



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 stp**

Fakultet for realfag og teknologi

Hovedveileder: Førsteamanuensis Themistoklis Tsalkatidis, NMBU

## **Eksperimentell undersøkelse av akseleratorer i gulvbetong i kaldt klima.**

Experimental study of accelerators in floor concrete mixture under cold climatic conditions.

**Even Solbraa**

Master i byggeteknikk og arkitektur

Fakultet for realfag og teknologi



## Forord

Denne masteroppgaven er det avsluttende prosjektarbeidet på masterstudie innen byggeteknikk og arkitektur ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet på Ås, våren 2018.

Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med AF Gruppen, et av Norges ledende entreprenør- og industrikonsern, og Betong Øst, leverandør av ferdigbetong på Østlandet. Oppgaven omhandler eksperimentelle undersøkelser på hvordan akselererende tilsetningsstoffer påvirker en typisk gulvbetongresept på vinteren. Problemstilling og tema ble formet sammen med samarbeidspartnerne, etter deres ønske om forskning på området og eget ønske om dypere kunnskap om betongteknologi og gulvbetong.

En stor takk rettes til betongteknolog Bernt Kristiansen i AF Gruppen, distriktsleder Ulf Rinden og produktsjef Stefan Skjæret i Betong Øst. Deres høyst kompetente råd og kompetanse, samt bistand i gjennomføringen av undersøkelsene har vært svært viktige i denne masteroppgaven. Det rettes også en stor takk til Betong Øst sin avdeling i Spydeberg og deres ansatte, for opplæring, tilrettelegging, økonomisk bistand og disponering av deres lab og utstyr.

Til slutt rettes det en stor takk til førsteamanuensis Themistoklis Tsalkatidis ved NMBU for den gode veiledningen jeg har fått underveis.

Ås, 15.mai.2018



---

Even Solbraa



# Innholdsfortegnelse

|  |      |
|--|------|
| Forord .....   | ii   |
| Innholdsfortegnelse .....                              | iv   |
| Sammendrag .....                                       | vi   |
| Abstract .....   | vii  |
| Forkortelser og ordforklaringer .....                  | viii |
| Biddeleste.....  | ix   |
| Figurleste.....  | x    |
| Tabelliste .....                                       | xi   |
| 1. Innledning.....                                     | 1    |
| 1.1. Bakgrunn .....                                    | 1    |
| 1.2. Formål.....                                       | 1    |
| 1.3. Problemstilling og delspørsmål .....              | 2    |
| 2. Betongteori .....                                   | 3    |
| 2.1. Sement .....                                      | 6    |
| 2.1.1. Portlandsement .....                            | 7    |
| 2.1.2. Blandingssementer .....                         | 7    |
| 2.1.3. Sementtyper.....                                | 8    |
| 2.1.4. Hydratisering av sement.....                    | 9    |
| 2.1.5. Vann/sement forholdet .....                     | 11   |
| 2.2. Tilslag .....                                     | 11   |
| 2.3. Tilsetningsstoffer.....                           | 12   |
| 2.3.1. Superplastiserende tilsetningsstoffer.....      | 13   |
| 2.3.2. Størkningsretarderende tilsetningsstoffer.....  | 14   |
| 2.3.3. Størkningsakselererende tilsetningsstoffer..... | 14   |
| 2.3.4. Herdningsakselererende tilsetningsstoffer ..... | 15   |
| 2.3.5. Luftinnførende tilsetningsstoffer.....          | 17   |
| 2.4. Betongs herdeprosess .....                        | 18   |
| 2.4.1. Fasthet .....                                   | 18   |
| 2.4.2. Temperaturutvikling.....                        | 19   |
| 2.4.3. Herdeteknologi .....                            | 20   |
| 2.4.4. Vinterstøping og gulvbetong .....               | 23   |
| 2.5. Tidligere studier på området.....                 | 25   |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 3.     | Metode.....                                   | 29  |
| 3.1.   | Kvalitativ metode .....                       | 29  |
| 3.2.   | Kvantitativ metode .....                      | 29  |
| 3.3.   | Valgt metode.....                             | 29  |
| 3.4.   | Standarder.....                               | 30  |
| 3.5.   | Laboratorie-/feltundersøkelser.....           | 31  |
| 3.5.1. | Uttørkingsprøve.....                          | 35  |
| 3.5.2. | Luftprøve .....                               | 36  |
| 3.5.3. | Synkmål og utbredelse. ....                   | 37  |
| 3.5.4. | Trykktesting av terninger. ....               | 40  |
| 3.5.5. | Støp av dekker.....                           | 43  |
| 3.6.   | Økonomi .....                                 | 46  |
| 4.     | Resultater.....                               | 49  |
| 4.1.   | Test 1 .....                                  | 49  |
| 4.2.   | Test 2. ....                                  | 58  |
| 4.3.   | Test 3. ....                                  | 67  |
|        | .....   | 70  |
| 4.4.   | Økonomi .....                                 | 76  |
| 5.     | Diskusjon.....                                | 79  |
| 5.1.   | V/C-tall .....                                | 79  |
| 5.2.   | Tilsetting av Mapetard R .....                | 80  |
| 5.3.   | Luftinnhold .....                             | 80  |
| 5.4.   | Konsistens.....                               | 81  |
| 5.5.   | Glattetidspunkter og temperaturutvikling..... | 84  |
| 5.6.   | Fasthetsutvikling.....                        | 87  |
| 5.7.   | Økonomi .....                                 | 93  |
| 6.     | Konklusjon .....                              | 95  |
| 7.     | Videre forskning.....                         | 96  |
|        | Kildeliste .....                              | 97  |
|        | Vedlegg .....                                 | 101 |

## Sammendrag

Denne masteroppgaven omhandler eksperimentelle undersøkelser av akselererende tilsetningsstoffer i en typisk gulvbetongresept. Undersøkelsene ble gjennomført vinteren 2017/2018, i reelle norske vintertemperaturer. Formålet har vært å finne ut hvilke akselererende tilsetningsstoffer som ga best effekt på områdene avbindingstid, glattetidspunkt, bearbeidbarhet og tidligfasthet. I tillegg er det økonomiske aspektet ved bruk av akselererende tilsetningsstoffer blitt belyst.

For å skape et godt grunnlag for undersøkelsene, ble det gjennomført et grundig litteratursøk. Dette ga dybdekunnskap om temaet.

Undersøkelsesmetodene har gått ut på laboratorie- og feltundersøkelser, både med metoder gitt av Norsk Standard, og empiriske metoder gitt av veiledere og utgitte publikasjoner om gulvbetong.

Tre tester med totalt 15 betongresepter ble utført. Hver test har hatt en referanseresept uten akselererende tilsetningsstoffer, som sammenligningsgrunnlag for de andre reseptene. De andre reseptene har bestått av den samme referanseresepten, men med forskjellige kombinasjoner av tilsetningsstoffer. Tilsetningsstoffene som er brukt er Mapefast HA, Mapefast SA, Mapefast R, Mapefast Ultra N og Master X-Seed 100.

I litteraturen fremkommer det at herdnings- og størkningsakselererende tilsetningsstoffer gir positiv effekt på flere områder, men dette baseres på undersøkelser gjennomført i laboratoriekontrollerte forhold.

Resultatene i denne oppgaven, viser at de akselererende tilsetningsstoffene gir gode resultater på alle områder, men ikke alle er like effektive i kaldt klima. Master X-Seed 100 tilsetningsstoffet viste seg samlet sett å gi de beste resultatene.

Konklusjonen er at glattetidspunktet og avbindingstiden kan framskyndes. Metoden benyttet for å bestemme glattetidspunktene, førte til glattetidspunkter lenge før avbindingstidene var ferdig. Utviklingen av trykkfasthet øker ved bruk av akselererende tilsetningsstoffer, og betongens konsistens kan styres rimelig nøyaktig med bruk av retarderende tilsetningsstoff. Økonomisk gir de akselererende tilsetningsstoffene kostnadsbesparelser, og de gir større besparelser på mindre prosjekter kontra større prosjekter.

## **Abstract**

This master thesis investigates the effect of accelerating additives, used in a typical concrete floor mixture. The investigations were conducted in the winter 2017/2018, in average Norwegian winter conditions. The purpose of the thesis was to determine which accelerating additives are most effective regarding the setting time, the brushing time, workability and early-strength accumulation for the concrete. In addition, the economic profitability of using accelerating additives in concrete has been considered.

In order to provide a good basis for the investigations, a thorough literature research was conducted. This resulted in gaining theoretical knowledge about the topic.

The investigation methods have consisted of laboratory and field studies, both using methods provided by Norwegian Standard, and empirical methods provided by supervisors and publications on floor concrete.

Three tests with a total of 15 concrete mixtures were executed. Each test had a reference mixture without accelerating additives, as a basis for comparison to the other mixtures. The other mixtures have consisted of the same reference mixture, with different combinations of additives. The additives used are Mapefast HA, Mapefast SA, Mapefast R, Mapefast Ultra N and Master X-Seed 100.

The literature study has provided information about hardening and setting accelerators and their positive effect in several areas, but these studies are based on tests carried out in laboratory-controlled conditions.

The results in this thesis, show that the accelerating additives enhance the behaviour of the concrete mixture, but not all are as effective in cold climate conditions. Master X-Seed 100 additive was proven to be the most efficient.

The conclusion is that both the brushing time and the setting time have been accelerated when using additives. The method used to determine the brushing time, lead to brushing time long before the setting time. The compressive strength increases, and the consistency can be controlled quite accurately with the use of retardant additives. Regarding cost factor, the accelerating additives provide cost savings, but greater savings are found on smaller than in larger projects.



## Forkortelser og ordforklaringer

**ASTM** – Internasjonal organisasjon for standarder fra USA

**Avbindingstid** – Tiden man har til rådighet for å bearbeide betong

**BASF** – Leverandør av blant annet tilsetningsstoffer til bruk i betong

**Bearbeide betong**– Arbeide med/støpe ut betongen

**Bestandighet** – Evne til å motstå nedbrytning.

**Ethafoam** – Skumplast/celleplast til å isolere med

**Flyveaske (FA)**– Støv renset ut fra røykgassene ved kullfyrte kraftverk

**Granulert** – Behandling som gjør et materiale kornet eller gir en kornet overflate

**Kalsiumhydroksid** – Kalkhydrat, et tungløselig salt

**Lavalkalisement** – Sement som inneholder under 0,6 % alkalier, som gjør at den kan brukes med reaktivt tilslag

**Mapei** – Leverandør av blant annet tilsetningsstoffer til bruk i betong

**Mapefast HA** – Herdningsakselerator fra leverandøren Mapei

**Mapetard R** – Størkningsretarder fra leverandøren Mapei

**Mapefast SA** – Størkningsakselerator fra leverandøren Mapei

**Mapefast Ultra N** – Herdningsakselerator fra leverandøren Mapei

**Master X-Seed 100** – Herdningsakselerator fra leverandøren BASF

**Reaktivt tilslag** – Alkaliereaktivt tilslag med høyt innhold av alkalier (sandstein, kvartsitt, leirskifer m.m.)

## Bildeliste

|   |     |
|---|-----|
| Bilde 1: Villa Saitan, et boligkompleks i betong i Kyoto, Japan. Hentet fra (Martin & Torimura 2016). ..... | 3   |
| Bilde 2: Betong-Porsche. Bilde gjengitt med tillatelse av Even Solbraa, tatt oktober 2017.....              | 4   |
| Bilde 3: Pantheon i Roma. Hentet fra (Gromicko & Shepard 2006-2018) .....                                   | 4   |
| Bilde 4: Pyramidene i Giza. Hentet fra (Bettum 2017).....   | 4   |
| Bilde 5: Illustrasjon av sementproduksjon. Hentet fra (Opsahl et al. 2014). .....                           | 6   |
| Bilde 6: Glatting av betonggulv. Hentet fra (Unicon 2017).....  | 21  |
| Bilde 7: Fotavtrykk i betong som er klar for glatting. Hentet fra (Norsk Betongforening 2017).<br>.....     | 22  |
| Bilde 8: Frostskaadet betong. Hentet fra (Sintef Byggforsk 1999).....                                       | 23  |
| Bilde 9: Påføring av herdemembran. Hentet fra (Haucon Norge AS 2016). .....                                 | 25  |
| Bilde 10: Trykkmåler for måling av luftinnhold i betong. ....   | 36  |
| Bilde 11: Utstyr til testing av fersk betong. ....  | 37  |
| Bilde 12: Måling av synkmål. ....   | 38  |
| Bilde 13a og b: Måling av utbredelse.....   | 39  |
| Bilde 14a: Engangs isoporform til forming av terninger. ....  | 40  |
| Bilde 14b: Fylt engangsform. ....   | 40  |
| Bilde 15: Herding av terninger utendørs, med temperaturloggere. ....  | 41  |
| Bilde 16: Prøvingsmaskin for trykkfasthet.....  | 42  |
| Bilde 17a: Terning etter avforming, 100 mm.....   | 42  |
| Bilde 17b: Terning med ujevn overflate. ....  | 42  |
| Bilde 18a: 100 mm forskalingsramme for dekkestøp. ....  | 43  |
| Bilde 18b: Forskalingsramme til dekkestøp.....  | 43  |
| Bilde 19: Betong fylles i forskalingsrammene. ....  | 43  |
| Bilde 20: Ferdig utstøpte dekker. ....  | 44  |
| Bilde 21a: 10 mm bolt .....   | 45  |
| Bilde 21b: Sjekk av inntrengningsdybde med bolt. ....   | 45  |
| Bilde 22: Fotavtrykk og merker etter stakeprøver med bolt. ....   | 46  |
| Bilde 23: Fylling av betong i murdunker. ....   | 103 |
| Bilde 24: Engangsformer og tilsetningsstoff klart til bruk.....   | 103 |
| Bilde 25: Måling av luftinnhold i betongen. ....  | 103 |
| Bilde 26: Fylling av betong i forskalingsformer. ....   | 103 |
| Bilde 27a: Glatting med stålglatte. ....  | 106 |
| Bilde 27b: Fotavtrykk ved glattetidspunkt. ....   | 103 |

## Figurliste

|   |    |
|---|----|
| Figur 1: Fersk sementpasta. Utarbeidet etter (Opsahl et al. 2014).....                            | 10 |
| Figur 2: Størkningsfasen. Utarbeidet etter (Opsahl et al. 2014).....                              | 10 |
| Figur 3: Herdet sementpasta. Utarbeidet etter (Opsahl et al. 2014).....                           | 10 |
| Figur 4: Egenskaper til Dynamon SR-N fra Mapei. Utarbeidet etter (Mapei 2013).....                | 13 |
| Figur 5: Egenskaper til Mapefast SA. Utarbeidet fra (Mapei 2015).....                             | 15 |
| Figur 6: Egenskaper til Mapefast HA. Utarbeidet fra (Mapei 2017a).....                            | 16 |
| Figur 7: Egenskaper til Mapefast Ultra N. Utarbeidet fra (Mapei 2017b).....                       | 16 |
| Figur 8: Egenskaper til Master X-Seed 100. Utarbeidet fra (BASF 2018).....                        | 17 |
| Figur 9: V/C-tallet styrer i stor grad trykkfastheten. Utarbeidet etter (Opsahl et al. 2014)..... | 18 |
| Figur 10: Avbindings- og herdeperioder for betong. Utarbeidet fra (Opsahl et al. 2014).....       | 20 |
| Figur 11: Hierarki for betongstandarder. Hentet fra (Standard Norge 2015).....                    | 30 |
| Figur 12: Flytskjema av prosessen med undersøkelsene.....   | 32 |
| Figur 13: Synkmål for reseptene i test 1.....   | 50 |
| Figur 14: Utbredelsesmål for reseptene i test 1.....  | 51 |
| Figur 15: Glattetidspunkt for reseptene i test 1.....   | 52 |
| Figur 16: Temperaturutvikling for terningene utendørs.....  | 53 |
| Figur 17: Trykkfasthet etter 18 timer, test 1.....  | 54 |
| Figur 18: Trykkfasthet etter 24 timer, test 1.....  | 55 |
| Figur 19: Trykkfasthet etter 30 timer, test 1.....  | 56 |
| Figur 20: Trykkfasthet etter 28 døgn, test 1.....   | 57 |
| Figur 21: Synkmål og bearbeidelighet for reseptene i test 2.....                                  | 59 |
| Figur 22: Utbredelsesmål for reseptene i test 2.....  | 60 |
| Figur 23: Glattetidspunkt for reseptene i test 2.....   | 61 |
| Figur 24: Temperaturutvikling for terningene utendørs.....  | 62 |
| Figur 25: Trykkfasthet etter 18 timer, test 2.....  | 63 |
| Figur 26: Trykkfasthet etter 24 timer, test 2.....  | 64 |
| Figur 27: Trykkfasthet etter 28 døgn, test 2.....   | 65 |
| Figur 28: Trykkfasthet etter 28 døgn, test 2.....   | 66 |
| Figur 29: Synkmål og bearbeidelighet.....   | 68 |
| Figur 30: Utbredelsesmål for reseptene i test 3.....  | 69 |
| Figur 31: Glattetidspunkt for reseptene i test 3.....   | 70 |
| Figur 32: Temperaturutvikling for terningene utendørs.....  | 71 |
| Figur 33: Trykkfasthet etter 18 timer, test 3.....  | 72 |
| Figur 34: Trykkfasthet etter 24 timer, test 3.....  | 73 |
| Figur 35: Trykkfasthet etter 30 timer, test 3.....  | 74 |
| Figur 36: Trykkfasthet etter 28 døgn, test 3.....   | 75 |
| Figur 37: Sammenligning av synkmål for alle testene.....  | 81 |
| Figur 38: Utbredelsesmålene i alle testene.....   | 83 |
| Figur 39: Glattetidspunkter for alle testene.....   | 84 |
| Figur 40: 18-timers trykkfasthet for alle testene.....  | 87 |
| Figur 41: 24-timers trykkfasthet for alle testene.....  | 89 |
| Figur 42: 30-timers trykkfasthet for alle testene.....  | 90 |
| Figur 43: 28 døgn trykkfasthet for alle testene.....  | 91 |
| Figur 44: Økning av fasthet etter glattetidspunkt.....  | 92 |

## Tabelliste

|  |     |
|--|-----|
| Tabell 1: De fire hovedmineralene i sement. Hentet fra (Opsahl et al. 2014).....   | 7   |
| Tabell 2: Materialer og kornstørrelser i tilslag. Utarbeidet etter (Søpler 2004).....  | 12  |
| Tabell 3: Fasthetsklasser og krav til karakteristisk trykkfasthet etter 28 døgn. Utarbeidet etter (Standard Norge 2014). ..... | 19  |
| Tabell 4: B30 M60 Standard FA sammensetning. ....  | 33  |
| Tabell 5: Priser lagt til grunn for utregning av kostnader. ....   | 46  |
| Tabell 6: Kostnad for tilsetningsstoffer per 4,5 m <sup>3</sup> . ....   | 47  |
| Tabell 7: Resepter i test 1. ....  | 49  |
| Tabell 8: Generell info, test 1. ....  | 49  |
| Tabell 9: Målt luftinnhold, test 1. ....   | 50  |
| Tabell 10: Avbindingstid i antall timer fra første vann/semment-kontakt. ....  | 53  |
| Tabell 11: Terningenes densitet i gram, ved 18-timers trykktest. ....  | 54  |
| Tabell 12: Terningenes densitet i gram ved 24-timers trykktest. ....   | 55  |
| Tabell 13: Terningenes densitet i gram ved 30-timers trykktest. ....   | 56  |
| Tabell 14: Terningenes densitet i gram ved 28 døgns trykktest. ....  | 57  |
| Tabell 15: Resepter i test 2. ....   | 58  |
| Tabell 16: Generell info, test 2. ....   | 58  |
| Tabell 17: Målt luftinnhold, test 2. ....  | 59  |
| Tabell 18: Terningenes densitet i gram, ved 18-timers trykktest. ....  | 63  |
| Tabell 19: Terningenes densitet i gram ved 24-timers trykktest. ....   | 64  |
| Tabell 20: Terningenes densitet i gram ved 30-timers trykktest. ....   | 65  |
| Tabell 21: Terningenes densitet i gram ved 28 døgns trykktest. ....  | 66  |
| Tabell 22: Resepter i test 3. ....   | 67  |
| Tabell 23: Generell info, test 3. ....   | 67  |
| Tabell 24: Målt luftinnhold, test 3. ....  | 68  |
| Tabell 25: Avbindingstid i antall timer fra først vann/semment-kontakt. ....   | 71  |
| Tabell 26: Terningenes densitet i gram, ved 18-timers trykktest. ....  | 72  |
| Tabell 27: Terningenes densitet i gram, ved 24-timers trykktest. ....  | 73  |
| Tabell 28: Terningenes densitet i gram, ved 30-timers trykktest. ....  | 74  |
| Tabell 29: Terningenes densitet i gram, ved 28-døgns trykktest. ....   | 75  |
| Tabell 30: Kostnadseksempel 1, test 1. ....  | 76  |
| Tabell 31: Kostnadseksempel 2, test 1. ....  | 76  |
| Tabell 32: Kostnadseksempel 1, test 2. ....  | 77  |
| Tabell 33: Kostnadseksempel 2, test 2. ....  | 77  |
| Tabell 34: Kostnadseksempel 1, test 3. ....  | 78  |
| Tabell 35: Kostnadseksempel 2, test 3. ....  | 78  |
| Tabell 36: V/C-tall for hver test. ....  | 79  |
| Tabell 37: Værforhold for hver test. ....  | 84  |
| Tabell 38: Avbindingstider per resept. ....  | 86  |
| Tabell 39: Oversikt over de tre testene med tilhørende tilsetningsstoffer. ....  | 101 |
| Tabell 40: Antall kg/m <sup>3</sup> av tilsetningsstoffene brukt i testene. ....   | 102 |
| Tabell 41: Antall kg tilsetningsstoffer som måtte tilsettes per muredning. ....  | 102 |

# 1. Innledning

## 1.1. Bakgrunn

Ved støping av gulv er et vesentlig spørsmål når man kan starte prosessen med å glatte gulvet. Å bestemme det rette tidspunktet, krever kunnskap og erfaring (Norsk Betongforening 2017). Tidspunktet varierer fra gang til gang, men det bør glattes mot slutten av avbindingstiden<sup>1</sup> når betongen fortsatt er bearbeidelig<sup>1</sup>.

I Norge støpes det mye gulv i sommerhalvåret. På grunn av høye lufttemperaturer, er det som regel ikke nødvendig å gjøre tiltak for å akselerere avbindingstiden på denne tiden av året. På vinteren derimot, når lufttemperaturene er lavere, vil avbindingstiden være vesentlig lengre. Dette fører til lengre ventetid før glattingen kan starte. På vinteren må det derfor gjøres forebyggende tiltak. Et tiltak er å blande inn akselererende tilsetningsstoffer i betongen.

På markedet finnes det i dag en rekke leverandører som leverer akselererende tilsetningsstoffer, deriblant Mapei og BASF. Min samarbeidspartner Betong Øst avd. Spydeberg, har Mapei som leverandør av tilsetningsprodukter. Betong Øst vet at de akselererende tilsetningsstoffene de bruker fungerer, men det finnes ifølge dem selv lite eksperimentelle undersøkelser på hvordan de fungerer i kaldt klima. AF Gruppen jobber tett sammen med Betong Øst, og de har derfor uttrykt et ønske om å undersøke bruk av akselererende tilsetningsstoffer i en typisk gulvbetongresept under kaldt klima. I dette tilfellet er det Betong Øst avd. Spydeberg sin leverandør (Mapei) og Betong Øst avd. Jessheim sin leverandør (BASF) som skal bli undersøkt.

<sup>1</sup> Se forklaring i «Forkortelser og ordforklaringer»

## 1.2. Formål

Formålet med oppgaven er å finne ut hvilke akselererende tilsetningsstoffer som har best effekt i en gulvbetongresept under kaldt klima. Dette med fokus på å framskynde glattetidspunktet, korte ned avbindingstiden samt opprettholde bearbeidbarhet og utvikle tidlig trykkfasthet. Et annet formål er å få innsikt i om bruken av tilsetningsstoffer er økonomisk konkurransedyktig mot å la gulvstøpere vente på forlenget tidspunkt for glatting.

### **1.3. Problemstilling og delspørsmål**

I hvilken grad kan akselererende tilsetningsstoffer bidra til å framskynde avbindingstiden til en typisk gulvbetongresept i kaldt klima?

For å finne en løsning på denne problemstilling må følgende delspørsmål besvares:

- På hvilket tidspunkt er det klart for glatting av en gulvbetongresept med akselererende tilsetningsstoffer, sammenlignet med den samme gulvbetongresepten uten akselererende tilsetningsstoffer?
- På hvilken måte endres egenskapene til gulvbetongen ved bruk av akselererende tilsetningsstoffer?
- Er bruken av akselererende tilsetningsstoffer sammenlignet med ventetiden for glatting uten økonomisk lønnsom?

## 2. Betongteori

Betong er et byggemateriale fra flere 1000 år tilbake i tid, og er ifølge (Opsahl et al. 2014) det mest brukte byggematerialet i Norge. Dette kommer av at råmaterialene finnes over store deler av verden, og betong kan tilpasses ulike bruksområder og produksjonsmetoder (Søpler 2004).



*Bilde 1: Villa Saitan, et boligkompleks i betong i Kyoto, Japan. Hentet fra (Martin & Torimura 2016).*

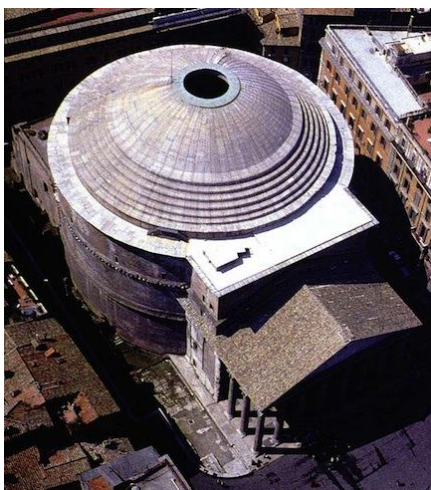
I hovedsak er betong en flytende sammensetning av 15-20 % vann, 10-12 % sement og 60-70 % sand og stein, før det stivner og oppnår sin styrke. I tillegg kan det tilsettes tilsetningsstoffer og tilsetningsmaterialer i mindre mengder for å endre på egenskapene til betongen. Av tilsetningsstoffer finnes det flere typer ut i fra hvilke egenskaper en ønsker å endre på. Et eksempel er herdningsakselererende tilsetningsstoff som skaper en hurtigere utvikling av fastheten i betongen (Opsahl et al. 2014). Eksempler på tilsetningsmaterialer er pozzolaner (flyveaske og silikastøv) og oppmalt granulert råjernsslagg. Dette er bindemidler som gjør betongen fastere og tettere (Søpler 2004).

Betong kan formes til omtrent hva man vil, f.eks. en Porsche som på bilde 2.

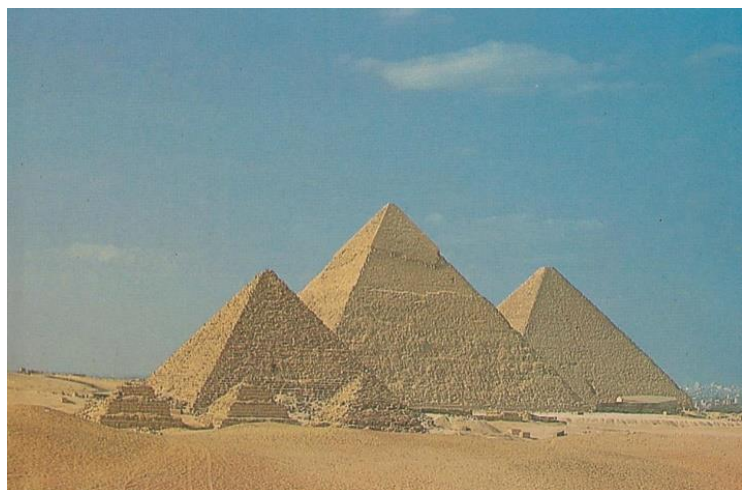


*Bilde 2: Betong-Porsche. Bilde gjengitt med tillatelse av Even Solbraa, tatt oktober 2017.*

Historien til betong går langt tilbake i tid. Helt tilbake til år 6500 f.Kr har man funnet spor av sementlignende bindemidler i Syria og Jordan. Etter dette ble det utviklet og brukt sementblandinger bestående av brent kalk og gips, blant annet i imponerende byggverk som pyramidene i Egypt og Pantheon i Roma. I disse byggverkene ble sementblandingen brukt som mørtel for å «lime» sammen steinene (Gromicko & Shepard 2006-2018).



*Bilde 3: Pantheon i Roma. Hentet fra (Gromicko & Shepard 2006-2018).*



*Bilde 4: Pyramidene i Giza. Hentet fra (Bettum 2017).*

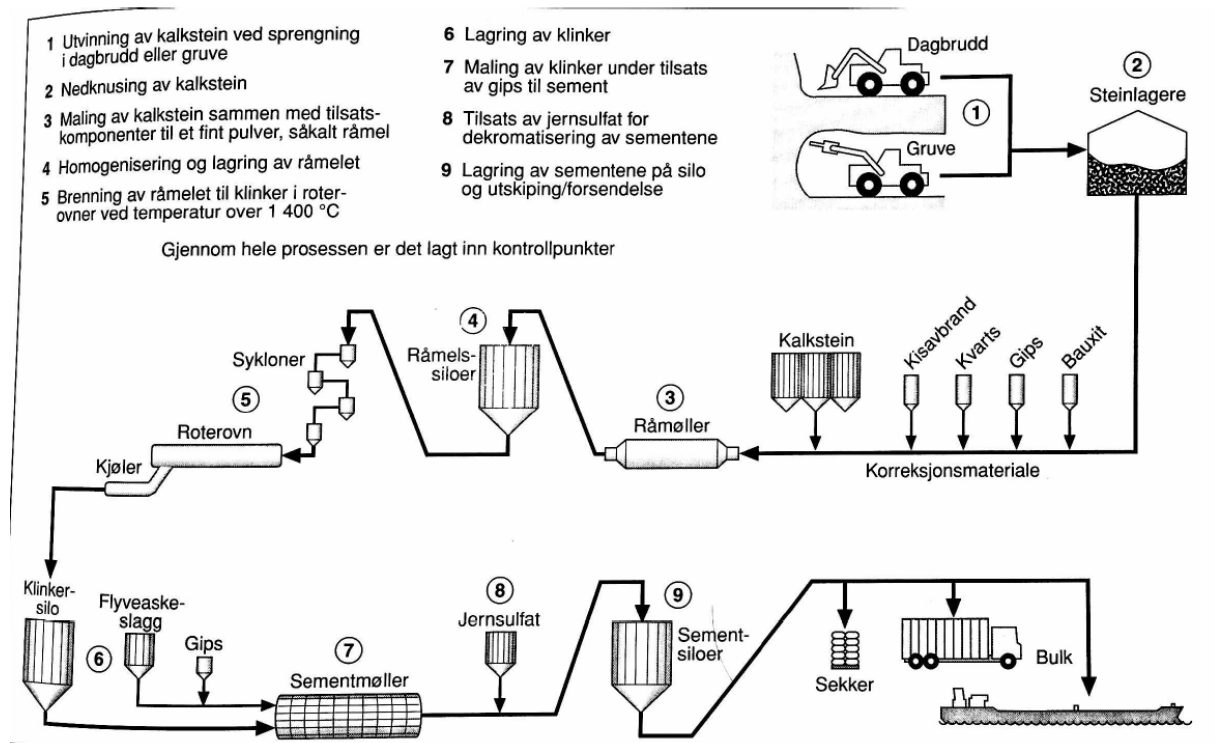


Det har skjedd mye utvikling siden den gang. I 1824 oppfant Joseph Aspdin «Portlandsement» for første gang, som er mest lik den sementen vi bruker i dag. Navnet kommer av at den herdnete sementen lignet høykvalitets bygningssteiner funnet i Portland, England. Ved å nøye proporsjonere kalkstein og leire, pulverisere det, brenne blandingen til klinker og så pulverisere det igjen, forbedret Aspdin tidligere metoder. Tidligere metoder gikk ut på å brenne naturlige forekommende blandinger av kalkstein og leire, men siden blandingene var proporsjonert av natur, ble sementens egenskaper varierende. Denne usikkerheten ble borte med Aspdin sin metode. (Gromicko & Shepard 2006-2018)

Betongen fikk sitt store gjennomslag som byggemateriale i 1867 da den franske gartneren Monier tok patent på å armere leirkrukker. I Norge begynte A/S Christiania Portland Sementfabrikk på Slemmestad i 1892. Og i 1915-20 ble de første armerte betongkonstruksjonene i Norge bygget (Opsahl et al. 2014).

## 2.1. Sement

Sement er kort fortalt kalkstein som sammen med korreksjonsmateriale (kvarts, gips etc.) blir knust til et fint pulver. Etter det er knust blir det brent til klinker, for så å bli knust igjen sammen med gips og eventuelt andre stoffer, som flyveaske, for å oppnå ønsket kvalitet (Opsahl et al. 2014). Se bilde 5 for illustrasjon av de ulike leddene i sementproduksjon.



Bilde 5: Illustrasjon av sementproduksjon. Hentet fra (Opsahl et al. 2014).

### 2.1.1. Portlandsement

I følge (Søpler 2004), er Portlandsement den mest brukte sementen i Norge. Portlandsement består i hovedsak av fire hovedmineraler (90-95 %) som bidrar til varmeutvikling, fasthetsutvikling, endelig fasthet og bestandighetsegenskaper (Opsahl et al. 2014). Se tabell 1:

Tabell 1: De fire hovedmineralene i sement. Hentet fra (Opsahl et al. 2014).

| Mineral | Navn                        | Kjemisk formel  | Symbol                |
|---------|-----------------------------|---|-----------------------|
| A       | Trikalsiumsilikat           | $3\text{CaO} * \text{SiO}_2$                                  | $\text{C}_3\text{S}$  |
| B       | Dikalsiumsilikat            | $2\text{CaO} * \text{SiO}_2$                                  | $\text{C}_2\text{S}$  |
| C       | Trikalsiumaluminat          | $3\text{CaO} * \text{Al}_2\text{O}_3$                         | $\text{C}_3\text{A}$  |
| D       | Tetrakalsiumaluminatferritt | $4\text{CaO} * \text{Al}_2\text{O}_3 * \text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{C}_4\text{AF}$ |

I tillegg til disse fire hovedmineralene består de gjenstående 5-10 % av sementen av mangan, svovel, kalium og natrium. Kalium og natrium er alkalier som bidrar til økt tidligfasthet samt at de vil forårsake ekspansjon dersom tilslaget er silikatholdig. Derimot om sementen inneholder under 0,6 % alkalier, kalles det en lavalkalisement. Sementen kan i disse tilfeller brukes sammen med reaktivt tilslag. (Opsahl et al. 2014)

### 2.1.2. Blandingssementer

Det finnes også Portland blandingssementer som blir mer og mer brukt fordi de er bedre for miljøet. Blandingssementer er hvor deler av sementen er erstattet med andre bindemidler eller inaktive fillere. Dette kalles også tilsetningsmaterialer (Søpler 2004).

Eksempler på andre bindemidler er pozzolaner eller latent hydrauliske tilsetningsmaterialer, som flyveaske, silikastøv og oppmalt slagg (Opsahl et al. 2014). Dette kan brukes som delvis erstatning av sementen, ved å males inn i sementen eller blandes i betongen (Søpler 2004).

Pozzolanene danner ikke sementlim direkte med vann, men sementen danner kalsiumhydroksid som i reaksjon med pozzolaner danner bindestoffer. Dette skaper styrke og tetthet. Kalsiumhydroksid i seg selv gir betongen høy pH og beskytter armering mot korrosjon. Oppmalt granulert jernslag er et latent hydraulisk bindemiddel som i reaksjon med vann danner bindemiddel, men det trengs en akselerator for å sette i gang prosessen (Søpler 2004).

Inaktive fillere vil si uorganiske materialer, som f.eks. kalksteinsmel og kvartsmel. Disse kan også males inn i sementen, eller tilsettes direkte i betongen. De har stor effekt når det er lite naturlig finstoff i tilslaget, men har ingen bindemiddeleffekt (Søpler 2004).

### **2.1.3. Sementtyper**

Norcem, som er Norges ledende sementleverandør, tilbyr i hovedsak 6 ulike sementtyper til bruk i Norge (Norcem 2018a):

- Norcem Standard FA
- Norcem Anleggsement
- Norcem Anleggsement FA
- Norcem Industri
- Slemmestad Mursement
- Aalborg White

I denne masteroppgaven er det kun utført tester med Norcem Standard FA, som ifølge (Norcem 2018b) er tilpasset norske forhold og kan benyttes til betong i alle eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasser. Standard FA-sement produseres med 20 % flyveaske. Standard-sement i seg selv var en ren Portlandsement med 95-100 % Portlandklinker. Standard FA ble først laget for å være et rimeligere alternativ til Standard-sementen, med identisk fasthet og varmeutvikling. Standard-sement er ikke lenger i Norcems produktspekter, og Standard FA-sementen har blitt dens erstatning. Standard FA har ikke lavt nok alkaliinnhold til å kalles en lavalkalisement, men kan likevel brukes sammen med reaktivt tilslag. Bestandighetsegenskapene er bedre for Standard FA enn de var for Standard-sement, og motstanden mot kloridinntrengning er bedre (Opsahl et al. 2014).

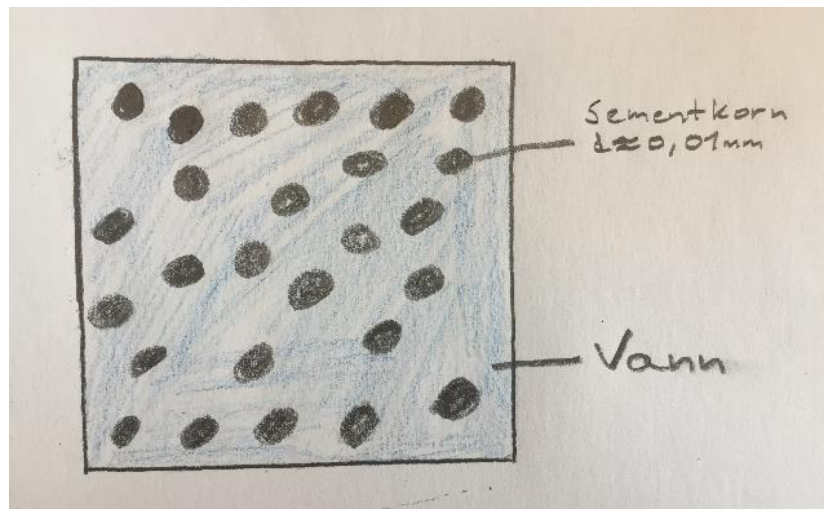
#### 2.1.4. Hydratisering av sement

Sement og vann skaper en kjemisk reaksjon som gir et fast reaksjonsprodukt (sementlim/pasta). Med andre ord vil det si at sementen er et hydraulisk bindemiddel. I denne kjemiske reaksjonen kalles det at sementen hydratiserer, som vil si at det vokser ut nålformet reaksjonsmasse, også kalt sementgel. Sementgel består av fastkrystaller, løskrystaller og gelporer. Fastkrystallenes forbindelse kalles CSH-fasen og er en kalsium-silisium-hydrat-forbindelse. Fastkrystallene gir betongen fasthet, stivhet og bestandighet. Løskrystallene gjør betongen basisk, med en pH-verdi på ca. 13. Løskrystallene består av kalsiumhydroksid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) (Opsahl et al. 2014).

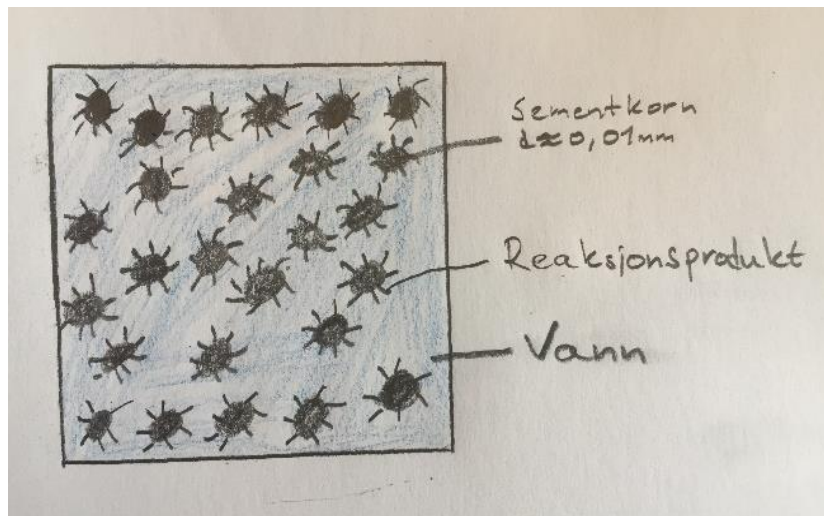
I CSH-fasen blir en vannmengde tilsvarende ca. 25 % av sementvekten kjemisk bundet. Ytterligere blir en vannmengde på ca. 15 % av sementvekten fysisk bundet til overflaten av reaksjonsproduktene som vann i gelporene. Dette betyr at det er nødvendig med en vannmengde tilsvarende 40 % av sementvekten for å oppnå 100 % hydratisering, altså et v/c-tall på 0,4. I et slikt tilfelle består sementen i hovedsak kun av reaksjonsmasse og gelporer. Derimot hvis v/c-tallet økes, vil det være mer vann i sementblandingen enn det som brukes i hydratiseringen, og det er i slike tilfeller at porer kan bli et problem når vannet fordampes (Opsahl et al. 2014). To poretyper som reduserer betongens styrke, tetthet og bestandighet er kapillærporer og kontraksjonsporer (luftporer). Kapillærporene kommer av overskudd av vann i sementblandingen, og påvirker i hovedsak bestandigheten. Kontraksjonsporer kan oppstå når betongen blandes. Dersom tilslaget er dårlig gradert, er det større fare for innkapslet luft. (Søpler 2004)

I de første timene og døgnene, skjer hydratiseringen raskest, men den kan fortsette langsomt i flere år (Søpler 2004). Det er i hydratiseringen betongens utvikling av fasthet starter, og denne utviklingen kan deles i to faser. Størkningsfasen og herdefasen. Størkningsfasen er fasen hvor betongen er flytende og kan bearbeides, fram til den får sitt første snev av fasthet. Herdefasen er når den nålformede reaksjonsmassen har overtatt størst del av volumet og herdeprosessen for betongens fasthet virkelig er i gang. (Opsahl et al. 2014)

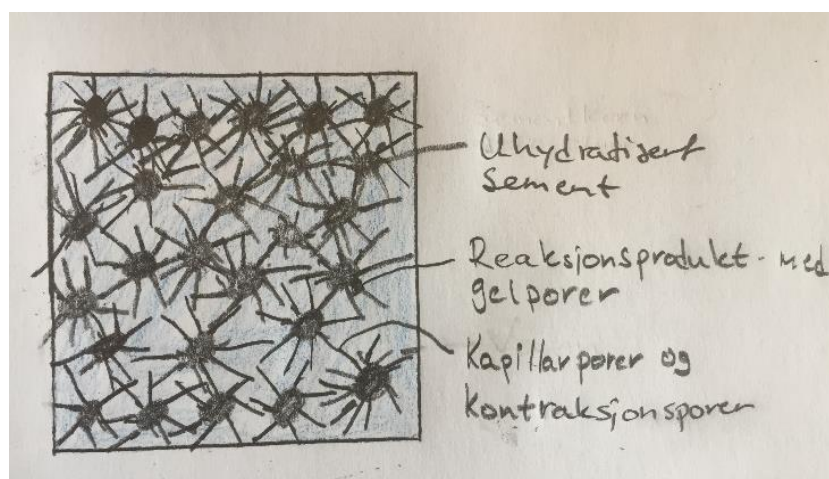
I figurene 1-3 illustreres hydratiseringsprosessen.



Figur 1: Fersk sementpasta. Utarbeidet etter (Opsahl et al. 2014)



Figur 2: Størkningsfasen. Utarbeidet etter (Opsahl et al. 2014)



Figur 3: Herdet sementpasta. Utarbeidet etter (Opsahl et al. 2014)

### **2.1.5. Vann/semnt forholdet**

For en betongsammensetning er det viktig å ha kontroll på forholdet mellom effektivt vanninnhold og semnt. Dette kalles v/c-tallet eller v/c-forholdet. Som nevnt er dette viktig blant annet på grunn av porer i betongen. Effektivt vanninnhold vil si total vannmengde i betongen fratrukket det som absorberes av tilslaget. V/c-tallet bør ligge mellom 0,4 og 0,6, og er avgjørende for hvordan type betong man vil oppnå (Opsahl et al. 2014). Dersom det er ønskelig å forandre betongblandingens konsistens, kan v/c-tallet endres. Mer vann vil øke v/c-tallet og gi bløtere konsistens. I forhold til synk på betongen må vannmengden endres med ca. 1 % for hver 10 mm endring i synk. Høyt v/c-tall fører imidlertid til redusert fasthet og bestandighet (Søpler 2004).

### **2.2. Tilslag**

Tilslaget, som utgjør den klart største delen i betongsammensetningen, kan deles i to kategorier. Naturtilslag og knust tilslag. Naturtilslag er løsmasser av sand, grus og rundsingel, mens knust tilslag er maskinknust fjell. Av maskinknust fjell kommer det som kalles maskinsand og pukk. Tilslaget graderes i siktstørrelser, hvor typiske størrelser er fra 0 til 22 mm. Størrelsene som brukes i en betongsammensetning velges ut i fra kravene som stilles til betongens formål. Kravene finnes i standardene NS-EN 206 (Standard Norge 2014) og NS-EN 12620 (Standard Norge 2016). Likevel bør tilslaget være velgradert for å gi best mulig betongkvalitet (Opsahl et al. 2014). I følge (Søpler 2004) er det også en fordel å ha rundest mulig overflate på tilslaget, for å få små hulrom mellom kornene og dermed minske behovet for sementlim.

Materialer og kornstørrelser som brukes i tilslag, vises i tabell 2.

Tabell 2: Materialer og kornstørrelser i tilslag. Utarbeidet etter (Søpler 2004).

| Type tilslag:                             | Kornstørrelse (mm): |
|---|---------------------|
| Grovt                                     | > 8                 |
| Stein (knust pukke og naturlig singel)    | > 4                 |
| Sand                                      | 4 >                 |
| Grus/fingrus (blanding av sand og singel) | 8 >                 |
| Fillersand                                | 0,125 >             |
| Filler                                    | 0,074 >             |
| Silt                                      | 0,06 > 0,002        |
| Leire                                     | 0,002 >             |
| Slam (silt og leire)                      | 0,06 >              |

Som nevnt tidligere er v/c-tallet viktig å ha kontroll på i en betongsammensetning. Tilslag kan inneholde vann, eller det kan absorbere vann fra betongen. Det kan derfor være nødvendig å ta prøver av fuktinnholdet i tilslaget for å kunne bestemme hvor mye vann man evt. må tilsette eller holde tilbake i en betongsammensetning (Opsahl et al. 2014). Kravene til tilslagets vannabsorpsjon finnes i NS-EN 1097-6 (Standard Norge 2013).

### 2.3. Tilsetningsstoffer.

*«Tilsetningsstoffer kan ikke gjøre en dårlig betong god, men gjøre en god betong bedre.»*  
(Opsahl et al. 2014)

Tilsetningsstoffers rolle i en betongsammensetning er å endre egenskapene til fersk eller herdnet betong. I følge (Opsahl et al. 2014) ble det levert 13,1 millioner kg tilsetningsstoff til norske betongprodusenter i 2002, noe som tilsvarer at betongen i gjennomsnitt inneholder drøyt 5 kg per m<sup>3</sup>. Tilsetningsstoffer tilsettes i små mengder før eller under blandingen av en betongsammensetning, i form av pulver eller væske (Søpler 2004).

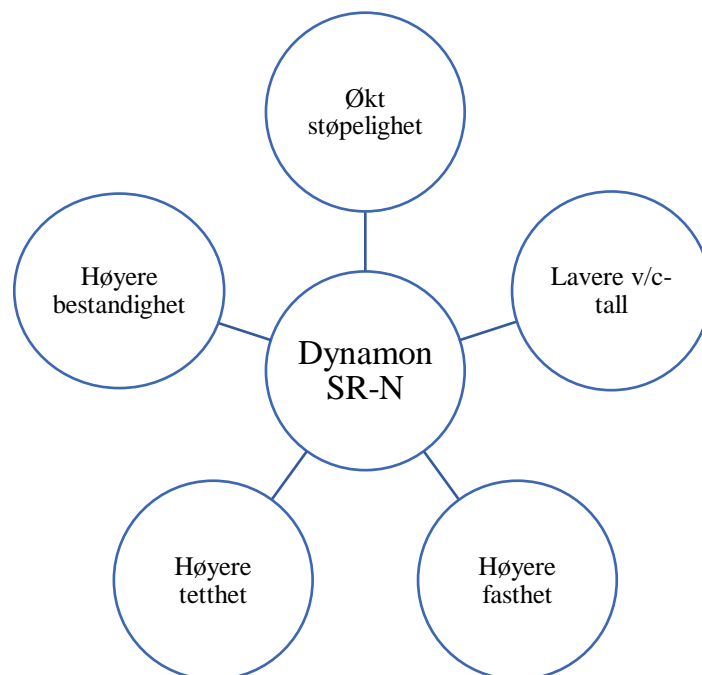


De mest brukte tilsetningsstoffene er delt inn i følgende klasser (Opsahl et al. 2014):

- Plastiserende/superplastiserende (P/SP-stoff)
- Størkningsretarderende
- Størkningsakselererende (SA-stoff)
- Herdningsakselererende (HA-stoff)
- Luftinnførende

### 2.3.1. Superplastiserende tilsetningsstoffer

SP-stoff har som hovedformål å oppnå ønsket konsistens på betongen med mindre vann, samt å gi god støpbarhet og bearbeidbarhet ved lave v/c-tall. De har en vannreducerende effekt, som igjen minsker behovet for sement. Dette er en besparelse for betongleverandørene, og SP-stoff finnes derfor stort sett alltid i betong produsert på fabrikk. SP-stoff gir en vannreduksjon på 12-40 % (Opsahl et al. 2014). P-stoff har en retarderende effekt, men SP-stoffene er som regel mindre retarderende. Andre fordeler med SP-stoff er at de har kort virkningstid (30-45 min) og kan doseres om igjen uten negative effekter (Søpler 2004). I forbindelse med undersøkelsene i denne masteroppgaven skal det i betong-resepten benyttes et SP-stoff fra Mapei, som heter «Dynamon SR-N». Se figur 4 for egenskapene til produktet.



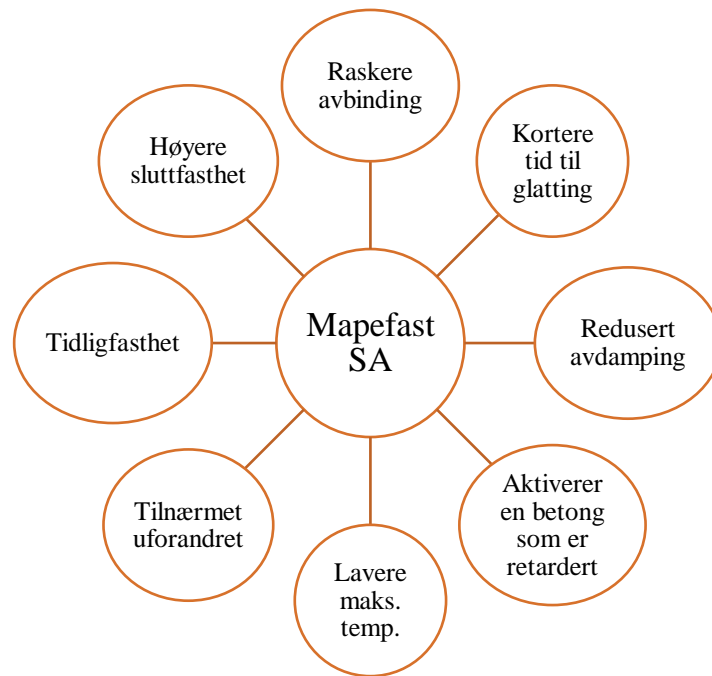
Figur 4: Egenskaper til Dynamon SR-N fra Mapei. Utarbeidet etter (Mapei 2013).

### **2.3.2. Størkningsretarderende tilsetningsstoffer**

Størkningsretarderende tilsetningsstoffer har en forsinkende effekt på betongens størkningsprosess. Dette skjer ved at stoffene legger seg som en tung løselig hinne rundt sementkornene og forsinker dermed hydratiseringen (Opsahl et al. 2014). Aktuelle situasjoner hvor størkningsretardasjon er ønskelig kan være ved glidestøp, ved å forlenge betongens bearbeidingsstid, støp i varmt vær, etc. I forbindelse med denne masteroppgaven brukes størkningsretarder for å simulere at betongblandingen skal kjøres 2 timer på en betongbil før den leveres på byggeplassen. Retarderingstiden kan styres nokså nøyaktig i opptil 2 døgn forutsatt at betongtemperatur, sementtype og mengde, konsistens, andre tilsetninger og tidspunkt for tilsetning holdes under kontroll (Opsahl et al. 2014). En bieffekt av retarderende stoffer er at det vil oppstå en herdningsakselererende effekt. Som eksempel vil trykkfastheten være høyere etter tre døgn, sammenlignet med en uretardert betong (Søpler 2004). Andre bivirkninger er økt fare for uttørking fra betongoverflaten og en plastiserende effekt. Sistnevnte kan brukes som fordel for støpeligheten (Opsahl et al. 2014). Retarderen som skal brukes i undersøkelsene til denne masteroppgaven er fra Mapei og heter «Mapetard R».

### **2.3.3. Størkningsakselererende tilsetningsstoffer**

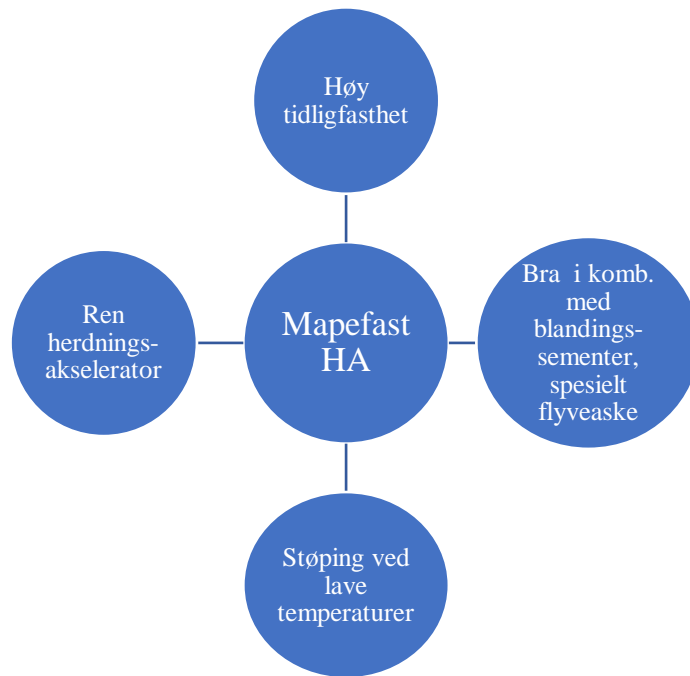
SA-stoff bidrar til kortere overgang fra plastisk til stiv tilstand. Betongen mister støpelighet og man oppnår ikke en høy tidligfasthet. Eksempler på når det kan være nødvendig med størkningsakselerasjon er ved sprøytebetong og ved ønske om tidlig glatting av betonggulv (Opsahl et al. 2014). I forbindelse med denne masteroppgaven, er fokuset på tidlig tidspunkt for glatting ved støp av gulv om vinteren. Størst virkning av SA-stoff oppnås med lavalkalisementer, men man vil også få effekt med høyalkalisementer (Opsahl et al. 2014). Det skal i undersøkelsene brukes SA-stoff fra Mapei, «Mapefast SA». I følge (Mapei 2015) er «Mapefast SA» ideell for gulvbetong. Den kan også brukes ved vinterstøp for å få i gang temperaturutviklingen på tidlig tidspunkt. Se figur 5 for egenskaper ved tilsetning av «Mapefast SA».



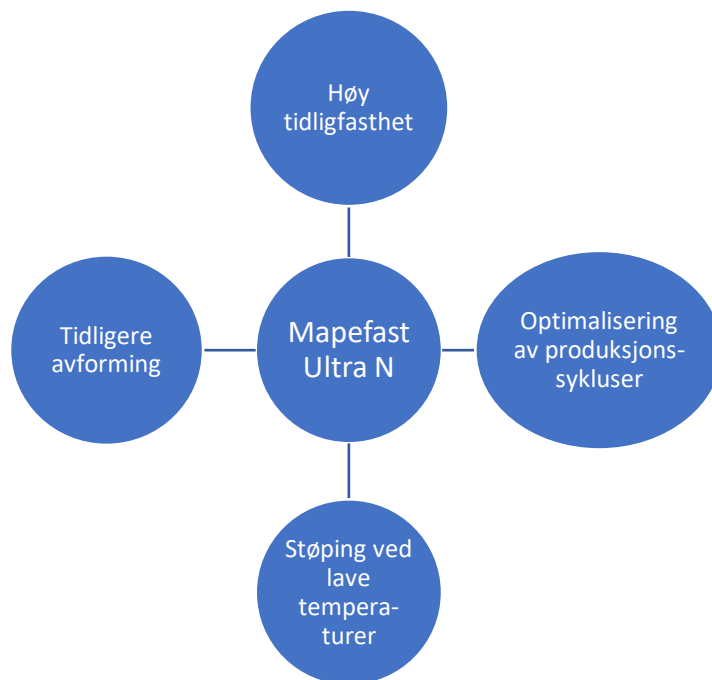
Figur 5: Egenskaper til Mapefast SA. Utarbeidet fra (Mapei 2015).

#### 2.3.4. Herdningsakselererende tilsetningsstoffer

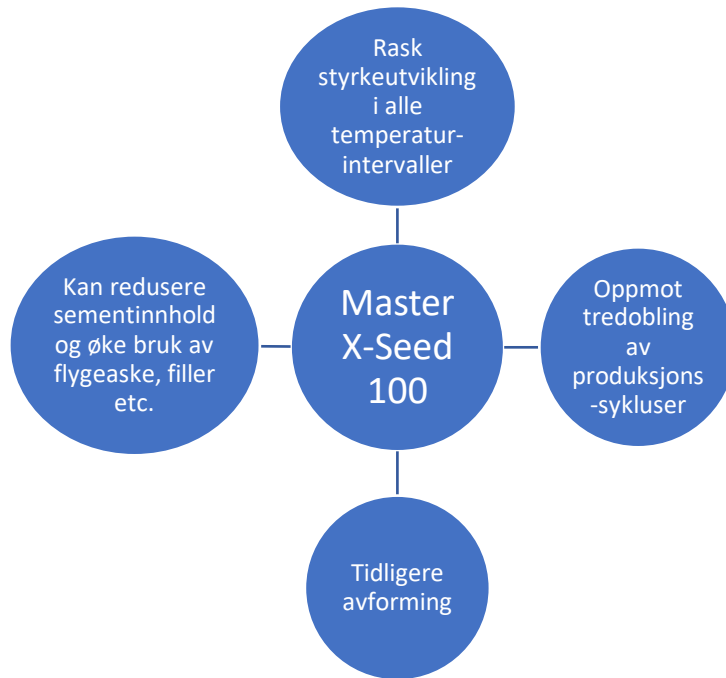
HA-stoff framskynder herdingsprosessen. Dette vil si en raskere utvikling av fastheten i betongen. Selv om herdningsprosessen blir framskyndet, påvirker det ikke støpeligheten i fersk tilstand (Opsahl et al. 2014). Det er hydrasjonsvarmen som frigjøres på et tidligere tidspunkt som fører til økt tidligfasthet (Mapei 2017a). HA-stoff har en vannreducerende virkning, noe som fører til hurtigere fasthetstilvekst og lavere masseforhold (Søpler 2004). Typiske situasjoner hvor HA-stoff blir brukt er ved vinterstøp for frostsikkerhet, ved ønske om tidlig formriving, ved glidestøp og i spennbetongindustrien (Opsahl et al. 2014). I forbindelse med undersøkelsene i denne masteroppgaven skal det prøves tre forskjellige HA-stoff. Disse er Mapefast HA, Mapefast Ultra N og Master X-Seed 100. Se figur 6-8 for typiske egenskaper til de ulike produktene.



Figur 6: Egenskaper til Mapefast HA. Utarbeidet fra (Mapei 2017a).



Figur 7: Egenskaper til Mapefast Ultra N. Utarbeidet fra (Mapei 2017b).



Figur 8: Egenskaper til Master X-Seed 100. Utarbeidet fra (BASF 2018).

### 2.3.5. Luftinnførende tilsetningsstoffer

Hovedgrunnen for å bruke luftinnførende tilsetningsstoffer er for å øke betongens bestandighet mot gjentatt frysing og tining. Ved tilsetning av luftinnførende stoffer bindes mange små luftbobler i sementlimet under blanding. Andre virkninger er forbedring av støpelighet og lavere fasthet. 1 % luft reduserer vannbehovet med 5 liter, men reduserer også fastheten med 5 % på grunn av poreøkningen (Opsahl et al. 2014).

Betong uten tilsatt luft inneholder som regel rundt 2 % luft. Med luftinnførende tilsetningsstoffer, er målet å oppnå 4-6 %. Økning utover dette vil redusere fastheten, men ikke forbedre frostmotstanden (Opsahl et al. 2014).

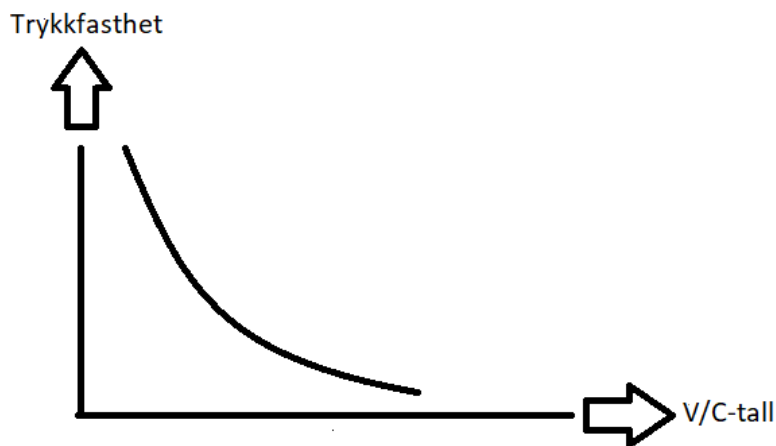
Det skal ikke brukes luftinnførende tilsetningsstoffer i undersøkelsene i denne masteroppgaven, men det skal tas luftprøver for å kontrollere at luftinnholdet ligger på ønsket nivå.

## 2.4. Betongs herdeprosess

Som nevnt i starten av teorikapitlet, er betong en sammensetning av vann, sement, tilslag og evt. tilsetningsstoffer/-materialer. I dette delkapitlet går det nærmere inn på betongens fasthets- og temperaturutvikling, og hvilke faktorer som innvirker på dette med fokus på vinterstøping og gulvbetong.

### 2.4.1. Fasthet

Betongens fasthet, eller trykkfasthet, vil si den største trykkraften per flateenhet som betongen kan tåle før sammenbrudd. Trykkfastheten er bruddlasten dividert med trykkflaten, og den angis i MPa = N/mm<sup>2</sup> (Søpler 2004). Den dominerende faktoren for en betongs fasthet er v/c-tallet. Når v/c-tallet er lavt vil sementkornene ligge tettere under hydratiseringen. Dette fører til at poremengden blir lavere, betongen blir tettere og fastheten blir høyere (Opsahl et al. 2014), se figur 9.



Figur 9: V/C-tallet styrer i stor grad trykkfastheten. Utarbeidet etter (Opsahl et al. 2014).

Andre faktorer som påvirker en betongs fasthet (Opsahl et al. 2014):

- Poretype og porestørrelse. Økende porevolum → redusert fasthet
- Pozzolaner, ved riktig herdeforhold som høy temperatur og fuktighet
- Herdeforhold, unngå tidlig uttørking og frysing
- Tilslaget bør være av god kvalitet
- Valg av sementtype
- Temperatur ved herding

I NS-EN 206-1 (Standard Norge 2014) stilles det krav om at fastheten på betong skal bestemmes ved å trykk-teste sylindere med en diameter på 150 mm og en høyde på 300 mm, eller terninger på 150 mm. Dette skal gjøres i samsvar med NS-EN 12390-1, og prøvene skal være framstilt og herdnet i samsvar med NS-EN 12390-2 fra prøver tatt i samsvar med NS-EN 12350-1.

Det står også at ved trykktesting av betong, kan det brukes prøvestykker med andre dimensjoner og andre etterbehandlingsmetoder. Det forutsettes da at forholdet mellom disse metodene og standardiserte metodene er påvist og dokumentert.

Nasjonalt tillegg i NS-EN 206-1 stiller krav til minste karakteristiske trykkfasthet for 28 døgns fasthet. Se tabell 3.

*Tabell 3: Fasthetsklasser og krav til karakteristisk trykkfasthet etter 28 døgn. Utarbeidet etter (Standard Norge 2014).*

| <b>Fasthetsklasse</b>                                | <b>B10</b> | <b>B20</b> | <b>B25</b> | <b>B30</b> | <b>B35</b> | <b>B45</b> | <b>B55</b> | <b>B65</b> | <b>B75</b> | <b>B85</b> | <b>B95</b> |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| CEN-<br>betegnelse                                   |            | C20/25     | C25/30     | C30/37     | C35/45     | C45/55     | C55/67     |            |            |            |            |
| Karakteristisk<br>sylinderfasthet<br>f <sub>ck</sub> | 10         | 20         | 25         | 30         | 35         | 45         | 55         | 65         | 75         | 85         | 95         |
| Karakteristisk<br>terningfasthet<br>f <sub>ck</sub>  | 12         | 25         | 30         | 37         | 45         | 55         | 67         | 80         | 90         | 100        | 110        |

#### **2.4.2. Temperaturutvikling**

Under reaksjonen mellom vann og sement utvikles det varme i betongen. Dette kalles hydrasjonsvarme og varierer med sementtypen, v/c-tallet, og eventuelle tilsetningsstoffer som er brukt. For en betong som ikke avgir varme til omgivelsene, kalles utviklingen av varme for adiabatisk temperaturutvikling. Dette forekommer kun i grove tverrsnitt og i godt isolert forskaling (Opsahl et al. 2014). I NS-3657 fastlegges en metode for å bestemme varmeutvikling i betong. Det skal brukes isolerte isoporkasser fylt med betong for registrering av temperaturutviklingen med en temperaturlogger (Standard Norge 1993).

Når den adiabatisk temperaturutviklingen er kjent, kan man finne den reelle temperaturutviklingen ved å ta hensyn til faktorer som gir varmetap. I følge (Opsahl et al. 2014)

er disse faktorene lufttemperatur, vind, forskalingstype, konstruksjonens dimensjon, isolasjon og utgangstemperaturen på betongen.

Ifølge (Norcem 2016) blir som oftest temperaturutviklingen til en betong målt direkte i den aktuelle betongen, istedenfor å følge den standardiserte prøvemethoden.

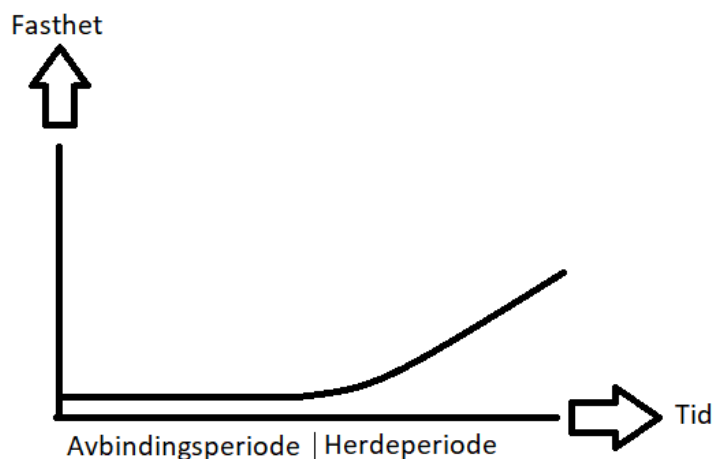
Varmeutviklingen innvendig i betongen kan utnyttes for å hindre at betongen fryser om vinteren. Ved for store temperaturforskjeller mellom innvendig og utvendig betongtemperatur, kan oppvarming påvirke at betongen sprekker opp (Søpler 2004).

### 2.4.3. Herdeteknologi

Herdeteknologi vil si kjennskapen til ulike faktorer som kan påvirke betongens temperatur og fasthetsutvikling. Faktorer som er nødvendig å ha kontroll i forbindelse med herdeteknologi er ifølge (Opsahl et al. 2014):

- Sementtype og sementmengde
- Tilsetningsstoffer og doseringsmengde
- Silikastøv
- Blandetemperatur
- Lufttemperatur og vind
- Forskalingstype
- Isolering

Det skilles mellom to perioder fra betongen støpes ut, til den har oppnådd en viss styrke. Disse periodene kalles avbindingsperioden og herdeperioden. Se illustrasjon av de to periodene i figur 10.



Figur 10: Avbindings- og herdeperioder for betong. Utarbeidet fra (Opsahl et al. 2014)



Avbindingsperioden eller avbindingstiden, er den tiden man har til rådighet for å bearbeide betongen. Herdeperioden er perioden når avbindingen er ferdig og betongen starter å utvikle fasthet (Opsahl et al. 2014). Det er som regel mot slutten av avbindingsperioden en gulvstøper tar vurderingen om man kan starte å glatte betongen. Dette kalles glattetidspunktet, og avhenger av forhold som (Norsk Betongforening 2017):

- Lufttemperatur
- Temperatur i tilstøtende flater
- Luftfuktighet
- Vind
- Betongresept
- Gulvtykkelse
- Betongtemperatur



*Bilde 6: Glatting av betonggulv. Hentet fra (Unicon 2017).*

Som nevnt innledningsvis, kreves det erfaring og kunnskap for å bestemme tidspunktet for å starte glattingen. En tommelfingerregel for når det er klart for å glatte et betonggulv er når man kan tråkke i betongen og etterlater seg et fotavtrykk på 3-4 mm (Norsk Betongforening 2017), se bilde 7 for illustrasjon.



*Bilde 7: Fotavtrykk i betong som er klar for glatting. Hentet fra (Norsk Betongforening 2017).*

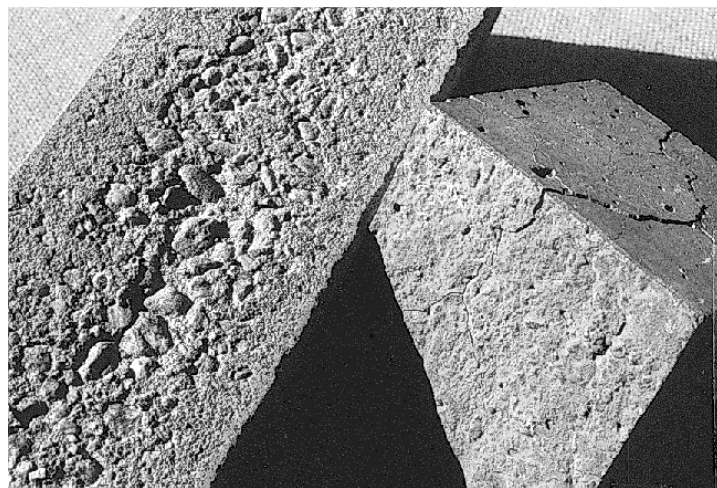
Det er viktig å vente så lenge som mulig for å redusere faren for delaminering. Delaminering vil si at et tett overflatesjikt på 3 til 10 mm har sluppet fra underliggende betong. Dette oppstår ved for tidlig glatting eller om betongen har separert. Det dannes et sjikt av vann og luft som har separert under den tette overflaten. Delaminering kommer som oftest til syne etter hvert som betongen herder, og kan derfor være vanskelig å oppdage under selve glattingen. (Norsk Betongforening 2017)

Dersom glattingen starter for tidlig, kan det som kalles «hengemyr» oppstå, som vil si at betongen gynger når man begynner å glatte. Dette kommer av at den underliggende betongen fortsatt er plastisk. For tidlig glatting kan også føre til lavere overflatefasthet, dårligere slitestyrke samt fare for andre ulike skadetyper som riss, krakelering, blemmer, flassing, støving og oppsmuldring. For sen glatting vil medføre vanskeligheter med å kunne utføre glattingen, siden betongen vil være for hard. Da kan man risikere å ikke oppnå full komprimering (Norsk Betongforening 2017).

#### 2.4.4. Vinterstøping og gulvbetong

Støping om vinteren i Norge betyr ofte at man må støpe i kaldt klima. Dette er ikke gunstig, men det er gjennomførbart med god planlegging, utførelse og etterbehandling. I følge (PCA 2017), en amerikansk sementprodusent, er definisjonen på støping i kaldt vær «en periode der den gjennomsnittlige daglige lufttemperaturen i mer enn tre påfølgende dager faller under 4,4 °C, og holder seg under 10 °C i mer enn halvparten av en hvilken som helst 24-timers periode.»

Frosset vann utvider seg med ca. 10 %. Siden vann utgjør ca. 20 % av betongens volum, vil det si at frosset betong utvider seg med 2 %. Dersom betong fryser, vil hydratiseringen stoppe opp. Selv om hydratiseringen starter opp igjen når betongen tiner, vil betongen bli porøs samt at bestandigheten og fastheten reduseres (Søpler 2004). Ved støping av dekker kan frysing i tidlig fase medføre oppsmuldring av overflaten, som igjen kan føre til behov for ekstrabehandling før påstøp (Norcem 2016). Vannet i betongen har lett for å samle seg og danne isroser dersom det fryser, noe som fører til store porer når betongen tines opp igjen. I slike tilfeller kan betongen få et fasthetstap på inntil 80 % (Opsahl et al. 2014).



Bilde 8: Frostskaadet betong. Hentet fra (Sintef Byggforsk 1999)

I NS-EN 13670 (Standard Norge 2010) står det at en betongs overflatetemperatur ikke skal synke under 0 °C før betongens overflate har oppnådd en trykkfasthet på minimum 5 MPa. Der det ikke gis rettleiding om betongfasthet for fjerning av forskaling, anbefales også 5 MPa trykkfasthet for å unngå skader ved riving. Betong oppnår som regel en styrke på 500 psi = 3,45 MPa i løpet av de første 24 timene (PCA 2017). PCA har for øvrig til sammenligning med Norge en grense på 3,45 MPa før betongen kan fryse.

Forhåndsregler for å støpe i kaldt vær, foreslått av (Opsahl et al. 2014) og (Søpler 2004):

- Forskaling og armering skal være fri for snø og is. Generelt skal det ikke støpes mot frosne berøringsflater som fører til at betongen fryser før den har oppnådd tilstrekkelig fasthet. Dette er et krav i NS-EN 13670 (Standard Norge 2010).
- Eksisterende konstruksjoner eller grunn må forvarmes om nødvendig. NS-EN 13670 (Standard Norge 2010) krever forholdsregler for å beskytte mot frostskafer, dersom lufttemperaturen forventes å være lav på støpetidspunktet eller i herdeperioden.
- På grunn av høyt temperaturfall ved støping i kulde, bør betongen ha såpass høy utgangstemperatur at temperaturfallet ikke hindrer hydratiseringen i å starte. Kravet i NS-EN 206 (Standard Norge 2014) er at temperaturen i en fersk betong ikke skal være lavere enn 5 °C på leveringstidspunktet.
- Etter utstøping må det dekkes til. Noen ganger er det nødvendig å isolere og tilføre varme. Under eventuell oppvarming skal betongen beskyttes mot fuktighetstap med tanke på uttørking.

Når det gjelder betonggulv, bør det generelt tildekkes så fort gulvet er støpt og ferdig behandlet. Slik sikres gode herdebetingelser og uttørking av gulvet hindres (Norsk Betongforening 2017). NS-EN 3420-L (Standard Norge 2017) angir ulike typer herdetiltak:

- Herding med herdemembran
- Herding ved utlegging av plastfolie
- Fuktig herding ved vannoverrisling
- Herding med herdemembran og plastfolie
- Herding med herdemembran og vannoverrisling



Bilde 9: Påføring av herdemembran. Hentet fra (Haucon Norge AS 2016).

Tildekking med plast er ifølge (Norsk Betongforening 2017) den mest effektive beskyttelsen mot fordamping, men det er ofte vanskelig å få til i praksis. Som alternativ anbefales derfor herdemembran, som sprayes på. Herdemembranen som skal brukes til undersøkelsene i denne masteroppgaven heter «Bro-Cure» og kommer fra leverandøren Haucon. Dette er et silikatbasert produkt som trenger inn i betongen, reagerer med kalken og tetter uten å endre betongens overflatestruktur (Haucon 2016).

## 2.5. Tidligere studier på området

I 2011 utførte (Ryou & Yong-Soo 2011) en studie på egenskapene til betong i tidlig stadier i kaldt vær. Som tilsetningsstoff ble det brukt pulverisert aluminat størkningsakselerator, som ble tilsatt både i pulverform og i form av tabletter. Studien sammenlignet reseptene tilsatt pulver med reseptene tilsatt tabletter. Studien så på avbindingstid, bearbeidbarhet i forlenget tid, tidligfasthet og motstanden mot frysing/tining.

Studien ble gjennomført med betong som hadde et v/c-tall = 0,5 og tilsetningsmengde varierte fra 0,1 – 3,0 %. For å bestemme bearbeidbarhet ble det tatt synkmål etter 30 og 60 minutter. Avbindingstid ble målt ved penetreringsmotstand i henhold til en amerikansk standard (ASTM). Disse prøvene herdet i et temperatur- og fuktighetskammer med temperatur  $20 \pm 2$  °C. Noen prøver herdet i 15 °C med 60 % luftfuktighet, disse også i temperatur- og fuktighetskammer. Disse prøvene ble trykktestet etter 14, 18 og 24 timer.

Som konklusjon ble den endelige avbindingstiden forkortet, både ved bruk av størkningsakselerator i pulverform og tablettform når tilsetningsmengden i forhold til sementvekten var 1 % eller mindre. Ved større tilsetningsprosent ble avbindingstiden kortet

mer ved pulverisert akselerator enn ved tablettene. Synkmål viste at bearbeidbarheten holdt seg best for reseptene hvor det var tilsatt 0,5 og 1,0 % akselerator i form av tabletter. Trykktestene viste at alle reseptene hadde oppnådd trykkfasthet over 5 MPa tidligst etter 24 timer. Alle reseptene viste motstand mot frysing/tinging.

Det finnes flere studier på effekten av anti-frys tilsetningsstoffer i betong. Blant annet har (Fatma et al. 2014) og (Riza 2016) gjennomført studier på bruk av tilsetningsstoffer som inneholder kalsiumnitrat og urea. Akselererende tilsetningsstoffer baseres ofte på blant annet kalsiumnitrat og urea ifølge (Myrdal 2007). Begge studiene gikk ut på å se hvilken effekt kalsiumnitrat og urea hadde ved frysing og tining av betong.

Fatma (med flere) sin studie brukte resepter med 9 % av sementvekt med kalsiumnitrat, 9 % med urea, kombinasjon med 4,5 % av hver i en resept og kontrollresepter uten tilsetningsstoff. En gruppe med resepter ble fryst i -5 til -20 °C, en annen herdet i vannbad ( $23 \pm 2$ ) °C og en tredje ble utsatt for vinterforhold typisk for Tyrkia. Herdingstiden varierte fra 7 til 365 dager. Konklusjonen deres var at alle reseptene med tilsetningsstoffer viste positive resultater ved -5 °C og utviklet større trykkfasthet i minusgrader enn kontrollreseptene. Videre konkluderte de med at kombinasjonen mellom kalsiumnitrat og urea fungerte best, spesielt for -5 og -10 °C.

Riza brukte resepter med 6 % av sementvekt tilsatt i hver sin resept som ble kontrollert mot en resept uten tilsetningsstoff. Kontrollreseptene ble herdet i fuktige forhold i en dag før de herdet i vannbad ( $23 \pm 1$ ) °C, mens reseptene med tilsetningsstoff ble utsatt for fryse-tine i sykluser på 1,3,5,7,10,15 og 28 ganger. Konklusjonen var at kombinasjonen av kalsiumnitrat og urea reduserte vannabsorpsjon for alle syklusene, mens resepten med kun kalsiumnitrat ga størst trykkfasthet.

I 2016 ble det utført en studie av (Bost et al. 2016) på tidlig hydratisering i Portland sement. Studien gikk ut på å sammenligne 12 resepter med lik betongresept og ulike tilsetningsstoff, og se deres påvirkning på hydratiseringsprosessen i sementen. Tilsetningsmengden var i hovedsak 0, 1, 5 og 10 %, men for noen typer 1 eller 3 % på grunn av spesifikke begrensninger som vanskeligheter med riktig håndblanding. V/c-tallet var satt konstant til 0,45 og hydratiseringshastigheten ble målt ved 20 °C.

Studiens resultater konkluderte med at Master X-Seed 100 var tilsetningsstoffet som ga størst akselererende effekt på hydratiseringen, også ved tilsetningsmengde på 1 % og mindre. Den var overlegen i forhold til de andre, spesielt ved såpass liten tilsetningsmengde.

Mapei utfører også egne studier på sine produkter. Blant annet viser produktdatabladet deres på Mapefast HA (Mapei 2017a) en test for å vise utviklingen av fasthet. Testen er utført med referanseressept B30 M60 Standard FA med v/c-tall 0,56 og konsistens 240 mm synk. Referanseressepten er sammenlignet med den samme resepten tilsatt Mapefast HA. Etter 18 timer er trykkfastheten for referanseressepten målt til 12,4 MPa og for resepten med Mapefast HA 16 MPa. Herdingen har foregått ved temperatur på 20 °C.





### **3. Metode**

I dette kapitlet presenteres forskningsmetodene og framgangsmåtene som er benyttet i denne masteroppgaven.

#### **3.1. Kvalitativ metode**

En kvalitativ metode baseres på teorier og menneskelig erfaring. Innsamlingen av materialet utføres systematisk gjennom samtaler, observasjoner eller skriftlige tekster. Innsamlet materiale bearbeides og analyseres (De nasjonale forskningsetiske komiteene 2010).

Kvalitative metoder preges av liten formaliseringsgrad, f.eks. ved at gyldigheten av data sjeldent blir kontrollert. Metoden har et mål om å skape en dyp forståelse for problemstillingen som studeres. Ved å skape forståelse og finne en totalsammenheng, kjennetegnes metoden ved nærhet til datakilden (Holme & Solvang 1996).

#### **3.2. Kvantitativ metode**

En kvantitativ metode er en forskningsmetode som blant annet går ut på telling, måling, testing og observasjon, og som ofte resulterer i statistikker med ulike variabler som kan fremstilles i tallverdier, tabeller, grafiske figurer o.l. Resultatene kan videre analyseres og tolkes (Befring 2015). Kvantitative metoder fokuserer på målbare data. Metoden er mer strukturert, formalisert, og i større grad preget av kontroll fra forskerens side enn kvalitativ metode. I motsetning til kvalitativ metode, er kvantitativ metode preget av selektivitet og avstand til datakilden (Holme & Solvang 1996).

#### **3.3. Valgt metode**

Denne masteroppgaven baserer seg i hovedsak på laboratorie- og feltforsøk som innebærer måling, testing og observasjon. Det vil si at denne delen av oppgaven er gjennomført på en kvantitativ metode. Likevel bærer oppgaven preg av kvalitativ metode, i den grad at samtaler med veiledere, og studier av publikasjoner og standarder, har vært nødvendig for å kunne gjennomføre, analysere og tolke undersøkelsene på en riktig måte.

I teoridelen er det gjort søk i allerede foreliggende litteratur. Det er gjennomført søk på blant annet «Google Scholar», «Oria» og «Science Direct», der tidligere forskningsrapporter er studert. Det er også benyttet informasjon fra bøker, både fra nasjonalbibliotekets nettsted og

NMBUs universitetsbibliotek. Denne søkingen og informasjonsinnsamlingen har gitt nødvendig fag- og dybdekunnskap om oppgavens tema.

Metodene som er brukt gjør at undersøkelsene er valide til å trekke slutninger ut i fra oppgavens formål. Dette er med på å styrke kvaliteten i oppgaven.

Når det gjelder undersøkelsenes reliabilitet, anses dette som ivaretatt ved at to av betongreseptene brukt i hvert forsøk har vært tilsvarende i alle tre testene. De kan derfor sammenlignes med, og avdekker eventuelle forskjeller fra en test til en annen.

### 3.4. Standarder

Det finnes mer enn hundre standarder på betongområdet, hvor flere av de ulike standardene kan brukes sammen med hverandre (Standard Norge 2015). Det er i denne oppgaven benyttet de produkt og prøvingsstandarder som har vært aktuelle for å kunne utføre de ulike laboratorieundersøkelsene. Dette med utgangspunkt i retningslinjer gitt i Eurokode 2 og NS-EN 206. Figur 11 viser hierarkiet av standarder. Dette hierarkiet oppfyller myndighetenes krav til sikkerhet for betongkonstruksjoner.



Figur 11: Hierarki for betongstandarder. Hentet fra (Standard Norge 2015)

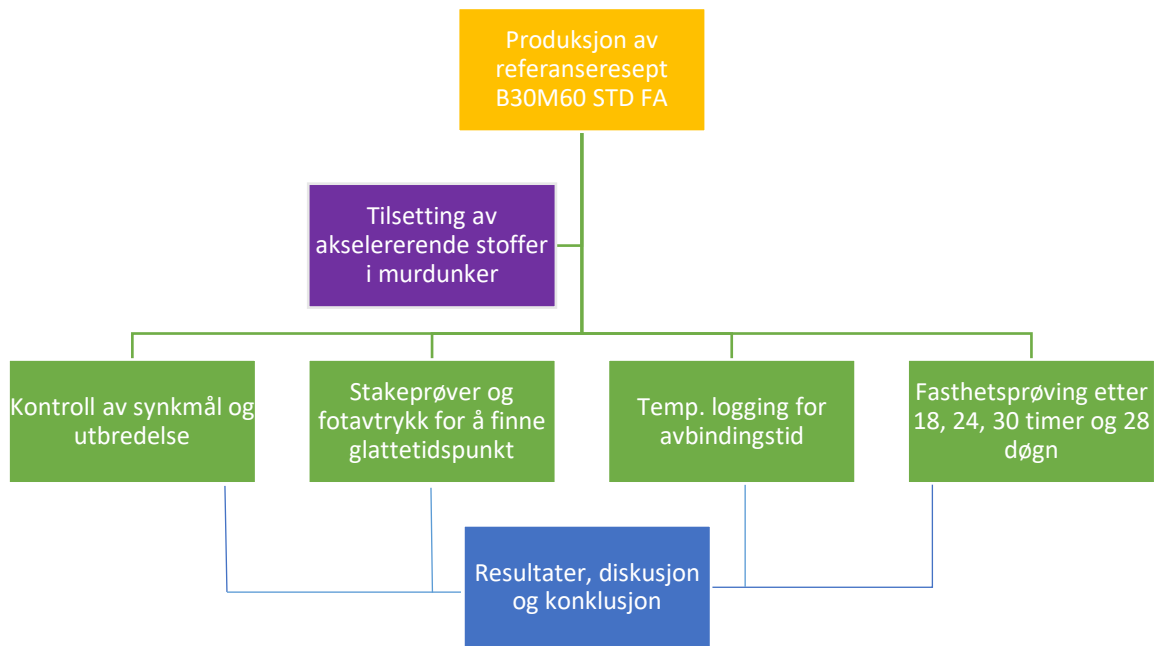
### **3.5. Laboratorie-/feltundersøkelser**

I dette underkapitlet vil det følge en detaljert beskrivelse av hva laboratorie- og feltundersøkelsene i denne masteroppgaven har gått ut på, og hvordan de har blitt gjennomført. Der ikke annet er referert, er bilder tatt av Even Solbraa.

Sammen med Bernt Kristiansen i AF Gruppen, Stefan Skjæret og Ulf Rinden i Betong Øst har jeg kommet fram til hva denne oppgavens undersøkelser skulle gå ut på. Fokuset har vært på testing av herdningsakseleratorer og ulik sammensetning av disse med og uten størkningsakselerator. Det har blitt gjennomført tre tester, hvor hver test besto av fem betongresepter. Som referanse i hver resept, er det brukt en B30 M60 Standard FA gulvbetongresept. Forskjellen i reseptene har vært tilsetningen av akselererende stoffer.

Undersøkelsene i denne masteroppgaven ble utført under reelle norske vintertemperaturer. Tidligere studier er enten utført ved kontrollerte forhold i 15-20 °C eller ved at prøveeksemplarer er fryst ned for så å bli tint opp igjen. Med andre ord er tidligere studier utført under laboratoriekontrollerte former hvor temperaturene kan bli satt konstante, mens undersøkelsene i denne oppgaven er utført under forhold lik det som kan forventes i virkeligheten. De tidligere studiene fokuserer på undersøkelsesmetoder gitt av standarder, mens det i undersøkelsene i denne oppgaven i tillegg er tatt med en empirisk metode for å bestemme glattetidspunkt. Resultatene viser hvilke akselererende tilsetningsstoffer som fungerer bra og ikke for gulvstøp på vinterstid, og da med spesielt fokus på Norge.

Figur 12 viser et flytskjema av hvordan undersøkelsen har blitt utført.



Figur 12: Flytskjema av prosessen med undersøkelsene.

Sammensetningen av reseptene har sett slik ut:

**Test 1:**

**Resept 1 (referanse):** B30M60 Standard FA uten akselererende tilsetningsstoffer + 2,5 % vann

**Resept 2:** Referanse + 2 % Mapefast HA + 1,0 % Mapefast SA

**Resept 3:** Referanse + 2 % Mapefast HA + 0,2 % Mapetard R + 1,0 % Mapefast SA (tilsatt etter 2 timer for å simulere transport til byggeplass)

**Resept 4:** Referanse + 1,5 % Mapefast SA

**Resept 5:** Referanse + 3,0 % Mapefast HA

**Test 2:** Samme som test 1, men Mapefast HA erstattes med Mapefast Ultra N

**Test 3:** Samme som test 1, men Mapefast HA erstattes med Master X-Seed 100

Fullstendig oversikt over testene inkludert antall prøver per test kan finnes i vedlegg A. Totalt har det blitt støpt 120 terninger og 15 dekker.

Videre i oppgaven navngis akseleratorene slik:

Mapefast HA = HA, Mapefast SA = SA, Mapetard R = R, Mapefast Ultra N = ULTRA, Master X-Seed 100 = X-SEED

Prosentvis tilsetning av de akselererende stoffene ble basert på at en sjåfør skulle ha muligheten til å tilsette SA direkte i betongtrommelen for resept 3. De andre reseptene ble derfor valgt å ha prosentvis tilsetning på nivå med dette. Hvor mye som måtte tilsettes per kubikk og per murdunk kan finnes i vedlegg B.

Tanken bak resept 3 var å se om tilsetningen av SA kunne sette i gang størkningsprosessen. Med 0,2 % retarder skulle prosessen i utgangspunktet retarderes 2 timer.

Referansebetongen B30 M60 Standard FA, er en gulvbetongresept som brukes av Betong Øst. Se tabell 4 for sammensetning.

Tabell 4: B30 M60 Standard FA sammensetning.

| <b>B30 M60* STD 16 mm R25**</b> | <b>Kg/m<sup>3</sup></b> | <b>Type</b>         | <b>Vanninnhold %</b> |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|
| Sand (0-8 mm)                   | 1105,46                 | Langbrekke          | 0                    |
| Grus (8-16 mm)                  | 648,311                 | Feiring             | 0                    |
| Sement                          | 378,026                 | Norcem Standard FA+ | 0                    |
| Kaldt vann                      | 98,66                   |                     | 100                  |
| Varmt vann                      | 101,5                   |                     | 100                  |
| SP-stoff                        | 3,528                   | Mapei Dynamon SR-N  | 80,5                 |
| Densitet                        | 2335,486                |                     |                      |

\* M60 står for betongens bestandighetsklasse. En betongs bestandighet vil si betongens evne til å motstå nedbryting (Juliebø 2005). Bestandighetsklassene kobles opp mot eksponeringsklasser. M står for masseforhold, og tallet bak betyr at tallet er 100 ganger det største tillatte masseforholdet for betong i denne klassen (Opsahl et al. 2014). Det er ikke gått nærmere inn på de ulike bestandighetsklassene.

\*\*16 mm R25 har med kornstørrelsen på tilslaget å gjøre. Største diameter er 16 mm, og R25 står for at steinmengden er redusert 25 %. Det er ikke gått nærmere inn på dette.

Hver test besto av å støpe fem dekker på 1 x 1 x 0,1 m, for å simulere støp av gulv på grunn. Årsaken til tykkelse på 100 mm er at dette, ifølge (Norsk Betongforening 2017), er typisk tykkelse for gulvstøp og fordi det er minimumstykkelsen for blant annet enkeltarmert tverrsnitt i alle gjeldende gulvklasser. F.eks. kan det støpes gulvstøp på grunn på 150 mm, men her vil betongen holde seg varmere på grunn av tykkelsen. Med 100 mm får man undersøkt et mer «kritisk» scenario. Det ble ikke benyttet armering i dekkene, da det ifølge mine eksterne veiledere Bernt Kristiansen, Stefan Skjæret og Ulf Rinden ikke ville hatt noen påvirkning for undersøkelsene.

Hver test hadde en godt planlagt framgangsmåte. Denne kan ses i vedlegg C. Framgangsmåten gikk ut på å først fylle 2 kubikk med betong på en betongbil. Markerte murdunker fyltes med 70 liter per dunk direkte fra bilen. Murdunkene ble kjørt inn i en stor lagerhall, hvor tilsetningsstoffene ble mikset inn med håndholdt mikser. På forhånd var tilsetningsstoffene veid opp og sto klare i markerte beger inne i lagerhallen.

For hver test ble det gjennomført følgende undersøkelser:

- **Uttørkingsprøve:** Det ble tatt en uttørkingsprøve av betongen direkte fra betongbilen for å kontrollere v/c-tallet. Krav fra NS-EN 206 gjennom Betong Øst sitt datasystem er v/c-tall på maksimum 0,545 for resepten som ble benyttet.
- **Luftprøver:** I test 1 ble det tatt luftprøver av alle reseptene for å se om de lå på noenlunde likt nivå. Siden tilsettingen av de ulike akselerasjonsstoffene i utgangspunktet ikke skal påvirke luftinnholdet i betongen, ble det i test 2 og test 3 kun tatt luftprøver på resept 1 og 2.
- **Synkmål og utbredelse:** Det ble tatt synkmål og utbredelse av alle fem reseptene. Det første målet ble tatt rett etter at tilsetningsstoffene var mikset inn og deretter hver halvtime til synkmålet var under 200 mm. Synk under 200 mm ble ansett som lite bearbeidelig for gulvstøping. Typisk utbredelse for en synk på 200 mm kan ifølge (Norsk Betongforening 2017) være 340 mm.
- **Støp av terninger:** For å simulere tidspunkt for når forskalingen kan fjernes, ble det trykktestet terninger etter 18, 24 og 30 timer. For hver resept ble det støpt 8 terninger. 4 stk. ble plassert inne i en lagerhall hvor lufttemperaturen lå på ca. 13 °C, og 4 stk. ble plassert ute. For hver trykktest ble det trykket en terning som hadde herdet inne og en som hadde herdet ute. Den resterende terningen inne ble avformet etter ett døgn og plassert i vannbad på 20 °C, for trykktesting etter 28 døgn.

- **Temperaturlogging:** Den resterende terningen utendørs ble temperaturlogget. Dette for å kunne finne betongens avbindingstid.
- **Glattetidspunkt:** Alle dekkene ble jevnlig kontrollert etter utstøping, for å finne glattetidspunktet. Dette foregikk ved å stikke en 10 mm bolt ned i betongen for å kjenne motstanden, og ved fotavtrykk i betongen.

Undersøkelsene ble gjennomført med følgende fremgangsmåter:

### **3.5.1. Uttørkingsprøve**

Uttørkingsprøve ble tatt direkte fra betongbilen. En ildfast form ble fylt med en skuffel med betong. Dette ble veid opp på en digital vekt. Deretter ble formen plassert i en mikrobølgeovn, og tørket helt til alt vann var fordampet. V/c-tallet ble regnet ut ved å sammenligne vekten før og etter uttørking.

På grunn av at tilsetningsstoffene var i væskeform, ble v/c-tallet endret når tilsetningsstoffene ble tilsatt. Dette ble kompensert ved å holde igjen 5 liter vann per kubikk i produksjonen. 5 liter per kubikk tilsvarer 2,5 % av totalt vanninnhold. For at det ikke skulle bli feil v/c-tall i referanseresepsten, ble det tilsatt 2,5 % rent vann i denne etter at betongen var fordelt i murdunker. Det betyr at v/c-tallet som ble utregnet av uttørkingsprøven er lavere enn faktisk v/c-tall. V/c-tallet fra en standard produksjon av referanseresepsten skal være 0,537. Etter at 5 liter vann var holdt igjen, kunne det nye v/c-tallet fra produksjon ventes å være 0,524.

### 3.5.2. Luftprøve

NS-EN 206 (Standard Norge 2014) angir ingen krav til minste luftinnhold for referansebetongen. Det ble tatt luftprøver i henhold til NS-EN 12350-7:2009 (Standard Norge 2009c) med trykkmålemetoden. Se følgende prosedyre:

Utstyr:

- Beholder med trykkmåler og luftpumpe
- Komprimeringsstav
- Skuffel



Bilde 10: Trykkmåler for måling av luftinnhold i betong.

Beholderen plasseres på en plan flate og fylles med betong i ett eller flere lag. For å oppnå full komprimering skal betongen komprimeres enten med innvendig vibrator, vibratorbord eller komprimeringsstav. I dette tilfellet ble det benyttet komprimeringsstav, hvor 3 lag ble fylt og hvert lag komprimert med stamping 25 ganger. For å fjerne lommer med innesluttet luft bankes sidene av beholderen forsiktig med en tre-/gummihammer.

Før overdelstykket settes på plass er det viktig å rengjøre flensene på beholderen og overdelstykket. Deretter klemmes det på plass, og påses at det er tett.

Hovedventilen stenges, og luftventilene på hver side av beholderen åpnes. Vann presses gjennom en av ventilene, helt til rent vann uten luftbobler kommer ut av den andre ventilen. Steng avtappingsventilen og pump luft inn i luftkammeret til viseren på trykkmåleren er på det



opprinnelige trykknivået. Dette tilpasses ved å pumpe inn ytterligere luft eller slippe ut luft, avhengig av hva som er nødvendig. Steng luftventilene, før hovedluftventilen åpnes. Slå forsiktig på trykkmåleren og les av verdien.

### 3.5.3. Synkmål og utbredelse.

Synkmål og utbredelse forteller hvordan betongens konsistens er. Synkmål er en svært vanlig metode å karakterisere betongens støpelighet på, fordi den er såpass enkel å gjennomføre (Opsahl et al. 2014).

Måling av utbredelse ble gjort på en forenklet måte i forhold til Standard Norge sin anvisning, men det er gjort på den måten som ifølge mine eksterne veiledere i AF Gruppen og Betong Øst er mest vanlig å utføre i praksis. Betong kan ha ulik støpelighet selv om synkmålet er likt. Dette kan oppstå på grunn av ulike delmaterialer og proporsjonering i betongresepter. Det bør derfor måles både synk og utbredelse. Det kan være ønskelig med høyere utbredelse for en gitt synk, når det gjelder gulvbetong (Norsk Betongforening 2017).

Utstyr:

- Synkkjegle med diameter bunn  $200 \pm 2$  mm, topp  $100 \pm 2$  mm og høyde  $300 \pm 2$  mm
- Underlagsplate, ikke-absorberende
- Komprimeringsstav med diameter  $16 \pm 1$  mm og lengde  $600 \pm 5$  mm
- Tommestokk
- Skuffel



Bilde 11: Utstyr til testing av fersk betong.

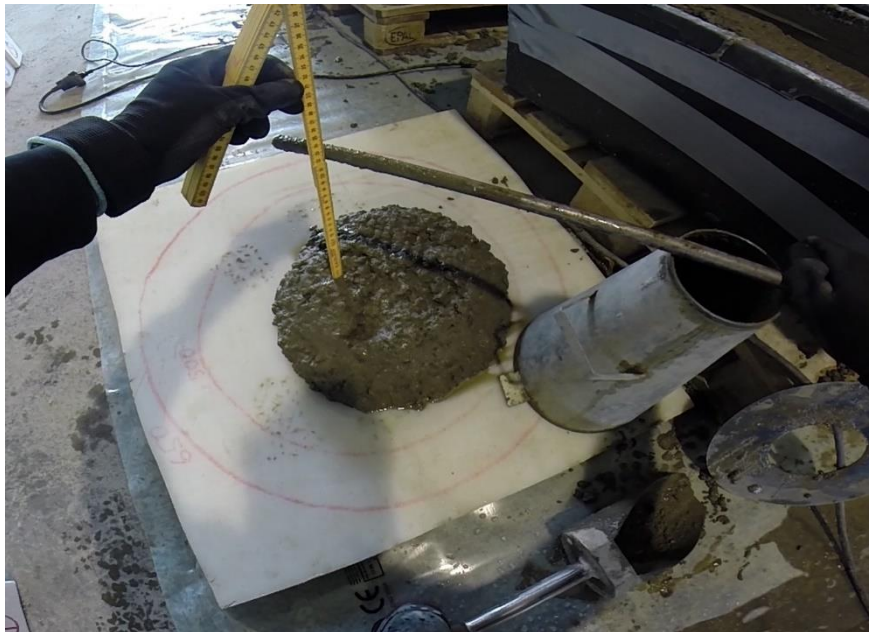
Prosedyren for synkmål fra NS-EN 12350-2 (Standard Norge 2009a) er som følgende:

Synkkjeglen og underlagsplaten fuktes, før den plasseres på underlagsplaten. Synkkjeglen skal holdes fast til platen ved å f.eks. stå på fotstøttene på synkkjeglen, når den fylles.

Synkkjeglen fylles med tre lag, hvor hvert lag utgjør ca. 1/3 av kjeglens høyde. For hvert lag skal det stemples med komprimeringsstaven 25 ganger for å komprimere betongen. Det skal stemples jevnt fordelt over tverrsnittet av hvert lag. For det nederste laget skal det stemples i en spiral mot midten og det kan være nødvendig å skråstille staven. Det nederste laget skal stemples gjennom hele sin dybde, men det skal unngås å stampe mot underlaget. De to andre lagene skal stemples gjennom hele sin dybde, slik at komprimeringsstaven så vidt trenger igjennom underliggende lag. Synkkjeglen fylles helt til randen, og evt. overflødig topplag avrettes i en sagende eller rullende bevegelse med komprimeringsstaven.

Sølt betong fjernes fra underlaget. Synkkjeglen løftes forsiktig fra betongen i vertikal retning. Dette skal skje i en jevn bevegelse på 2-5 sekunder.

Etter at synkkjeglen er fjernet, skal umiddelbart synkmålet måles og registreres. Dette gjøres ved å måle avstanden fra toppkant av synkkjeglen og ned til det høyeste punktet på betongen, som vist på bilde 12.

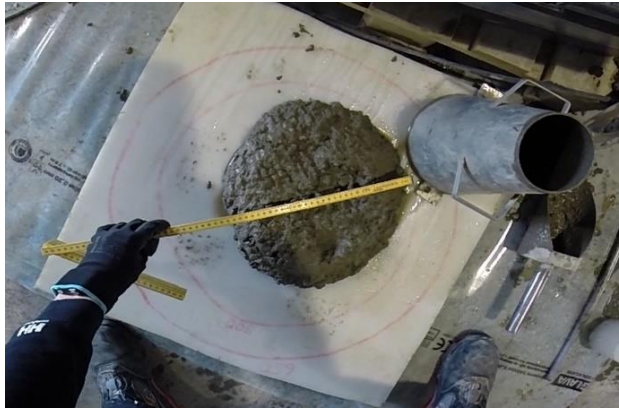


*Bilde 12: Måling av synkmål.*

Betongens utbredelse har i undersøkelsene blitt utført ved å måle den største diameteren på betongen og på tvers av dette, som vist på bilde 13a og b. Utbredelsesmålet har blitt registrert som gjennomsnittet av disse to målene. Denne metoden har mest likehetstrekk med metoden for måling av utbredelse på selvkomprimerbar betong i henhold til (Nordic Innovation Centre 2006).



*Bilde 13a: Måling av utbredelse.*



*Bilde 13b: Måling av utbredelse.*

Til opplysning går NS-EN 12350-5 (Standard Norge 2009b) sin prosedyre for måling av utbredelse ut på at en mindre synkkjegle plasseres på et fallbord. Kjeglen fylles med betong i to lag, hvor hvert lag komprimeres med stav 10 ganger. Kjeglen fjernes etter 30 sekunder. Når kjeglen er fjernet heves bordplaten før den slippes ned i fritt fall. Dette gjøres 15 ganger, før utbredelsesmålet måles på samme måte som vist på bilde 13a og b. Denne metoden er utdatert og utføres sjeldent i praksis, ifølge ekstern veileder Bernt Kristiansen i AF Gruppen.

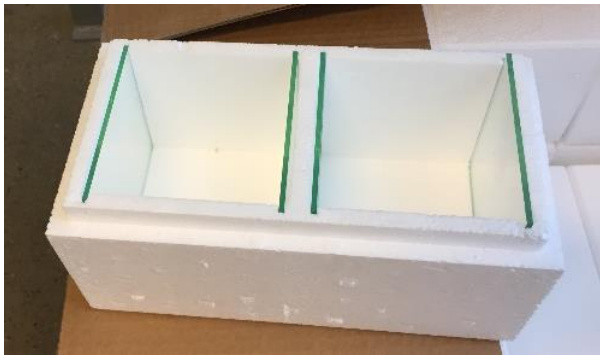
### 3.5.4. Trykktesting av terninger.

Fasthetsprøvingene av terninger i denne oppgaven er gjort i henhold til Norsk standard sin serie NS-EN 12390 Prøving av herdnet betong.

Utstyr:

- Stålform eller engangsform på 100 x 100 x 100 mm
- Komprimeringsstav eller annen redskap å komprimere med, evt. vibratorbord
- Skuffel

Bilde 14a og b viser engangsformene av isopor, som ble benyttet i undersøkelsene. Isoporformene har to sider av glass for å lage glatte flater til trykktesting.



Bilde 14a: Engangs isoporformer til forming av terninger.



Bilde 14b: Fylt engangsform.

Prosedyre for støping av prøvelegemer til fasthetsprøving fra NS-EN 12390-2:2009 (Standard Norge 2009d) er som følger:

Der det er nødvendig, skal den indre overflaten av formen påføres et tynt lag slippmiddel som ikke reagerer med sementpasta. Formene fylles med ett eller flere lag for å oppnå full komprimering. Dette er avhengig av betongens konsistens og komprimeringsmetoden. Betongen komprimeres umiddelbart etter at den er plassert i formen, på en slik måte at betongen komprimeres fullstendig uten separasjon eller dannelse av sementslam. Komprimeringen skal enten foregå ved bruk av vibratorbord, komprimeringsstav eller rett komprimeringsstøter laget av stål.

Dette trengtes ikke slippmiddel for isoporformene i denne oppgavens undersøkelser. Vibratorbord egnet seg ikke til isoporformene. Til isoporformene ble det benyttet en sparkelspade for å komprimere betongen og få den jevnt fordelt i hele formen. Etter

komprimering ble det satt på isoporlokk, og terningene ble plassert utendørs og innendørs for herding.

Bilde 15 viser herding av terningene utendørs med tilkoblet temperaturloggere.



Bilde 15: Herding av terninger utendørs, med temperaturloggere.

Avbindingstiden ble lest ut i fra temperaturlogging. Ved å se på når temperaturen i betongen hadde steget 2 °C fra laveste registrerte temperatur. Dette en metode å måle avbindingstiden på fra (Statens vegvesen 1997). Det ble valgt å bruke denne metoden istedenfor metoden beskrevet i NS-EN 480-2:2006 (Standard Norge 2006). Standard Norge sin metode krever et måleutstyr som ikke er brukt i denne oppgaven.

Etter 18, 24 og 30 timer ble terningene trykktestet i prøvingsmaskinen godkjent i henhold til NS-EN 12390-4 (Standard Norge 2000). Tiden ble regnet fra tidspunktet hvor engangsformene ble fylt med betong. Sett i ettertid, burde tiden blitt regnet fra første vann/semest-kontakt. I test 1 ble resept 3 med retarder trykktestet 2 timer senere enn de andre reseptene, siden SA ble tilsatt etter 2 timer. Etter evaluering av test 1, ble det bestemt at resept 3 i test 2 og test 3 skulle trykktestes samtidig som de andre reseptene.

Framgangsmåten gikk først ut på å avforme terningene fra isoporformene. Deretter ble alle flater glattet med et flatt stålredskap for å fjerne alle ujevnheter. Ujevnheter på overflater som trykkes i en prøvingsmaskin må være glatte for å få nøyaktig resultat.

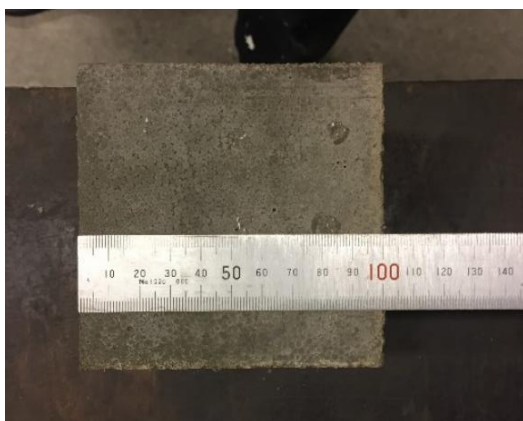
Prøvingsmaskinen for trykkfasthet benyttet i undersøkelsene kan ses på bilde 16.



*Bilde 16: Prøvingsmaskin for trykkfasthet.*

Før terningene ble trykktestet ble de veid på en digital vekt for å måle densitet i forhold til forventet densitet for en terning på denne størrelsen og med denne betongresepten. Densitet for betongen brukt i undersøkelsene var  $2335,5 \text{ kg/m}^3$ .

Bilde 17a illustrerer en tilfeldig side i en terning etter avforming. Her kan man se at terningen har 100 mm sidekanter. Det oppsto tilfeller hvor toppflaten i terningene hadde ujevn overflate, noe som kan ha påvirket trykkfasthetsresultatene i en viss grad. Se bilde 17b for et slikt tilfelle. Dette har det blitt tatt hensyn til i diskusjonskapitlet ved å sammenligne densitetene.



*Bilde 17a: Terning etter avforming, 100 mm.*



*Bilde 17b: Terning med ujevn overflate.*

### 3.5.5. Støp av dekker

For simulering av dekkestøp, plate på mark, ble det bestemt å støpe 100 mm tykke dekker på 1 x 1 meter. Ett dekke for hver resept. Til forskalingsrammer ble det brukt 36x148 mm trevirke med 5 mm markplate i bunn.



Bilde 18a: 100 mm forskalingsramme for dekkestøp.



Bilde 18b: Forskalingsramme til dekkestøp.

Forskalingsrammene ble plassert ute samme dag som hver test foregikk, slik at de var rene og tørre før de ble fylt med betong og i henhold til NS-EN 13670:2009 (Standard Norge 2010). Murdunkene ble kjørt ut med hjullaster og formene ble fylt ved bruk av spade. Se bilde 19.



Bilde 19: Betong fylles i forskalingsrammene.

Etter at forskalingsformene var fylt med betong, ble de disset med en håndholdt dissestav. Å disse betongen er en måte å avrette og komprimere betongen på (Norsk Betongforening 2017). Etterpå ble de sprayet med herdemembran i henhold til NS-EN 3420-L (Standard Norge 2017). Bilde 20 viser resultatet etter at hele prosessen var gjennomført.



*Bilde 20: Ferdig utstøpte dekker.*

I test 1 og 2 ble platene dekket med 10 mm ethafoam 6-7 timer etter vann/ement-kontakt. Dette ble gjort for å gjøre det så likt en virkelig gulvstøp som mulig. Det ble ikke gjort i test 3 på grunn av at lufttemperaturen var varmere enn i de andre testene.



For å bestemme tidspunktet for når det var klart for glatting, ble det utført stakeprøver med en 10 mm tykk bolt, samt at det ble testet med fotavtrykk. Stakeprøven gikk ut på å sjekke motstanden i betongen ved å presse bolten ned i betongen. De ble utført med bistand fra Ulf Rinden i Betong Øst og Norsk Betongforenings publikasjon nr. 15 om betonggulv (Norsk Betongforening 2017).



*Bilde 21a: 10 mm bolt*



*Bilde 21b: Sjekk av inntrengningsdybde med bolt.*

Metoden ble utført av undertegnede hver gang, for å bruke tilnærmet lik kraft med bolt og fotavtrykk i hvert forsøk. Til opplysning gir fotavtrykket til undertegnede en kraft på tilnærmet 0,027 MPa. Inntrengningsdybden av bolten ble målt med tommestokk og notert sammen med klokkeslett. For å bestemme tidspunkt for glatting, ble det bestemt at når inntrengningsdybden var 1 cm eller mindre var dekket klart for glatting. Dette var også tidspunktet for når et fotavtrykk ga merke på 3-4 mm i henhold til (Norsk Betongforening 2017). I tillegg ble det i noen tilfeller forsøkt å glatte med håndholdt stålglatte.

Bilde 22 viser et dekke etter at stakeprøve og fotavtrykk var gjennomført.



Bilde 22: Fotavtrykk og merker etter stakeprøver med bolt.

### 3.6. Økonomi

Dersom akselererende stoffer kan framskynde glattetidspunktet, er det interessant å se om det er lønnsomt sammenlignet med å vente på glattetidspunktet ved bruk av referanseresepten uten akselererende stoffer.

Tabell 5 viser tallene som er lagt til grunn for å regne ut kostnaden ved å la gulvstøpere vente fra gulvet er utlagt til det er klart for å glettes, kontra å betale for akselererende stoffer for å få forkortet ventetid. Prisen for en gulvstøper er basert på hva AF Gruppen må betale for å leie inn til denne typen arbeid, og tallene for tilsetningsstoffene er basert på Betong Øst sine utsalgspriser. Alle prisene er oppgitt uten merverdiavgift (mva.).

Tabell 5: Priser lagt til grunn for utregning av kostnader.

| Produkt  | Pris til kunde |
|--|----------------|
| Mapefast HA                                    | 15 kr/kg       |
| Mapefast SA                                    | 14 kr/kg       |
| Mapefast Ultra N                               | 20 kr/kg       |
| Master X-Seed 100                              | 20 kr/kg       |
| Én gulvstøper i arbeid hverdag før kl. 17:00   | 600 kr/time    |
| Én gulvstøper i arbeid hverdag etter kl. 17:00 | 900 kr/time    |

Utrekningene per test har tatt utgangspunkt i ventetiden for glattetidspunkt med referansebetongen, sammenlignet med ventetid for reseptene med akselererende tilsetning. Resept 3 som inneholder retarder, er ikke tatt med i utregningene. Som eksempler er det valgt gulv støpt på grunn på totalt 45 m<sup>2</sup> og 600 m<sup>2</sup>. Med tykkelse på 100 mm, utgjør dette 4,5 m<sup>3</sup> + 0,5 m<sup>3</sup> med betong som sikkerhetsmargin for det første eksemplet og 60 m<sup>3</sup> + 5 m<sup>3</sup> for det andre eksempelet. Det er i beregningene tatt utgangspunkt i at eksempel 1 har to gulvstøpere i arbeid, eksempel 2 har fem gulvstøpere, og at ventetiden for gulvstøperne foregår etter kl. 17:00.

Tabell 6 viser kostnad for tilsetningsstoffer i de to eksemplene.

*Tabell 6: Kostnad for tilsetningsstoffer per 4,5 m<sup>3</sup>.*

| <b>Produkt</b>    | <b>Tilsetning per m<sup>3</sup></b> | <b>Kostnad per 5,0 m<sup>3</sup> betong</b> | <b>Kostnad per 65 m<sup>3</sup> betong</b> |
|-------------------|-------------------------------------|---|--|
| Maelfast HA       | 2 % / 7,56 kg                       | 567 kr                                      | 7 371 kr                                   |
| Maelfast HA       | 3 % / 11,34 kg                      | 851 kr                                      | 11 057 kr                                  |
| Maelfast SA       | 1 % / 3,78 kg                       | 265 kr                                      | 3 440 kr                                   |
| Maelfast SA       | 1,5 % / 5,67 kg                     | 397 kr                                      | 5 160 kr                                   |
| Maelfast Ultra N  | 2 % / 7,56 kg                       | 756 kr                                      | 9 828 kr                                   |
| Maelfast Ultra N  | 3 % / 11,34 kg                      | 1 134 kr                                    | 14 742 kr                                  |
| Master X-Seed 100 | 2 % / 7,56 kg                       | 756 kr                                      | 9 828 kr                                   |
| Master X-Seed 100 | 3 % / 11,34 kg                      | 1 134 kr                                    | 14 742 kr                                  |



## 4. Resultater

I dette kapitlet presenteres alle resultatene. For ordens skyld presenteres resultatene suksessivt fra første til tredje test, før de blir sammenlignet i diskusjonskapitlet.

### 4.1. Test 1

Hvilke tilsetningsstoffer reseptene inneholdt i test 1, finnes i tabell 7.

Tabell 7: Resepter i test 1.

| Resept nummer | Tilsetningsstoff  |
|---------------|---|
| 1 (Referanse) | Ingen   |
| 2             | 2 % Mapefast HA + 1 % Mapefast SA                       |
| 3             | 2 % Mapefast HA + 0,2 % Mapetard R<br>+ 1 % Mapefast SA |
| 4             | 1,5 % Mapefast SA                                       |
| 5             | 3 % Mapefast HA   |

Utrekningen av antall kg tilsetningsstoff per kubikk betong og per 70 liters muredunk kan finnes i vedlegg B.

Tabell 8 viser generell info om de ulike forholdene som lå til grunn for test 1, blant annet vær, betongtemperatur og v/c-tall.

Tabell 8: Generell info, test 1.

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Test nr.                                   | 1                        |
| Resept                                     | B30 M60 Standard FA      |
| Støpedato                                  | 13.02.2018               |
| Klokkeslett betong på bil                  | 11:27                    |
| Værforhold på stedet                       | -5 °C, vindstille og sol |
| Betongtemperatur fra produksjon            | 26,1 °C                  |
| Ønsket v/c-tall fra produksjon opprinnelig | 0,537                    |
| Ønsket v/c-tall etter 5 L vann holdt igjen | 0,524                    |
| Oppnådd v/c-tall fra tørkeprøve            | 0,537                    |
| Oppnådd v/c-tall etter tilsetning          | 0,550                    |
| Ønsket synk                                | 220                      |
| Ønsket luftinnhold                         | 2,5 %                    |
| Krav til fasthet etter 28 døgn i MPa       | 37                       |

Som man kan se i tabell 8, var endelig v/c-tall for referanseresepten på 0,550, som var høyere enn planlagt på 0,537. Betongtemperaturen ble kontrollert kl. 13:37 i murdunkene og målt til 21,6 °C. Følgeseddelen fra produksjon av betong til test 1 kan finnes i vedlegg D.

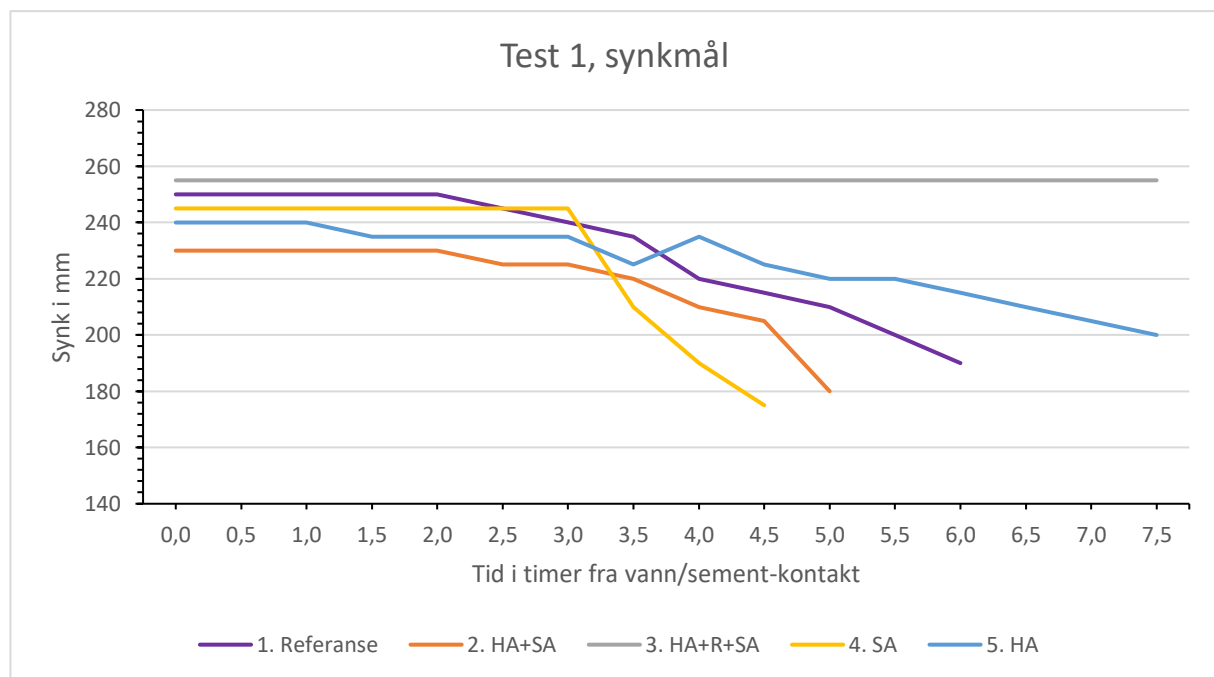
Luftinnholdet ble målt på alle reseptene i denne testen. Resultatene vises i tabell 9.

Tabell 9: Målt luftinnhold, test 1.

| Resept        | Luftinnhold i % |
|---------------|-----------------|
| 1 (Referanse) | 2,3             |
| 2 (HA+SA)     | 1,6             |
| 3 (HA+R+SA)   | 2,4             |
| 4 (SA)        | 2,2             |
| 5 (HA)        | 1,4             |

Luftinnholdet var som forventet i resept 1, 3 og 4. Det var noe lavt i resept 2 og 5.

I test 1 ble de første synkmålene tatt én time etter at betongen ble produsert. Tiden for bearbeidighet er regnet fra første kontakt mellom vann og sement. Som nevnt tidligere ble det bestemt at betongen anses som lite bearbeidelig for gulvstøping når synkmålet var under 200 mm. Resultatene vises i figur 13.

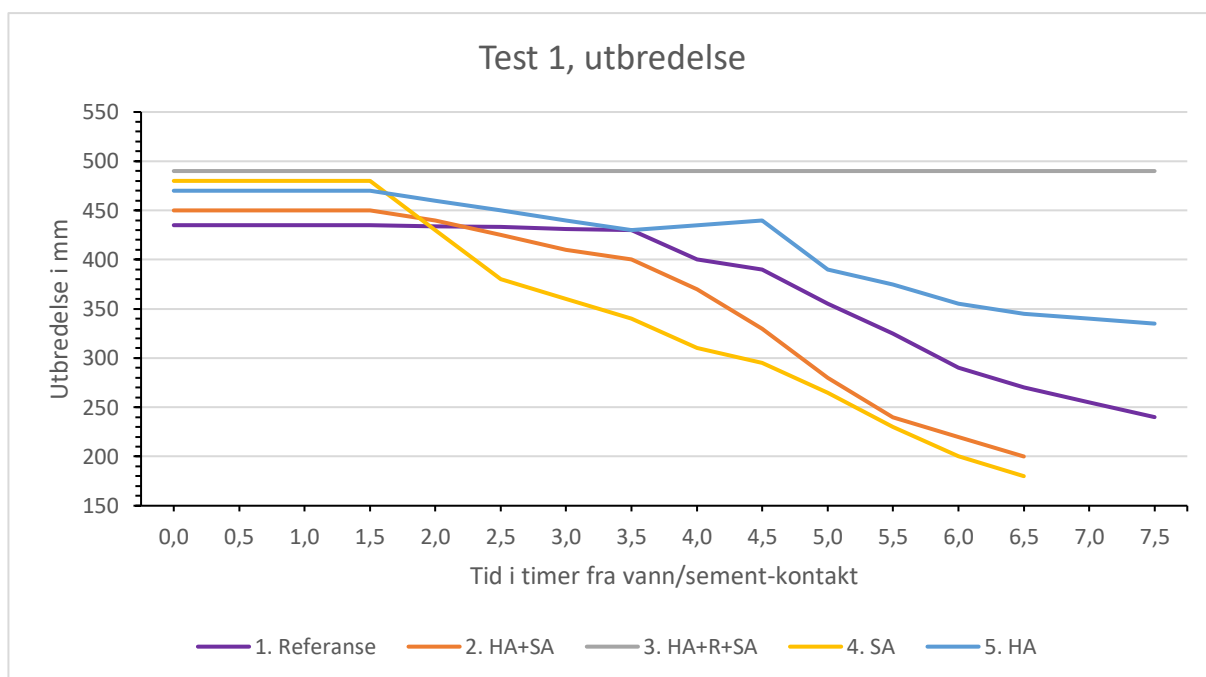


Figur 13: Synkmål for reseptene i test 1.

Reseptene hadde bearbeidingstid fra 4 til 7,5 timer. Resept 4 med korteste og resept 5 med lengst bearbeidingstid.

For resept 3 ble det støpt ut terninger før SA var tilsatt. Det måtte derfor støpes nye terninger etter 2 timer, da SA var tilsatt. Det resulterte i at det ikke var nok betong til å ta mer enn ett synkmål av resept 3. I stedet for ble det rørt i betongen med en skuffel samtidig som det ble tatt synkmål av de andre reseptene. Resept 3 var fortsatt bløtere enn de andre da det siste synkmålet ble tatt, 7,5 timer etter betongen ble blandet.

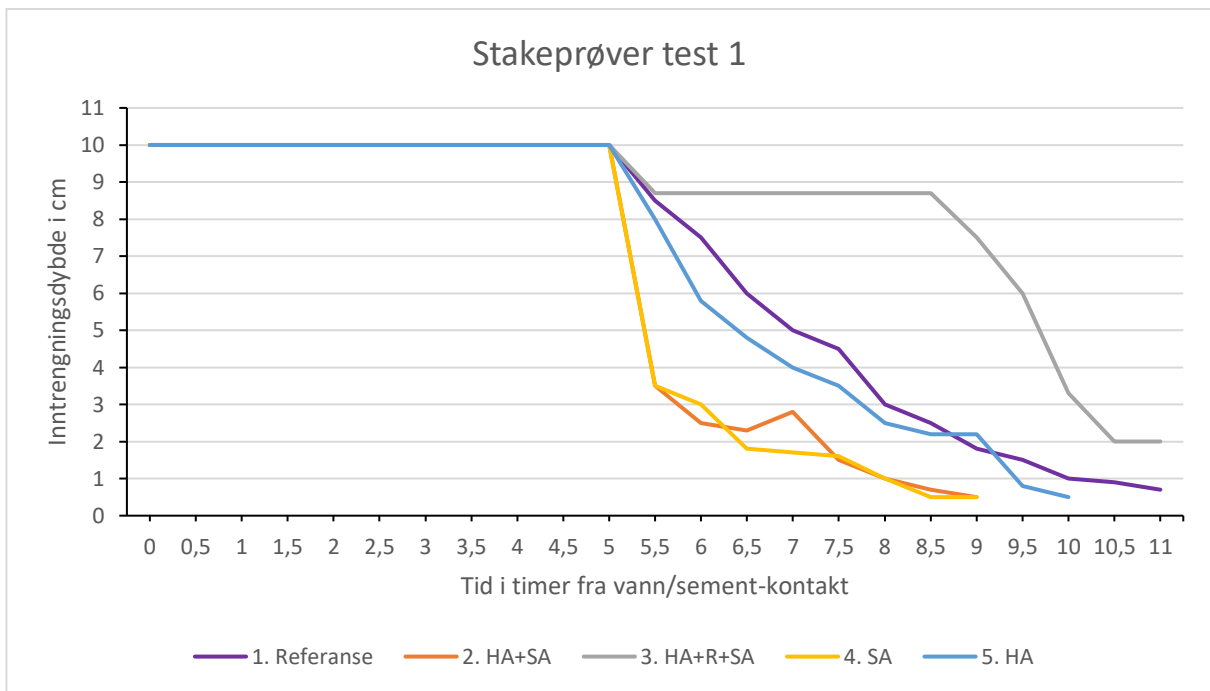
Som et ekstra mål på betongens konsistens ble det tatt utbredelsesmål. Resultatene vises figur 14.



Figur 14: Utbredelsesmål for reseptene i test 1.

Utbredelsesmålene var forventet å ligge rundt 340 mm når synkmålene var 200 mm.

Siden stakeprøvene var hovedgrunnlaget i bestemmelsen av tidspunktet for glatting, er det disse som vises i resultatene. Tidspunktet ble fastslått ved inntrengningsdybde på 1 cm. Se figur 15 for resultater.

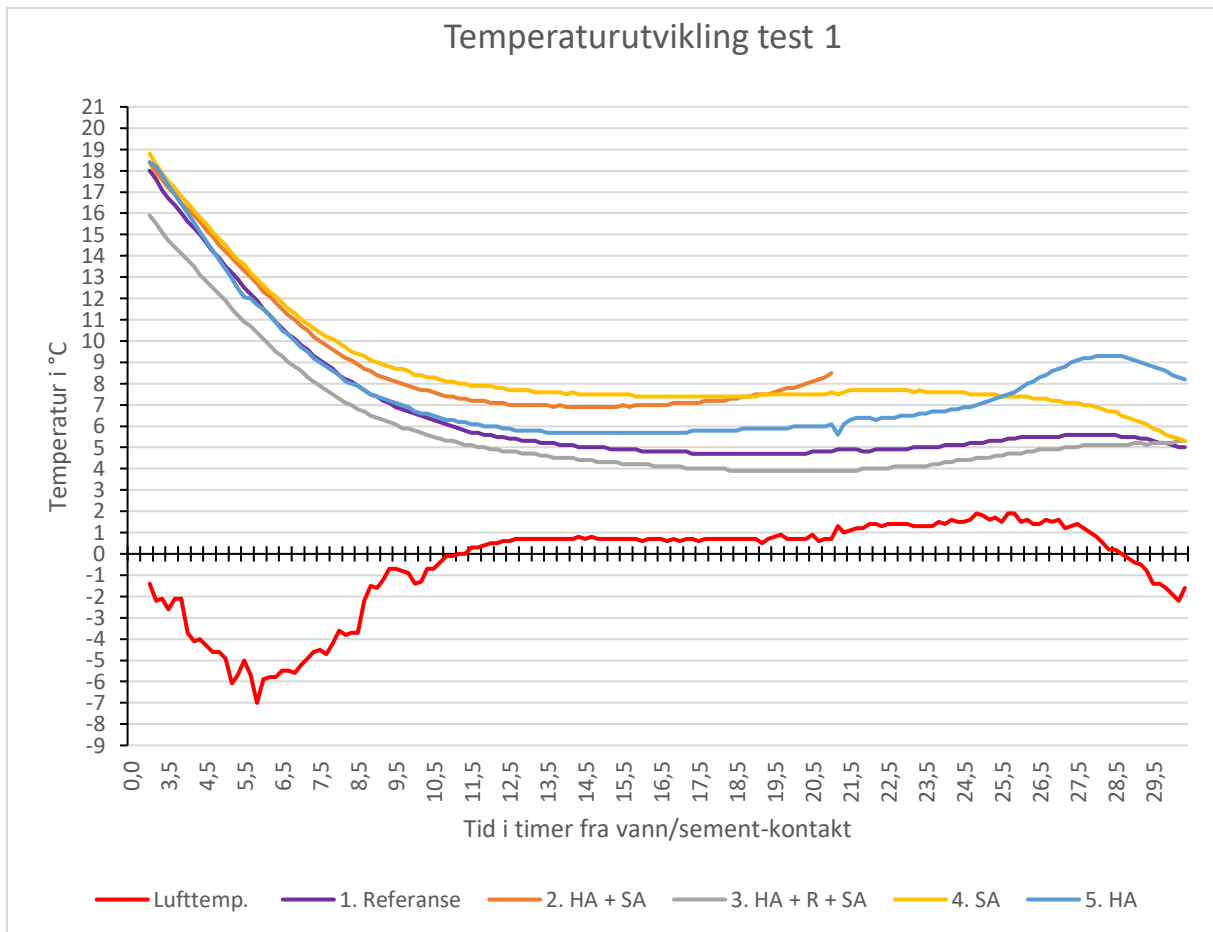


Figur 15: Glatteidspunkt for reseptene i test 1.

Tidspunktet for glatting ble bestemt i antall timer fra første kontakt mellom vann og sement. Første stakeprøve i test 1 ble utført 5 timer etter første kontakt mellom vann og sement. Figuren viser at resept 2 og resept 4 ga best effekt, med glatteidspunkt etter 8 timer.



Av terningene som sto utendørs var det plassert en temperaturlogger i en terning per resept. Resultatet vises i figur 16.



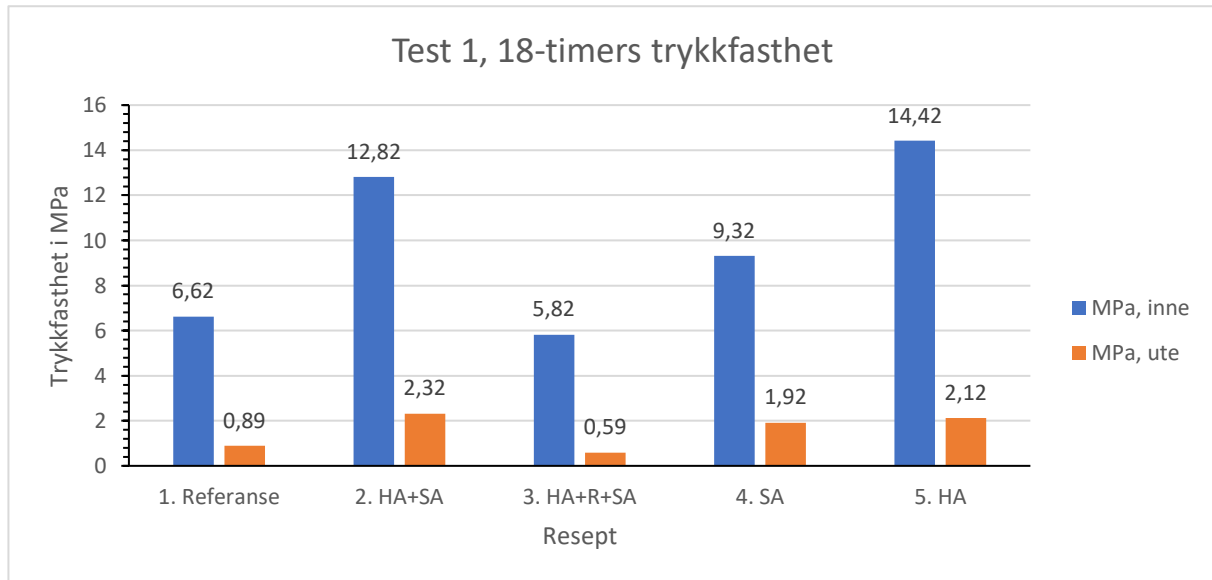
Figur 16: Temperaturutvikling for terningene utendørs.

Metoden for å bestemme avbindingstid var når temperaturen i betongen hadde steget 2°C fra lavest målte temperatur. På grunn av den kalde lufttemperaturen utendørs var det ikke særlig stor temperaturutvikling i betongen, men en temperaturøkning kan likevel tydes. Tabell 10 viser antatt avbindingstiden for hver resept i timer fra første kontakt mellom vann og sement.

Tabell 10: Avbindingstid i antall timer fra første vann/sement-kontakt.

| Resept:       | Avbindingstid (timer): |
|---------------|------------------------|
| 1 (Referanse) | 29,5                   |
| 2 (HA+SA)     | 21,5                   |
| 3 (HA+R+SA)   | 30                     |
| 4 (SA)        | 23                     |
| 5 (HA)        | 26                     |

Figur 17 til 19 viser resultatene for trykkfastheten til terningene etter 18, 24 og 30 timer. I tillegg viser tabell 11 til 13 densiteten/vekten til terningene som ble trykktestet. Dette er med for å dokumentere at terningene hadde nokså lik densitet og eventuelle forskjeller.

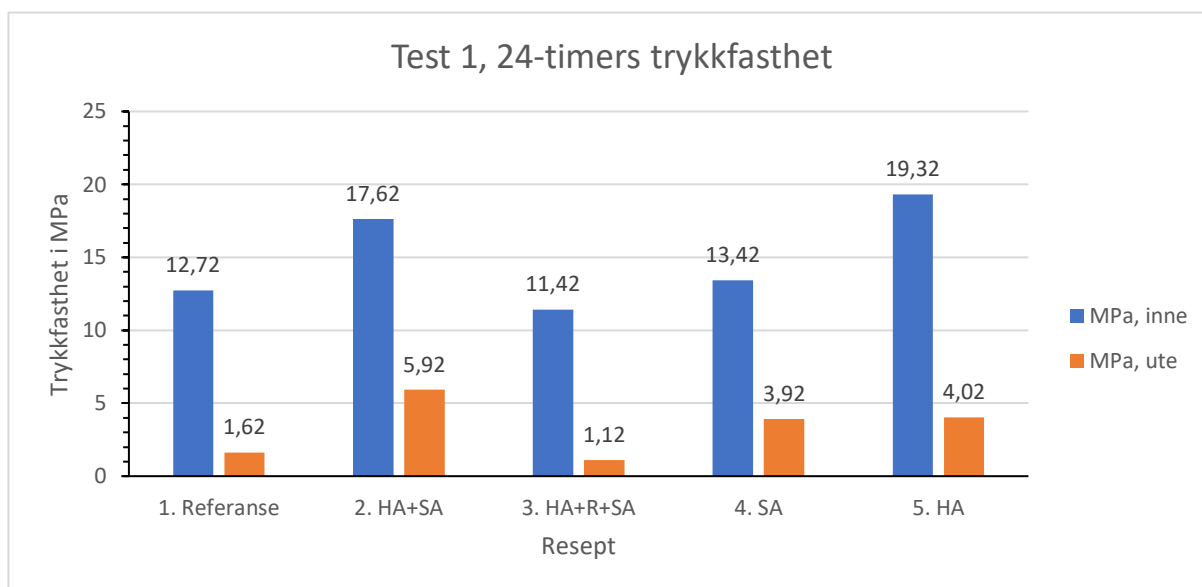


Figur 17: Trykkfasthet etter 18 timer, test 1.

Tabell 11: Terningenes densitet i gram, ved 18-timers trykktest.

| Resept        | Densitet terning inne (g) | Densitet terning ute (g) |
|---------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 (Referanse) | 2320                      | 2355                     |
| 2 (HA+SA)     | 2329                      | 2302                     |
| 3 (HA+R+SA)   | 2271                      | 2302                     |
| 4 (SA)        | 2363                      | 2362                     |
| 5 (HA)        | 2331                      | 2277                     |

Resultatene for 18-timers trykkfasthet viser at terningene lagret innendørs i 13 °C hadde god utvikling av tidligfasthet. Terningene lagret utendørs hadde ikke oppnådd særlig stor fasthet etter 18 timer. Resept 2 hadde oppnådd størst fasthet med 2,32 MPa, men resept 4 oppnådde størst fasthet sammenlignet med samme resept herdet innendørs (21 % av 9,32 MPa).

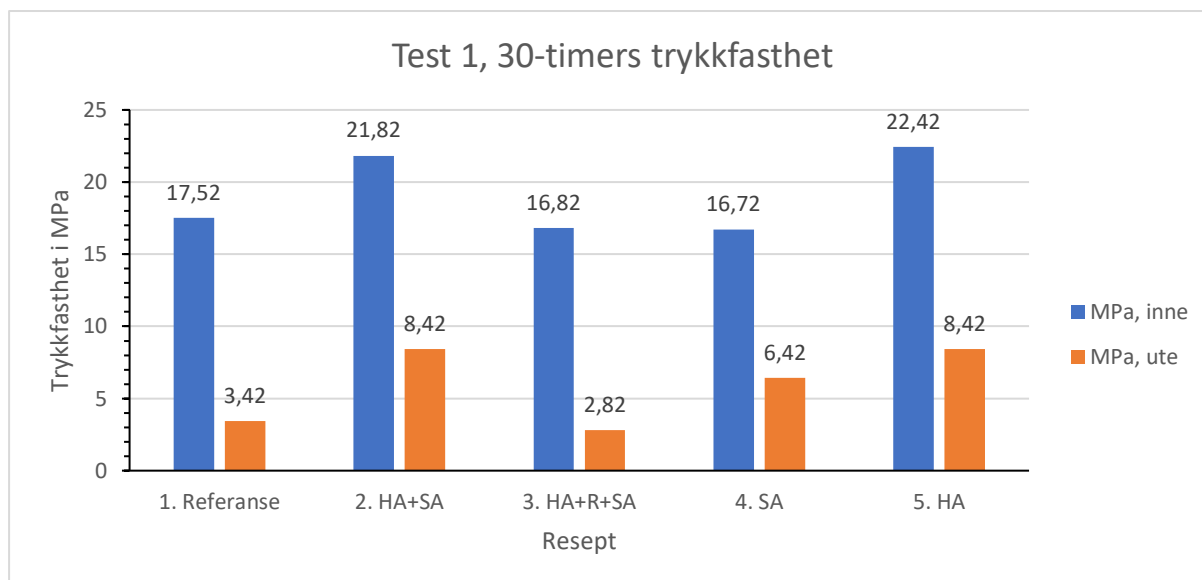


*Figur 18: Trykkfasthet etter 24 timer, test 1.*

| Resept        | Densitet terning inne (g) | Densitet terning ute (g) |
|---------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 (Referanse) | 2352                      | 2310                     |
| 2 (HA+SA)     | 2338                      | 2334                     |
| 3 (HA+R+SA)   | 2270                      | 2272                     |
| 4 (SA)        | 2403                      | 2395                     |
| 5 (HA)        | 2326                      | 2341                     |

*Tabell 12: Terningenes densitet i gram ved 24-timers trykktest.*

Resultatene for 24-timers trykkfasthet viste at resept 2 utendørs hadde oppnådd over 5 MPa og var den resepten med høyest prosentandel trykkfasthet sammenlignet med samme resept innendørs (34 % av 17,62 MPa).



Figur 19: Trykkfasthet etter 30 timer, test 1.

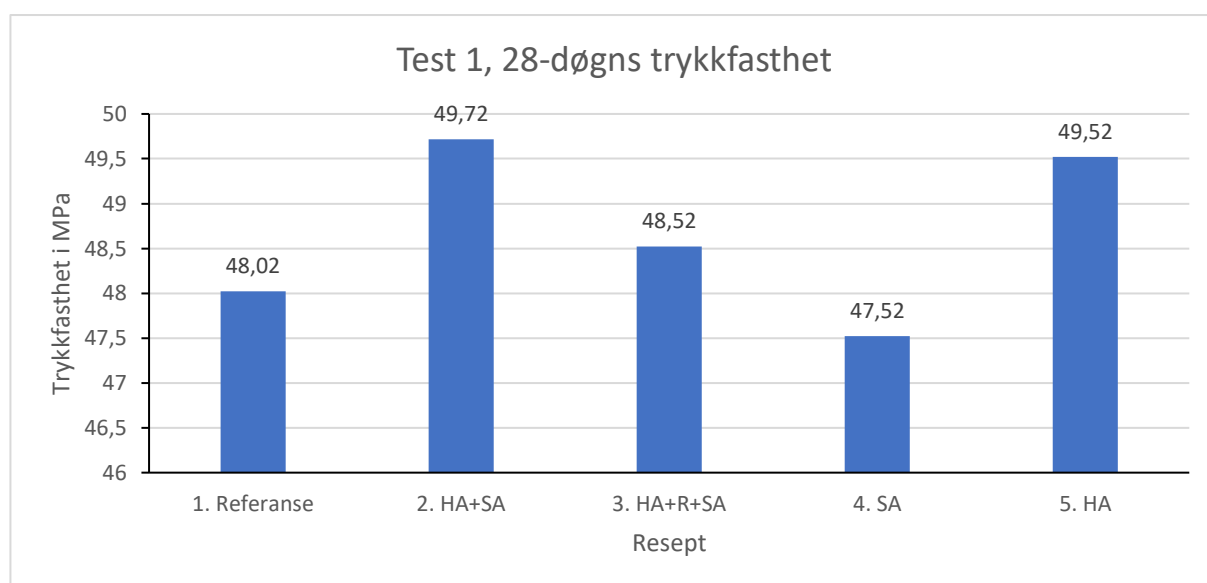
Tabell 13: Terningenes densitet i gram ved 30-timers trykktest.

| Resept        | Densitet terning inne (g) | Densitet terning ute (g) |
|---------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 (Referanse) | 2313                      | 2370                     |
| 2 (HA+SA)     | 2349                      | 2325                     |
| 3 (HA+R+SA)   | 2317                      | 2300                     |
| 4 (SA)        | 2308                      | 2339                     |
| 5 (HA)        | 2340                      | 2376                     |

Etter 30 timer var det totalt 3 resepter utendørs som hadde trykkfasthet over 5 MPa. Disse reseptene (2, 4 og 5) lå på 38-39 % av fastheten som var oppnådd på de samme reseptene innendørs. Terningene innendørs hadde utviklet høy fasthet.

Resept 3 var forventet å «ta igjen» resept 1, siden dette var resepten med retarder. I utgangspunktet skulle den ha fått forgang i prosessen når SA ble tilsatt. Dette har ikke skjedd. Som man ser på trykkfasthets-resultatene er det resept 3 som har hatt minst fasthet i alle trykktestene.

Figur 20 viser trykkfastheten til terningene etter 28 døgn. Tabell 14 viser terningenes densitet i gram.



Figur 20: Trykkfasthet etter 28 døgn, test 1.

Tabell 14: Terningenes densitet i gram ved 28 døgns trykktest.

| Resept        | Densitet terning vannbad (g) |
|---------------|------------------------------|
| 1 (Referanse) | 2341                         |
| 2 (HA+SA)     | 2329                         |
| 3 (HA+R+SA)   | 2324                         |
| 4 (SA)        | 2365                         |
| 5 (HA)        | 2350                         |

28-døgnstrykktesten viser at alle reseptene hadde oppnådd høy trykkfasthet etter 28-døgn. Tross høyere v/c-tall enn planlagt. Figuren viser også at resept 3 hadde «tatt igjen» referanseresepten etter 28 døgn.

## 4.2. Test 2.

Hvilke tilsetningsstoffer reseptene inneholdt i test 2, finnes i tabell 15.

Tabell 15: Resepter i test 2.

| Resept nummer | Tilsetningsstoff   |
|---------------|--|
| 1 (Referanse) | Ingen  |
| 2             | 2 % Mapefast Ultra N + 1 % Mapefast SA                       |
| 3             | 2 % Mapefast Ultra N + 0,2 % Mapetard R<br>+ 1 % Mapefast SA |
| 4             | 1,5 % Mapefast SA  |
| 5             | 3 % Mapefast Ultra N   |

Utrekningen av antall kg tilsetningsstoff per kubikk betong og per 70 liters murdunk finnes i vedlegg B.

Tabell 16 viser generell info om test 2.

Tabell 16: Generell info, test 2.

|  |                                 |
|--|---------------------------------|
| Test nr.                                   | 2                               |
| Resept                                     | B30 M60 Standard FA             |
| Støpedato                                  | 07.03.2018                      |
| Klokkeslett betong på bil                  | 11:07                           |
| Værforhold på stedet                       | -0,5 °C, flau vind og overskyet |
| Betongtemperatur fra produksjon            | 24,1 °C                         |
| Ønsket v/c-tall fra produksjon opprinnelig | 0,537                           |
| Ønsket v/c tall etter 5 L vann holdt igjen | 0,524                           |
| Oppnådd v/c-tall fra tørkeprøve            | 0,501                           |
| Oppnådd v/c-tall etter tilsetning          | 0,514                           |
| Ønsket synk                                | 220                             |
| Ønsket luftinnhold                         | 2,5 %                           |
| Krav til fasthet etter 28 døgn i MPa       | 37                              |

For test 2, viste tørkeprøven at v/c-tallet lå under ønsket v/c-tall etter at 5 liter vann var holdt igjen. Det resulterte i et endelig v/c-tall for referanseresepsten som var lavere enn ønsket, på 0,514. Kontroll av betongtemperatur i murdunker kl. 11:30 viste 20 °C i referanseresepsten og 18,5 °C i de andre reseptene. Følgeseddelen fra produksjonen av betong til test 2 kan finnes i vedlegg D.

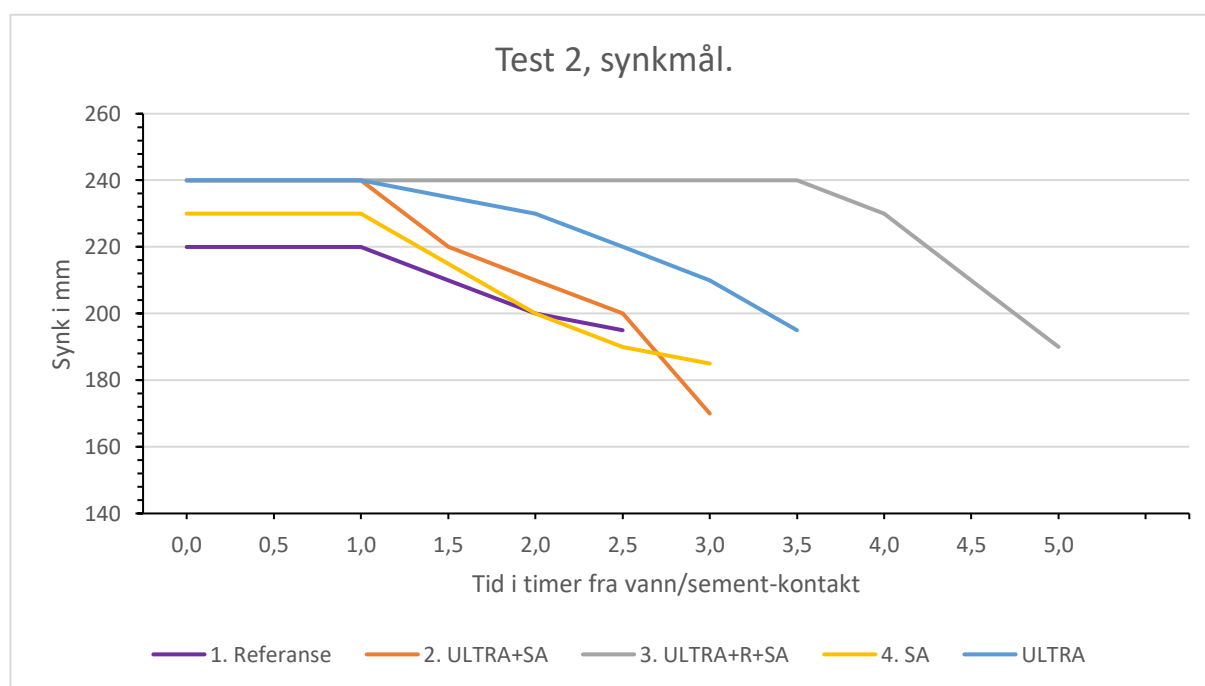
Luftinnholdet ble målt på to av reseptene i test 2. Resultatet vises i tabell 17.

Tabell 17: Målt luftinnhold, test 2.

| Resept         | Luftinnhold i % |
|----------------|-----------------|
| 1 (Referanse)  | 2,5             |
| 2 (ULTRA + SA) | 2,4             |

Luftinnholdet var som forventet i forhold til ønsket luftinnhold på 2,5 %.

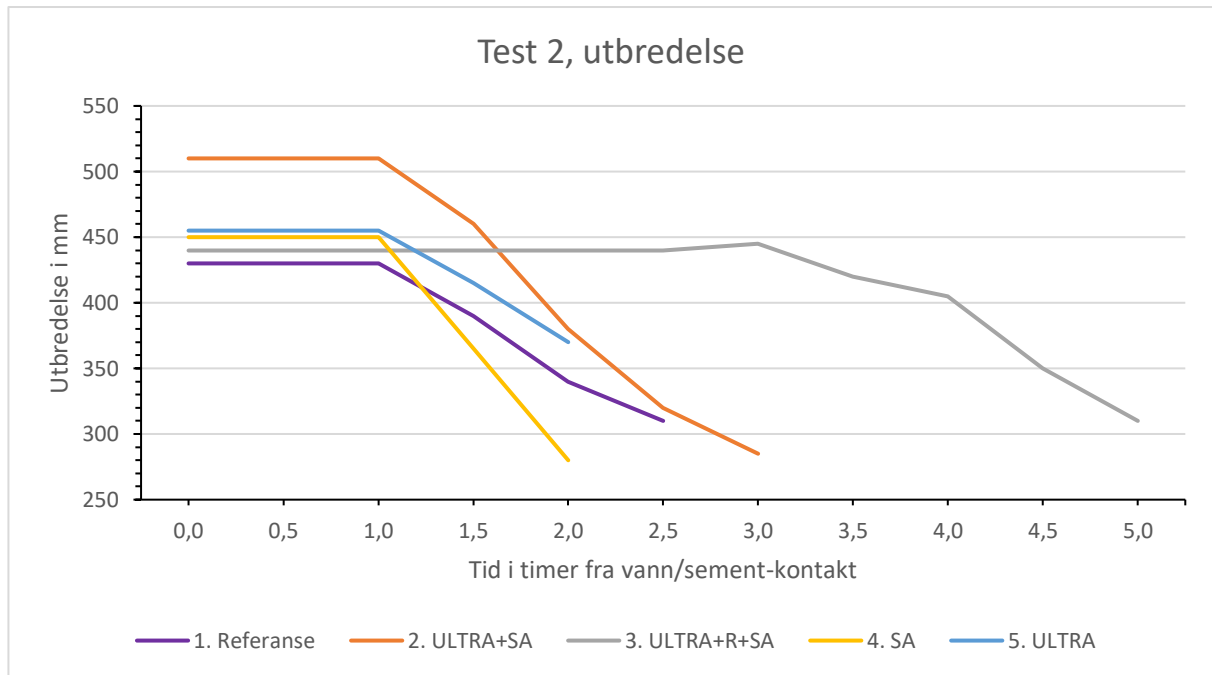
I test 2 ble de første synkmålene tatt én time etter at betongen ble produsert. Tid i timer er regnet fra første kontakt mellom vann og sement. Reseptene ble ansett som lite bearbeidelige når synkmålene var under 200 mm. Resultatene vises i figur 21.



Figur 21: Synkmål og bearbeidelighet for reseptene i test 2.

Reseptene hadde bearbeidingstid fra 2 til i underkant av 5 timer. Referansen, resept 2 og resept 4 med kortest, og resept 3 med lengst bearbeidingstid.

Utbredelsesmålene tatt i forbindelse med synkmålene vises i figur 22.

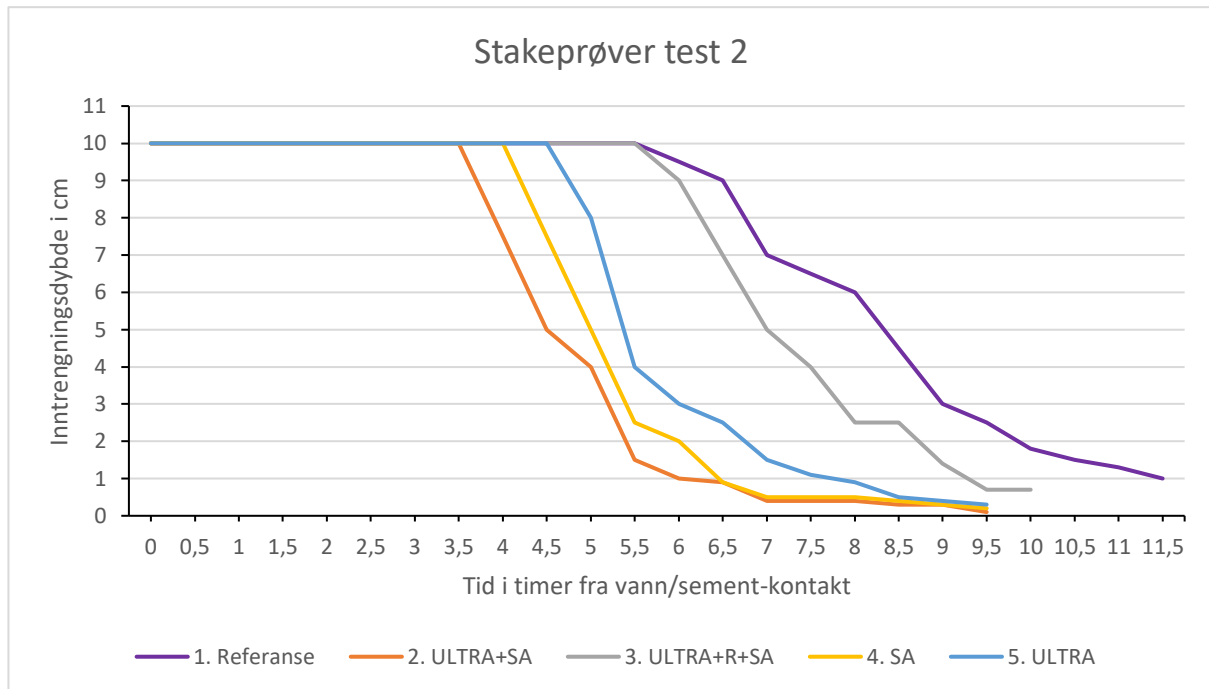


Figur 22: Utbredelsesmål for reseptene i test 2.

Utbredelsesmålene var forventet å ligge rundt 340 mm når synkmålene var 200 mm.



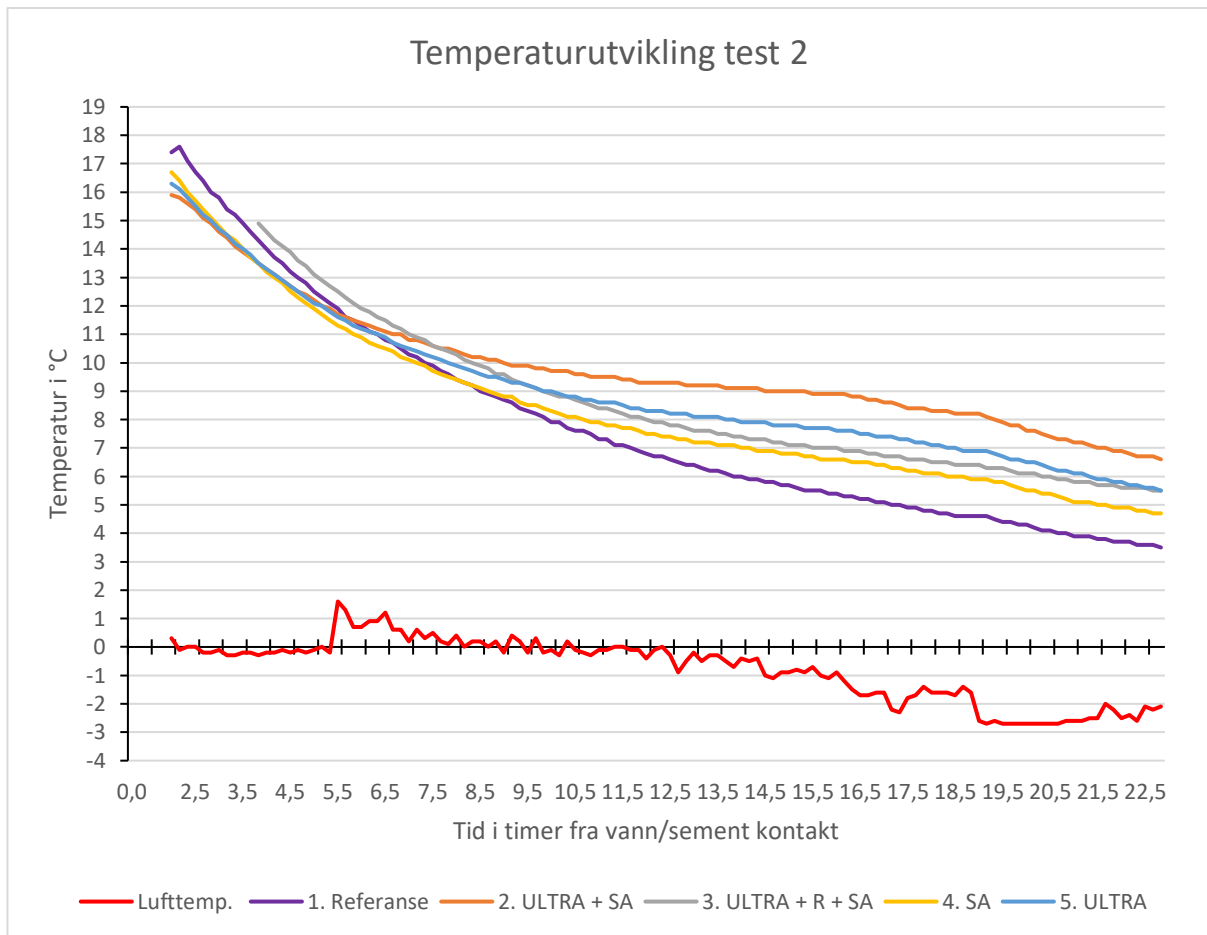
Figur 23 viser resultatene for stakeprøver utført i test 2. Tidspunkt fastslått ved inntrengningsdybde på 1 cm.



Figur 23: Glattetidspunkt for reseptene i test 2.

Første stakeprøve i test 2 ble utført drøyt 3,5 timer etter første kontakt mellom vann og sement. Figuren viser at resept 2 og resept 4 ga best effekt, med glattetidspunkt etter henholdsvis 6 og 6,5 timer.

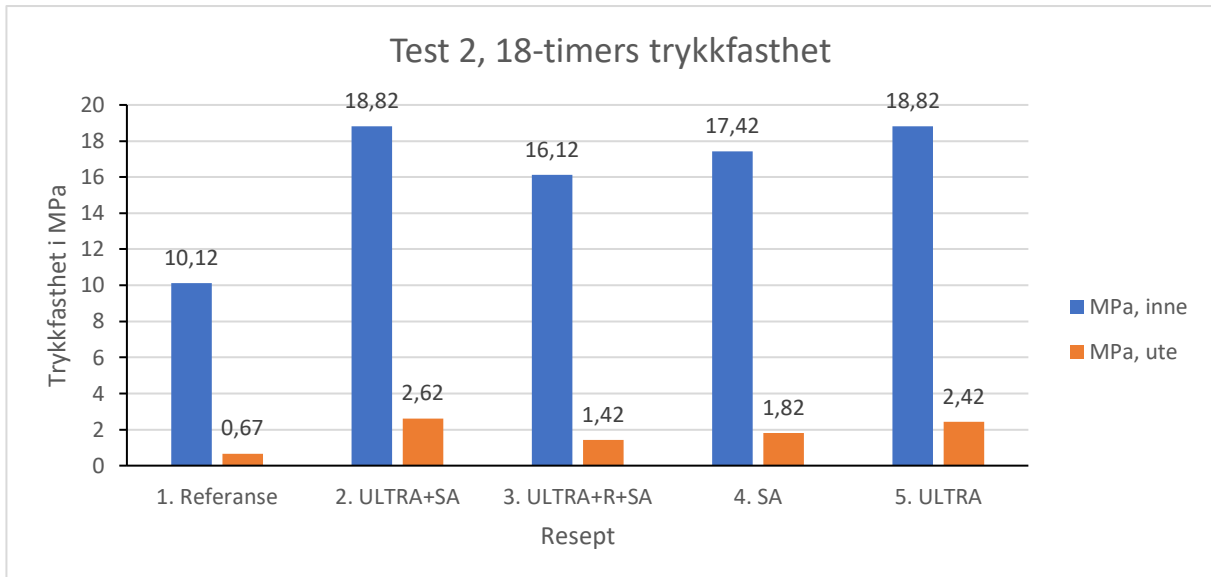
Resultatene for temperaturutvikling i terningene som sto ute vises i figur 24.



Figur 24: Temperaturutvikling for terningene utendørs.

Temperaturloggingen i test 2 ga dårligere resultater enn i test 1. Som man kan se på figur 25 er det ingen økning av temperaturen de første 22,5 timene. Temperaturloggingen kan derfor ikke brukes til å bestemme avbindingstidspunkt for test 2.

Figur 25 til 27 viser resultatene for trykkfastheten til terningene med de ulike reseptene etter 18, 24 og 30 timer. I tillegg viser tabell 18 til 20 densiteten til terningene som ble trykktestet.

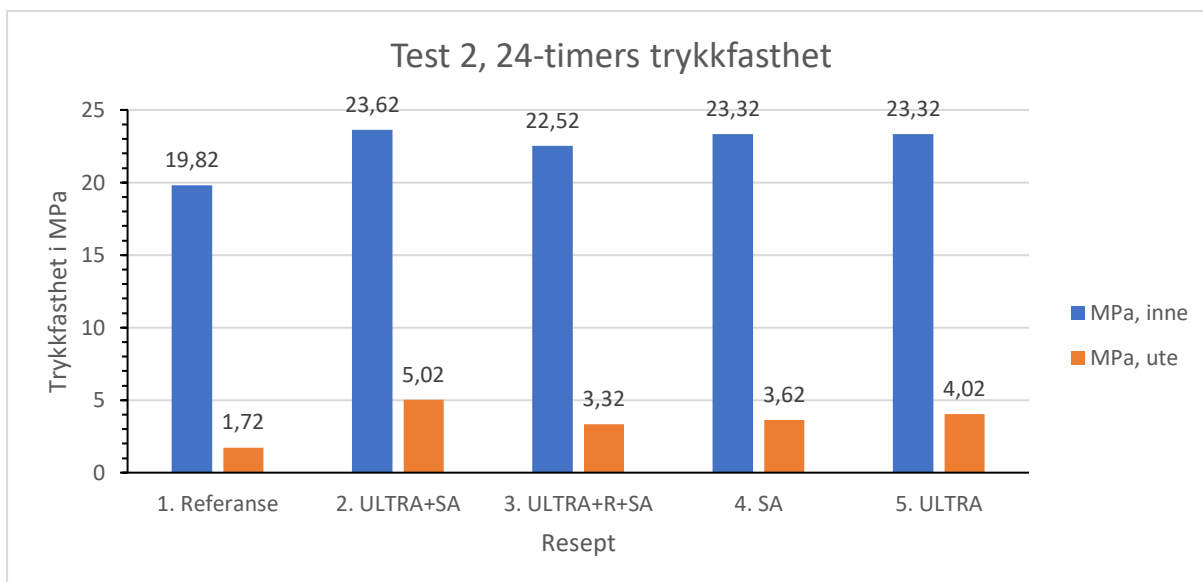


Figur 25: Trykkfasthet etter 18 timer, test 2.

Tabell 18: Terningenes densitet i gram, ved 18-timers trykktest.

| Resept         | Densitet terning inne (g) | Densitet terning ute (g) |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 (Referanse)  | 2389                      | 2377                     |
| 2 (ULTRA+SA)   | 2366                      | 2364                     |
| 3 (ULTRA+R+SA) | 2346                      | 2337                     |
| 4 (SA)         | 2339                      | 2347                     |
| 5 (ULTRA)      | 2298                      | 2309                     |

Resultatene for 18-timers trykkfasthet viser at terningene lagret innendørs i 13 °C hadde svært god utvikling av tidligfasthet. Terningene lagret utendørs hadde ikke oppnådd særlig stor fasthet etter 18 timer. Resept 2 hadde oppnådd størst trykkfasthet med 2,62 MPa samt størst trykkfasthet sammenlignet med samme resept herdet innendørs (14 % av 17,42 MPa).

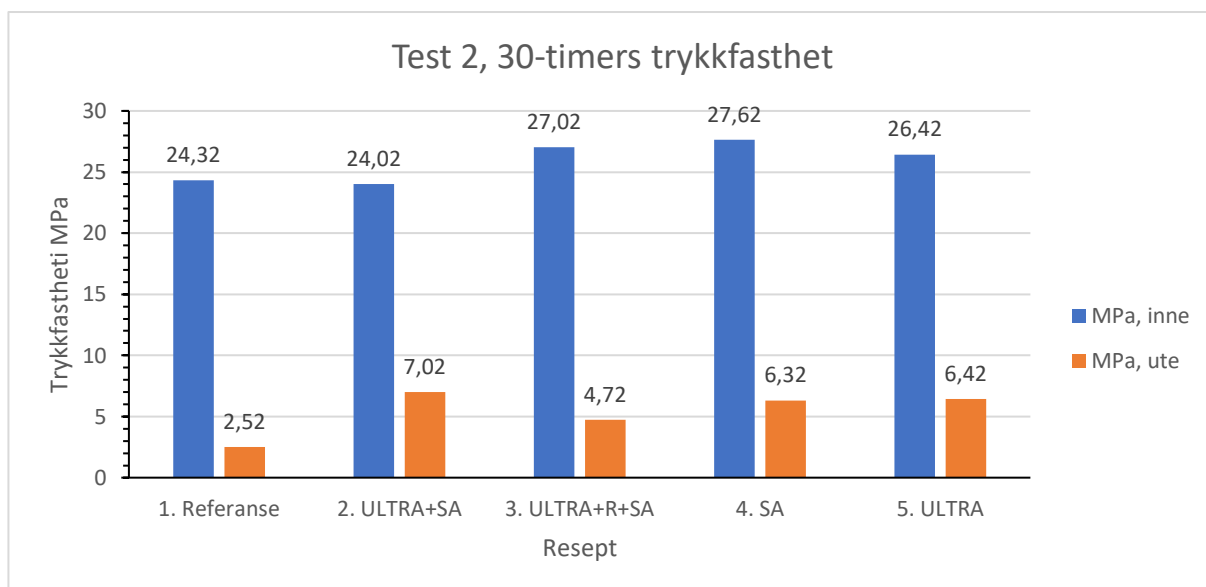


Figur 26: Trykkfasthet etter 24 timer, test 2.

Tabell 19: Terningenes densitet i gram ved 24-timers trykktest.

| Resept         | Densitet terning inne (g) | Densitet terning ute (g) |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 (Referanse)  | 2333                      | 2376                     |
| 2 (ULTRA+SA)   | 2336                      | 2388                     |
| 3 (ULTRA+R+SA) | 2295                      | 2331                     |
| 4 (SA)         | 2396                      | 2376                     |
| 5 (ULTRA)      | 2333                      | 2283                     |

Resultatene for 24-timers trykkfasthet viser at resept 2 utendørs hadde oppnådd 5 MPa og var den resepten med høyest prosentandel trykkfasthet sammenlignet med samme resept innendørs (21 % av 23,62 MPa).



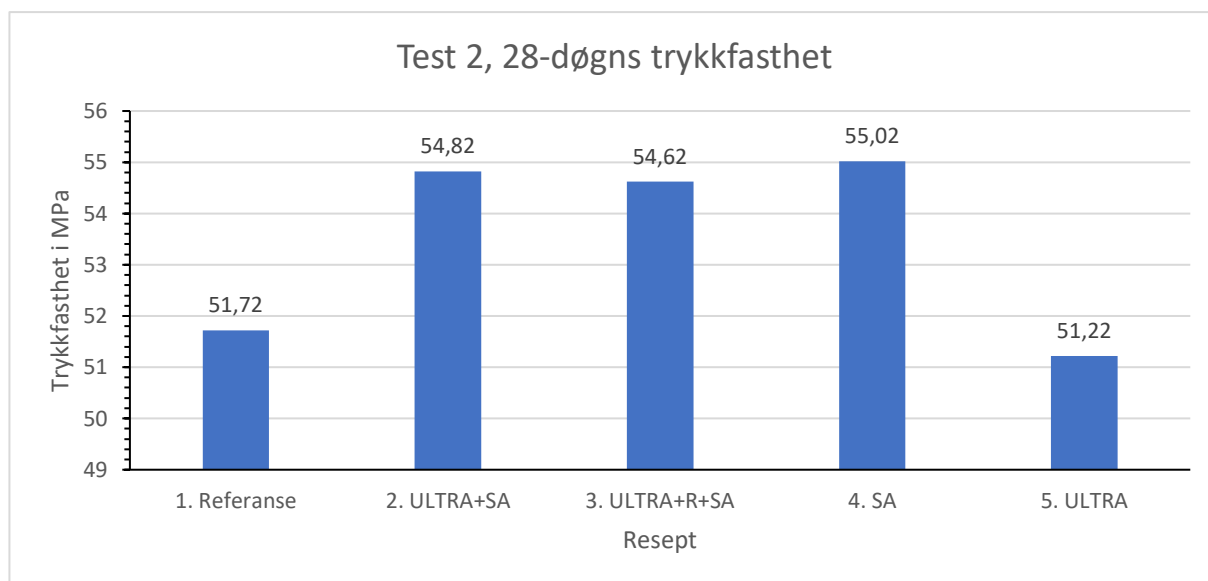
*Figur 27: Trykkfasthet etter 28 døgn, test 2.*

*Tabell 20: Terningenes densitet i gram ved 30-timers trykktest.*

| Resept         | Densitet terning inne (g) | Densitet terning ute (g) |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 (Referanse)  | 2398                      | 2323                     |
| 2 (ULTRA+SA)   | 2324                      | 2454                     |
| 3 (ULTRA+R+SA) | 2292                      | 2327                     |
| 4 (SA)         | 2343                      | 2340                     |
| 5 (ULTRA)      | 2317                      | 2316                     |

Etter 30 timer var det totalt 3 resepter utendørs som hadde trykkfasthet over 5 MPa. Av disse var det resept 2 som hadde utviklet størst trykkfasthet utendørs sammenlignet med den samme resepten innendørs (29 % av 24,02 MPa). Terningene innendørs hadde alle utviklet høy fasthet.

Figur 28 viser trykkfastheten til terningene etter 28 døgner. Tabell 21 viser terningenes densitet i gram.



Figur 28: Trykkfasthet etter 28 døgner, test 2.

Tabell 21: Terningenes densitet i gram ved 28 døgns trykktest.

| Resept         | Densitet terning vannbad (g) |
|----------------|------------------------------|
| 1 (Referanse)  | 2389                         |
| 2 (ULTRA+SA)   | 2354                         |
| 3 (ULTRA+R+SA) | 2312                         |
| 4 (SA)         | 2403                         |
| 5 (ULTRA)      | 2325                         |

28-døgns trykktesten viser at alle reseptene hadde oppnådd høy trykkfasthet etter 28 døgner. Overraskende nok utviklet resept 5 lavest trykkfasthet.

### 4.3. Test 3.

Hvilke tilsetningsstoffer reseptene i test 3 inneholdt, finnes i tabell 22.

Tabell 22: Resepter i test 3.

| Resept nummer | Tilsetningsstoff  |
|---------------|---|
| 1 (Referanse) | Ingen   |
| 2             | 2 % Master X-Seed 100 + 1 % Mapefast SA                   |
| 3             | 2 % Master X-Seed + 0,2 % Mapetard R<br>+ 1 % Mapefast SA |
| 4             | 1,5 % Mapefast SA   |
| 5             | 3 % Master X-Seed 100                                     |

Utrekningen av antall kg tilsetningsstoff per kubikk betong og per 70 liters murdunk finnes i vedlegg B.

Tabell 23 viser generell info om test 3.

Tabell 23: Generell info, test 3.

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| Test nr.                                   | 3                             |
| Resept                                     | B30 M60 Standard FA           |
| Støpedato                                  | 21.03.2018                    |
| Klokkeslett betong på bil                  | 10:49                         |
| Værforhold på stedet                       | 3 °C, vindstille og overskyet |
| Betongtemperatur fra produksjon            | 26,7 °C                       |
| Ønsket v/c-tall fra produksjon opprinnelig | 0,537                         |
| Ønsket v/c-tall etter 5 L vann holdt igjen | 0,524                         |
| Oppnådd v/c-tall fra tørkeprøve            | 0,493                         |
| Oppnådd v/c-tall etter tilsetning          | 0,506                         |
| Ønsket synk                                | 220                           |
| Ønsket luftinnhold                         | 2,5 %                         |
| Krav til fasthet etter 28 døgn i MPa       | 37                            |

For test 3, viste tørkeprøven at v/c-tallet lå under ønsket v/c-tall etter at 5 liter vann var holdt igjen. Av de tre testene, var det lavest v/c-tall for referanseresepsten i denne testen. Kontroll av betongtemperaturen i murdunker kl. 11:05 viste 24,3 °C i alle reseptene. Følgeseddelen fra produksjon av betong til test 3 kan finnes i vedlegg D.

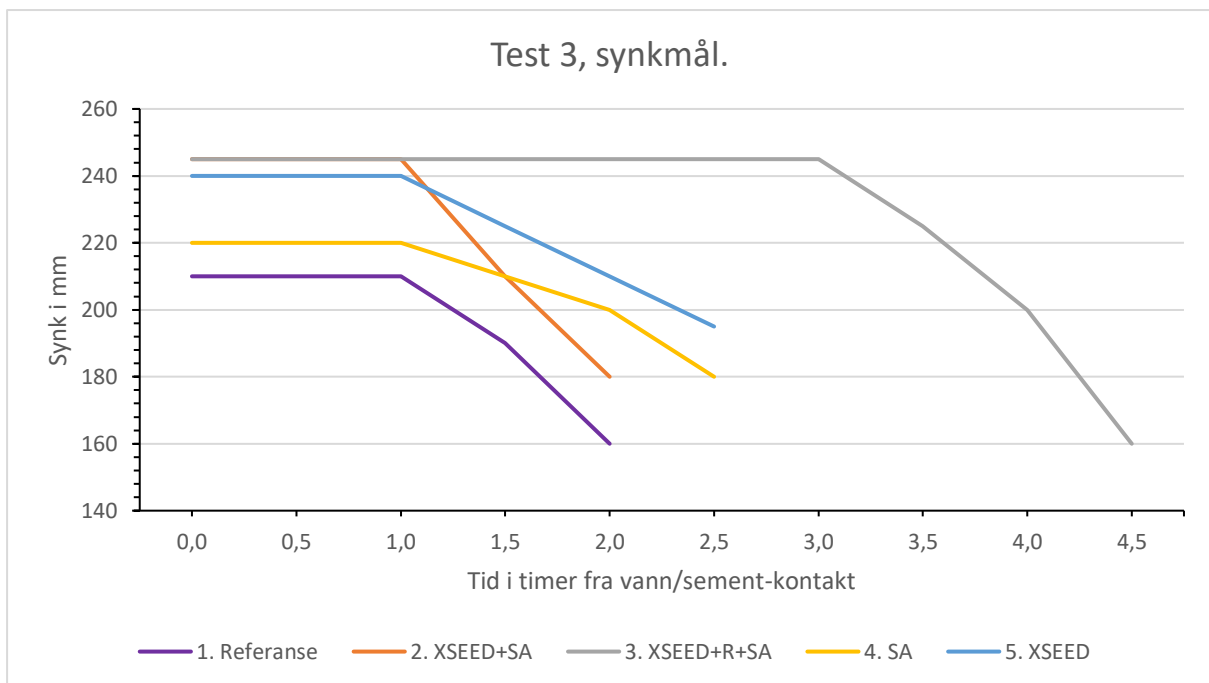
Luftinnholdet ble målt på to av reseptene i test 3. Resultatet vises i tabell 24.

Tabell 24: Målt luftinnhold, test 3.

| Resept        | Luftinnhold i % |
|---------------|-----------------|
| 1 (Referanse) | 2,3             |
| 2 (X-SEED)    | 1,6             |

Luftinnholdet var som forventet i referanseresepsten i forhold til ønsket luftinnhold på 2,5 %. For resept 2 ble luftinnholdet målt noe lavere.

I test 3 ble de første synkmålene tatt én time etter at betongen ble produsert. Tid i timer er regnet fra første kontakt mellom vann og sement. Resultatene vises i figur 29.

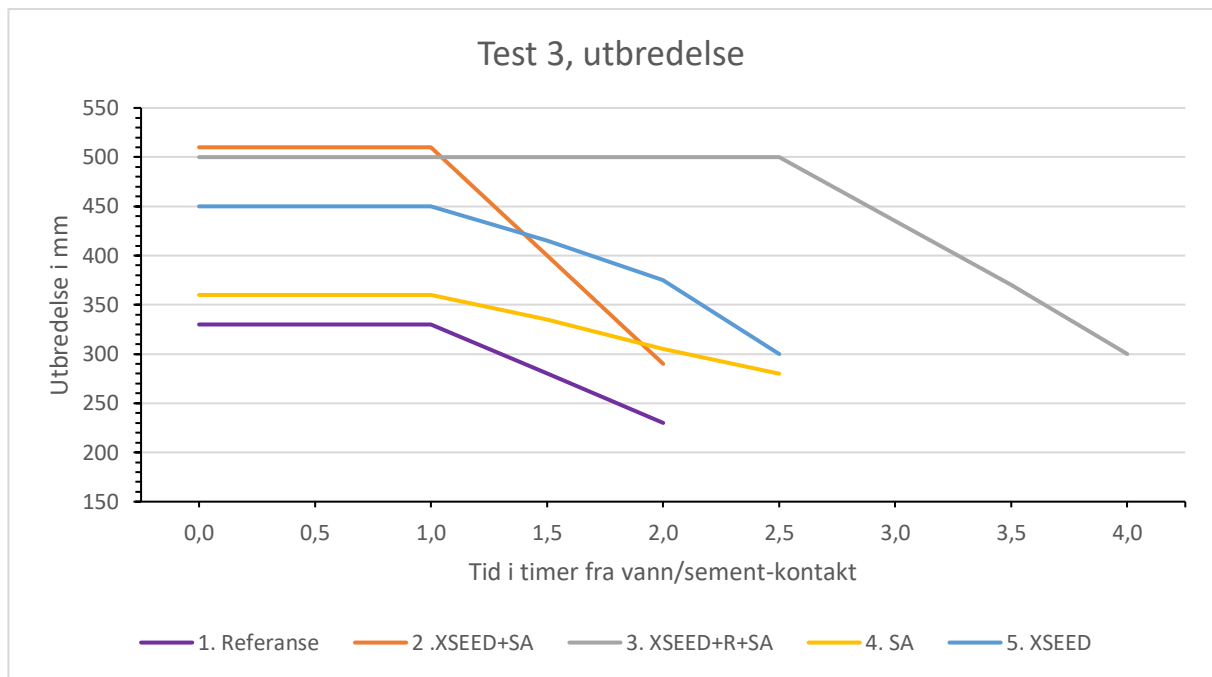


Figur 29: Synkmål og bearbeidelighet

Reseptene hadde bearbeidingstid fra 1 til 4 timer. Overraskende nok var det referanseresepsten som hadde kortest bearbeidingstid.



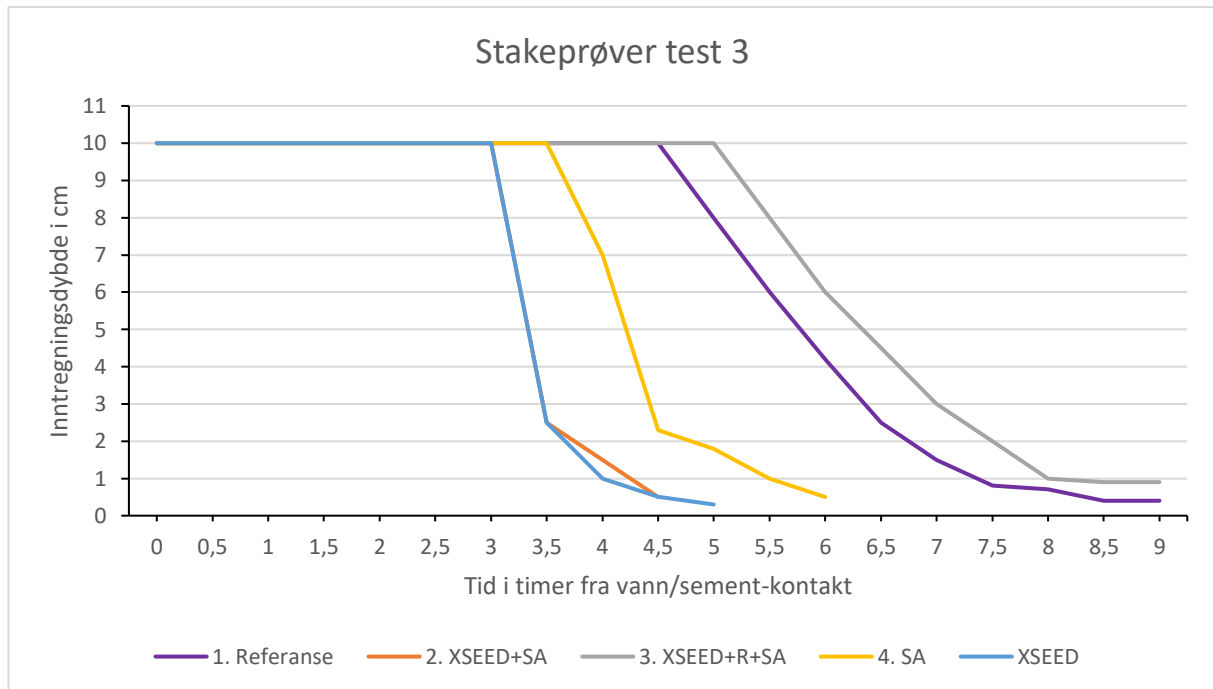
Utbredelsesmålene tatt i forbindelse med synkmålene vises i figur 30.



Figur 30: Utbredelsesmål for reseptene i test 3.

Utbredelsesmålene var forventet å ligge rundt 340 mm når synkmålene var 200 mm.

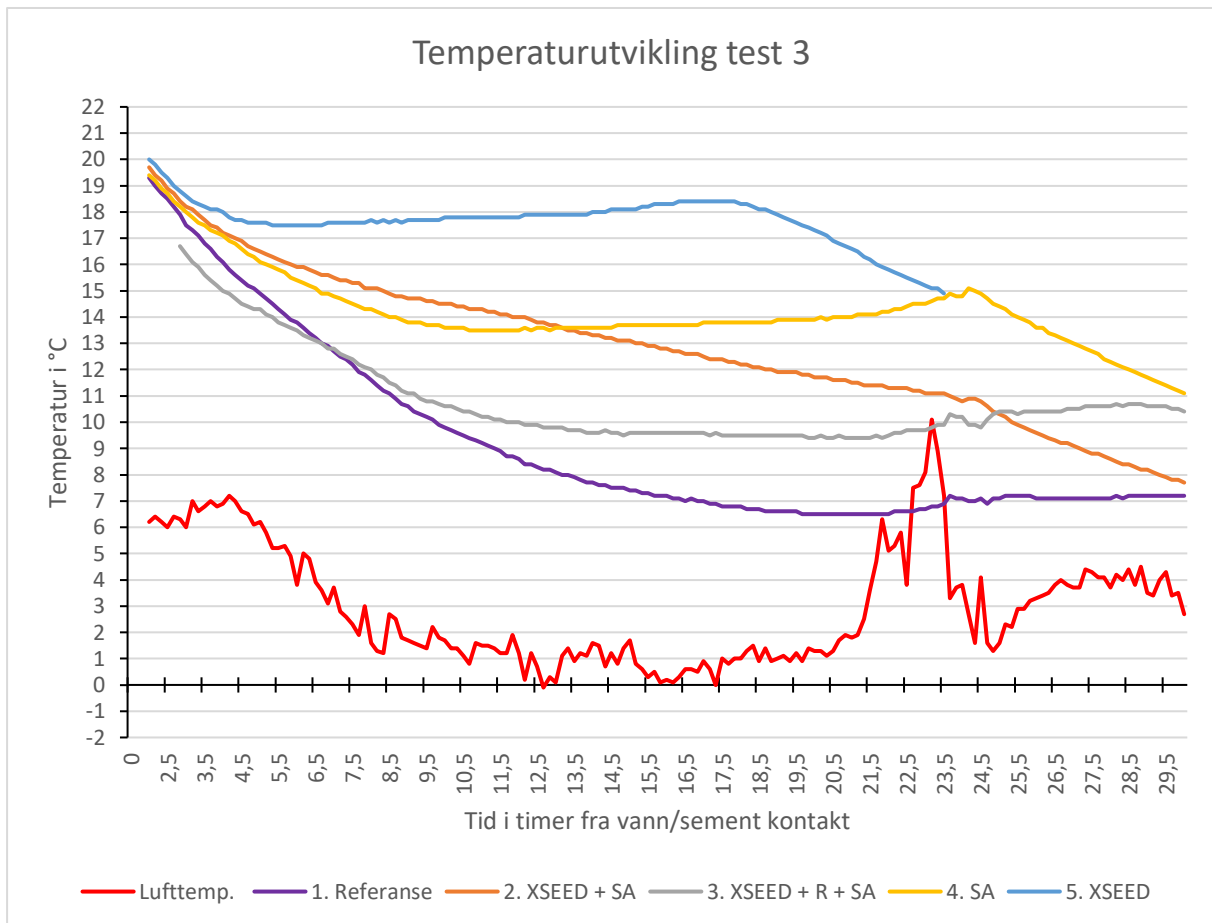
Figur 31 viser resultatene for stakeprøver utført i test 3. Tidspunkt fastslått ved inntrengningsdybde på 1 cm.



Figur 31: Glattetidspunkt for reseptene i test 3.

Første stakeprøve i test 3 ble utført 3 timer etter første kontakt mellom vann og sement. Figuren viser at resept 5 og resept 2 ga best effekt, med glattetidspunkt på henholdsvis 4 og 4,5 timer.

Resultatene for temperaturutvikling i terningene som sto ute vises i figur 32.



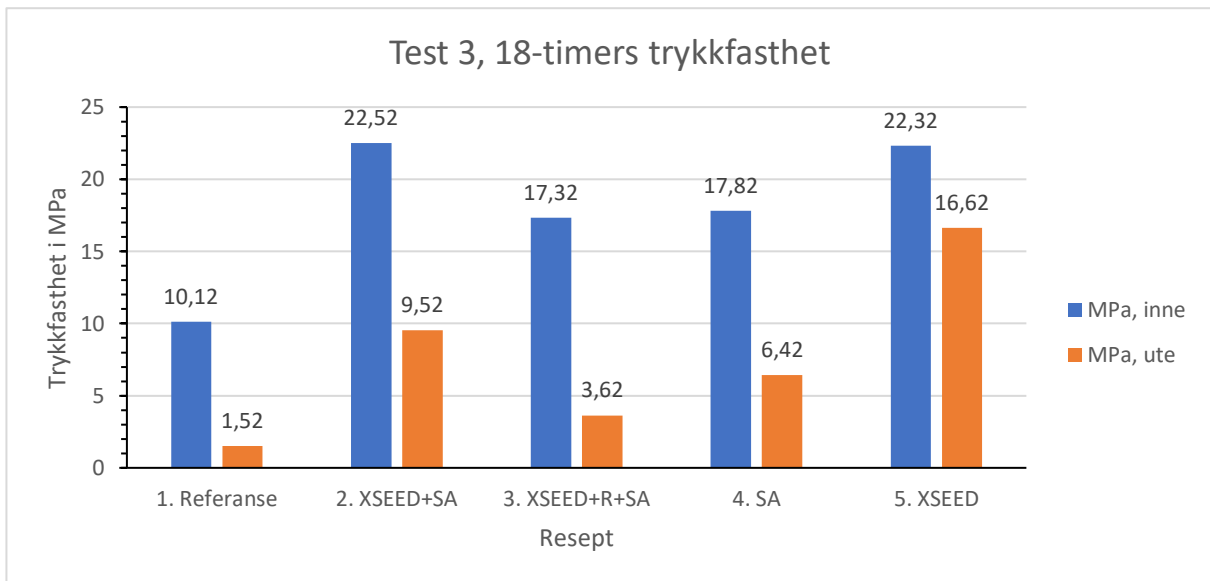
Figur 32: Temperaturutvikling for terningene utendørs.

Avbindingstiden ble bestemt ut i fra en temperaturstigning på 2 °C fra laveste målte temperatur. Ikke alle temperaturkurvene kunne tydes like godt, men det er gjort en vurdering så godt det lot seg gjøre. Tabell viser antatt avbindingstid for hver resept i timer fra første kontakt mellom vann og sement.

Tabell 25: Avbindingstid i antall timer fra først vann/semnt-kontakt.

| Resept:        | Avbindingstid (timer): |
|----------------|------------------------|
| 1 (Referanse)  | 30 +                   |
| 2 (XSEED+SA)   | Utydelig               |
| 3 (XSEED+R+SA) | 28,5                   |
| 4 (SA)         | 24,5                   |
| 5 (XSEED)      | 17,5                   |

Figur 33 til 35 viser resultatene for trykkfastheten til terningene med de ulike reseptene etter 18, 24 og 30 timer. I tillegg viser tabell 26 til 28 densiteten til de ulike terningene som ble trykktestet.

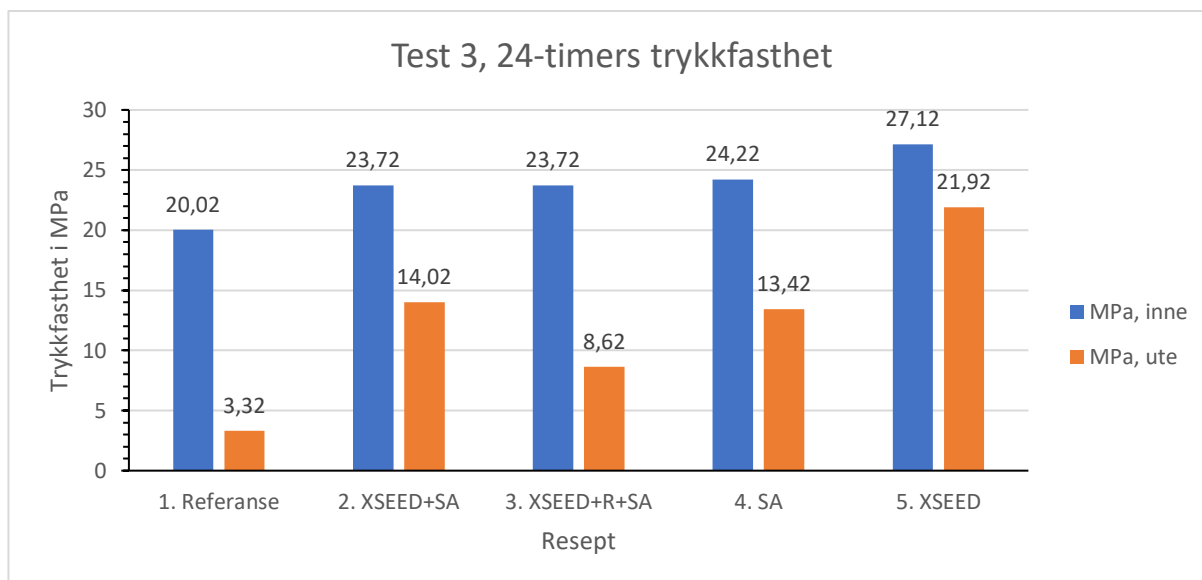


Figur 33: Trykkfasthet etter 18 timer, test 3.

Tabell 26: Terningenes densitet i gram, ved 18-timers trykktest.

| Resept         | Densitet terning inne (g) | Densitet terning ute (g) |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 (Referanse)  | 2434                      | 2373                     |
| 2 (XSEED+SA)   | 2413                      | 2459                     |
| 3 (XSEED+R+SA) | 2377                      | 2395                     |
| 4 (SA)         | 2370                      | 2322                     |
| 5 (XSEED)      | 2350                      | 2368                     |

Resultatene for 18-timers trykkfasthet viser at terningene lagret innendørs i 13 °C hadde god utvikling av tidligfasthet. Av terningene lagret utendørs, oppnådde tre av reseptene over 5 MPa. Av disse var resept 5 helt klart overlegen. Resept 5 oppnådde 75 % av trykkfastheten som den tilsvarende resepten oppnådde innendørs etter 18 timer.

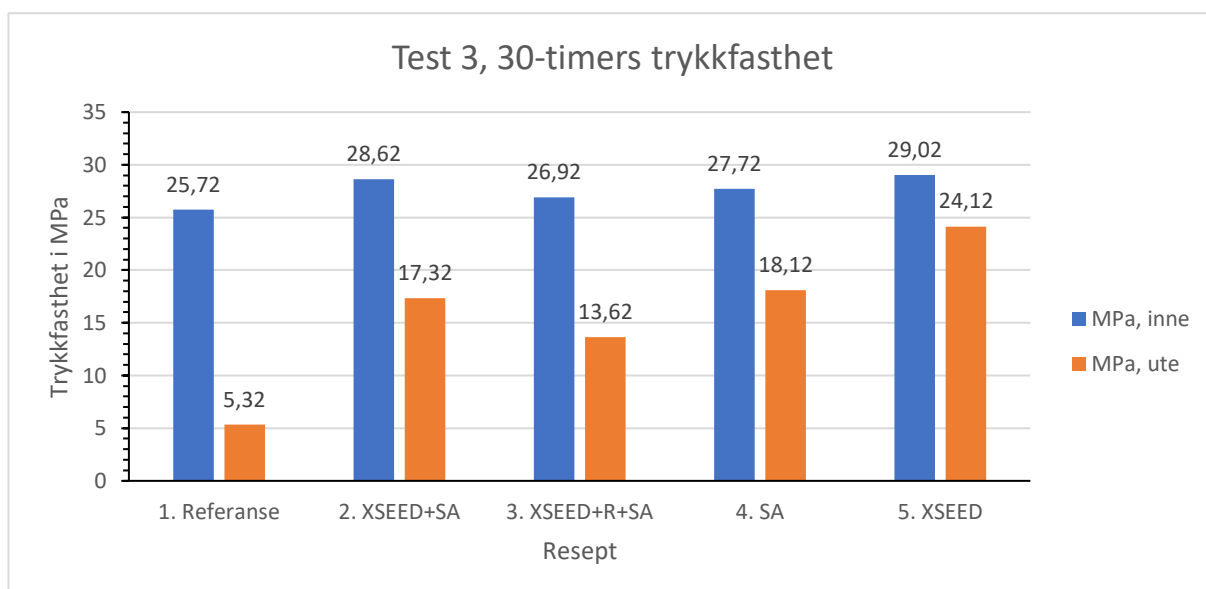


Figur 34: Trykkfasthet etter 24 timer, test 3.

Tabell 27: Terningenes densitet i gram, ved 24-timers trykktest.

| Resept         | Densitet terning inne (g) | Densitet terning ute (g) |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 (Referanse)  | 2393                      | 2360                     |
| 2 (XSEED+SA)   | 2424                      | 2451                     |
| 3 (XSEED+R+SA) | 2386                      | 2418                     |
| 4 (SA)         | 2357                      | 2316                     |
| 5 (XSEED)      | 2369                      | 2383                     |

Resultatene for 24-timers trykkfasthet viser at alle reseptene utendørs, bortsett fra referanseresepsten, oppnådde trykkfasthet på over 5 MPa etter 24 timer. Resept 5 viste fortsatt overlegenhet og hadde på dette tidspunktet utviklet større trykkfasthet enn referanseresepsten innendørs.



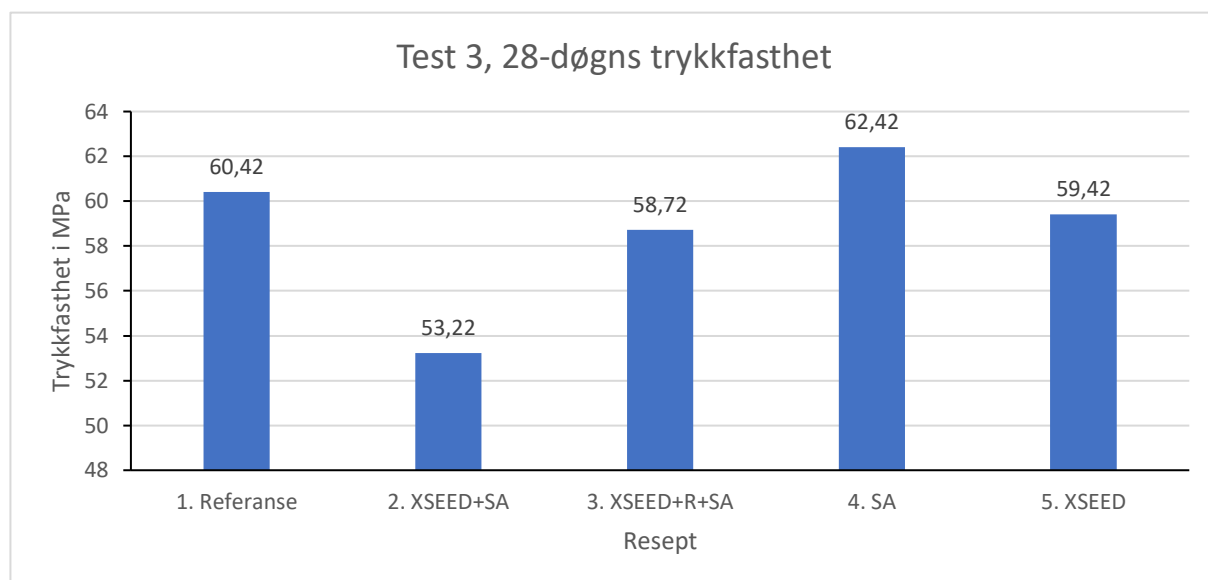
*Figur 35: Trykkfasthet etter 30 timer, test 3.*

*Tabell 28: Terningenes densitet i gram, ved 30-timers trykktest.*

| Resept         | Densitet terning inne (g) | Densitet terning ute (g) |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 (Referanse)  | 2414                      | 2406                     |
| 2 (XSEED+SA)   | 2389                      | 2429                     |
| 3 (XSEED+R+SA) | 2421                      | 2406                     |
| 4 (SA)         | 2371                      | 2376                     |
| 5 (XSEED)      | 2340                      | 2371                     |

Etter 30 timer hadde alle terningene utviklet trykkfasthet over 5 MPa. På dette tidspunktet hadde også referanseresepsten innendørs utviklet mer trykkfasthet enn resept 5 utendørs. Resept 5 utendørs hadde utviklet 83 % av trykkfastheten som den samme resepten hadde utviklet innendørs.

Figur 36 viser trykkfastheten til terningene etter 28 døgn. Tabell 29 viser terningenes densitet i gram.



Figur 36: Trykkfasthet etter 28 døgn, test 3.

Tabell 29: Terningenes densitet i gram, ved 28-døgns trykktest.

| Resept         | Densitet terning inne (g) |
|----------------|---------------------------|
| 1 (Referanse)  | 2416                      |
| 2 (XSEED+SA)   | 2420                      |
| 3 (XSEED+R+SA) | 2389                      |
| 4 (SA)         | 2386                      |
| 5 (XSEED)      | 2372                      |

28-døgns trykktest viser at alle reseptene hadde oppnådd høy trykkfasthet etter 28 døgn.

#### 4.4. Økonomi

##### Test 1

Eksemplene tar utgangspunkt i tallene fra metodekapitlet, for ett gulv på 45 m<sup>2</sup> og ett gulv på 600 m<sup>2</sup>. Alle priser er uten merverdiavgift.

Tabell 30 viser resultatene for eksempelet med ett gulv på 45 m<sup>2</sup> / 5 m<sup>3</sup> betong.

Tabell 30: Kostnadseksempel 1, test 1.

| <b>Resept</b>   | <b>Tid til glatting (timer)</b> | <b>Besparelse i timer/kroner*</b> | <b>Pris for tilsetningsstoffer (kroner)</b> | <b>Total besparelse i kroner / %**</b> |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|--|
| 1 (Referanse)   | 10                              | -                                 | -   | -                                      |
| 2 (2% HA+1% SA) | 8                               | 2 / 3 600                         | 832   | 2 768 / 15                             |
| 4 (1,5% SA)     | 8                               | 2 / 3 600                         | 397   | 3 203 / 18                             |
| 5 (3% HA)       | 9,5                             | 0,5 / 900                         | 851   | 49 / 0,3                               |

\*Besparelse i timer / kroner baserer seg på prisen for to gulvstøpere som må vente i x antall timer til 900 kr/t

\*\*Prosentvis besparelse av kostnaden for å vente full tid på referansen, som i dette eksempelet er 10 timer og utgjør 18 000 kr for to gulvstøpere.

Tabell 31 viser resultatene for eksempelet med ett gulv på 600 m<sup>2</sup> / 65 m<sup>3</sup> betong.

Tabell 31: Kostnadseksempel 2, test 1.

| <b>Resept</b>   | <b>Tid til glatting (timer)</b> | <b>Besparelse i timer/kroner*</b> | <b>Pris for tilsetningsstoffer (kroner)</b> | <b>Total besparelse i kroner / %**</b> |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|--|
| 1 (Referanse)   | 10                              | -                                 | -   | -                                      |
| 2 (2% HA+1% SA) | 8                               | 2 / 9 000                         | 10 811                                      | -1 811 (tap)                           |
| 4 (1,5% SA)     | 8                               | 2 / 9 000                         | 5 160                                       | 3 840 / 9                              |
| 5 (3% HA)       | 9,5                             | 0,5 / 2 250                       | 11 057                                      | -8 807 (tap)                           |

\*Besparelse i timer / kroner baserer seg på prisen for fem gulvstøpere som må vente i x antall timer til 900 kr/t.

\*\*Prosentvis besparelse av kostnaden for å vente full tid på referansen, som i dette eksempelet er 10 timer og utgjør 45 000 kr for fem gulvstøpere.



## Test 2.

Eksemplene tar utgangspunkt i tallene fra metodekapitlet, for ett gulv på 45 m<sup>2</sup> og ett gulv på 600 m<sup>2</sup>. Alle priser er uten merverdiavgift.

Tabell 32 viser resultatene for eksempelet med ett gulv på 45 m<sup>2</sup> / 5 m<sup>3</sup> betong.

Tabell 32: Kostnadseksempel 1, test 2.

| Resept               | Tid til glatting (timer) | Besparelse i timer/kroner* | Pris for tilsetningsstoffer (kroner) | Total besparelse i kroner / %** |
|----------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1 (Referanse)        | 11,5                     | -                          | -                                    | -                               |
| 2 (2% ULTRA + 1% SA) | 6                        | 5,5 / 9 900                | 1 021                                | 8 879 / 43                      |
| 4 (1,5% SA)          | 6,5                      | 5 / 9 000                  | 397                                  | 8 603 / 42                      |
| 5 (3% ULTRA)         | 7,5                      | 4 / 7 200                  | 1 134                                | 6 066 / 29                      |

\*Besparelse i timer / kroner baserer seg på prisen for fem gulvstøpere som må vente i x antall timer til 900 kr/t.

\*\*Prosentvis besparelse av kostnaden for å vente full tid på referansen, som i dette eksempelet er 11,5 timer og utgjør 20 700 kr for to gulvstøpere.

Tabell 33 viser resultatene for eksempelet med ett gulv på 600 m<sup>2</sup> / 65 m<sup>3</sup> betong.

Tabell 33: Kostnadseksempel 2, test 2.

| Resept               | Tid til glatting (timer) | Besparelse i timer/kroner* | Pris for tilsetningsstoffer (kroner) | Total besparelse i kroner / %** |
|----------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1 (Referanse)        | 11,5                     | -                          | -                                    | -                               |
| 2 (2% ULTRA + 1% SA) | 6                        | 5,5 / 24 750               | 13 268                               | 11 482 / 22                     |
| 4 (1,5% SA)          | 6,5                      | 5 / 22 500                 | 5 160                                | 17 340 / 34                     |
| 5 (3% ULTRA)         | 7,5                      | 4 / 18 000                 | 14 742                               | 3 258 / 6                       |

\*Besparelse i timer / kroner baserer seg på prisen for fem gulvstøpere som må vente i x antall timer til 900 kr/t.

\*\*Prosentvis besparelse av kostnaden for å vente full tid på referansen, som i dette eksempelet er 11,5 timer og utgjør 51 750 kr for fem gulvstøpere.

### Test 3.

Eksemplene tar utgangspunkt i tallene fra metodekapitlet, for ett gulv på 45 m<sup>2</sup> og ett gulv på 600 m<sup>2</sup>. Alle priser er uten merverdiavgift.

Tabell 34 viser resultatene for eksempelet med ett gulv på 45 m<sup>2</sup> / 5 m<sup>3</sup> betong.

Tabell 34: Kostnadseksempel 1, test 3.

| Resept               | Tid til glatting (timer) | Besparelse i timer/kroner* | Pris for tilsetningsstoffer (kroner) | Total besparelse i kroner / %** |
|----------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1 (Referanse)        | 7,5                      | -                          | -                                    | -                               |
| 2 (2% XSEED + 1% SA) | 4,5                      | 3 / 5 400                  | 1 021                                | 4 379 / 32                      |
| 4 (1,5% SA)          | 5,5                      | 2 / 3 600                  | 397                                  | 3 203 / 24                      |
| 5 (3% XSEED)         | 4                        | 3,5 / 7 200                | 1 134                                | 6 066 / 45                      |

\*Besparelse i timer / kroner baserer seg på prisen for fem gulvstøpere som må vente i x antall timer til 900 kr/t.

\*\*Prosentvis besparelse av kostnaden for å vente full tid på referansen, som i dette eksempelet er 7,5 timer og utgjør 13 500 kr for fem gulvstøpere.

Tabell 35 viser resultatene for eksempelet med ett gulv på 600 m<sup>2</sup> / 65 m<sup>3</sup> betong.

Tabell 35: Kostnadseksempel 2, test 3.

| Resept               | Tid til glatting (timer) | Besparelse i timer/kroner* | Pris for tilsetningsstoffer (kroner) | Total besparelse i kroner / %** |
|----------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1 (Referanse)        | 7,5                      | -                          | -                                    | -                               |
| 2 (2% XSEED + 1% SA) | 4,5                      | 3 / 13 500                 | 13 268                               | 232 / 0,7                       |
| 4 (1,5% SA)          | 5,5                      | 2 / 9 000                  | 5 160                                | 3 830 / 11                      |
| 5 (3% XSEED)         | 4                        | 3,5 / 15 750               | 14 742                               | 1 008 / 3                       |

\*Besparelse i timer / kroner baserer seg på prisen for fem gulvstøpere som må vente i x antall timer til 900 kr/t.

\*\*Prosentvis besparelse av kostnaden for å vente full tid på referansen, som i dette eksempelet er 7,5 timer og utgjør 33 750 kr for fem gulvstøpere.

## 5. Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultatene fra testene og de sammenlignes.

### 5.1. V/C-tall

Som man kan se i resultatene, ble det forskjellig v/c-tall fra en test til en annen. Dette er det tatt hensyn til ved analyse av resultatene. Tabell 36 viser v/c-tallet for referanseresepten i hver test.

Tabell 36: V/C-tall for hver test.

| Test | V/C – tall etter tilsetning* |
|------|------------------------------|
| 1    | 0,550                        |
| 2    | 0,514                        |
| 3    | 0,506                        |

\*V/C-tall etter tilsetning av 2,5 % vann i referanseresepten. Det er ikke regnet ut nøyaktig v/c-tall per resept etter tilsetning av akseleratorene (som inneholder vann). De skal i utgangspunktet være like v/c-tallet utregnet for referanseresepten.

For test 1 ble v/c-tallet høyere enn kravet fra NS-EN 206 på maks 0,545 for referanseresepten. Dette var etter at 2,5 % ekstra vann var tilsatt i murdunk. Likevel er det valgt å defineres som innenfor. Vann ble holdt igjen ved å styre det ut i fra fuktinnholdet i sanden som ble brukt til tilslag. Det kan ifølge veileder Ulf Rinden i Betong Øst være noe usikkerhet med uttørking, og i test 1 var fukten i sanda 0,5 % bløtere enn systemet indikerte. Dette forklarer hvorfor v/c-tallet ble noe høyere ut fra produksjon enn planlagt.

En undersøkelsesmetode som ikke er gjennomført i testene er fuktmålinger av tilslaget. Blandeverket til Betong Øst i Spydeberg, er et avansert blandeverk som veier opp alt av sement, vann, tilslag og tilsetningsmaterialer/-stoffer. Alt tilslag lagres tørt i siloer, og blandeverket regner med datamaskiner hvor mye vann som må tilsettes/holdes igjen for å få v/c-tall innenfor krav gitt i NS-EN 206. Dette er grunnen til at det ikke har blitt gjennomført fuktmålinger i oppgaven, og det poengteres at opprinnelig v/c-tall før tilsetning av 2,5 % ekstra vann var innenfor kravet for test 1.

For test 2 og test 3 var v/c-tallet lavere enn forventet, men som sagt er dette også tatt hensyn til i analysen av resultatene.

Tørkeprøvene sto i mikrobølgeovnen i over én time før v/c-tallet kunne kontrolleres. Derfor ble det ikke oppdaget at v/c-tallet var for høyt eller for lavt før etter at testene var gjennomført.

## **5.2. Tilsetting av Mapetard R**

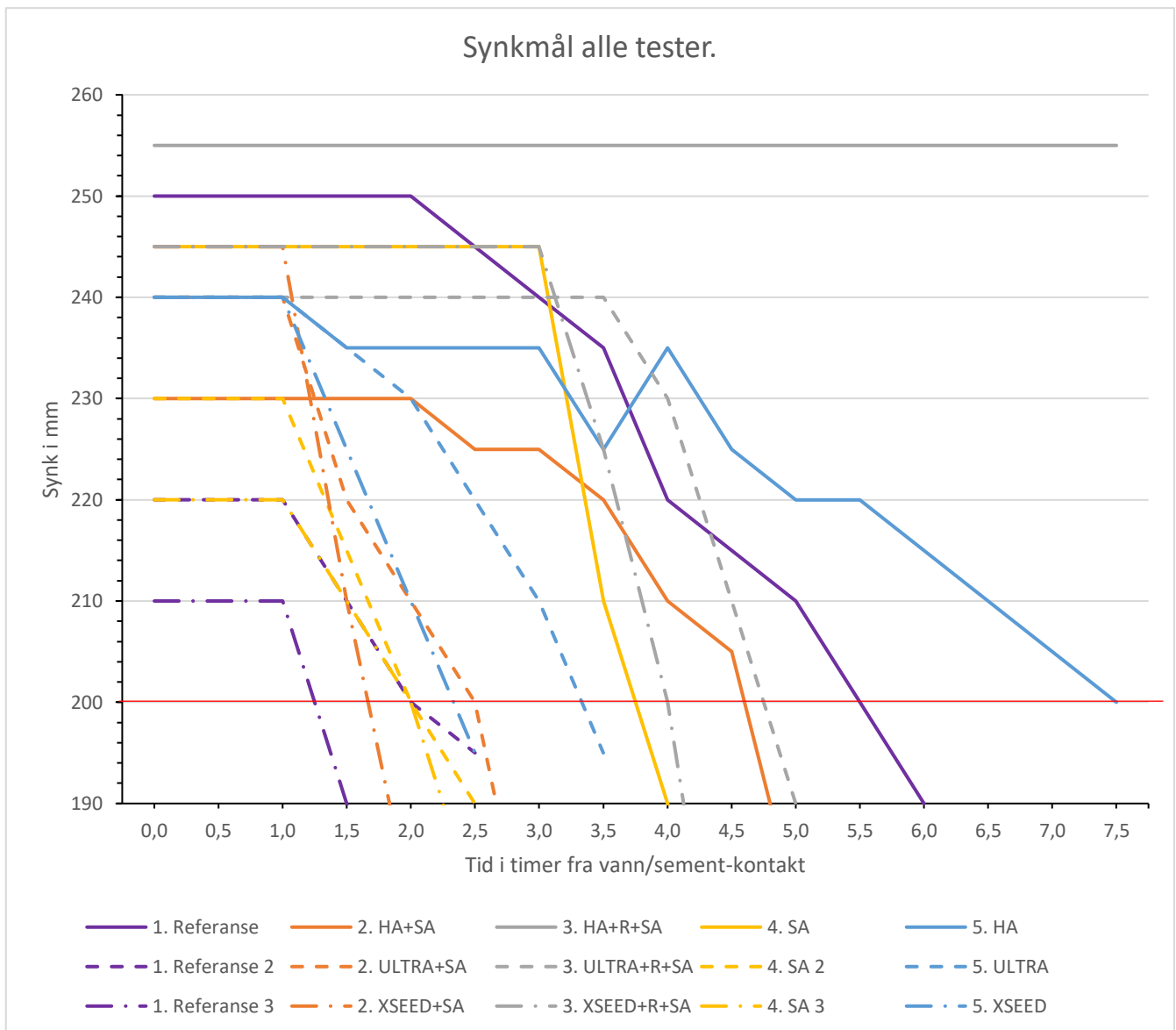
I test 1 ble resept 3 (HA+R+SA) mislykket. Dekket ble ikke klart for glatting før testen ble avsluttet. Etter evaluering av testen ble det konkludert med en sannsynlig årsak. Under forberedelsen til test 1 ble det retarderende stoffet tappet fra en 1000 liters tank over på en 10 liters dunk. 1000 liters tanken står plassert inne i Betong Øst sin lagerhall. Siden det ikke brukes store mengder av denne på vinteren, har den stått urørt over lengre tid. Tanken ble ikke rørt om før tapping på 10 liters dunken, samt at tappekranen er plassert i bunn av tanken. Det er derfor grunn til å tro at mengden med retarder som ble fylt over på 10 liters dunken var mer konsentrert enn den i utgangspunktet burde være. Dette kan ha ført til lengre retardasjonstid enn planlagt. For test 2 og test 3, ble 1000 liters dunken rørt om og det ble tappet en ny mengde på 10 liters dunken før disse testene ble gjennomført.

## **5.3. Luftinnhold**

Tilsetningsstoffene skal i utgangspunktet ikke utgjøre noen forskjell på luftinnholdet i betongen. Det betyr at luftinnholdet som måles i referanseresepthen bør være likt for alle reseptene. I testene ble luftinnholdet målt fra 1,4 – 2,5 %, hvor 2,5 % var ønsket luftinnhold. Selv om det ble målt lavere luftinnhold enn ønsket på flere av reseptene, ble ikke dette ansett som noe problem for videre undersøkelser. Årsaken til differansene skyldes mest sannsynlig feilmarginer i målemetoden, og evt. utstyret. Uansett var testene i samsvar med (Opsahl et al. 2014), at en betong uten luftinnførende stoffer bør ha et luftinnhold på rundt 2 %.

## 5.4. Konsistens

Figur 37 viser synkmålene til alle reseptene i alle testene. Test 1 har heltrukken linje, test 2 stiplet linje og test 3 stiplet linje med prikk.



Figur 37: Sammenligning av synkmål for alle testene.

Referanseresepeten i test 3 hadde helt klart kortest bearbeidingstid, men det skal nevnes at dette også var testen med lavest v/c-tall. Resept 5 i test 1 hadde lengst bearbeidingstid, og test 1 hadde høyest v/c-tall. Disse to ytterpunktene kan derfor være resultater forårsaket av variasjonen i v/c-tallet.

For hver test, ser rangering fra kortest til lengst bearbeidingsstid slik ut (angitt i reseptnr.):

Test 1: 4 – 2 – 1 – 5 – 3

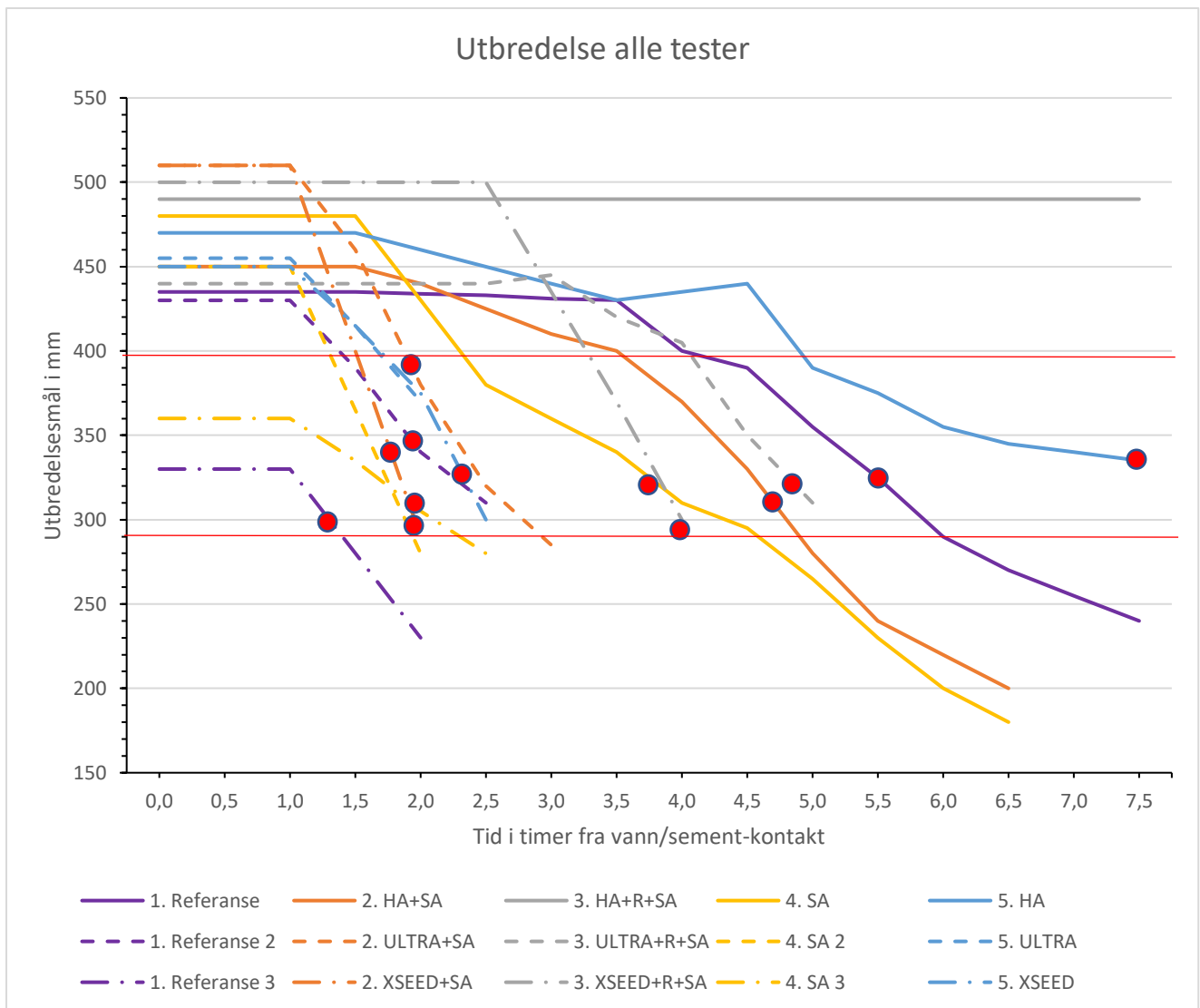
Test 2: 1 – 4 – 2 – 5 – 3

Test 3: 1 – 2 – 4 – 5 – 3

Ut i fra figur 37 og rangeringen, ser man at referanseresepsten har kortest bearbeidingsstid i test 2 og 3. Dette tyder på at de akselererende tilsetningsstoffene faktisk bidrar til forlenget bearbeidingsstid, spesielt reseptene med herdningsakselerator. Resept 5 har i alle testene lengst bearbeidingsstid, sett bort i fra den retarderte resepten. For resept 4 i alle testene er det varierende fra test til test om bearbeidingsstiden blir kortere eller lengre enn referanseresepsten. I utgangspunktet skal ikke HA-stoff påvirke støpeligheten i fersk tilstand, og SA-stoff skal gjøre at betongen mister støpelighet (Opsahl et al. 2014). Av akseleratorene Mapefast HA, Mapefast Ultra N og Master X-Seed 100 er det Master X-Seed 100 som har kortest bearbeidingsstid. Ifølge Bernt Kristiansen i AF Gruppen har det vært et problem i enkelte tilfeller for AF Gruppen, at bearbeideligheten er for kort ved bruk av Master X-Seed 100.

For test 2 og test 3, kan man se at resept 3 (med retarder) i begge disse testene har begynt å miste synk drøyt 2,5 timer etter tilsvarende resept (2) uten retarderende stoffer. Et av målene med retarder var å kunne styre resepten til å holde igjen størkningsprosessen 2 timer, og dette er så å si oppnådd i test 2 og test 3. Dette samsvarer også med produktbeskrivelsen fra Mapei, at Mapefast SA aktiverer en betong som er retardert (Mapei 2015).

Figur 38 viser utbredelsmålene til reseptene i alle testene. Test 1 har heltrukken linje, test 2 stiplet linje og test 3 stiplet linje med prikk. De røde punktene illustrerer utbredelsmålene per resept, på samme tidspunkt som synkmålet var 200 mm for tilsvarende resept.

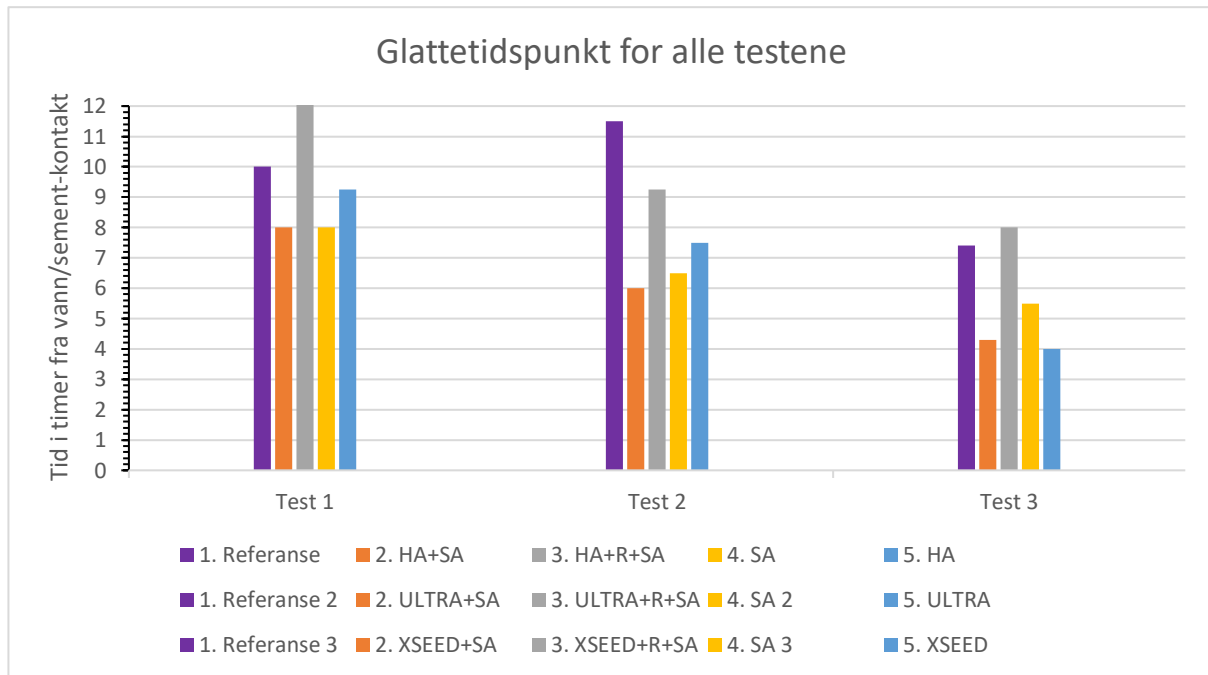


Figur 38: Utbredelsesmålene i alle testene.

Som man ser av de røde punktene på figur 38, lå utbredelsesmålene mellom 290 og 395 mm på tidspunktene hvor de tilhørende reseptene hadde synkmål på 200 mm. Snittet av dette er 342,5 mm. Dette samsvarer med typisk utbredelse på 340 mm for synk 200 mm ifølge (Norsk Betongforening 2017).

## 5.5. Glattetidspunkter og temperaturutvikling

Figur 39 viser en sammenslåing av resultatene fra stakeprøvene for alle testene. Tidene angitt i timer i figuren, er tidspunktene hvor inntrengningsdybden til 10mm-bolten var 1 cm.



Figur 39: Glattetidspunkter for alle testene.

Som figuren viser, er det forskjeller i referansereseptene i de tre testene. Dette kan komme av flere årsaker. De viktigste i de utførte undersøkelsene er forskjellig v/c-tall, betongtemperatur og værforhold. Dette samsvarer med (Norsk Betongforening 2017).

Tabell 37 viser en oppsummering av værforholdene for hver test.

Tabell 37: Værforhold for hver test.

| Test | Betongtemperatur fra produksjon | Værforhold                      |
|------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1    | 26,1 °C                         | -5 °C, vindstille og sol        |
| 2    | 24,1 °C                         | -0,5 °C, flau vind og overskyet |
| 3    | 26,7 °C                         | 3 °C, vindstille og overskyet   |

Temperaturene som er oppgitt i tabellen er temperaturen som ble målt ved hver test sin oppstart. Temperaturforandringene i løpet av hver test kan ses i resultatkapitlet (figur 17,25 og 33). Siden det var vind når test 2 ble gjennomført, regnes herdeforholdene som omtrent like for test 1 og test 2. For test 3 var temperaturforholdene noe mildere, som påvirker resultatene positivt.



Glattetidspunktene har blitt framskyndet i alle testene. Reseptene som skiller seg ut er:

Test 1: Resept 2 (HA+SA) og 4 (SA) med glattetidspunkt etter 8 timer. Tidsbesparelse på 2 timer fra referanseresepsten.

Test 2: Resept 2 (ULTRA+SA) og 4 (SA) med glattetidspunkt etter henholdsvis 6 og 6,5 timer. Tidsbesparelse på 5 og 5,5 timer fra referanseresepsten.

Test 3: Resept 2 (XSEED+SA) og 4 (XSEED) med glattetidspunkt etter henholdsvis 4 timer 15 min og 4 timer. Tidsbesparelse på 3 timer 15 min og 3,5 timer fra referanseresepsten.

Selv om X-SEED hadde den korteste ventetiden fra vann/ement-kontakt til det var klart for glatting, var det kombinasjonen av ULTRA og SA i test 2 som ga størst tidsbesparelse i forhold til referanseresepsten. Dette er interessant, med tanke på at det ikke var temperaturutvikling i terningene i test 2 og heller ikke trykkfasthetsresultater som utmerket seg.

Dersom dekkene i undersøkelsene hadde vært på størrelsen med et reelt gulv, kunne det vært interessant å se om det var forskjell i tidsbesparelsen ved glattetidspunkt og ferdig glattet flate. I følge Bernt Kristiansen i AF Gruppen, viser erfaring at forskjellen er minst like stor på ferdig pusset flate, som ved start pussing. Akselererende tilsetningsstoffer påvirker altså ikke betongen i den grad at den blir lettere å glatte.

Tabell 38 viser avbindingstidene til test 1 og test 3, siden temperaturloggingen i test 2 ikke ga resultater.

Tabell 38: Avbindingstider per resept.

| Resept:         | Avbindingstid (timer): |
|-----------------|------------------------|
| <b>TEST 1</b>   |                        |
| 1. (Referanse)  | 29,5                   |
| 2. (HA+SA)      | 21,5                   |
| 3. (HA+R+SA)    | 30                     |
| 4. (SA)         | 23                     |
| 5. (HA)         | 26                     |
| <b>TEST 3</b>   |                        |
| 1. (Referanse)  | 30 +                   |
| 2. (XSEED+SA)   | Utydelig               |
| 3. (XSEED+R+SA) | 28,5                   |
| 4. (SA)         | 24,5                   |
| 5. (XSEED)      | 17,5                   |

Av tabell 38 kan man se at avbindingstidene i test 1 og test 3 ikke var så veldig ulike, og at reseptene med akselererende tilsetningsstoffer ga raskere avbinding enn referansene. Sammenligner man referanseresepeten, hadde denne kortere avbindingstid i test 1 selv om den hadde lavere v/c-tall og lufttemperaturen i test 3 var høyere. Resept 5 i test 3, med Master X-Seed 100, var den resepten som hadde kortest avbindingstid. Den skiller seg ut fra de andre reseptene, akkurat som i studien utført av (Bost et al. 2016).

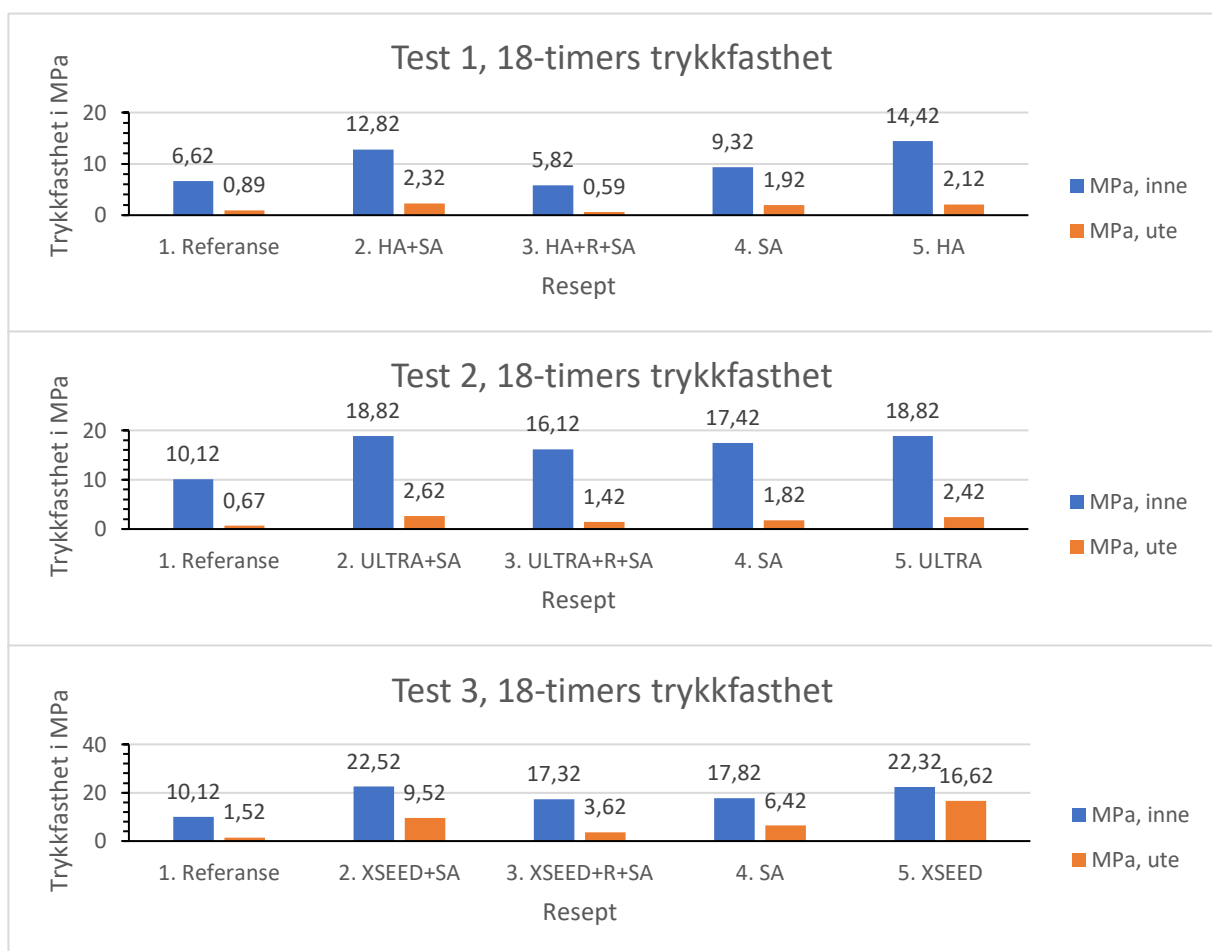
Resept 4 i test 1 og 3, samt resept 2 i test 1, var resepter med SA og viste også rask avbinding. Dette stemmer overens med produktbeskrivelsen fra Mapei, om at Mapefast SA gir raskere avbinding og kortere tid til glatting (Mapei 2015). Resept 3 ble som nevnt mislykket i test 1, men i test 3 kan man se at denne har akselerert etter tilsettingen av SA og oppnådd avbinding ca. 2 timer før referansen.

Siden det ikke var mulig å lese avbindingstiden til reseptene i test 2, er det vanskelig å si om disse var bedre eller dårligere enn reseptene i test 1 og test 3. Det er mulig at betongen ikke utviklet temperatur på grunn av lavere utgangstemperatur for test 2.

Det at avbindingstidene er såpass mye senere enn glattetidspunktet, tyder på at betongen ble besluttet som klar for glatting mens den underliggende betongen fortsatt var plastisk. Dette er en viktig observasjon, og man kan derfor ha grunn til å tro at dette ofte forekommer i reelle prosjekter. Faren ved å starte glattingen for tidlig, er at såkalt «hengemyr» kan oppstå som forklart i teorikapitlet. Skader av dette kan være delaminering, riss, krakelering, blemmer etc. (Norsk Betongforening 2017).

## 5.6. Fasthetsutvikling

Figur 40 viser trykkfastheten etter 18 timer for alle testene.



Figur 40: 18-timers trykkfasthet for alle testene.

Resultatene fra 18-timers trykktest viser at terningene som har herdet innendørs har utviklet høyere trykkfasthet for test 2 enn for test 1. Dette gjelder ikke for terningene lagret utendørs. Her viser resultatene at utviklingen av trykkfasthet ligger på det samme nivået for test 1 og test 2.

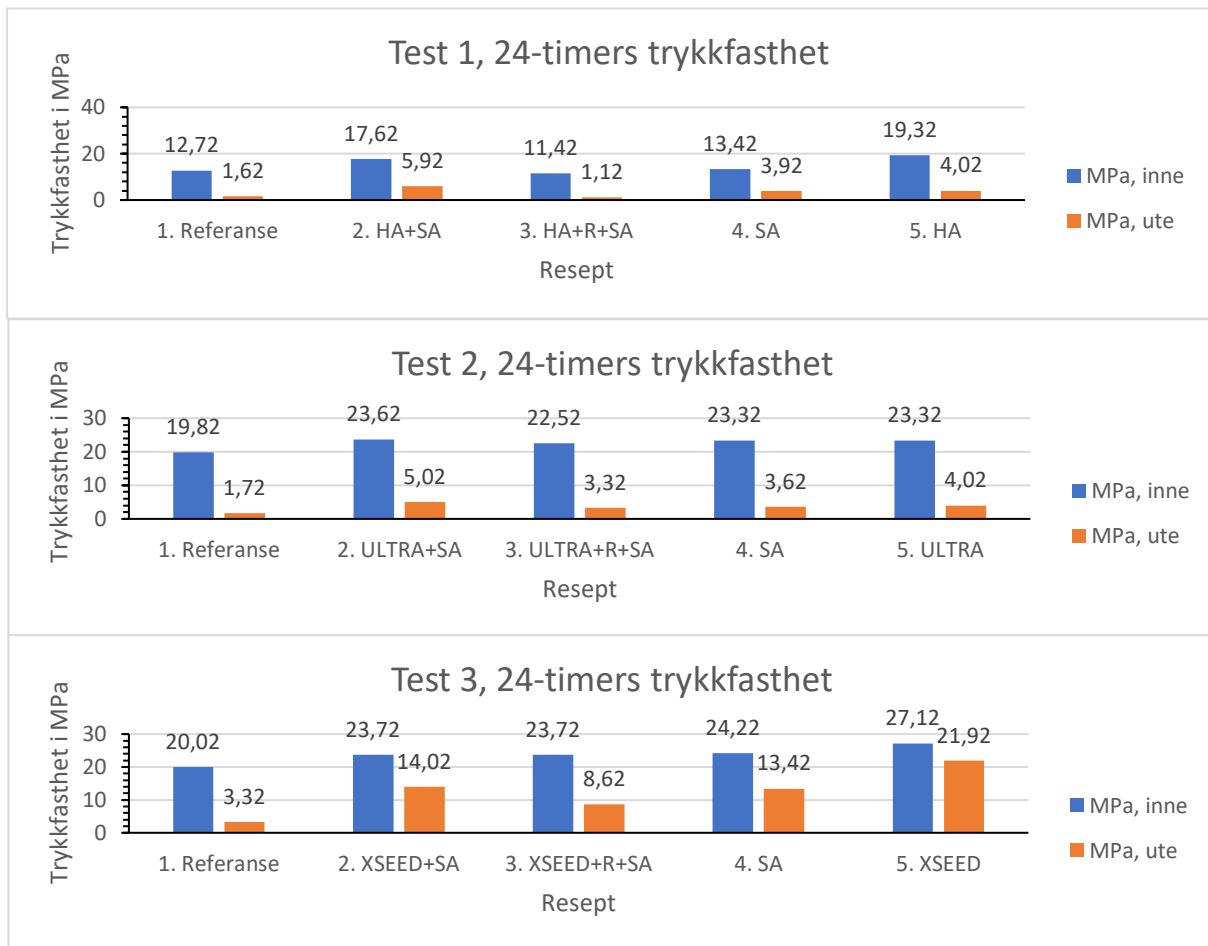
Man ser at resept 2 og 5 i test 1, som begge inneholdt HA, oppnådde så å si lik trykkfasthet utendørs med henholdsvis 18 og 15 % av trykkfastheten til samme resept innendørs. Sammenligner man dette med resept 2 og 5 i test 2, som inneholdt ULTRA istedenfor HA, utviklet disse mindre trykkfasthet utendørs i forhold til innendørs med henholdsvis 14 og 13 %. Tross i at v/c-tallet var lavere for test 2 enn for test 1.

Med andre ord fungerer HA minst like bra, om ikke bedre enn ULTRA, til utviklingen av tidlig trykkfasthet under kalde forhold.

Det kan se ut til at ULTRA fungerer bedre enn HA under varmere forhold, hvis man ser på resultatene innendørs. Tar man i betraktning at v/c-tallet for test 1 var 6 % høyere enn v/c-tallet i test 2, er det riktig å forvente at trykkfastheten er høyere, slik som den er innendørs. Derfor er det vanskelig å si om ULTRA faktisk er bedre enn HA innendørs, eller om det er på grunn av forskjellen i v/c-tallet.

Sammenligner man test 1 og 2 med test 3, ser man se at test 3 hadde enda større utvikling av trykkfasthet, spesielt utendørs. En viktig faktor er at det i test 3 var brukt referanseressept med lavest v/c-tall av de tre testene. Dette påvirker trykkfastheten positivt. Hvis man sammenligner prosentvis utvikling utendørs, kan man se at trykkfastheten til referanseressepten hadde doblet seg fra test 1 og test 2 til test 3, men den ble nesten 8 ganger så stor for resept 5. Man kan derfor få et inntrykk av at X-SEED fungerer bedre alene enn HA og ULTRA gjør alene i kaldt klima.

Figur 41 viser trykkfastheten etter 24 timer for alle testene.



Figur 41: 24-timers trykkfasthet for alle testene.

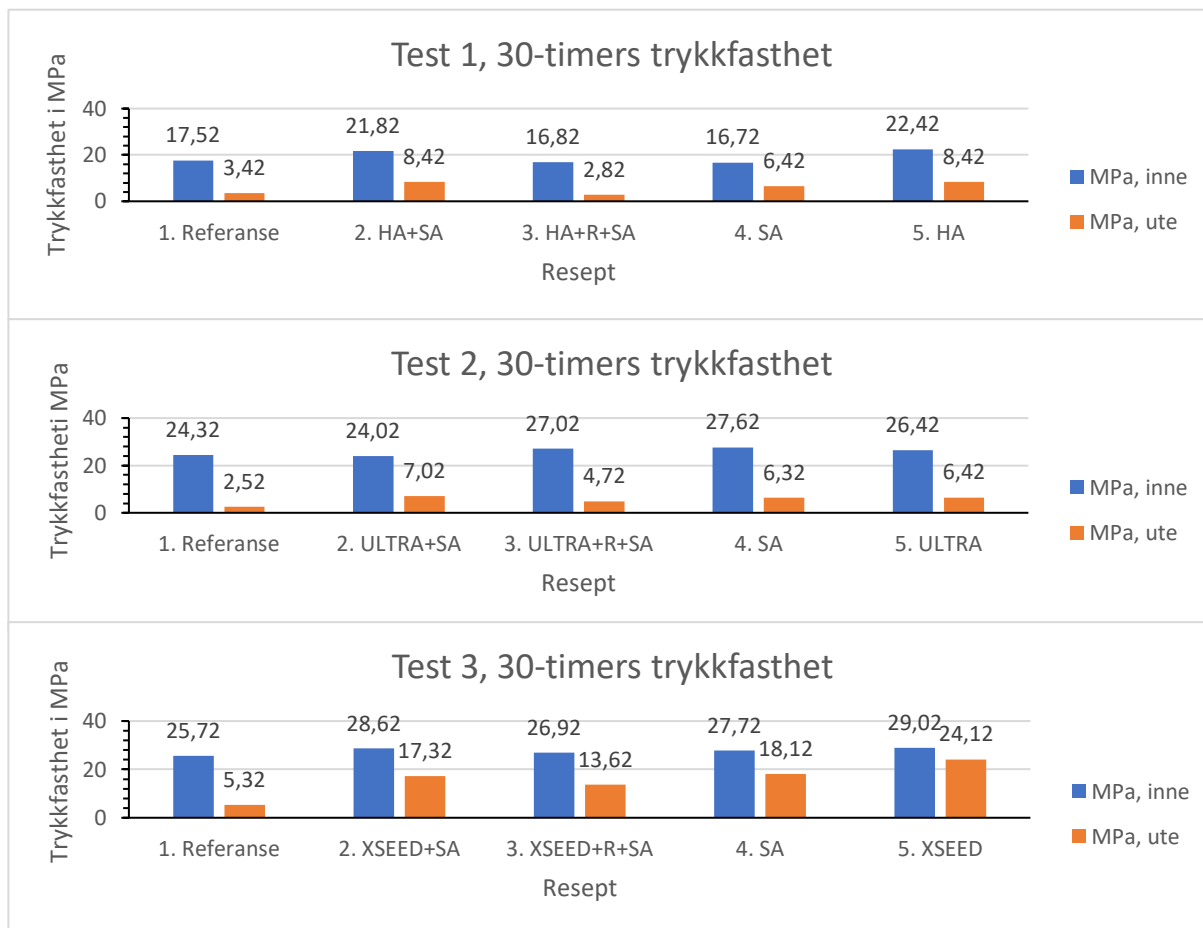
Etter 24 timer, var utviklingen innendørs omtrent som forventet i forhold til 18-timers trykkfasthet, og med tanke på de ulike v/c-tallene. Utendørs hadde resept 2 og 5 i test 1 utviklet mer trykkfasthet enn resept 2 og 5 i test 2. Dette bekrefter vurderingen over, at HA fungerer bedre til utvikling av tidlig trykkfasthet enn ULTRA, i kaldt klima. Det betyr også at HA fungerer bedre i tynne konstruksjoner, siden varmeutviklingen i tynne konstruksjoner er mindre enn ved tykke konstruksjoner.

X-SEED i test 3 var fortsatt overlegen i forhold til test 1 og 2. Resept 5 i test 3 hadde på dette tidspunktet utviklet mer eller omtrent den samme trykkfastheten utendørs, som reseptene i test 1 og 2 hadde utviklet innendørs.

Det skal også nevnes at resept 4 i test 3, med kun SA, hadde utviklet stor trykkfasthet i forhold til resept 4 i test 1 og 2. Dette gjelder for alle tidspunktene 18, 24 og 30 timer.

Resept 3, med Mapefast R, fungerte betraktelig bedre i test 2 og test 3 enn i test 1.

Figur 42 viser trykkfastheten etter 30 timer for alle testene.



Figur 42: 30-timers trykkfasthet for alle testene.

Resultatene fra 30-timers trykktesting viser at utviklingen av trykkfasthet følger det samme sporet som etter 18 og 24 timer. Resept 2, 4 og 5 i alle testene samt resept 3 i test 3, hadde oppnådd trykkfasthet over 5 MPa i henhold til kravene gitt i NS-EN 13670 (Standard Norge 2010). Dette kravet var oppnådd i tre av reseptene allerede etter 18 timer utendørs for test 3. Sammenlignet med studien utført av (Ryou & Yong-Soo 2011) er dette svært god utvikling av trykkfasthet, med tanke på at reseptene deres herdet i kontrollert temperatur- og fuktighetskammer med 15 °C, og oppnådde over 5 MPa først etter 24 timer.

I sammenligningene over er det ikke tatt hensyn til hver sin ternings densitet. Dette kan gi utslag på trykkfasthetsprøvene. Som nevnt i metodekapitlet er densiteten til den brukte referansebetongen  $2335,5 \text{ kg/m}^3 = 2335,5 \text{ gram}$  for en terning på  $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ . I følge mine eksterne veiledere, vil 1 % forskjell i densitet utgjøre 5 % forskjell i fasthet.

Av terningene som ble trykktestet etter 18, 24 og 30 timer, var gjennomsnittet som følger:

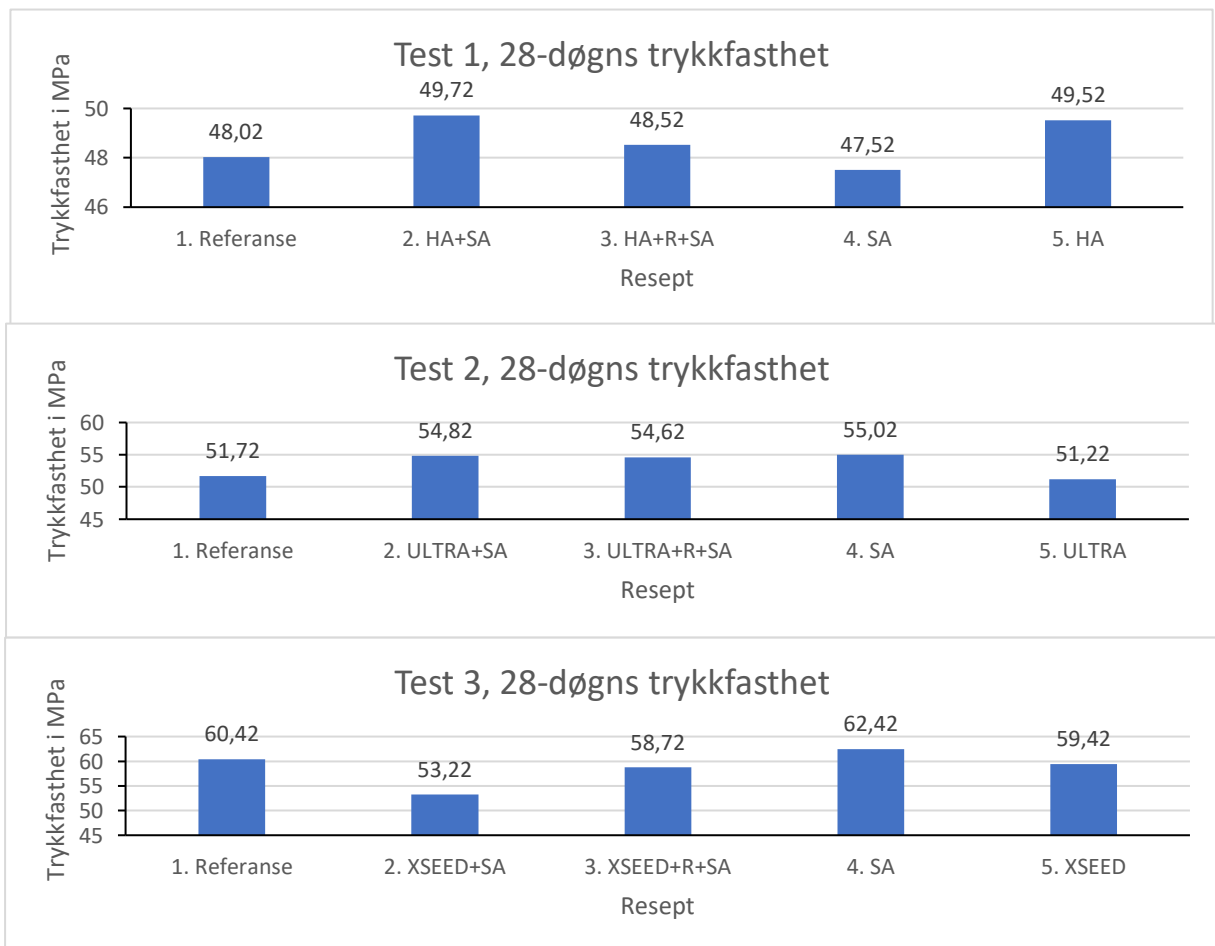
Test 1: 2330 g → 0,2 % mindre enn 2335,5 g

Test 2: 2345 g → 0,4 % mer enn 2335,5 g

Test 3: 2388 g → 2,2 % mer enn 2335,5 g

Dette bekrefter at det kunne forventes høyere utvikling av trykkfasthet for terningene i test 3, sammenlignet med test 1 og test 2. Likevel regnes ikke dette som en faktor som spiller noen rolle for konklusjonene. Om densitetene hadde vært nøyaktig like i alle testene, er det fortsatt grunn til å tro at man kunne trekke de samme beslutningene som er gjort etter 18, 24 og 30 timer.

Figur 43 viser 28-døgns trykkfastheten for alle testene.



Figur 43: 28 døgns trykkfasthet for alle testene.

Sammenligningen i figur 44 viser at det er stor forskjell i trykkfastheten på de tre testene, også i referansereseptene. Det er sannsynlig at dette kommer av forskjellig v/c-tall og densitet.

Gjennomsnittlig densitet på terningene per test var som følger:

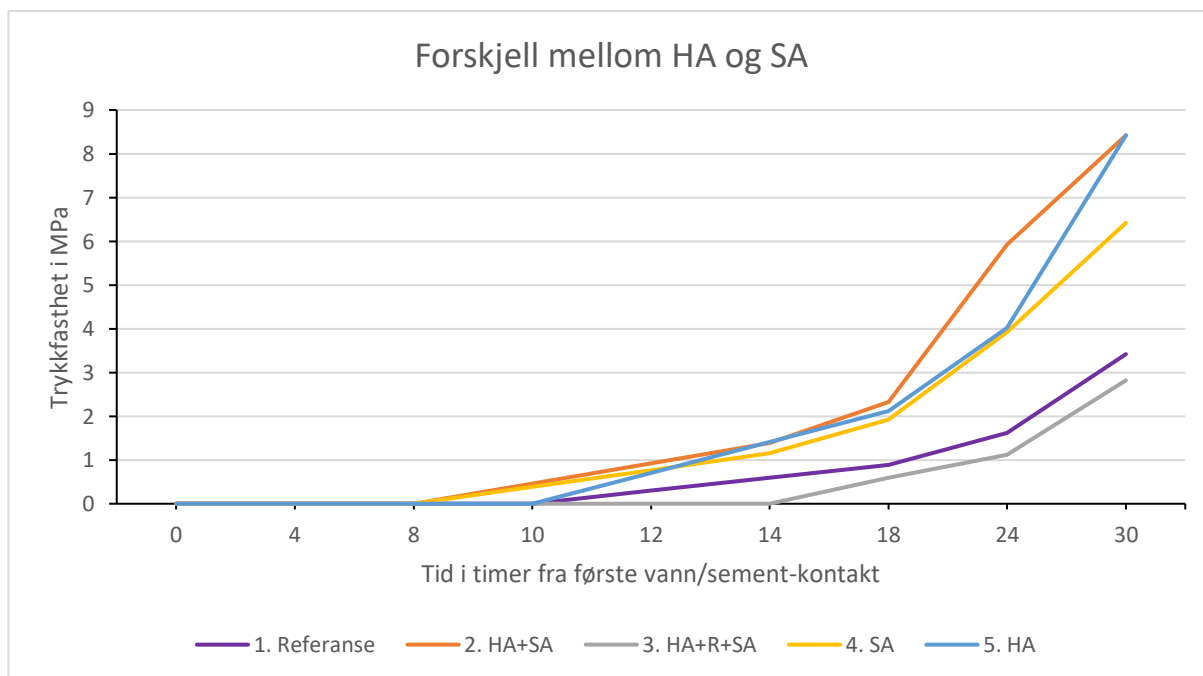
Test 1: 2342 g → 0,6 % mindre enn 2355,5 g

Test 2: 2357 g → 0,1 % mer enn 2355,5 g

Test 3: 2397 g → 1,8 % mer enn 2355,5 g

Dette bekrefter at densiteten har spilt en rolle i utviklingen av trykkfastheten etter 28 døgn. En interessant observasjon er at HA+SA utviklet 28-døgns trykkfasthet i nærheten av det XSEED+SA og ULTRA+SA utviklet, og at det faktisk er ULTRA+SA som hadde størst trykkfasthet av disse.

Figur 44 illustrerer økningen av trykkfasthet etter tidspunktet for glatting per resept for test 1.



Figur 44: Økning av fasthet etter glattetidspunkt

Poenget med figur 44 er å vise hvilken innvirkning akseleratorene har på størkningen og herdningen av betongen. På figuren kan man se at resept 4 (SA) ga raskere avbinding i form av tidligere glattetidspunkt og derfor tidligere trykkfasthetsutvikling. Likevel ser man at resept 5 (HA) ga raskere økning av trykkfasthet etter at den var klar for glatting. Resept 5 hadde omtrent



samme glattetidspunkt som referansen, men utviklet trykkfasthet raskere. For resept 2 (HA+SA) ser man virkningen av begge akseleratorene. Dette bekrefter at herdningsakseleratoren Mapefast HA virker på herdningen, og størkningsakseleratoren Mapefast SA virker på størkningen. Dette samsvarer også med produktbeskrivelsene fra Mapei (Mapei 2015; Mapei 2017a). Siden første trykktest ble utført etter 18 timer, er det i figur 44 lagt inn lineær økning av fasthet med utgangspunkt i 0 MPa ved glattetidspunktet per resept. Dette er ikke helt nøyaktig, men poenget kommer fram likevel.

## **5.7. Økonomi**

Økonomireultatene viser at det prosentmessig er større besparelse på mindre prosjekter, ved bruk av akselererende tilsetningsstoffer. Eksempel 1 med et gulv på 45 m<sup>2</sup> kan f.eks. refereres til støp av gulv til en garasje for en privatperson. Resultatene viser at besparelsen for et slikt prosjekt kan ligge fra 15 til 45 % på alle reseptene bortsett fra resept 5 i test 1. Grunnen til at denne ikke hadde større besparelse enn 0,3 %, ligger i at tidsbesparelsen med denne resepten ikke var større enn 30 minutter.

I eksemplene med gulv på 600 m<sup>2</sup>, var det ikke er like stor besparelse. Det kommer blant annet av at det må brukes mye mer tilsetningsstoff i 65 m<sup>3</sup> betong. I test 1, var det kun resept 4 (SA) som ga økonomisk besparelse, de andre ga tap. For test 2 og test 3 ga alle reseptene med akselererende tilsetningsstoffer besparelse, men resultatet var varierende fra 6 til 34 % besparelse i test 2 og 0,7 til 11 % i test 3.

Det viste seg at resept 4, med 1,5 % SA, var den resepten med størst besparelse i alle testene og i begge eksemplene. Det kommer av at dette tilsetningsstoffet er billigst, det fungerer bra alene og det gir god tidsbesparelse selv om det er tilsatt kun 1,5 % SA.



## 6. Konklusjon

Gjennom arbeidet med denne masteroppgaven kom det frem følgende konklusjoner:

- Ved å bruke akselererende tilsetningsstoffer i en typisk gulvbetongresept på vinterstid, kan glattetidspunktet framskyndes med opptil 48 % og avbindingstidspunktet med opptil 42 %. Master X-Seed 100 gir størst tidsbesparelse regnet i timer, og Mapefast Ultra N i kombinasjon med Mapefast SA gir størst tidsbesparelse sammenlignet med referanseresepten i tilhørende test. Resultatene viser også at glattetidspunktet, slik det er beskrevet i metodekapitlet (3), kommer lenge før avbindingstiden er ferdig. Konklusjonen er derfor at det i kaldt klima tyder på at glatting av gulvbetong blir utført lenge før avbindingstiden er ferdig. Det betyr at skaderisikoen øker, siden den underliggende betongen fortsatt er plastisk.
- Utviklingen av tidlig trykkfasthet øker betraktelig ved bruk av akselererende tilsetningsstoffer, både i varmt og kaldt klima. Master X-Seed 100 gir den største og raskeste trykkfasthetsutviklingen, og fungerer best alene. Mapefast HA i kombinasjon med Mapefast SA fungerer bedre i kaldt klima og enn Mapefast Ultra N.
- Ved bruk av Mapefast Ultra N eller Master X-Seed 100 i kombinasjon med Mapefast R, kan betongens konsistens styres rimelig nøyaktig etter tilsetning av størkningsakselerator. Herdningsakseleratorene bidrar til økt bearbeidingstid.
- Økonomisk er det prosentmessig størst kostnadsbesparelser ved bruk av akselererende tilsetningsstoffer på mindre prosjekter, men visse akseleratorer gir også gode kostnadsbesparelser i større prosjekter. Av de ulike typene akselererende tilsetningsstoffer, er det størkningsakseleratoren Mapefast SA som alene gir størst kostnadsbesparelser.

## **7. Videre forskning.**

For å få bedre kunnskap om akselererende tilsetningsstoffers innvirkning på betong i kaldt klima, bør samme framgangsmåte som utført i denne oppgaven prøves med andre betongresepter. F.eks. en betong med fasthetsklasse B35. Det vil også være interessant å prøve ut framgangsmåten med større prosentvis tilsetning av akselererende stoffer, mer tilsvarende det en betongfabrikk kan tilsette direkte i produksjon.

Undersøkelsene i denne oppgaven har fokusert på gulvbetong, men det bør også gjennomføres undersøkelser i likhet med denne på f.eks. veggbetong.

Resultatene burde presenteres for leverandører av akselererende tilsetningsstoffer for oppfordring til videre utvikling av produkter, og forhåpentligvis flere eksperimentelle undersøkelser av produkter i kaldt klima. Bransjen har stor nytte av å finne en «allround» akselerator som kan brukes både i varmt og kaldt vær, og som kan styres ved bruk av retarderende tilsetningsstoff. Det er derfor helt klart at eksperimentelle undersøkelser på dette området er av nødvendighet og bør gjennomføres.

## Kildeliste

- BASF. (2018). *Master X-Seed 100*. Tilgjengelig fra: <https://www.master-builders-solutions.basf.no/nn-no/products/master-x-seed/410> (lest 24.01).
- Befring, E. (2015). *Kvantitativ metode*. <https://www.etikkom.no>. Tilgjengelig fra: <https://www.etikkom.no/FBIB/Introduksjon/Metoder-og-tilnarminger/Kvantitativ-metode/> (lest 27.02).
- Bettum, A. (2017). *Pyramidene i Egypt*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/pyramidene i Egypt](https://snl.no/pyramidene_i_Egypt) (lest 19.03).
- Bost, P., Regnier, M. & Horgnies, M. (2016). *Comparison of the accelerating effect of various additions on the early hydration of Portland cement*. Construction and Building Materials, b. 2018: Elsevier.
- De nasjonale forskningsetiske komiteene. (2010). *1. Kvalitative og kvantitative forskningsmetoder - likheter og forskjeller*. Tilgjengelig fra: <https://www.etikkom.no/forskningsetiske-retningslinjer/Medisin-og-helse/Kvalitativ-forskning/1-Kvalitative-og-kvantitative-forskningsmetoder--likheter-og-forskjeller/> (lest 10.04).
- Fatma, K., Ramazan, D. & Waleed H., K. (2014). *Behavior of fresh and hardened concretes with antifreeze admixtures in deep-freeze low temperatures and exterior winter conditions*: Elsevier.
- Gromicko, N. & Shepard, K. (2006-2018). *The History of Concrete*. Tilgjengelig fra: <https://www.nachi.org/history-of-concrete.htm> (lest 18.02).
- Haucon. (2016). *Teknisk datablad - membranherder Bro-Cure*. [www.haucon.no](http://www.haucon.no): Haucon. Tilgjengelig fra: <http://haucon.ipb.no/pdf/22212td.pdf> (lest 01.03).
- Haucon Norge AS. (2016). *PÅFØRING - MEMBRANHERDER BRO-CURE*. Tilgjengelig fra: <http://haucon.ipb.no/pdf/22212bv.pdf> (lest 10.04).
- Holme, I. M. & Solvang, B. K. (1996). *Metodevalg og metodebruk*. 3 utg. Oslo: Tano Aschehoug.
- Juliebø, E. (2005). *Sentrale begreper og definisjoner innen betongfaget*. Tilgjengelig fra: [https://www.cs.hioa.no/bygglab/Betonglab/diverse/ordl\\_bet04.pdf](https://www.cs.hioa.no/bygglab/Betonglab/diverse/ordl_bet04.pdf) (lest 17.01).
- Mapei. (2013). *Dynamon SR-N*. Tilgjengelig fra: [http://www.mapei.com/public/DK/products/Dynamon%20SR-N\\_no.pdf](http://www.mapei.com/public/DK/products/Dynamon%20SR-N_no.pdf) (lest 14.12).
- Mapei. (2015). *Mapefast SA*: Mapei. Tilgjengelig fra: <http://www.mapei.com/public/NO/products/mapefast-sa-no.pdf> (lest 14.12).
- Mapei. (2017a). *Mapefast HA* <http://www.mapei.com>: Mapei. Tilgjengelig fra: <http://www.mapei.com/public/NO/products/6846-mapefastha-no.pdf> (lest 14.12).

- Mapei. (2017b). *Mapefast Ultra N*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.mapei.com/public/NO/products/8008-mapefastultran-no.pdf> (lest 14.12).
- Martin, H. & Torimura, K. (2016). *17 Striking Concrete Buildings Around the World*. I: Design, A. (red.).  
 Tilgjengelig fra: <https://www.architecturaldigest.com/gallery/concrete-buildings-slideshow>  
 (lest 09.04).
- Myrdal, R. (2007). Accelerating admixtures for concrete. I: Sintef (red.).
- Norcem. (2018a). [www.norcem.no](http://www.norcem.no): Norcem. Tilgjengelig fra: [www.norcem.no](http://www.norcem.no) (lest 28.02).
- Norcem. (2018b). *Norcem Standardsement FA*. [www.norcem.no](http://www.norcem.no). Tilgjengelig fra:  
[https://www.norcem.no/no/standardsement\\_FA](https://www.norcem.no/no/standardsement_FA) (lest 28.2).
- Norcem, F. (2016). *Herdeteknologi*. Tilgjengelig fra:  
[https://www.norcem.no/en/system/files\\_force/assets/document/bb/11/herdeteknologi\\_lav.pdf?download=1](https://www.norcem.no/en/system/files_force/assets/document/bb/11/herdeteknologi_lav.pdf?download=1) (lest 09.04).
- Nordic Innovation Centre. (2006). *Concret, mortar and cement based repair materials: Quality control of fresh self-compacting concrete - Workability, air content, density and casting of test specimens (NT BUILD 507)*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.nordtest.info/index.php/methods/item/concrete-mortar-and-cement-based-repair-materials-quality-control-of-fresh-self-compacting-concrete-workability-air-content-density-and-casting-of-test-specimens-nt-build-507.html> (lest 20.04).
- Norsk Betongforening. (2017). *Betonggulv, gulv på grunn og påstøp*: Norsk Betongforening.
- Opsahl, M., Gjerp, P. & Smeplass, S. (2014). *Grunnleggende betongteknologi*. Betongkompetanse.  
 Oslo: Byggenæringens forlag.
- PCA. (2017). *What happens when concrete freezes?: The Portland Cement Association* Tilgjengelig fra: <http://www.cement.org/learn/concrete-technology/concrete-construction/cold-weather-concreting> (lest 06.03).
- Riza, P. (2016). *The effect of antifreeze additives on fresh concrete subjected to freezing and thawing cycles*: Elsevier.
- Ryou, J.-S. & Yong-Soo, L. (2011). *Properties of early-stage concrete with setting-accelerating tablet in cold weather*. Materials Science and Engineering A: Elsevier.
- Sintef Byggforsk. (1999). *520.067 Frostnedbryting av betong og andre porøse byggematerialer*.  
 Tilgjengelig fra:  
[https://byggforsk.no/dokument/2624/frostnedbrytning\\_av\\_betong\\_og\\_andre\\_poroese\\_byggematerialer](https://byggforsk.no/dokument/2624/frostnedbrytning_av_betong_og_andre_poroese_byggematerialer) (lest 05.05).
- Standard Norge. (1993). *NS 3657:1993 Betongprøving - Måling av varmeutvikling*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=133920> (lest 08.02).

- Standard Norge. (2000). *NS-EN 12390-4:2000 Prøving av herdnet betong - Del 4: Trykkfasthet - Krav til prøvingsmaskiner*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=136768> (lest 07.02).
- Standard Norge. (2006). *NS-EN 480-2:2006 Tilsetningsstoffer for betong, mørtel og injiseringsmasse - Prøvingsmetoder - Del 2: Bestemmelse av avbindings-/størkningstid*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=218707> (lest 08.02).
- Standard Norge. (2009a). *NS-EN 12350-2:2009 Prøving av fersk betong Del 2: Synkmål*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=407259> (lest 22.01).
- Standard Norge. (2009b). *NS-EN 12350-5:2009 Prøving av fersk betong - Del 5: Utbredingsmål*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=407261> (lest 22.01).
- Standard Norge. (2009c). *NS-EN 12350-7:2009 Prøving av fersk betong - Del 7: Luftinnhold - Trykkmetoder*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=497494> (lest 7.02).
- Standard Norge. (2009d). *NS-EN 12390-2:2009 Prøving av herdnet betong - Del 2: Støping og herdning av prøvelegemer for fasthetsprøving*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=497495> (lest 07.02).
- Standard Norge. (2010). *NS-EN 13670:2009+NA:2010 Utførelse av betongkonstruksjoner*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=447619> (lest 27.02).
- Standard Norge. (2013). *NS-EN 1097-6:2014 Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 6: Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=657602> (lest 02.03).
- Standard Norge. (2014). *NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017 Betong - Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar*. Tilgjengelig fra:

- <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=913074> (lest 23.01).
- Standard Norge. (2015). *NS-EN 1992 Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/en/sectors/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/eurokode-2-prosjektering-av-betongkonstruksjoner/> (lest 24.01).
- Standard Norge. (2016). *NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 Tilslag for betong*. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=866016> (lest 02.03).
- Standard Norge. (2017). *NS-EN 3420-L: 2010, Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner - Del L: Betongarbeider*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=447308> (lest 09.04).
- Statens vegvesen. (1997). *14.623 Avbinding*. Tilgjengelig fra: [https://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle filer/14.62/014-623.pdf](https://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle%20filer/14.62/014-623.pdf) (lest 21.04).
- Søpler, B. (2004). *Betongboka*. 2 utg. Oslo: Norcem Gyldendal undervisning.
- Unicon. (2017). *Ferdigarmert gulv*. Tilgjengelig fra: <http://www.unicon.no/ferdigbetong/betongtyper-og-losninger/unicon-ferdigarmert-gulv/> (lest 09.04).



# Vedlegg

## Vedlegg A

Tabell 39 viser en oversikt over de tre testene, og hvilke resepter som ble tilsatt hvilke tilsetningsstoffer. Tabellen viser også antall terninger, dekker og murdunker som ble støpt/brukt per resept.

Tabell 39: Oversikt over de tre testene med tilhørende tilsetningsstoffer.

| <b>Testplan.</b>             |   |                         |                      |                         |
|------------------------------|---|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| <b>Test 1</b>                | <b>Tilsetningsstoff</b>                                     | <b>Antall terninger</b> | <b>Antall plater</b> | <b>Antall murdunker</b> |
| B30M60 - I (ref.)            | Ingen   | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - II                  | 2% Mapefast HA+ 1,0% Mapefast SA                            | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - III                 | 2% Mapefast HA + 0,2% retarder + 1,0% SA (etter 2 timer)    | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - IIII                | 1,5% Mapefast SA  | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - V                   | 3,0% Mapefast HA  | 8                       | 1                    | 2                       |
| <b>Totalt:</b>               |   | <b>40</b>               | <b>5</b>             | <b>10</b>               |
| <b>Test 2</b>                | <b>Tilsetningsstoff</b>                                     | <b>Antall terninger</b> | <b>Antall plater</b> | <b>Antall murdunker</b> |
| B30M60 - I (ref.)            | Ingen   | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - II                  | 2% Mapefast Ultra+ 1,0% Mapefast SA                         | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - III                 | 2% Mapefast Ultra + 0,2% retarder + 1,0% SA (etter 2 timer) | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - IIII                | 1,5% Mapefast SA  | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - V                   | 3,0% Mapefast Ultra   | 8                       | 1                    | 2                       |
| <b>Totalt:</b>               |   | <b>40</b>               | <b>5</b>             | <b>10</b>               |
| <b>Test 3</b>                | <b>Tilsetningsstoff</b>                                     | <b>Antall terninger</b> | <b>Antall plater</b> | <b>Antall murdunker</b> |
| B30M60 - I (ref.)            | Ingen   | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - II                  | 2% BASF XSEED+ 1,0% Mapefast SA                             | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - III                 | 2% BASF XSEED + 0,2% retarder + 1,0% SA (etter 2 timer)     | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - IIII                | 1,5% Mapefast SA  | 8                       | 1                    | 2                       |
| B30M60 - V                   | 3,0% BASF XSEED   | 8                       | 1                    | 2                       |
| <b>Totalt:</b>               |   | <b>40</b>               | <b>5</b>             | <b>10</b>               |
| <b>Totalt antall prøver:</b> |   | <b>120</b>              | <b>15</b>            |                         |

## Vedlegg B

Doseringsmengden av tilsetningsstoffer ble først bestemt i antall prosent av sementvekten.

Tabell 40 viser antall kg/m<sup>3</sup> med tilsetningsstoffer som ble brukt i testene.

Tabell 40: Antall kg/m<sup>3</sup> av tilsetningsstoffene brukt i testene.

|                   | 0,2 % av sementvekt     | 1,0 % av sementvekt     | 1,5 % av sementvekt     | 2,0 % av sementvekt     | 3,0 % av sementvekt      |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Mapectast HA      |                         |                         |                         | 7,561 kg/m <sup>3</sup> | 11,341 kg/m <sup>3</sup> |
| Mapectast SA      |                         | 3,780 kg/m <sup>3</sup> | 5,670 kg/m <sup>3</sup> |                         |                          |
| Mapectast ULTRA N |                         |                         |                         | 7,561 kg/m <sup>3</sup> | 11,341 kg/m <sup>3</sup> |
| Master X-Seed 100 |                         |                         |                         | 7,561 kg/m <sup>3</sup> | 11,341 kg/m <sup>3</sup> |
| Mapetard Retarder | 0,756 kg/m <sup>3</sup> |                         |                         |                         |                          |

Tilsetningsstoffene ble tilsatt når betongen var overført til murdunker. Derfor måtte det regnes ut hvor mye tilsetningsstoff som skulle tilsettes per murdunk. Dette ble gjort ved å ta 7 % av mengden som måtte tilsettes en kubikk, siden det ble fylt 70 liter betong per murdunk. Tabell 41 viser resultatet.

Tabell 41: Antall kg tilsetningsstoffer som måtte tilsettes per murdunk.

|                   |       |       |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Antall kg/murdunk | 0,053 | 0,265 | 0,397 | 0,529 | 0,794 |
| I gram            | 52,9  | 264,6 | 396,9 | 529,2 | 793,9 |

## Vedlegg C – Framgangsmåte tester

Framgangsmåten for testene beskrives her steg for steg:

1. Referansen 3004 (B30M60) produseres i Betong Øst sitt blandeverk. Dette er utgangspunktet som skal brukes i alle dekkene, terningene og dunkene sammen med tilsetningsstoffer.
2. Fyller 2 m<sup>3</sup> på betong bil (Skriv opp tidspunkt)
3. Det tas en tørkeprøve av betongen før tilsetningsstoffene er tilsatt.
4. Fordeler betongen i 80L dunker, fyller 70 L per dunk for å kunne mikse inn tilsetningsstoff. Murdunkene er merket med reseptnummer. Trenger 2 dunker per resept. (Skriv opp tidspunkt)

Av erfaring 07.02, er det best å sette 2 murdunker på en pall og fylle de rett fra bilen.



*Bilde 23: Fylling av betong i murdunker.*

5. Murdunkene kjøres inn i lagerhall når de er fylt med betong. Røres om med mikser før tilsetningsstoffene helles i.
6. De ulike tilsetningsstoffene er merket, målt opp og står klare i små beger inne i hallen (gjøres dagen før), slik at de kan helles rett i murdunkene og mikses. Det er en fordel å legge plastikk under pallene når det mikses på grunn av søl.



*Bilde 24: Engangsformer og tilsetningsstoff klart til bruk.*

7. Når murdunkene er mikset, tas det synkprøve og utbredelse av alle reseptene, samt at det tas luftprøve av minimum referansen og en til. (Skriv opp tidspunkt) Synkprøvene helles i dunkene igjen for videre bruk. Av erfaring etter test 1, tas det synkprøve til synken er under 200.



*Bilde 25: Måling av luftinnhold i betongen.*

8. Ferdig merket engangsformer brukes til å lage 8 terninger per resept. Totalt 40 terninger. (Skriv opp tidspunkt)
9. 4 terninger plasseres utendørs sammen med dekkestøp (settes på xps-plater de også), setter i temperaturlogger i en terning per resept. Trykktesting etter 18, 24 og 30 timer.
10. 3 terninger plasseres inne, disse skal kun trykktestes (18,24,30t)
11. Murdunkene kjøres ut til formene. Formene fylles med spade. (Skriv opp tidspunkt)



*Bilde 26: Fylling av betong i forskalingsformer.*

12. Formene disses, sprayes på herdemembran. Tildekkes med ethafoam når de kan trækkes på.
13. Det som er igjen i murdunkene skal brukes til synkprøve og utbredelse, til synkmål er under 200 mm.

14. Dekkene utendørs følges opp jevnlig for å finne tidspunkt for glatting.



Bilde 27a: Glatting med stålglatter.



Bilde 27b: Fotavtrykk ved glattetidspunkt.

15. Den 8 terningen per resept lagres i vannkar 20 ± 1 °C, etter ett døgn i lagerhallen.



Bilde 28: Terninger lagret i vannkar.

## Vedlegg D

Her vises følgesedlene for de tre testene suksessivt.

|   |                                    |   |                          |                          |                             |
|---|------------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <b>BETONG ØST</b><br>Postboks 1223, 2206 Kongsvinger<br><b>Avd.: Spydeberg</b><br>Østbuen 3<br>1820 Spydeberg<br>Tlf.: 992 19 100 |                                    | Følgeseddel nr: <b>46034</b>                        |                          |                          |                             |
|   |                                    | Kunde: <b>BETONG ØST SPYDEBERG</b>                  | Kunde nr.: <b>260001</b> |                          |                             |
|   |                                    | ØSTBUEN 3<br>1820 Spydeberg                         |                          |                          |                             |
|   |                                    | Lev. Adr.: <b>TEST BLANDING</b> <b>1</b>            |                          |                          |                             |
|   |                                    | Prosj./Anl.:  |                          |                          |                             |
| Dato:<br>13.02.2018   | Klokken:<br>11:27                  | Bil nr:<br>HENTET                                   | Bestilt volum:           | Hittil leveret:          | Rest volum:                 |
| Mengde:<br>2,00 m <sup>3</sup>  | Konsistens:<br>220 mm              | Temp:<br>35,00 °                                    | V/C Forhold:<br>0,54     | Betong:<br>Egenskapsdef. | Cement fasthedskl.:<br>42.5 |
| Fasthedsklasse:<br>B30  | Bestandighetskl.:<br>M60           | Kloridkasse:<br>Cl 0,10                             | D max:<br>16             | Blandemester:<br>Jon     | Cement type:<br>CEM II/B-M  |
| Eksponeringsklasser:<br>X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XF1   |                                    |   |                          |                          |                             |
| Vare nr.:<br>3004   | Vare tekst:<br>B30M60 STD 16mm R25 | Antall:<br>2,00                                     | Enhet:<br>m <sup>3</sup> |                          |                             |
| Leverandør:   | Materialer:                        | Bør:  | Er:                      |                          |                             |
| Norcem AS   | Norcem Standard FA+                | 756,05  | 751,78                   |                          |                             |
| Feiring Bruk AS   | Feiring 8-16                       | 1309,54   | 1306,47                  |                          |                             |
| Langebrette Grustak AS  | Langbrette 0-8                     | 2298,70   | 2293,04                  |                          |                             |
| Mapei AS  | Dynamon SR-N                       | 7,06  | 7,05                     |                          |                             |
|   | Vann stor tank                     | 0,00  | 0,00                     |                          |                             |
|   | Varmt vann                         | 298,13  | 297,88                   |                          |                             |
|   | Temp                               | 35,00   | 26,08                    |                          |                             |
| Sertifisert iht. NS-EN 206<br><b>KONTROLLRÅDET</b>  |                                    | Betongen er produsert i samsvar med NS-EN 206 + NA: |                          | <b>Ja</b>                |                             |
| Ankomst:  | Start levering:                    | Avreise:  | Tømmetid:                | Evnt. fritid:            | Ventetid (kvarter):         |
|   |                                    |   |                          |                          |                             |
| Bånd/Renne:   | Overtid:                           | Bompenger:  | Returbetong:             |                          |                             |
|   |                                    |   |                          |                          |                             |
| Merknader:  |                                    | Betongen er levert i samsvar med bestilling:        |                          |                          |                             |
|   |                                    | Signatur kundes representant                        |                          |                          |                             |

# BETONG ØST

Postboks 1223, 2206 Kongsvinger

**Avd.: Spydeberg**  
Østbuen 3  
1820 Spydeberg

Tlf.: 992 19 100

Følgeseddel nr: **46204**

Kunde: **BETONG ØST SPYDEBERG** Kunde nr.: **260001**  
ØSTBUEN 3  
1820 Spydeberg

Lev. Adr.: **TEST BLANDING**

2

Prosj./Anl.:

|                                |                          |                        |                                       |  |                                    |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|------------------------------------|
| Dato:<br>07.03.2018            | Klokken:<br>11:07        | Bil nr:<br>HENTET      | Bestilt volum:<br>2,00 m <sup>3</sup> | Hittil leveret:<br>0,00 m <sup>3</sup> | Rest volum:<br>2,00 m <sup>3</sup> |
| Mengde:<br>2,00 m <sup>3</sup> | Konsistens:<br>220 mm    | Temp:<br>35,00 °       | V/C Forhold:<br>0,54                  | Betong:<br>Egenskapsdef.               | Cement fasthedskl.:<br>42.5        |
| Fasthedsklasse:<br>B30         | Bestandighetskl.:<br>M60 | Kloridkase:<br>Cl 0,10 | D max:<br>16                          | Blandemester:<br>Jon                   | Cement type:<br>CEM II/B-M         |

Eksponeringsklasser:  
X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XF1

| Vare nr.: | Vare tekst:               | Antall: | Enhet:         |
|-----------|---------------------------|---------|----------------|
| 3004      | B30M60 STD 16mm R25       | 2,00    | m <sup>3</sup> |
| 9130      | Konsistens 201-230mm      | 0,00    | m <sup>3</sup> |
| 9131      | Varmbetong over 20 grader | 0,00    | m <sup>3</sup> |
| 9137      | Hentegebyr                | 1,00    | Stk            |

| Leverandør:            | Materialer:         | Bør:    | Er:     |
|------------------------|---------------------|---------|---------|
| Norcem AS              | Norcem Standard FA+ | 756,05  | 757,40  |
| Feiring Bruk AS        | Feiring 8-16        | 1309,54 | 1308,91 |
| Langebrette Grustak AS | Langbrette 0-8      | 2320,64 | 2327,23 |
| Mapei AS               | Dynamon SR-N        | 7,06    | 7,05    |
|                        | Vann stor tank      | 0,00    | 0,00    |
|                        | Varmt vann          | 276,18  | 276,04  |
|                        | Temp                | 35,00   | 24,05   |

Sertifisert iht. NS-EN 206



Betongen er produsert i samsvar med NS-EN 206 + NA:

Ja

|             |                 |            |              |              |                     |
|-------------|-----------------|------------|--------------|--------------|---------------------|
| Ankomst:    | Start levering: | Avreise:   | Tømmetid:    | Evt. fritid: | Ventetid (kvarter): |
|             |                 |            |              |              |                     |
| Bånd/Renne: | Overtid:        | Bompenger: | Returbetong: |              |                     |
|             |                 |            |              |              |                     |

Merknader:

Betongen er levert i samsvar med bestilling:

Signatur kundes representant



# BETONG ØST

Postboks 1223, 2206 Kongsvinger

**Avd.: Spydeberg**  
Østbuen 3  
1820 Spydeberg

Tlf.: 992 19 100

Følgeseddel nr:

**46392**

Kunde: **BETONG ØST SPYDEBERG**  
**ØSTBUEN 3**  
**1820 Spydeberg**

Kunde nr.: **260001**

Lev. Adr.: **TEST BLANDING**

**3**

Prosj./Anl.:

|                                |                          |                        |                      |                          |                             |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Dato:<br>21.03.2018            | Klokken:<br>10:49        | Bil nr:<br>HENTET      | Bestilt volum:       | Hittil leveret:          | Rest volum:                 |
| Mengde:<br>2,00 m <sup>3</sup> | Konsistens:<br>220 mm    | Temp:<br>35,00 °       | V/C Forhold:<br>0,54 | Betong:<br>Egenskapsdef. | Cement fasthedskl.:<br>42.5 |
| Fasthedsklasse:<br>B30         | Bestandighetskl.:<br>M60 | Kloridkase:<br>Cl 0,10 | D max:<br>16         | Blandemester:<br>Jon     | Cement type:<br>CEM II/B-M  |

Eksponeringsklasser:  
X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XF1

| Vare nr.: | Vare tekst:               | Antall: | Enhet:         |
|-----------|---------------------------|---------|----------------|
| 3004      | B30M60 STD 16mm R25       | 2,00    | m <sup>3</sup> |
| 9137      | Hentegebyr                | 1,00    | Stk            |
| 9130      | Konsistens 201-230mm      | 0,00    | m <sup>3</sup> |
| 9131      | Varmbetong over 20 grader | 0,00    | m <sup>3</sup> |

| Leverandør:            | Materialer:         | Bør:    | Er:     |
|------------------------|---------------------|---------|---------|
| Norcem AS              | Norcem Standard FA+ | 756,05  | 754,03  |
| Feiring Bruk AS        | Feiring 8-16        | 1303,08 | 1306,47 |
| Langebrette Grustak AS | Langbrette 0-8      | 2314,06 | 2337,00 |
| Mapei AS               | Dynamon SR-N        | 7,06    | 7,05    |
|                        | Vann stor tank      | 0,00    | 0,00    |
|                        | Varmt vann          | 289,22  | 289,38  |
|                        | Temp                | 35,00   | 26,67   |

Sertifisert iht. NS-EN 206

**KONTROLLRÅDET**

Betongen er produsert i samsvar med NS-EN 206 + NA:

**Ja**

|             |                 |            |              |              |                     |
|-------------|-----------------|------------|--------------|--------------|---------------------|
| Ankomst:    | Start levering: | Avreise:   | Tømmetid:    | Evt. fritid: | Ventetid (kvarter): |
| Bånd/Renne: | Overtid:        | Bompenger: | Returbetong: |              |                     |

Merknader:

Betongen er levert i samsvar med bestilling:

Signatur kundes representant



**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway