 °C**Glenium C151**

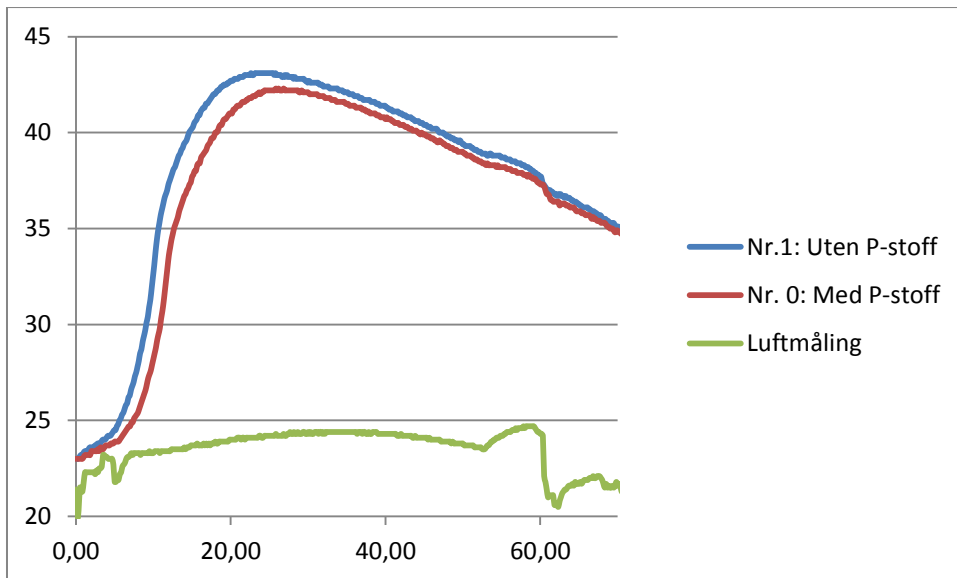
Glenium SKY 234

Glenium SKY 552



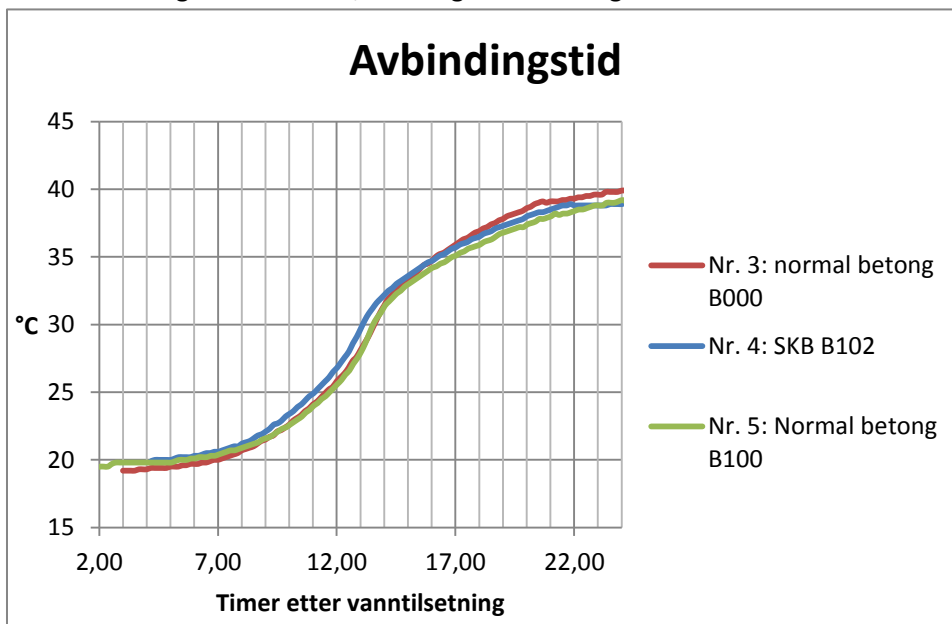
5.B.1 Betong 1 og 2

Forskjell på betong med P- og uten P-stoff.



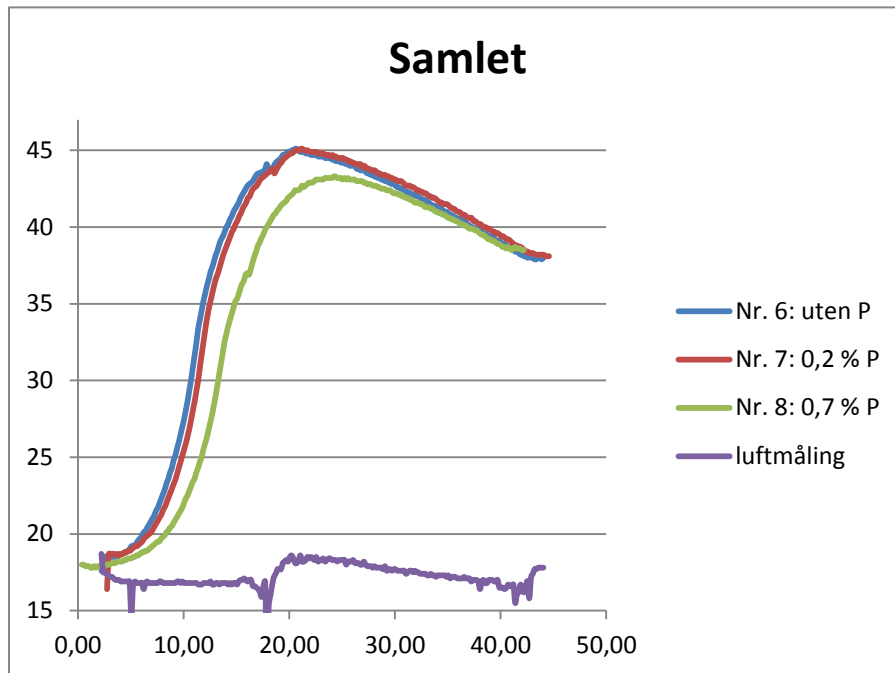
5.B.2 Betongnr. 3.4 og 5

Sammenlikning mellom B000, B100 og B102 betong.



5.B.3 Betong 6,7 og 8

Sammenlikning mellom betong med 0 % P, 0,2 % P og 0,7 % P



Vedlegg 6. Trykkfasthetsdata

6.A Trykkfasthetsmålinger fra biblioteket til Unicon på Sjursøya

Gjennomsnittlig målte verdier			minimums- verdi	maksimums- verdi	
Betongresept B000	målte verdier				
Dmaks	22	mm			
Konsistens	235	mm	150	270	mm
Luft	3,3	%	2,3	5,4	%
Densitet	2362	kg/m ³	2324	2430	kg/m ³
masseforhold (v/b)	0,394		0,384	0,415	
Trykkfasthet – terning			antall målinger		
1 døgn	15,0	MPa	8	stk.	
7 døgn	44,1	MPa	40	stk.	
28 døgn	63,1	MPa	57	stk.	

Gjennomsnittlig målte verdier			minimums- verdi	maksimums- verdi	
Betongresept B100	målte verdier				
Dmaks	16	mm			
Konsistens	228	mm	180	250	mm
Luft	4	%	2,3	5,4	%
densitet	2360	kg/m ³	2310	2410	kg/m ³
masseforhold (v/b)	0,393		0,389	0,395	
Trykkfasthet - terning			antall målinger		
1 døgn			0	stk.	
7 døgn	43,3	MPa	8	stk.	
28 døgn	58,3	MPa	13	stk.	

Gjennomsnittlig målte verdier			minimums- verdi	maksimums- verdi	
Betongresept B102 (SKB)	målte verdier				
Dmaks	16	mm			
Konsistens	631	mm	580	660	mm
Luft	3,6	%	1,2	4	%
densitet	2356	kg/m ³	2260	2485	kg/m ³
masseforhold (v/b)	0,395		0,389	0,402	
Trykkfasthet - terning			antall målinger		
1 døgn	15,5	MPa	3	stk.	
7 døgn	44,2	MPa	8	stk.	
28 døgn	64,2	MPa	20	stk.	

6.B Trykkfasthetsmålinger fra mine forsøk

Gjennomsnittlig målte verdier på betong uten silika, betong nr. 9		
Betongresept B000	målte verdier	
Dmaks	22	mm
Konsistens		mm
luft	4	%
densitet	2337	kg/m ³
masseforhold (v/b)	0,395	
Trykkfasthet - terning	Trykkfasthet	Middel trykkfasthet [Mpa]
1 døgn	21,4	22,3
1 døgn	23,2	
2 døgn	34,8	34,75
2 døgn	34,7	
7 døgn	45,8	46,3
7 døgn	46,8	
28 døgn	63,7	63,4
28 døgn	63,1	
90 døgn	83,5	83,15
90 døgn	82,8	

Gjennomsnittlig målte verdier på betong med P-stoff, betong nr. 1		
Betongresept B100	målte verdier	
Dmaks	16	mm
Konsistens	220	mm
luft	3,5	%
densitet	2340	kg/m ³
masseforhold (v/b)	0,392	
Trykkfasthet - terning	Trykkfasthet	Middel trykkfasthet [Mpa]
2 døgn	33,4	
3 døgn	32,9	
7 døgn	40,7	59,9
28 døgn	59	
28 døgn	60,8	

Gjennomsnittlig målte verdier på betong uten P-stoff, betong nr. 2		
Betongresept B000	målte verdier	
Dmaks	22	mm
Konsistens	220	mm
luft	3,5	%
densitet	2339	kg/m ³
masseforhold (v/b)	0,392	
Trykkfasthet - terning	Trykkfasthet	Middel trykkfasthet [Mpa]
2 døgn	31,5	
3 døgn	31,7	
7 døgn	36,9	56,2
28 døgn	54,8	
28 døgn	57,6	

Vedlegg 7. Målinger på betong

7.A Målinger på fersk betong

Måling på fersk betong

For å sjekke at betongblandingen har lik støpbarhet i laboratoriet og ute på byggeplassen måler en støpbarhet og konsistens på betongen. Sintef [19] har laget en tabell over de mest brukte prøvemethodene som utføres på byggeplass, laboratoriet og på betongfabrikken. Videre spesifiseres det i bladet at betong som har vært brukt til prøving ikke skal brukes til utstøping av prøvelegemer.

Aktivitet/egenskap	Krav og metodebeskrivelse
Prøvetaking	NS-EN 12350-1
Herdeforløp:	
– reaksjonshastighetens temperaturavhengighet	NS 3656
– måling av varmeutvikling	NS 3657
Støpbarhet og konsistens:	
– synkmål	NS-EN 12350-2
– vebemål	NS-EN 12350-3
– komprimeringsgrad	NS-EN 12350-4
– utbredningsmål	NS-EN 12350-5
Densitet	NS-EN 12350-6
Luftinnhold	NS-EN 12350-7

Synkmål, i henhold til [20].

Synkmål benyttes på stiv plastisk betong til flytende fersk betong, dvs. fra 2 – 5 cm synk til 15 – 20 cm synk. Betong fylles i en synkkjegle og komprimeres med en stav. Deretter løftes kjeglen av og betongen vil sige noe alt etter hvor bløt betongen er. For å måle hvor mye betongen siger, måler en avstanden fra synkkjeglens høyeste punkt til betongprøvens høyeste punkt, og dette er betongens synk mål.

**Utstyr**

- synkkjegle
- glatt, ikke absorberende underlag
- stålstang
- traue eller plate som tåler sement og som ikke suger vann til omblending av prøven
- skuffe
- målebånd

Utførelse

- Underlaget skal vaskes rent med vann og innsiden av synkkjeglen fuktes. Underlaget skal være fuktig, plant og stå støtt.
- Deretter plasseres kjeglen oppå underlaget. Kjeglen fylles med betongblandingen opp til 1/3 av kjeglens høyde.
- Massen staves 25 ganger med komprimeringsstangen.
- Deretter fylles kjeglen på nytt med betong opp til 2/3 av kjeglens høyde.
- Komprimerer på nytt med 25 støt.
- Resten av kjeglen fylles med betong og den komprimeres. Er det fortsatt plass til mer betong i kjeglen etter komprimeringen skal det fylles på med betong til toppen av kjeglen.
- Overskuddsmasse avrettes med stålstangen i sagende eller rullende bevegelse.
- I løpet av 5 – 10 sekunder skal kjeglen løftes forsiktig av i loddrett bevegelse.
- Synkkjeglen settes ved siden av betongmassen og en måler avstanden fra kjeglens høyeste punkt til betongmassens høyeste punkt. Denne differansen kalles synkmålet.

Utbredelsesmål, i henhold til [21].

Utbredelsesmål benyttes på flytende og lett flytende betong, dvs. 15 – 25 cm synkmål.

Utbredelsesmålet er gjennomsnittet av diameteren på tvers og på langs av betongmassen.

Utbredelsen til betongen kan måles i samme forsøk som synkmålet. Utbredelsen måles da parallelt med platens sidekanter, gjennom midtpunktet av platen. Utbredelsen angis som gjennomsnittet av diameteren i begge retninger.

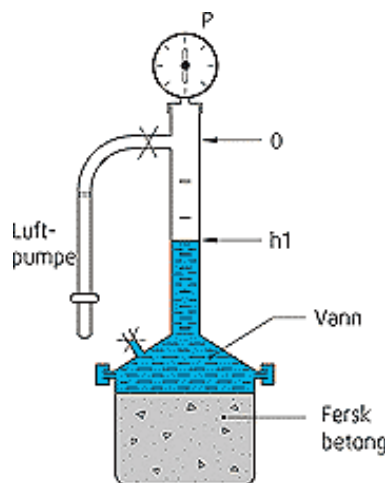


Luftinnhold i henhold til NS-EN 12350 [22]

Denne metoden går ut på å sette betongen under trykk for så å måle volumendringen i forhold til normalt lufttrykk. Ved påføring av et bestemt trykk vil sammentrykningen være proporsjonal med luftinnholdet i betongen.

Utstyr

- Luftmåler
- Stålstang eller vibrobord
- Destillert vann

**Fremgangsmåte**

Beholderen i luftmåleren fylles med betong i omtrent tre like lag. Hvert lag skal bearbejdes med 25 støt med stålstangen. Stangen skal ikke slå ned i bunnen av beholderen. Eventuelt kan en vibrere lagene ved å sette beholderen på et vibrobord. Lagene skal vibreres så mye at store tilslagskorn dekkes med et tynt lag med sementmørtel og at store luftbobler ikke lenger frigjøres fra betongen. Dette vil i praksis si omtrent 30 sekunder med vibrering. Dersom betongen vibreres for lenge kan tilsatt luft forsvinne. Dersom en tar luftmåling på SKB (selvkomprimerende betong) er det ikke nødvendig å verken stakke betongen eller vibrere den på vibrobordet. Overflødig betongmasse skal fjernes fra beholderen ved rullende eller sagende bevegelse med stålstangen. Kanten på beholderen må rengjøres før lokket med luftmåleren settes på. Mellomrommet mellom betongoverflaten og undersiden av luftmåleretoppen fylles fullstendig med destillert vann. For å fjerne luften i toppen av måleren kan en slå noen slag på beholderen mens den holdes på skrå. Beholderen etterfylles med vann. Deretter settes betongen under trykk og en leser av luftinnholdet i betongen på luftmåleren. Overtrykket i luftmåleren fjernes og luftmålerlokket tas av. Ved endt måling er det viktig å rengjøre beholderen.

Usikkerhet

Ved gjentatte målinger på en sats fersk betong med 4-6 % luft er nøyaktigheten normalt innenfor 0,5 % - enheter [23].

Densitet av fersk betong i henhold til [24]

*Dette kalles for rumvægt i resultatene fra Aalborg

Utstyr

- Beholder med kjent vekt og volum
- Bekt med 0,2 % nøyaktighet
- Stålstang med lengde 600 mm og \varnothing 16 mm, med avrundede ender

Fremgangsmåte

- Beholderens volum, V registreres.
 - Vekten nullstilles og beholderen veies. m_1 = vekten av beholderen.
 - Så fylles beholderen med betong i tre omganger, med like tykke lag.
 - Hvert lag komprimeres med 25 støt med komprimeringsstangen. Deretter dunkes beholderen lett slik at hull etter stangen fylles.
 - Overflødig masse fjernes, og overflaten jevnes med stangen.
 - Beholderen rengjøres utenpå og settes oppå vekten og veies.
- m_2 = massen av beholderen med betong.

Beregninger

Formelen for densitet

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]}, \text{ avrundes til nærmeste } 10 \text{ kg/m}^3.$$

Usikkerhet

Det er viktig at overflødig masse blir rensket bort fra beholderen og at den vaskes ren utenpå. Også vaskevannet skal tørkes av.

7.B Målinger på herdnet betong

Støping av prøvestykker i betong etter [21]**Utstyr**

- Stålformer til terninger eller sylindre
- Stålstang
- Et vibrobord
- Plast for tildekking av prøvestykkene etter utstøping
- Tusj til identitetsmerking av prøvestykkene

Fremgangsmåte

- Etter at synkmålet og utbredelsestallet er funnet skal utstøpingen av betongterningene skje innen senest 1,5 timer etter prøvetakingen.
- Betong som tidligere er gjort prøver på skal ikke brukes til utstøping av prøvestykker.
- Alle terningene som skal utgjøre en prøve skal lages samtidig.
- Det støpes 2 prøvestykker for hver lagringsalder man ønsker å kontrollere. I dette forsøket er det ønskelig å kontrollere for 1, 7 og 28 døgn.
- Ved en flytende betong skal formene fylles i ett lag, og dersom betongen er stivere skal det fylles i to lag.
- Betongen kan komprimeres med en stang, eller et vibrobord.
- Etter at terningene er fylt med betong skal overflaten jevnes ved trekke stålstangen over overflaten. Eventuelle betongrester fjernes. Terningene skal dekket med plast slik at de beskyttes mot uttørking. Så merkes platen med prøveidentifikasjon.
- terningene lagres i 20 ± 2 °C under herdeprosessen. Tidligst 16 timer og senest 72 timer etter utstøping skal prøvestykkene avformes.
- Temperaturen på lagringsstedet skal registreres hver dag.
- Oppnådd trykkfasthet skal registreres

Usikkerhet

Dersom vekten av de ulike terningene tilhørende samme prøve varierer med 30 gram for 10 cm terninger, bør en vurdere om en skal lage nye prøvestykker.