

Jørn Hustad

# Betong med høyt flygeaskeinnhold: frostbestandighet og luftporestruktur

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Stefan Jacobsen

Februar 2019



Jørn Hustad

# Betong med høyt flygeaskeinnhold: frostbestandighet og luftporestruktur

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Stefan Jacobsen  
Februar 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for konstruksjonsteknikk







## MASTEROPPGAVE 2018

FAGOMRÅDE: TKT4925 Betongteknologi	DATO: 20.02.2019	ANTALL SIDER: 79
---------------------------------------	---------------------	---------------------

TITTEL:

### **Betong med høyt flygeaskeinnhold: frostbestandighet og luftporestruktur**

High volume fly-ash concrete: frostdurability and air-void structure

UTFØRT AV:

Jørn Hustad

SAMMENDRAG:

Produksjon av sement og betong medfører store CO<sub>2</sub>-utslipp. I de fleste land i verden foregår et intensivt forsknings- og utviklingsarbeid rettet mot mer miljøvennlige løsninger. Mange av disse løsningene er i tidlige stadier og mer forskning kreves på mange områder. Løsningen på kort sikt vil derfor være å erstatte deler av sementklinkeren i den ferdige sementen med erstatningsmaterialer.

I dag er økt innblanding av flygeaske i sementen det viktigste potensielle virkemiddelet for økt reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslipp. Flygeaske er et biprodukt fra forbrenningsprosessen i kullfyrte kraftverk. Miljøgevinsten ved å erstatte sementen med flygeaske er knyttet til utnyttelsen av flygeaske som restprodukt, samtidig som sementmengdene reduseres.

Dersom man øker mengden av flygeaske i betong for å redusere miljøbelastningene, oppstår det noen praktiske problemer som krever ingeniørløsninger. På grunn av tregere hydratisering og økte vanskeligheter med innblanding av luft for denne betongtypen, er frostbestandighet en av faktorene som kan påvirkes negativt hvis dette ikke tas hensyn til.

Masteroppgaven vil derfor undersøke bestandighet av betong med høyt flygeaskeinnhold i salt/frost-testing (avskalling, indre skade og væskeopptak). Arbeidet er en del av et pågående forskningsprosjekt (DACS) støttet av Norges Forskningsråd og Norsk Industri. En serie betonger med høyt flygeaskeinnhold, med og uten lufttilsetning, blir undersøkt i laboratoriet med hensyn til frostbestandighet og luftporestruktur (L,  $\alpha$  og totalt luftinnhold) i herdnet betong.

Frostbestandigheten måles i fryse/tine-prøving i henhold til CEN/TS 12390-9, modifisert med målinger av væskeopptak og indre skade (UPV, dilatometri). Luftporestrukturen måles med bildebehandling basert på ASTM C457, men modifisert i henhold til Fonseca & Scherer (2014) med planslip impregnert med tusj/bariumsulfat.

Resultatene fra denne studien viser at bruken av luftinnførende tilsetningsstoff, samt vann-bindemiddelforholdet er de viktigste parameterne hva gjelder betongens frostmotstand. Betongblandingen med lufttilsetning og 35 % flygeaske som erstatning for sementen oppnådde gode resultater når det gjelder frostmotstand og tilfredsstillte gitte krav. Av resultatene fremgår det også at kun betonger uten luftinnføring hadde en indikasjon på intern frostskaide.

Resultatene indikerer at det er mulig å produsere betonger med høyt innhold av flygeaske med tilstrekkelig frostmotstand i henhold til gjennomførte laboratorietester. Av studien fremgår også viktigheten av en god luftporestruktur sett i sammenheng med frostpåkjenning. Luftinnføring med tilhørende luftporestruktur er derfor viktige aspekter som må tas ekstra godt hensyn til ved produksjon av flygeaskebetong.

FAGLÆRER: Professor Stefan Jacobsen

VEILEDER(E): Professor Stefan Jacobsen, PhD-kandidat Andrei Shpak

UTFØRT VED: Institutt for konstruksjonsteknikk



## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for konstruksjonsteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Masteroppgaven utgjør 30 studiepoeng, og er det avsluttende arbeidet i sivilingeniørutdanningen ved studiet Bygg- og miljøteknikk.

Masteroppgaven inngår i et pågående forskningsprosjekt, *Durable Advanced Concrete Structures* (DACS), som NTNU er en del av.

Jeg vil takke professor Stefan Jacobsen for god veiledning og faglige innspill underveis i arbeidet. Det rettes også en takk til PhD-kandidat og medveileder Andrei Shpak for tett samarbeid og god veiledning ved gjennomføring av laboratoriearbeid.

Trondheim, 20.02.2019.

Jørn Hustad

## Sammendrag

Produksjon av sement og betong medfører store CO<sub>2</sub>-utslipp. I de fleste land i verden foregår et intensivt forsknings- og utviklingsarbeid rettet mot mer miljøvennlige løsninger. Mange av disse løsningene er i tidlige stadier og mer forskning kreves på mange områder. Løsningen på kort sikt vil derfor være å erstatte deler av sementklinkeren i den ferdige sementen med erstatningsmaterialer.

I dag er økt innblanding av flygeaske i sementen det viktigste potensielle virkemiddelet for økt reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslipp. Flygeaske er et biprodukt fra forbrenningsprosessen i kullfyrte kraftverk. Miljøgevinsten ved å erstatte sementen med flygeaske er knyttet til utnyttelsen av flygeaske som restprodukt, samtidig som sementmengdene reduseres.

Dersom man øker mengden av flygeaske i betong for å redusere miljøbelastningene, oppstår det noen praktiske problemer som krever ingeniørløsninger. På grunn av tregere hydratisering og økte vanskeligheter med innblanding av luft for denne betongtypen, er frostbestandighet en av faktorene som kan påvirkes negativt hvis dette ikke tas hensyn til.

Masteroppgaven vil derfor undersøke bestandighet av betong med høyt flygeaskeinnhold i salt/frost-testing (avskalling, indre skade og væskeopptak). Arbeidet er en del av et pågående forskningsprosjekt (DACs) støttet av Norges Forskningsråd og Norsk Industri. En serie betonger med høyt flygeaskeinnhold, med og uten lufttilsetning, blir undersøkt i laboratoriet med hensyn til frostbestandighet og luftporestruktur (L,  $\alpha$  og totalt luftinnhold) i herdnet betong.

Frostbestandigheten måles i fryse/tine-prøving i henhold til CEN/TS 12390-9, modifisert med målinger av væskeopptak og indre skade (UPV, dilatometri). Luftporestrukturen måles med bildebehandling basert på ASTM C457, men modifisert i henhold til Fonseca & Scherer (2014) med planslip impregnert med tusj/bariumsulfat.

Resultatene fra denne studien viser at bruken av luftinnførende tilsetningsstoff, samt vannbindemiddelforholdet er de viktigste parameterne hva gjelder betongens frostmotstand. Betongblandingen med lufttilsetning og 35 % flygeaske som erstatning for sementen oppnådde gode resultater når det gjelder frostmotstand og tilfredsstillende gitte krav. Av resultatene fremgår det også at kun betonger uten luftinnføring hadde en indikasjon på intern frostskaide.

Resultatene indikerer at det er mulig å produsere betonger med høyt innhold av flygeaske med tilstrekkelig frostmotstand i henhold til gjennomførte laboratorietester. Av studien fremgår også viktigheten av en god luftporestruktur sett i sammenheng med frostpåkjenning. Luftinnføring med tilhørende luftporestruktur er derfor viktige aspekter som må tas ekstra godt hensyn til ved produksjon av flygeaskebetong.

## Abstract

Cement production is a major source of CO<sub>2</sub> emissions worldwide. Because there are few new technologies that can reduce CO<sub>2</sub> emissions from the manufacturing of Portland cement, the answer lies in minimizing the output of cement clinker. In other words; CO<sub>2</sub> emissions related to cement production may be reduced by replacing part of the clinker with other materials.

Fly ash has so far been the main material parameter to reduce environmental burdens from cement- and concrete production. Although other material and production solutions are at early stages of research and development, use of fly ash is for the time being the most operative solution for the concrete industry.

When increasing the amount of fly ash in concrete to further reduce environmental burdens from production and use of concrete, some practical problems occur that need engineering solutions. Due to the slower hydration and increased difficulty with entraining air voids in this type of concrete, frost durability is one of the concrete properties that can be impaired.

This master thesis will therefore investigate the performance of high-volume fly ash concrete in salt-frost testing and the associated air void structure. The work is part of an ongoing research project supported by The Norwegian Research Council (DACS) and Norwegian Industry. A series of concretes with high fly ash content with and without air entrainment are investigated in the laboratories with respect to their air void structure and performance in frost testing.

The frost test is in agreement with the reference procedure in CEN/TS 12390-9. In addition, a number of laboratory tests were carried out in order to determine the concrete characteristics. These tests include measurements of ultrasonic pulse transmission time through the specimens, as well as absorption and dilation measurements. The air-void characteristics of mixtures were also studied using automatic image analysis.

The results from this study shows that the existence of entrained air and the water/binder-ratio are the main parameters influencing the resistance of concrete to external salt-frost damage. Furthermore, the concrete mixes with 35 % fly ash as binder with entrained air and water/binder ratio of 0.45 and 0.29, has good resistance to internal and external frost damage. In general, internal damage is observed only for concrete qualities without entrained air.

The overall results indicate that it is possible to design high volume fly ash concrete composition with an adequate salt-scaling resistance under laboratory conditions. Frost durability of concrete is closely related with the air-void parameters. Therefore, a lot of attention must be paid to the applied AEA dosage and the resulting air void system.

# Innhold

Forord

Sammendrag

Abstract

Figurliste

Tabelliste

1. Introduksjon .....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven .....	1
1.2 Tidligere undersøkelser .....	1
1.2.1 Typer frostskader .....	2
1.2.2 Viktige parametere for frostbestandighet .....	2
1.2.3 Mekanismer for frostnedbrytning .....	5
1.2.4 Flygeaskens effekt på betongens frostbestandighet .....	5
1.3 Formål og omfang .....	7
2. Metode og materialer .....	8
2.1 Metoder .....	8
2.1.1 CEN/TS 12390-9 (Boråsmetoden) .....	8
2.1.2 Luftporestruktur i herdet betong .....	14
2.2 Materialer .....	18
2.2.1 Delmaterialer .....	18
2.2.2 Blandinger .....	19
3. Resultater .....	20
3.1 Avskalling .....	20
3.2 Absorpsjon .....	22
3.3 Dilatometri .....	23
3.4 Ultralydhastighet .....	24
3.5 Luftporestruktur .....	26
4. Diskusjon .....	28
5. Konklusjon .....	30
6. Videre arbeid .....	31
7. Feilkilder .....	31
Referanser .....	32
Vedlegg .....	34
Vedlegg A Betongmaterialer .....	34
Vedlegg B Metode og prosedyrer .....	41

Vedlegg C Resultater – Frosttesting .....	48
Vedlegg D Resultater – Luftporeanalyse .....	59
Vedlegg E Tekniske data.....	75

## Figurliste

Figur 1: Frostskade som funksjon av S [4].	2
Figur 2: Frostskade på betong som funksjon av PF [6].	3
Figur 3: Eksempel på avstandsfaktor, L [4].	4
Figur 4: Temperaturforløpet i saltløsningen på prøvens overflate i løpet av en fryse-/tinesyklus.	10
Figur 5: Prøveoppstilling (prøve nummer 103-1). Foto: Jørn Hustad.	10
Figur 6: Prøveoppstilling og benyttede materialer.	10
Figur 7: Gjennomføring av referansemåling. Foto: Jørn Hustad.	13
Figur 8: Måling av betongprøvens lengdeendring. Foto: Jørn Hustad.	13
Figur 9: Kontinuerlige målinger av betongprøvens lengdeendring. Foto: Jørn Hustad.	13
Figur 10: Bestemmelse av ultralydhastighet gjennom betongprøven. Foto: Jørn Hustad.	14
Figur 11: Prøvestykke (100 x 100 mm) benyttet til luftporeanalyse. Foto: Jørn Hustad.	15
Figur 12: Struers Tegramin-30 slipemaskin. Foto: Jørn Hustad.	15
Figur 13: Betongprøvene skrues fast til en sirkulær metallskive (1) og festes deretter til slipemaskinen ved hjelp av magnetisk kraft (2). Foto: Jørn Hustad.	16
Figur 14: Påføring av tusj og bariumsulfat. Foto: Jørn Hustad.	16
Figur 15: Akkumulert avskalling (Avskallingsområde 0-6 kg/m <sup>2</sup> ).	20
Figur 16: Akkumulert avskalling (Avskallingsområde 0-0,5 kg/m <sup>2</sup> ).	21
Figur 17: Akkumulert absorpsjon.	22
Figur 18: Lengdeendring [mm/mm].	23
Figur 19: Ultralydhastighet.	24
Figur 20: Relativ ultralydhastighet.	25
Figur 21: Sammenheng mellom avstandsfaktor og avskalling.	27



## Tabelliste

Tabell 1: Preparering av prøve i henhold til CEN/TS 12390-9 (Boråsmetoden).....	9
Tabell 2: Angivelse av frostmotstand basert på avskalling [4]. .....	11
Tabell 3: Bildeanalyse - Matlab .....	17
Tabell 4: Betongblandinger .....	19
Tabell 5: Betongresepter .....	19
Tabell 6: Luftinnhold og luftporestruktur dokumentert ved analyse av planslip.....	26

# 1. Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Betong har lange tradisjoner som byggemateriale, og er i dag det mest brukte byggematerialet i verden. Betongen har gode materialtekniske og konstruksjonsmessige egenskaper, og har ved riktig produksjon lang levetid og stor styrke. Et moderne samfunn er avhengig av betong som byggemateriale til bygging av broer, bygninger, industrianlegg, flyplasser, kaier, tunneler, dammer og oljeplattformer.

Det er på den annen side ikke bare positive effekter ved bruk av betong som byggemateriale. Det er kjent i byggenæringen at tradisjonell sementproduksjon globalt sett skaper store klimagassutslipp. Det benyttes utslippstall som viser at verdens sementproduksjon står for ca. 5 % av de samlede menneskeskapte CO<sub>2</sub>-utslippene. Sement produseres ved brenning av kalkstein, og det er denne prosessen som gir store utslipp av CO<sub>2</sub> [1]. Utslippstallene blir så høye fordi betong benyttes i langt større grad enn andre byggematerialer i kraft av sine gode egenskaper. Heldigvis har man i store deler av verden begynt å ta denne realiteten innover seg, og det forskes på mange områder for å bedre klimaavtrykket til betong som byggemateriale.

For å løse dagens utfordringer må de beste løsningene for de økonomiske, tekniske og miljømessige egenskapene være basert på nyere forskning og utvikling. Betongbransjen i Norge, Europa og andre deler av verden har derfor rettet et stort fokus på å utvikle betong til å bli et enda mer bærekraftig materiale ved å ta i bruk nye materialer og utførelsesmetoder.

## 1.2 Tidligere undersøkelser

Bruk av erstatningsmaterialer, innblandet i sement eller som en egen komponent i betongreseptene, er det klart viktigste virkemiddelet for å redusere sementens og betongens miljøpåvirkning [2].

Jahren foretok i 2003 en vurdering av hvilket potensial i CO<sub>2</sub>-reduksjon de ulike erstatningsmaterialene representerer. Han kom frem til at økt innblanding av flygeaske er det klart viktigste potensielle virkemiddelet for økt reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslipp [3]. Flygeaske er et restprodukt fra rensing av røykgassene i kullfyrte varmekraftverk. Egenskapene til flygeasken vil variere avhengig av brenningsprosessen og kull sammensetningen [1].

Dersom man øker mengden av flygeaske i betong for å redusere miljøbelastningene, oppstår det noen praktiske problemer som krever ingeniørløsninger. På grunn av tregere hydratisering og økte vanskeligheter med innblanding av luft for denne betongtypen, er frostbestandighet en av faktorene som kan påvirkes negativt hvis dette ikke tas hensyn til.

Videre i dette kapitlet presenteres ulike typer frostskafer i betong, sentrale mekanismer for frostnedbrytning, samt hvilke faktorer som påvirker disse mekanismene. I tillegg presenteres utvalgt litteratur om frostbestandighet av flygeaskebetong.

### 1.2.1 Typer frostskader

Problemerne hva gjelder frostskader i betong er størst i forbindelse med salt, dette være seg ved bruk av tinesalt eller salt fra sjøvann. Når vannet ikke inneholder salt er problemene relativt små. Vi skiller derfor mellom to typer frostskader [1] [4]:

**1. Avskalling fra betongoverflaten**, karakterisert ved gradvis forvitring eller avspalting fra materialoverflaten. Frostnedbrytning ved avskalling er i stor grad knyttet til fryse/tine-påkjening i nærvær av salt fra for eksempel veisaltning eller sjøvann. Denne typen overflatenedbrytning kan føre til redusert betongtverrsnitt og armeringskorrosjon.

**2. Oppsprekking**, karakterisert ved permanent volumøkning av materiale, konstruksjonsdel eller prøvestykke. Dette kan medføre reduserte mekaniske egenskaper.

### 1.2.2 Viktige parametere for frostbestandighet

Litteraturen om frost i betong er meget omfattende, og det foreligger mange hypoteser/teorier. Mye er fremdeles uklart, men vi vet stort sett hvilke miljø- og materialfaktorer som påvirker betongens frostmotstand. De viktigste parametere er [4]:

- Vannmetningsgrad,  $S$
- Porebeskyttelsesfaktoren,  $PF$
- Luftporefordeling

#### Vannmetningsgrad

Vannmetningsgrad,  $S$ , er forholdet mellom vanninnhold og totalt porevolum [4]. Det er de minste porene som fylles med vann først og de største sist. Vannmetningsgraden bestemmes ved målinger eller beregninger. I laboratorium kan  $S$  bestemmes ved systematisk veiing, tørking, vannmetting og volumbestemming.  $S$  kan også beregnes ut fra teoretisk porevolum,  $RF$ , vannopptak og materialets sorpsjonsisoterm.

Vannmetningsgrad,  $S$ , er gitt ved:

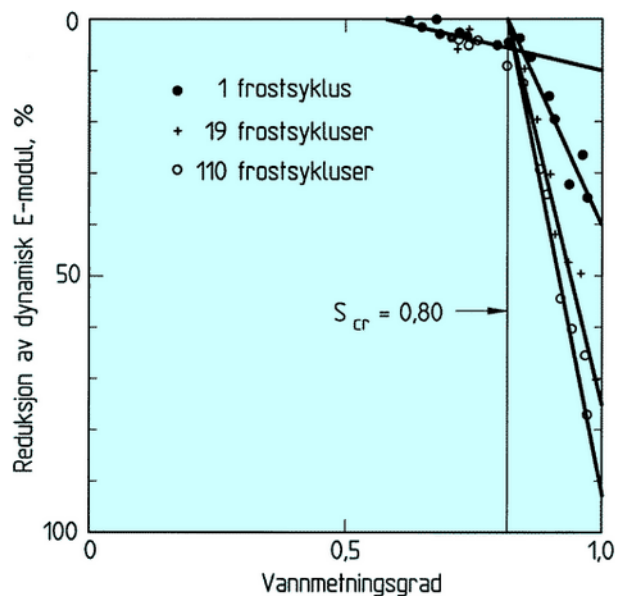
$$S = \frac{w}{\epsilon_{tot}}$$

hvor

$w$  = volum av vann i materialet [ $m^3/m^3$ ]

$\epsilon_{tot}$  = totalt porevolum i materialet som kan fylles med vann [ $m^3/m^3$ ].

Kritisk vannmetningsgrad,  $S_{cr}$ , defineres som den vannmetningsgraden hvor det oppstår skade i betongen ved frysing. Fagerlund (1973) utviklet en metode for å bestemme den kritiske vannmetningsgraden [5]. Metoden går ut på å eksponere prøvestykker med ulike vannmetningsgrader for fryse/tinesykluser, for så å teste dynamisk E-modul som et



Figur 1: Frostskade som funksjon av  $S$  [4].

«performance-krav». Ved å sammenligne denne kritiske faktoren med kapillær vannmetningsgrad for aktuell miljøbelastning kan man forutsi om gitt betong i et gitt miljø er frostbestandig. Figur 1 viser betydningen av vannmetningsgrad for frostbestandighet. Kurven illustrerer at det kan påvises en kritisk vannmetningsgrad,  $S_{cr}$ . Av figuren fremgår det også at  $S_{cr}$  er uavhengig av antall sykluser.

### Porebeskyttelsesfaktoren, PF

PF er definert som luftporevolumets andel av totalt porevolum, og kan betraktes som en materialparameter [4]. Hvis man derimot betrakter kun tomme luftporer vil PF avhenge både av materialegenskaper og miljø. Når luftporer er delvis vannfylt og alle kapillære porer allerede er fylt, vil tilgjengelig PF ( $PF_t$ ) avhenge av betongens fuktinnhold. Oppfyllingen av luftporevolumet, vil dermed påvirke størrelsen på PF.

Laboratorieforsøk har påvist sammenheng mellom frostnedbrytning og PF for betong bestemt etter PF-metoden. Ved å anta luftporer som tomme og  $\epsilon_{sug}$  som vannfylte porer, kan man definere PF som forholdet mellom luftfylte porer, A, og total porøsitet,  $\epsilon_{tot}$ . Dermed kan PF defineres som en materialparameter som kan tallfestes:

$$PF = \frac{A}{\epsilon_{tot}} = \frac{A}{(A + \epsilon_{sug})} = \frac{\epsilon_{air}}{(\epsilon_{air} + \epsilon_{sug})}$$

hvor

A = luftfylte porer

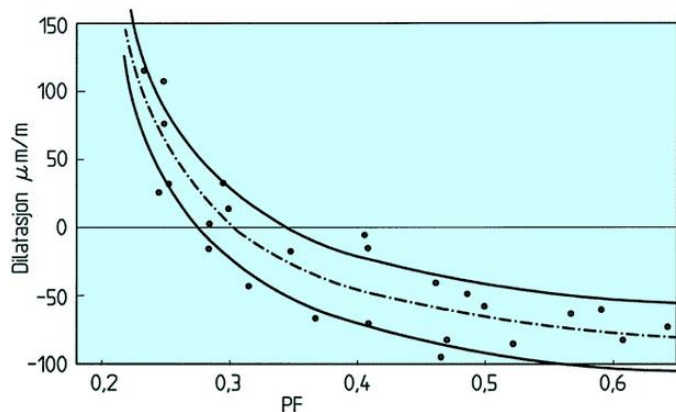
$\epsilon_{tot}$  = total porøsitet (inkluderer også luftporer)

$\epsilon_{sug}$  = sugporøsitet (inkluderer bare gel- og kapillærporer)

Det er vanlig å operere med følgende verdier av PF for god frostbestandighet i betongen [7]:

- Betong utsatt for rent vann →  $PF > 0,20$
- Betong utsatt for vann med salt →  $PF > 0,25$

Figur 2 viser eksempel på hvordan økende PF vil bidra til økt frostbestandighet.



Figur 2: Frostskade på betong som funksjon av PF [6].

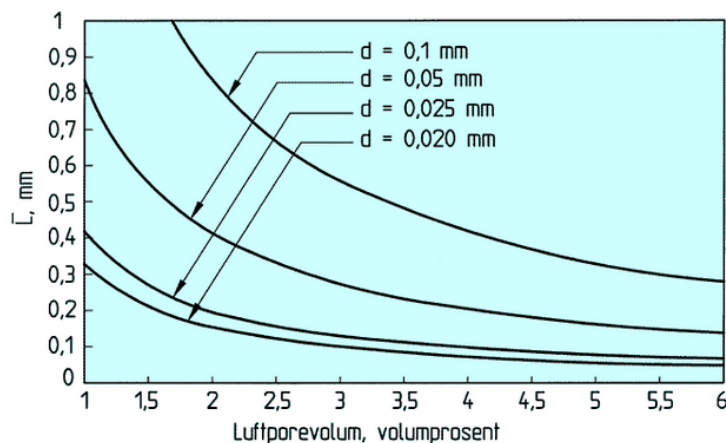
### Luftporefordeling

Det totale luftporevolumet (A), fordelingen av luftporene, samt størrelsen på luftporene er viktige faktorer som spiller inn på betongens frostbestandighet [4]. For at betongen skal oppnå gode frostbestandige egenskaper, må den spesifikke overflaten,  $\alpha$  [ $\text{mm}^{-1}$ ], på luftporene ikke være for lav. I tillegg bør den midlere lengden mellom luftporene, avstandsfaktoren, være lav. Avstandsfaktoren, L, kan uttrykkes som sementpastavolum per overflateenhet luftporer:

$$L = \frac{\text{Volum}_{\text{paste}}}{\text{Overflate}_{\text{luftporer}}} = \frac{\text{Volum}_{\text{paste}}}{\alpha \times A} \text{ [m]}$$

Kravet til avstandsfaktor for betong utsatt for rent vann er,  $L < 0,25$  mm. Når betongen er utsatt for salt settes det et krav til avstandsfaktor,  $L < 0,18$  mm [4].

Luftporestruktur i herdet betong dokumenteres ved analyser av planslip i henhold til NS-EN 480-11. I fersk betong kan man måle luftporefordeling og luftporevolum ved hjelp av såkalt «air-void analyzer» (AVA). I figur 3 illustreres det hvordan avstandsfaktoren, L, avhenger av luftporevolum og porestørrelse. Figuren viser en teoretisk tilnærming til avstandsfaktor, basert på beregninger. I praksis er kurvene avhengige av effekten av luftinnførende tilsetningsstoff.



Figur 3: Eksempel på avstandsfaktor, L [4].

### 1.2.3 Mekanismer for frostnedbrytning

De to viktigste hypotesene som forklarer mekanismene for frostnedbrytning er [1] [7]:

- **Hydraulisk trykk:** når det kapillære vannet i betong fryser til is, vil utvidelsen føre til at ikke-frost vann presses innover i betongens poresystem. Dette medfører at det bygges opp strekkrefter i betongen, og dersom strekkfastheten til betongen er for lav til å motstå disse strekkraftene, vil betongen sprekke opp. Luftporer som ikke er fylt med vann vil kunne bidra til å avlaste det hydrauliske trykket.
- **Osmotiske effekter:** når is blir dannet i en pore vil det føre til økt innhold av ioner i det omkringliggende vannet. For å jevne ut forskjeller i ionekonsentrasjon vil det derfor skje en transport av vann mot isfronten. Dette trykket vil skape strekkspenninger i betongen.

Osmose-teorien kan forklare den store negative effekten av salt ved frostpåkjenning [1] [8]. Dette stemmer ikke overens med hydraulisk trykk-teorien, som indikerer mindre skade på betongen ved tilstedeværelse av salt. Dette fordi det vil dannes mindre is i saltholdig porevann enn i porevann som ikke inneholder salt. Teorien om hydraulisk trykk forklarer derimot bedre den positive effekten av luftinnføring i betong som skal tåle frost. Ingen av teoriene forklarer imidlertid frostnedbrytning fullt ut.

I følge Valenca & Scherer er mekanismene for intern volumnedbrytning og salt/frost-avskalling forskjellige, og kan oppstå uavhengig av hverandre [9]. Betongens evne til å motstå den ene er dermed ikke korrelert mot evnen til å motstå den andre formen for skade. Videre hevder de at «glue spalling»-teorien gir en bedre forklaring på avskalling som opptrer i nærvær av salt.

«Glue spalling»-teorien går ut på at når en saltløsning fryser på en betongoverflate vil betong og is bli mekanisk bundet til hverandre [8]. Etter hvert som nedkjølingen fortsetter, vil isen trekke seg sammen fem ganger mer enn det betongen vil gjøre. Isen vil deretter sprekke på grunn av strekkspenningen som oppstår ved fastholdingen fra betongen. Disse sprekke vil igjen forplante seg videre ned i den underliggende betongen og forårsake sprekker parallelt med overflaten i en viss dybde. Det hevdes derfor at denne teorien forklarer «pessimumeffekten», nemlig at en saltløsning på 3 % er verst. Dersom det benyttes rent vann på overflaten vil dette gi en is som er «for sterk» til å sprekke. Tilsvarende vil en saltløsning vesentlig høyere enn 3 % gi en is som er «for svak» til å skade betongen.

### 1.2.4 Flygeaskens effekt på betongens frostbestandighet

Flygeaske er et restprodukt fra rensing av røykgassene i kullfyrte varmekraftverk. Egenskapene til flygeasken er avhengig av både brenningsprosessen og kull sammensetningen. Spesielt har type kull stor betydning for flygeaskens egenskaper, og det skilles prinsipielt mellom to typer kull. Bituminøst kull gir opphav til flygeasker med høyt innhold av amorft  $\text{SiO}_2$  og lavt innhold av  $\text{CaO}$ . Denne flygeasken klassifiseres som type F etter klassifiseringssystemet i ASTM C 618. Subbituminøst kull og lignitt gir opphav til flygeasker med høyt innhold av  $\text{CaO}$ . Denne flygeasken klassifiseres som type C etter klassifiseringssystemet i ASTM C 618.

I de følgende avsnitt diskuteres effekten flygeaske har på betongen og dens frostbestandighet. I tillegg presenteres utvalgte studier om frostbestandighet av flygeaskebetong.

Økt mengde av flygeaske i betongen vil på grunn av flygeaskens trege reaksjonsmønster medføre en langsommere tilvekst av fasthet og tetthet. Dette medfører at betonger med flygeaske generelt vil ha en åpnere porestruktur og lavere fasthet i tidlig fase (opp til noen måneder), sammenlignet med betonger med OPC (Ordinær Portland Cement). På lang sikt vil derimot flygeaskebetonger få en betydelig tettere porestruktur på grunn av økt mengde C-S-H [10].

Luftinnføring i betong brukes rutinemessig for å øke betongens fryse/tine-motstand. Denne positive effekten av luftinnføring er også dokumentert for betonger med flygeaske. Betonger med flygeaske krever derimot høyere dosering av luftinnførende tilsetningsstoff sammenlignet med betonger med OPC [10]. Dette fordi flygeaske inneholder litt restkarbon som vil adsorbere tilsetningsstoff, slik at effekten av slike stoffer reduseres.

Ifølge Langley & Leaman (1998) oppnås det generelt noe høyere avstandsfaktor ved bruk av flygeaske, sammenlignet med vanlig betong. De mener dette skyldes at flygeaskebetongen har noe høyere grad av kohesivitet, og at det derfor kompenseres med høyere slump (i form av for eksempel mer matriks eller mer plastiserende tilsetningsstoff) [11].

Kunnskapen som besittes i dag tilsier at bestandigheten og de mekaniske egenskapene til flygeaskebetonger generelt er sammenlignbare med betonger med OPC. Betongens frostbestandighet er derimot en faktor som kan påvirkes negativt dersom betydelige mengder av sementen erstattes med flygeaske. Flere laboratorietester har vist at betonger med mer enn 20 % flygeaske ikke tilfredsstillende kravene til frostbestandighet når de utsettes for fryse/tine-påkjening i nærvær av salt. På den annen side eksisterer det også studier som viser at betonger med flygeaske oppnår bedre frostbestandighet sammenlignet med referansebetonger uten flygeaske [12].

Naik et al. (1995) har i en studie testet betonger med henholdsvis 40 % innblanding av flygeaske type F og 50 % flygeaske type C [13]. Referansebetongen hadde 20 % innblanding av flygeaske type C. Frostprøvingen ble gjort i henhold til ASTM C666, med 300 frostsykluser. Resultatene viste at betongen med 40 % flygeaske klarte seg meget tilfredsstillende, og best av alle de testede betongene. Betongen med 50 % innblanding av flygeaske hadde marginalt dårligere frostbestandighet, mens referansebetongen var signifikant dårligere. Vurderingen var basert på måling av pulshastighet, resonansfrekvens og dynamisk E-modul. Det ble også foretatt salt/frost-testing i henhold til ASTM C 672. Resultatene av denne testen viste at referansebetongen og betongen med 40 % innblanding av flygeaske oppnådde omtrent like resultater. Begge disse oppnådde moderat avskalling på ca. 0,6 kg/m<sup>2</sup>. Betongen med 50 % flygeaske oppnådde markant dårligere resultater, med avskalling på over 2 kg/m<sup>2</sup>.

Johnsten (1987) undersøkte frostbestandigheten med hensyn til fryse/tine-påkjening for betonger med opptil 42 % innblanding av flygeaske (type C) [14]. Han kom frem til at flygeaskebetongen hadde betydelig lavere motstand mot salt/frost-avskalling, sammenlignet med referansebetongen uten flygeaske.

Klieger og Gebler har også rapportert fryse/tine-forsøk for betonger med høyt innhold av flygeaske [15]. Resultatene deres viste at flygeaskebetonger med lufttilsetning ikke oppnådde like gode resultater sammenlignet med referansebetongen uten flygeaske.

Snoeck et al. (2016) har i en studie testet fryse/tine-motstanden til luftinnført betong med 50 % flygeaske som erstatning for sementen [16]. Frosttestingen ble gjort i henhold til standarden CEN/TS 12390-9 på sylindriske prøvestykker med diameter på 100 mm. Resultatene deres viste at betongene med flygeaske oppnådde dårligere resultater med hensyn til avskalling, sammenlignet med

referansebetongen. De konkluderte likevel med at det er fullt mulig å proporsjonere en betong med høy andel flygeaske som tilfredsstillende kravene til frostbestandighet, så lenge man er nøye med tilsetningen av luftinnførende tilsetningsstoff slik at ønsket luftporesystem oppnås.

Bilodeau et al. (1994) undersøkte betonger med 20 og 30 % innblanding av flygeaske. Betongene ble proporsjonert med v/b-tall 0,35, 0,45 og 0,55 [17]. Resultatene av denne undersøkelsen viste at betonger som inneholdt mindre enn 30 % flygeaske viste akseptable resultater med hensyn til avskalling. Det viste seg derimot at betonger med flygeaske hadde større variasjon i avskalling sammenlignet med referansebetongen.

Langley & Leaman (1998) har i en studie vist at betonger med 56 % flygeaske av type F og masseforhold på henholdsvis 0,30 og 0,35 har noe bedre frostmotstand (testet i henhold til ASTM C666) enn tilsvarende referansebetonger uten flygeaske [11].

Det er med andre ord ikke et entydig klart svar på effekten flygeaske har på betongens frostbestandighet. Flere faktorer vil påvirke resultatene som fremgår i de ulike studiene. Både dosering, type flygeaske, masseforhold, herdebetingelser etc. vil kunne påvirke sluttresultatet av slike undersøkelser.

### 1.3 Formål og omfang

Masteroppgaven vil undersøke bestandighet av betong med høyt flygeaskeinnhold i salt/frost-testing (avskalling, indre skade og væskeopptak). Arbeidet er en del av et pågående forskningsprosjekt (DACS) støttet av Norges Forskningsråd, Norsk Industri og PhD-arbeidet til Andrei Shpak.

En serie betonger med høyt flygeaskeinnhold med og uten lufttilsetning blir undersøkt i laboratoriet med hensyn til frostbestandighet og luftporestruktur ( $L$ ,  $\alpha$  og totalt luftinnhold) i herdet betong. Frostbestandigheten måles i fryse/tine-prøving i henhold til CEN/TS 12390-9, modifisert med målinger av væskeopptak og indre skade (UPV, dilatometri). Luftporestrukturen måles med bildebehandling basert på ASTM C457, men modifisert i henhold til Fonseca & Scherer (2014) med planslip impregnert med tusj/bariumsulfat.



## 2. Metode og materialer

### 2.1 Metoder

I dette kapitlet presenteres metodene benyttet for å undersøke frostbestandigheten til betong med høyt flygeaskeinnhold. Frostbestandigheten kan måles direkte ved fryse/tineprøving (måler avskalling og/eller intern skade), eller fastsettes indirekte ved å måle luftinnhold (fersk, herdet) og PF, samt analysere betongens luftporestruktur. Gjennomføringen av metodene er gjort i henhold til nærmere angitte standarder og prosedyrer, med modifikasjoner og tilpasninger for å optimalisere kvaliteten på resultatene.

#### 2.1.1 CEN/TS 12390-9 (Boråsmetoden)

##### 2.1.1.1 Generelt

CEN/TS 12390-9 (tidligere Boråsmetoden (SS 13 72 44)) er aktuell frostprøvmingsmetode for betong i Norge og Europa. Metoden går ut på å bestemme betongens motstand mot overflateavskalling ved vekslende nedfrysing og opptining. Metoden kan anvendes for forundersøkelser av betongsammensetninger, for betong fra ferdige konstruksjoner eller for betongprodukter.

Ifølge standarden CEN/TS 12390-9 [18] skal frosttestingen omfatte 56 fryse-/tinesykluser. I tilfeller hvor betongen inneholder silikastøv skal derimot antall sykluser settes til 112 [19]. Samtlige av betongene testet i denne oppgaven inneholder 4 % silikastøv. Prøvestykkene blir derfor utsatt for 112 fryse-/tinesykluser.

Metoden benyttet i denne oppgaven er en avansert utgave av CEN/TS 12390-9. I tillegg til måling av avskalling, inkluderer NTNU (Institutt for konstruksjonsteknikk) sin modifisering av metoden også måling av absorpsjon, lengdeendring, samt ultralydmålinger av betongen.

### 2.1.1.2 Preparering og oppbevaring av prøve

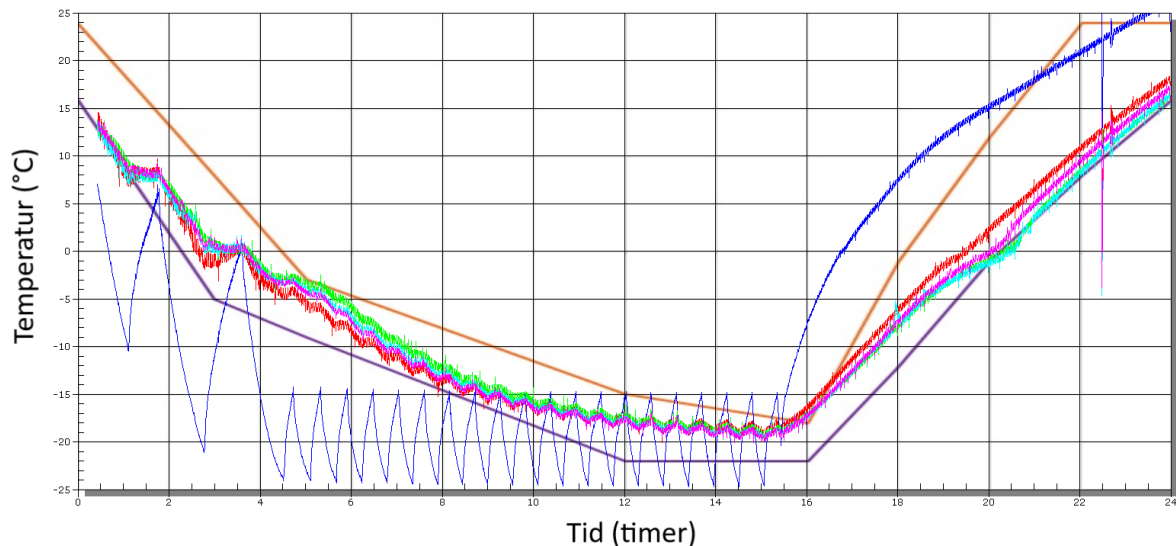
Betongprøvene må prepareres og oppbevares etter en fast prosedyre før frosttestingen begynner. Denne prosedyren er vist i tabell 1, og gjøres i henhold til standard CEN/TS 12390-9 [18].

Når det gjelder prepareringen av prøvestykkene, har det tidligere vært utfordringer knyttet til materialene som har blitt benyttet. Et problem har vært lekkasje, og at materialet rundt prøvestykket har absorbert vann, slik at betongens vannopptak ikke kan måles. Det er i dette tilfellet benyttet materialer (se vedlegg E) som ikke absorberer vann. Disse materialene anvendes på bakgrunn av tester gjennomført ved NTNU våren 2017 [20].

Tabell 1: Preparering av prøve i henhold til CEN/TS 12390-9 (Boråsmetoden)

TID I DAGER OG TIMER ETTER UTSTØPING	PROSEDYRE
Første 24 timer	Det første døgnet etter utstøping lagres betongkubene i deres opprinnelige støpeform og tildekkes med plast (polyetylen) for å beskytte mot uttørking. Temperaturen i lufta er $20 \pm 2$ °C.
1 dag $\pm$ 2 timer	Betongkubene tas ut av formene og lagres i vann med temperatur på $20 \pm 2$ °C.
7 dager	Betongkubene tas opp fra vannbadet og plasseres i et klimarom (se vedlegg B), hvor de lagres frem til fryse-/tine-testingen starter. Klimarommet skal ha en relativ fuktighet på $65 \pm 5$ % og en temperatur på $20 \pm 2$ °C. Fordampningshastigheten fra fritt vannspeil i et kar skal være $45 \pm 15$ g/m <sup>2</sup> t.
21 dager $\pm$ 1 dag	$50 \pm 2$ mm tykke prøvestykker sages ut fra betongkubene vinkelrett på kubenes toppflate. Etter saging skylles og veies prøvene før de returneres til klimarommet.
25 dager $\pm$ 1 dag	Det limes på gummi på alle betongprøvens sider bortsett fra den sagede toppflaten (testflaten). Materialene benyttet til dette formålet er spesifisert i vedlegg E.
28 dager	Prøvens overflate blir mettet med et 3 mm tykt lag med avionisert vann.
31 dager	Det avioniserte vannet byttes ut med et 3 mm tykt lag med 3 % NaCl-løsning. Frosttestingen kan nå begynne.

Frosttestingen kan altså begynne 31 dager etter utstøping. Prøvestykkene plasseres i et fryseskap og blir utsatt for gjentatt frysing og tining. I fryseskapet er prøvene fordelt på fem hyller (se vedlegg B). Det er i utgangspunktet fire prøver per hylle. Prøvene vil ved jevne mellomrom roteres i fryseskapet, slik at prøvene får en tilnærmet lik temperaturlast gjennom sin levetid. Det plasseres også en temperaturmåler på utvalgte prøveoverflater i de forskjellige hyllene. I tillegg måles lufttemperaturen inne i fryseskapet. Figur 4 viser temperaturforløpet i saltløsningen på prøvens overflate i løpet av én fryse-/tinesyklus.

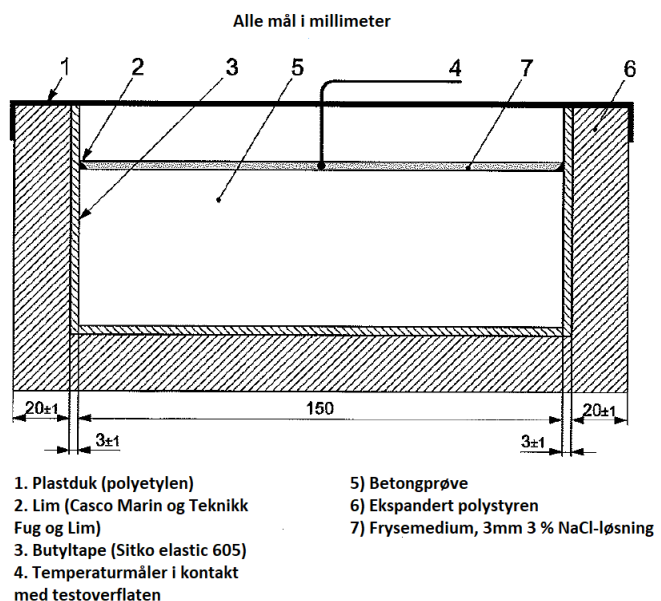


Figur 4: Temperaturforløpet i saltløsningen på prøvens overflate i løpet av en fryse-/tinesyklus.

For å sikre endimensjonal frysing blir bunnflaten og sidene isolert. I tillegg benyttes en plastduk til å dekke toppen av prøven, for å hindre at vannet på prøveflaten fordamper. Figur 5 og 6 beskriver prøveoppstillingen/prøveoppsettet. Prøveoppstillingen er også beskrevet i vedlegg B.



Figur 5: Prøveoppstilling (prøve nummer 103-1). Foto: Jørn Hustad



Figur 6: Prøveoppstilling og benyttede materialer.

### 2.1.1.3 Angivelse av frostmotstand

#### Avskalling

Skade på betongen blir målt ved å samle avskallet materiale fra prøvens overflate etter 7, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98 og 112 fryse-/tinesykluser. Det avskallede materialet tørkes (105 °C) og frostnedbrytningen beregnes som kg/m<sup>2</sup> avskalling.

For hver prøve og hver måling beregnes den kumulative avskallingsmengden,  $S_n$ , etter følgende formel [18]:

$$S_n = \frac{m_{s,n}}{A} \times 10^3$$

hvor

$S_n$  = avskallet masse fra testoverflaten etter n antall sykluser målt i kg/m<sup>2</sup>.

$m_{s,n}$  = den kumulative massen av den tørkede avskallingsmengden.

A = det effektive arealet av den testede overflaten.

Målt massetap suppleres med visuell vurdering av prøvens skadegrad og det tas bilder av hver prøve ved hver avskallingsmåling. Tabell 2 viser klassifisering av frostmotstand med tilhørende kriterier. Det foreligger ikke spesifiserte krav til avskalling ved 112 sykluser. Kravet til avskalling ved 112 sykluser settes derfor lik kravet til avskalling for betong uten silikastøv ved 56 sykluser. For kategoriene «God» og «Akseptabel» i tabell 2, skal kravet om ingen akselerert avskalling gjelde for 56 sykluser i stedet for 28.

Tabell 2: Angivelse av frostmotstand basert på avskalling [4].

Frostmotstand	Krav
Svært god	Ingen prøver har mer avskallingsmateriale enn 0,1 kg/m <sup>2</sup> etter 56 fryse-/tinesykluser.
God	Gjennomsnittlig mengde avskallingsmateriale etter 56 fryse-/tinesykluser er mindre enn 0,5 kg/m <sup>2</sup> . I tillegg skal mengden avskallet materiale i løpet av de siste 28 syklusene være mindre enn for de første 28 syklusene (ingen akselerert avskalling).
Akseptabel	Gjennomsnittlig mengde avskallingsmateriale etter 56 fryse-/tinesykluser er mindre enn 1,0 kg/m <sup>2</sup> . I tillegg skal mengden avskallet materiale i løpet av de siste 28 syklusene være mindre enn for de første 28 syklusene (ingen akselerert avskalling).
Ikke akseptabel	Kravene til klassen Akseptabel er ikke tilfredsstillt.

## Absorpsjon

Ifølge Jacobsen og Sellevold er det god korrelasjon mellom avskalling og absorpsjon ved gjennomføring av Boråstesten [21]. De påpeker også at frysing og tining fører til økt absorpsjon sammenliknet med isotermisk vannoppsug, og at saltholdig vann vil føre til høyere absorpsjon enn rent vann under frysing/tining.

Absorpsjon ble målt ved å veie betongprøvene (nøyaktighet  $\pm 0,1\text{g}$ ) med faste tidsintervaller. Absorpsjonsmålingene ble foretatt med samme tidsintervall som ved måling av avskalling og lengdeendring. Etter at det avskallede materialet var samlet inn, ble alt fritt vann på prøven tørket vekk og prøven ble plassert på vekten. Ved beregning av absorpsjon ble det tatt hensyn til det fordampbare vannet tilknyttet avskallingsmassen.

Absorpsjon ble beregnet etter følgende formel:

$$\text{Absorpsjon} = \frac{W_n - W_0}{A} + \left( S_n \times \frac{W_{suc}}{W_{dry}} \right)$$

hvor

$W_n$  = Vekt av prøvestykket etter n antall sykluser [kg]

$W_0$  = Vekt av prøvestykket ved start av frosttesting, 0 sykluser [kg]

$A$  = Arealet av prøvestykket [ $\text{m}^2$ ]

$S_n$  = Akkumulert avskallingsmasse ved n antall sykluser [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]

$w_{suc}$  = vekt, fullstendig mettet prøve [kg]

$w_{dry}$  = vekt, tørr prøve [kg]

## Dilatometri – Indre skade

Ved å måle lengdeendringen til betongprøvene ved jevne mellomrom, vil man kunne avdekke om det har oppstått indre skader for den aktuelle betongprøven. Målingen blir gjort ved hjelp av en LVDT (linear variable differential transformer)-sensor som måler og registrerer lengdeendringen av betongprøvene med en nøyaktighet på  $1 \mu\text{m}$ .

Betongprøvens relative lengdeendring er lengdeendringen observert etter n fryse/tine-sykluser i forhold til prøvens opprinnelige lengde. Prøvens tøyning kan derfor uttrykkes ved følgende formel:

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 [\%]$$

hvor

$\varepsilon_n$  = prøvens tøyning etter n fryse/tine-sykluser i %.

$\Delta l$  = lengdeendring etter n fryse/tine-sykluser i mm.

$l_0$  = prøvens opprinnelige lengde i mm.

Det ble målt og registrert lengdeendringer av to prøvestykker per betongserie, hvor prøvestykkene ble hentet fra to forskjellige betongterninger. Målingen av lengdeendring ble gjort samtidig som avskallet materiale ble samlet inn og registrert fra betongens overflate. Registreringen av prøvenes lengdeendring ble dermed foretatt med samme tidsintervall som ved måling av avskalling.

For å redusere unøyaktighet ved måleinstrumentet, ble det registrert referansemålinger før og etter måling av selve betongprøven. Det er benyttet en referansestang i invarstål med lengde tilnærmet lik gjennomsnittslengden til betongprøvene med innbygde invardybler.

Monteringen av nevnte dybler er beskrevet i vedlegg B. Figur 6 og 7 viser innretningen som er benyttet til målinger av lengdeendring av betongen. På figur 6 ser man hvordan referansemålingen gjennomføres. Figur 7 viser hvordan lengdeendringen blir målt for selve betongprøven.

Det ble også foretatt kontinuerlige målinger av lengdeendring på utvalgte betongprøver inne i et av frysenskapene. Prinsippet er i utgangspunktet det samme for begge de to målemetodene, og det benyttes også en LVDT-sensor for den kontinuerlige målemetoden. Resultatene med hensyn til kontinuerlige målinger av lengdeendring blir ikke inkludert i denne oppgaven. Figur 8 viser hvordan måleapparatet og prøven blir installert i fryseskabet.



Figur 7: Gjennomføring av referansemåling. Foto: Jørn Hustad.



Figur 8: Måling av betongprøvens lengdeendring. Foto: Jørn Hustad.



Figur 9: Kontinuerlige målinger av betongprøvens lengdeendring. Foto: Jørn Hustad

## Ultralydhastighet, 50 kHz

Indre skader på betongprøvene kan avdekkes ved å måle ultralydhastigheten gjennom betongen. Dette ble gjort ved såkalte UPV (Ultrasonic Pulse Velocity)-målinger, hvor det sendes et akustisk signal gjennom betongen fra transdusere plassert på hver sin side av prøvestykket. Det ble benyttet et PUNDIT (Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating Tester) måleapparat (se figur 10) til å måle transittiden gjennom betongprøvene. For å finne pulshastigheten deles avstanden mellom transduserne på transittiden.

Før målingene startet, ble det påført ultralydgel på kontaktflaten mellom transduserne og betongprøvestykket, på to motstående sider av prøven. Transduserne ble presset mot betongprøven med konstant trykk og samme belastning for samtlige målesekvenser. For å oppnå pålitelige måleresultater ble det benyttet en kalibreringsstang mellom hver målesekvens. Videre ble transittiden gjennom betongen målt og registrert. Dersom målingene viser økende transittid over tid kan dette være en indikasjon på økt forekomst av riss og sprekker i betongen.

UPV-testen er svært repeterbar og har en lav variasjonskoeffisient på 2 % for målinger foretatt på samme sted på betongens overflate. UPV-målingene ble foretatt med samme tidsintervall som ved måling av avskalling, dilatometri og absorpsjon. Figur 10 viser oppsettet for bestemmelse av ultralydhastighet gjennom betongprøven.



Figur 10: Bestemmelse av ultralydhastighet gjennom betongprøven. Foto: Jørn Hustad

### 2.1.2 Luftporestruktur i herdet betong

#### 2.1.2.1 Generelt

Ved å undersøke betongens luftporestruktur kan man beregne spesifikk overflate,  $\alpha$ , og avstandsfaktor,  $L$  (mm). I tillegg kan man estimere totalt luftinnhold i betongen. Spesifikk overflate og avstandsfaktor gir informasjon om gjennomsnittlig porestørrelse og gjennomsnittlig avstand mellom hver luftpore. Undersøkelsen av luftporestrukturen er gjort på planslip og er utført i henhold til NS-EN 480-11 [22].

Utsagede betongprøver prepareres ved sliping og polering. Deretter undersøkes de polerte overflatene under mikroskop. Videre påføres tusj og bariumsulfat for å skape kontrast mellom luftporer og tilslag/pasta. Dernest analyseres luftporestrukturen ved skanning og bildebehandling i henhold til Fonseca (2014) [23], som er en bildebehandlingsmetode basert på ASTM C457 [24] og NS-EN 480-11.



### 2.1.2.2 Sliping og preparering av prøvestykker

Det sages ut to prøvestykker per betongserie. Prøvestykkene skal ha dimensjoner på 100 x 100 mm og ha en tykkelse på ca. 20 mm (se figur 11). Før slipeprosedyren begynner, blir det foretatt en visuell vurdering av de ulike prøvestykkene. Denne vurderingen inkluderer identifisering av eventuelle skader påført ved saging, samt en vurdering av jevnheten på prøvens overflate. På bakgrunn av den visuelle vurderingen velges det ut hvilken side av prøven som skal slipes.



Figur 11: Prøvestykke (100 x 100 mm) benyttet til luftporeanalyse. Foto: Jørn Hustad

Noen av prøvestykkene oppnådde ikke tilstrekkelig jevnhet på de sagede overflatene, grunnet kast i sagbladet. Dette medførte igjen problemer ved sliping, grunnet økt slipetid og dermed økt fare for skade på betongoverflaten. Dette gjaldt spesielt prøvestykkene som ble saget ut fra terninger på 150 x 150 mm. På grunn av dette ble sliping en meget tidkrevende og vanskelig prosess.

Sliping av prøvestykkene ble gjort med Struers tegramin-30 slipemaskin (se figur 12). Det ble benyttet tre ulike diamantslipeskiver med finhet på henholdsvis 220, 600 og 1200. Belastning og varighet ble bestemt gjennom utprøving av ulike slipeprosedyrer. Disse er gjengitt i vedlegg B, og omfatter åtte ulike prosedyrer.



Figur 12: Struers Tegramin-30 slipemaskin. Foto: Jørn Hustad

Det er viktig at slipeprosedyren tilpasses betongkvaliteten. Dersom belastningen på sliping er for stor vil dette kunne medføre skade på luftporene og overgangssonen mellom tilslag og pasta. Et annet problem ved for hard sliping er at tilslagspartikler blir revet ut. Alle disse faktorene vil i stor grad påvirke resultatene og bør tas hensyn til i den grad det er mulig.

Da det er stor variasjon i kvaliteten på betongene med og uten luft, ble den antatt svakest betongen benyttet til å bestemme valg av slipeprosedyre. Belastning, varighet og finhet på diamantslip ble justert til tilstrekkelig kvalitet ble oppnådd. Av vedlegg B fremgår det at prosedyre 8 gir ønsket kvalitet på sliping. Siden denne prosedyren ga tilstrekkelig slipekvalitet, ble samme prosedyre benyttet på de øvrige betongblandingene.



Prøvene ble montert og festet til slipemaskinen som vist i figur 13. Mellom hver slipeprosedyre ble prøvestykkene skylt i rennende vann og løse partikler på overflaten ble børstet vekk med en børste med polyesterbust. Etter at betongprøvene hadde gjennomgått slipeprosedyren ble de undersøkt i mikroskop og kvalitetssikret før tusj og bariumsulfat ble påført den slipte overflaten. Det ble tusjet 4-5 ganger på prøvens overflate. Bariumsulfatet ble påført ved å trykke pulveret ned i alle luftporene på overflaten. Deretter ble det overflødig bariumsulfatet fjernet og prøven ble igjen undersøkt i mikroskopet. En mer detaljert beskrivelse av prosedyren med påføring av bariumsulfat og tusj er beskrevet i figur 14. Videre ble det foretatt en vurdering av hva som var luftporer og hva som var utrevede partikler/riss. De utrevede partiklene/rissene ble markert med tusj. Dersom alle luftporene var fylt med bariumsulfat, samt at alle overflødig partikler var fjernet kunne prøven klargjøres for skanning.

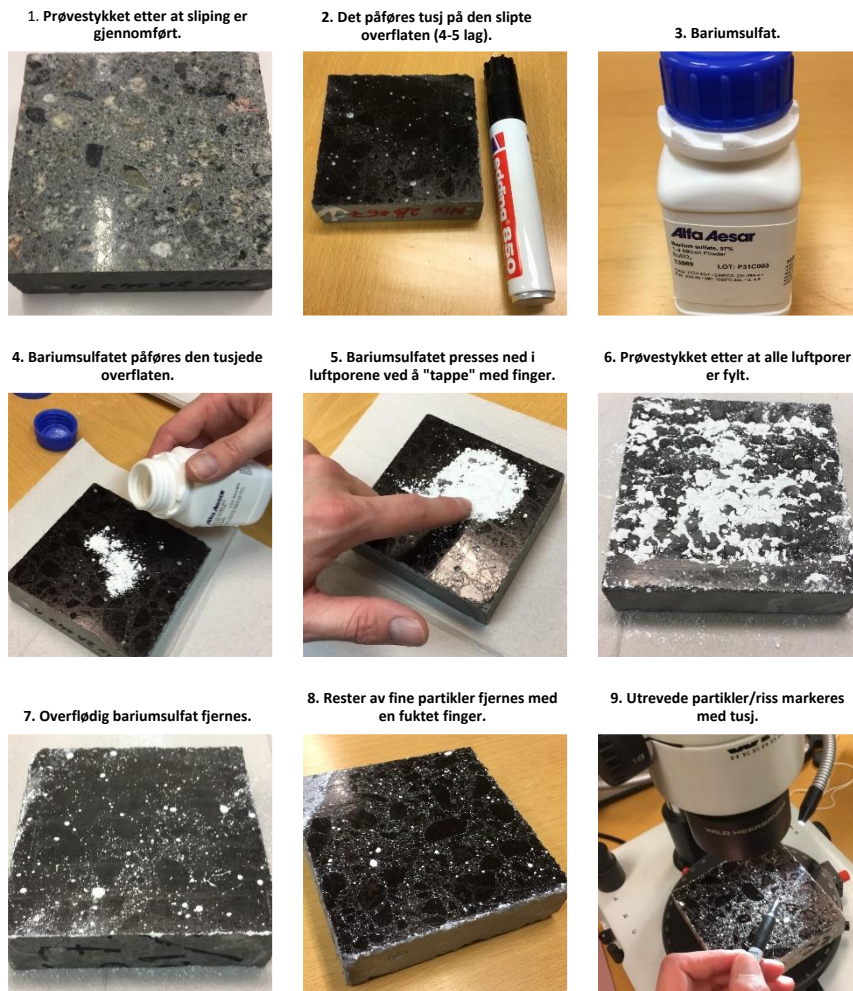


1



2

Figur 13: Betongprøvene skrus fast til en sirkulær metallskive (1) og festes deretter til slipemaskinen ved hjelp av magnetisk kraft (2). Foto: Jørn Hustad



Figur 14: Påføring av tusj og bariumsulfat. Foto: Jørn Hustad.

### 2.1.2.3 Skanning av prøvestykker

Tidligere har luftporesystemet blitt analysert ved å bruke den lineære traversmetoden eller punkttellingsmetoden beskrevet i ASTM C457. Disse metodene krever manuell telling av luftporer ved hjelp av mikroskop og er meget tidkrevende. Som et alternativ til dette har P.C Fonseca utviklet en prosedyre som analyserer luftporesystemet ved hjelp av en automatisk bildeanalyse. Skanningen av prøvestykkene er derfor gjort i henhold til metoden utarbeidet av P.C Fonseca i 2015, basert på ASTM C457.

Skanning av prøvestykkene med tilhørende bildeanalyse ble for denne oppgaven utført av PhD-kandidat og medveileder Andrei Shpak.

Betongprøvene ble skannet på 2400 og 3200 ppt ved hjelp av en skanner (Epson Perfection V600 Photo). Enkelte prøvestykker ble også skannet på 1200 og 4800 ppt (se vedlegg D). Analysen av skanningen ble utført ved hjelp av et Matlab-skript som beregner totalt luftinnhold, avstandsfaktor, spesifikk overflate og den omtrentlige størrelsesfordelingen på luftporene. Matlab-skriptet omfatter en tretrinns prosess og er beskrevet i tabell 3.

Tabell 3: Bildeanalyse - Matlab

Trinn 1	<b>«Read image»:</b> Det første trinnet i bildebehandlingen konverterer gråtonebildet fra skanning til binært format. Hver piksel blir tilordnet enten en verdi på 0 (svart) som representerer en bakgrunnpiksel, eller en verdi på 1 (hvit) som representerer en objektpiksel. Bakgrunnpikslene korresponderer med pasta/tilslag og objektpikslene korresponderer med luftporer.
Trinn 2	<b>«Basic analysis»:</b> Det andre trinnet bestemmer luftinnhold, spesifikk overflate og avstandsfaktor. Betongens pastavolum brukes som input i dette trinnet.
Trinn 3	<b>«Reconstruct spheres»:</b> Dette trinnet estimerer størrelsesfordelingen av luftporene.

## 2.2 Materialer

Dette kapittelet inneholder informasjon om delmaterialene og blandingsreseptene for betongene benyttet i oppgaven. Alle betongene er fremstilt som en del av Andrei Shpak sitt PhD-arbeid og har blitt utført av Shpak og Sintef.

### 2.2.1 Delmaterialer

#### **Tilslag**

Tilslaget benyttet i betongene er Årdal 0-8 mm med densitet  $2690 \text{ kg/m}^3$  og Årdal 8-16 mm med densitet  $2670 \text{ kg/m}^3$ .

#### **Sement**

Sementene benyttet i betongblandingene er Norcem Anleggssement CEM I 52.5 N (se vedlegg A) med densitet  $3140 \text{ kg/m}^3$  og Norcem Anleggssement FA CEM II A-V 42.5 N (se vedlegg A) med densitet  $3020 \text{ kg/m}^3$ .

#### **Flygeaske**

Flygeasken benyttet i betongblandingene er Norcem flygeaske, LN3-17 med densitet  $2310 \text{ kg/m}^3$  og karboninnhold på 3,01 %. Flygeasken har en Blaine-finhet på  $334 \text{ m}^2/\text{kg}$ .

#### **Silikastøv**

I betongblandingene er det benyttet silikastøv 940D med densitet  $2200 \text{ kg/m}^3$ .

#### **Tilsetningsstoffer**

I betongene er det benyttet superplastiserende tilsetningsstoff av typen Dynamon SX-23 fra Mapei (se vedlegg A). Det er også benyttet luftinnførende tilsetningsstoff av typen Mapeair 25 1:9 fra Mapei (se vedlegg A). L-stoffene som er benyttet består av syntetiske tensider. Dette er stoff som bidrar til å dispergere større luftbobler i tillegg til å innføre luftbobler av den størrelse som er mest effektive for å øke frostbestandigheten.

## 2.2.2 Blandinger

Oppgaven omfatter fem ulike betongblandinger. Blandingene består av betong med  $v/b=0,45$  og  $v/b=0,293$ , med tilsetning av 0 % flygeaske for referansebetong og 35 % flygeaske for de øvrige blandingene. Alle blandingene er tilsatt 4 % silikastøv. En oversikt over de ulike blandingene med hensyn til vann-bindemiddelinhold, luftinnførende tilsetningsstoff og flygeaskeinnhold er gitt i tabell 4. Detaljerte resepter er gitt i tabell 5.

Tabell 4: Betongblandinger

Blandinger	v/b-tall	L-stoff*	Flygeaskeinnhold, FA/b (%)
0.45-35A	0.45	x	35
0.45-35	0.45		35
0.29-35A	0.293	x	35
0.29-35	0.293		35
0.45-0A	0.45	x	0

\*L-stoff = luftinnførende tilsetningsstoff

Tabell 5: Betongresepter

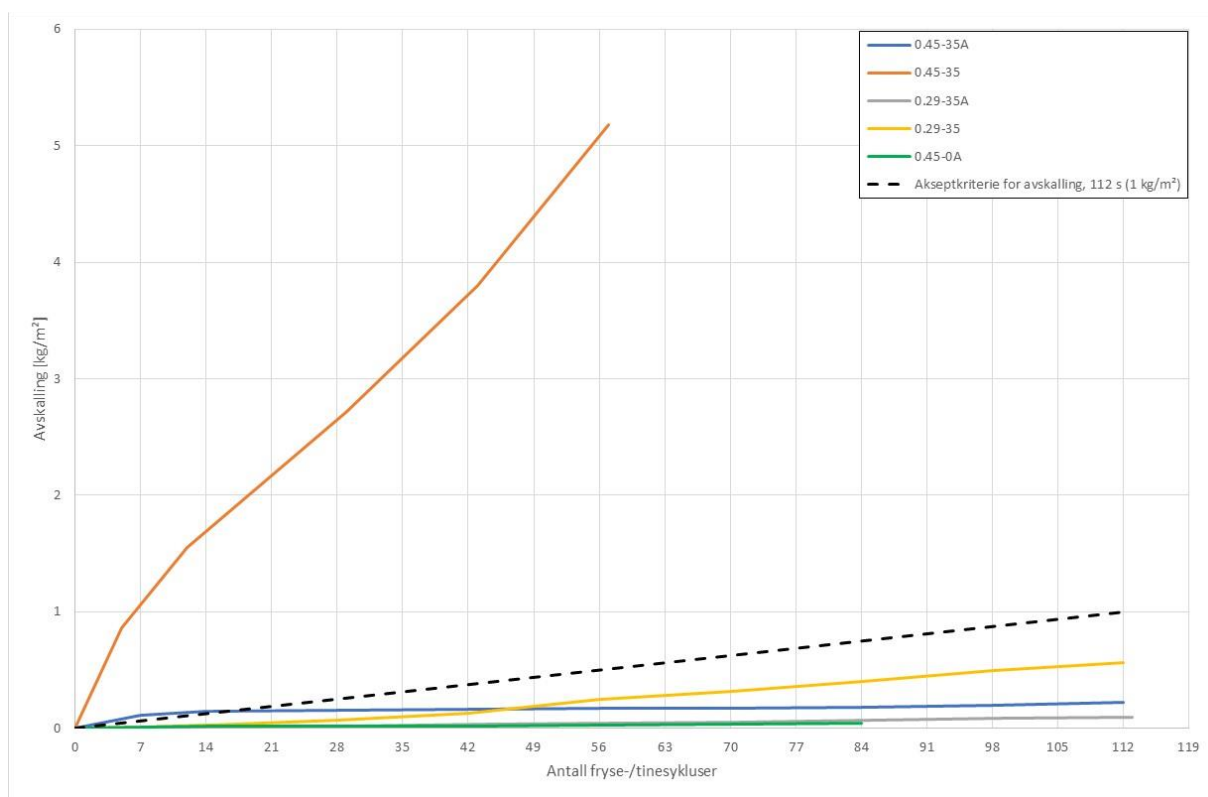
Materialer	Blanding 0.45-35A	Blanding 0.45-35	Blanding 0.29-35A	Blanding 0.29-35	Blanding 0.45-0A
Norcem Anleggssement FA (kg/m <sup>3</sup> )	240.8	238.1	298.3	293.7	328.8
Silikastøv (kg/m <sup>3</sup> )	13.1	12.9	16.2	16.0	13.7
Norcem flygeaske (kg/m <sup>3</sup> )	73.7	72.9	91.3	89.9	0
Fritt vann (kg/m <sup>3</sup> )	147.5	145.8	118.9	117.1	154.1
Absorbent vann (kg/m <sup>3</sup> )	6.3	6.6	6.2	6.7	6.3
Årdal 0/8 mm, A-4956 (kg/m <sup>3</sup> )	1053.6	1104.6	1053.6	1121.5	1053.6
Årdal 8/16 mm, A-4751 (kg/m <sup>3</sup> )	768.6	805.9	768.6	818.2	768.6
Mapei Dynamon SX-23 (kg/m <sup>3</sup> )	2.358	2.847	5.939	6.508	2.744
Mapeair 25 1:9 (kg/m <sup>3</sup> )	1.593	0	2.445	0	0.690

### 3. Resultater

I dette kapittelet presenteres resultatene i oppgaven. Resultatene er hovedsakelig fremstilt i form av grafer og tabeller. Tilleggsinformasjon tilknyttet de ulike resultatene er beskrevet i vedlegg C og D.

#### 3.1 Avskalling

Resultatene med hensyn til avskalling er fremstilt grafisk i figur 15 og 16, med øvre avskallingsgrense på henholdsvis 6 kg/m<sup>2</sup> og 0,5 kg/m<sup>2</sup>. Frostbestandigheten til de ulike blandingene hva gjelder avskalling klassifiseres i henhold til kriteriene beskrevet i kapittel 2.1.1.3.



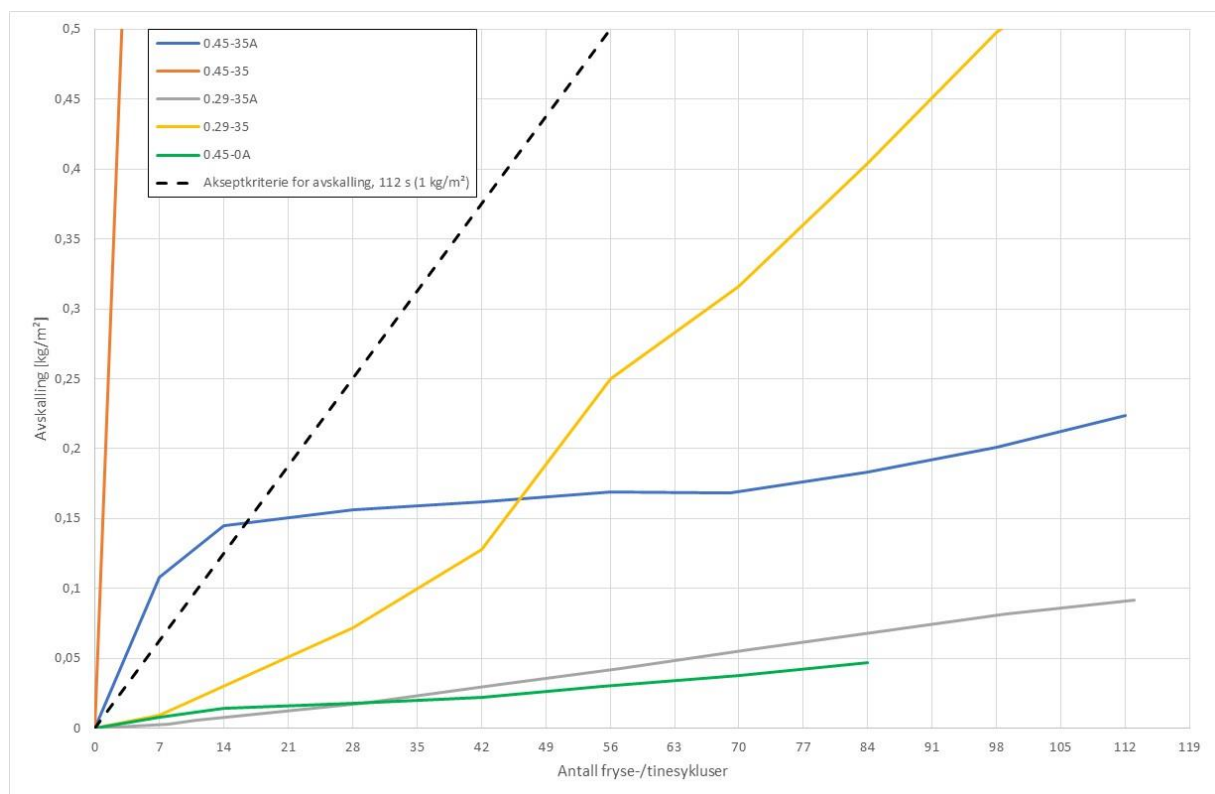
Figur 15: Akkumulert avskalling (Avskallingsområde 0-6 kg/m<sup>2</sup>).

På grunn av tidsmessige begrensninger for denne oppgaven ble registreringen av avskalling for referansebetongen (blanding 0.45-0A) avsluttet ved 84 sykluser. Denne blandingen klassifiseres med frostmotstand «Svært god» etter 84 sykluser. Frostmotstanden til blanding 0.29-35A klassifiseres også som «Svært god», med mindre enn 0,1 kg/m<sup>2</sup> avskalling etter 112 sykluser.

Blanding 0.45-35A tilfredstiller kravene til frostmotstand «God», med mindre enn 0,5 kg/m<sup>2</sup> etter 112 sykluser, samt ingen akselerert avskalling de siste 56 syklusene.

Resultatene for blanding 0.29-35 viser avskalling mindre enn 1,0 kg/m<sup>2</sup> etter 112 sykluser. Frostmotstanden til denne blandingen klassifiseres likevel som «Ikke akseptabel» på grunn av akselerert avskalling de siste 56 syklusene, med  $m_{112}/m_{56} = 0,566/0,25 = 2,26$ .

Det fremgår av figurene at blanding 0.45-35 tidlig overskrider grensen på 1,0 kg/m<sup>2</sup> avskalling, som er akseptkriteriet for frostbestandighet etter 112 sykluser. Denne blandingen har klart høyest avskalling av samtlige betonger, og hele 5,181 kg/m<sup>2</sup> avskalling etter 57 sykluser. Denne blandingen tilfredstiller derfor ikke avskallingskravet til frostbestandighet, og klassifiseres som «Ikke akseptabel».



Figur 16: Akkumulert avskalling (Avskallingsområde 0-0,5 kg/m<sup>2</sup>).

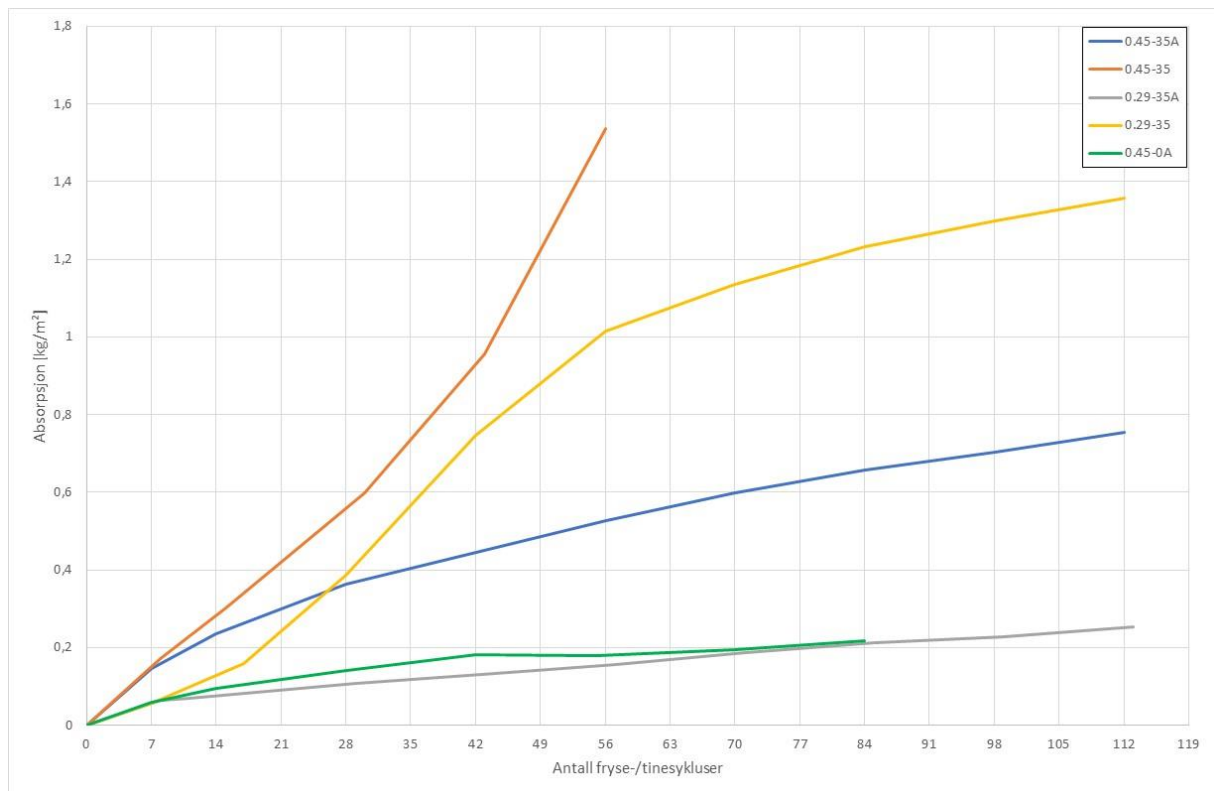
## 3.2 Absorpsjon

Alle betongene viser en karakteristisk økning av væskeopptak ved frysing og tining.

Dersom vi sammenligner resultatene for avskalling med resultatene for absorpsjon, ser vi en tydelig sammenheng mellom avskalling og vannopptak for de ulike blandingene. Høyest avskalling har høyest absorpsjon og lavest avskalling har lavest absorpsjon.

Figuren viser at det er mye mindre forskjell i væskeopptak mellom blanding 0.45-35 og de øvrige blandingene sammenlignet med resultatene for avskalling, hvor blanding 0.45-35 får svært høye avskallingsverdier.

Av figuren fremgår det også at blanding 0.29-35 ikke har akselererende absorpsjon, til tross for at den samme blandingen viste akselererende avskalling.



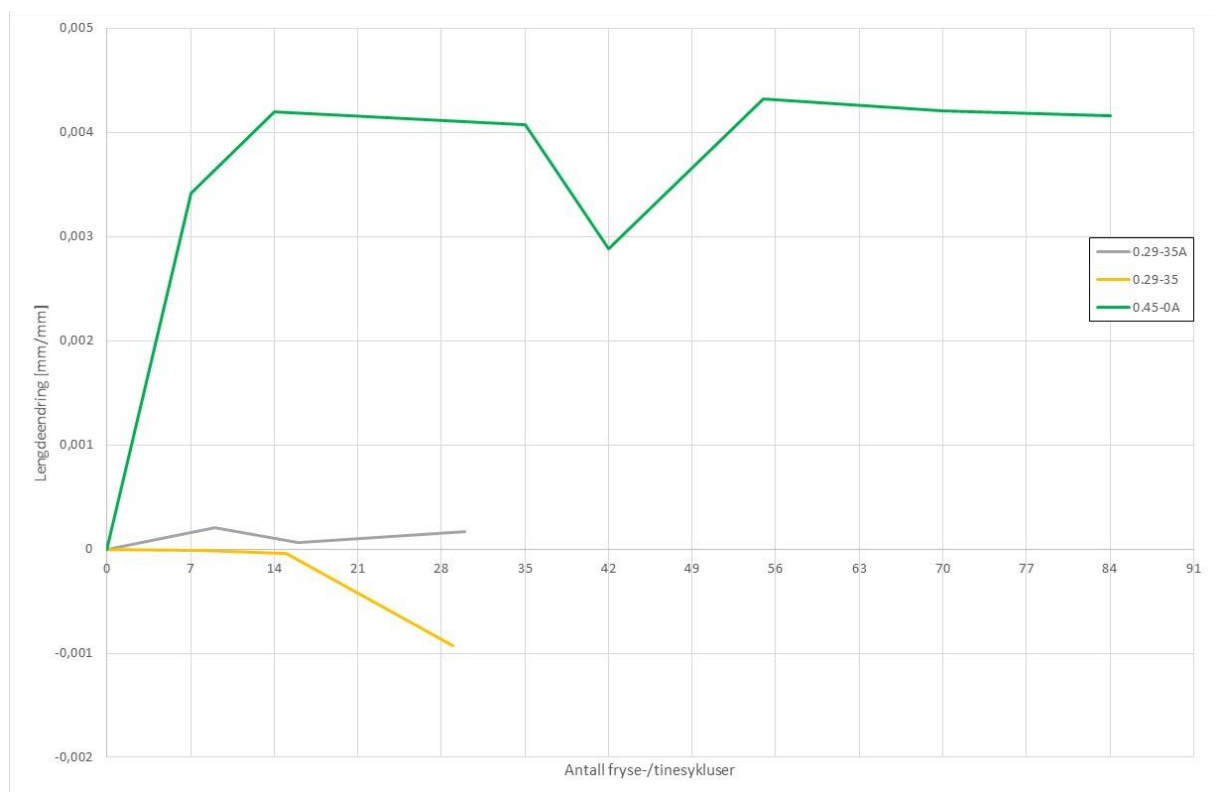
Figur 17: Akkumulert absorpsjon.

### 3.3 Dilatometri

Figur 18 viser resultatene for dilatometri for 3 av 5 blandinger. Det er benyttet midlede verdier fra to prøvestykker per blanding (se vedlegg C). Det foreligger ikke resultater for lengdeendring for blanding 0.45-35A og 0.45-35 grunnet tidsmessige begrensninger for denne oppgaven. Av samme grunn er målingene for blanding 0.29-35A og 0.29-35 kun registrert for henholdsvis 30 og 29 sykluser.

Resultatene viser at referansebetongen har størst lengdeendring. For de to blandingen med flygeaske (0.29-35 og 0.29-35A) er lengdeendringen mindre enn for referanseblandingen de første 30 syklusene. Av figur 18 fremgår det også at lengdeendringen for referanseblandingen stabiliserer seg i overkant av 0,4 % sammenliknet med opprinnelig lengde, etter ca. 15 sykluser. De registrerte lengdeendringene for referansebetongen indikerer at denne betongen har indre skader, da verdiene overskrider betongens strekktøyning ( $\epsilon_{ct} \approx 0,15 \text{ ‰}$ ). Dette er likevel høyst usikre verdier siden den midlede verdien benyttet i figur 18 er basert på to prøvestykker som i stor grad avviker fra hverandre. Dette ses tydelig i figuren som viser spredningen for blandingen i vedlegg C.

Det er vanskelig å trekke noen endelig slutning for eventuelle indre skader for betongene med flygeaske, grunnet begrenset datamengde for disse blandingen.



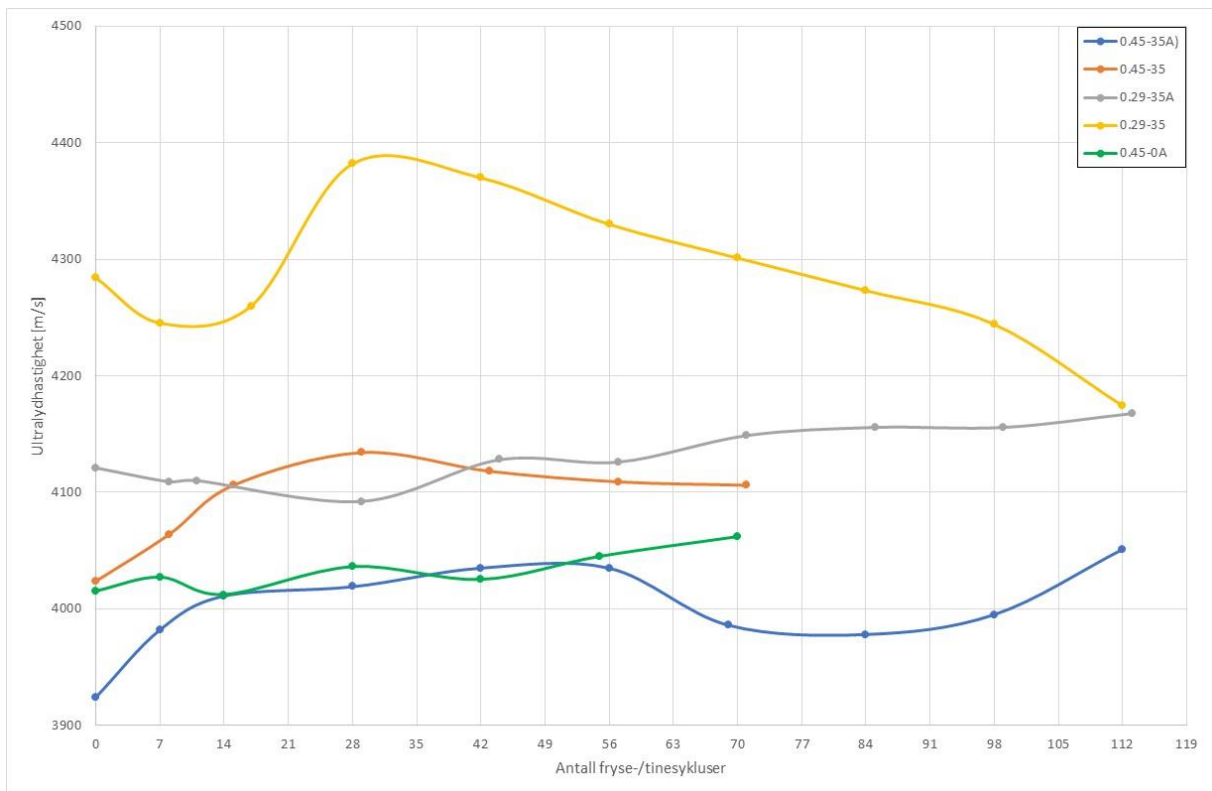
Figur 18: Lengdeendring [mm/mm]



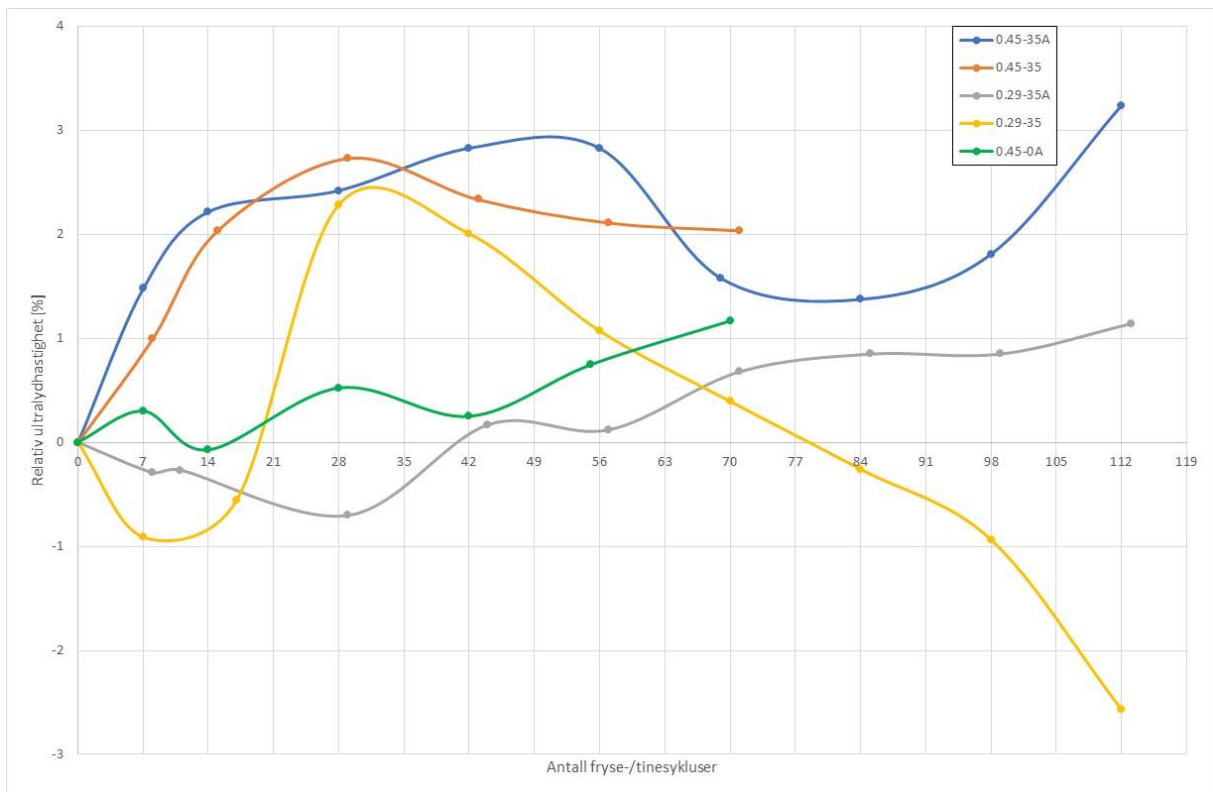
### 3.4 Ultralydhastighet

Figur 19 og 20 viser resultatene med hensyn til ultralydhastighet. Figur 19 viser resultater for ultralydhastighet i m/s, og figur 20 viser den prosentvise endringen i ultralydhastighet fra opprinnelig startverdi.

Resultatene fremstilt i figurene viser en uklar tendens for alle blandinger, med mulig unntak av blanding 0.29-35 som har reduksjon i ultralydhastighet sammenlignet med startverdi. Videre viser resultatene at 3 av 5 blandinger har tendens til økt ultralydhastighet de første 28 syklusene. Dette kan skyldes væskeopptak, etterfylling av porer, luftporer eller sprekker i betongen.



Figur 19: Ultralydhastighet.



Figur 20: Relativ ultralydhastighet.

### 3.5 Luftporestruktur

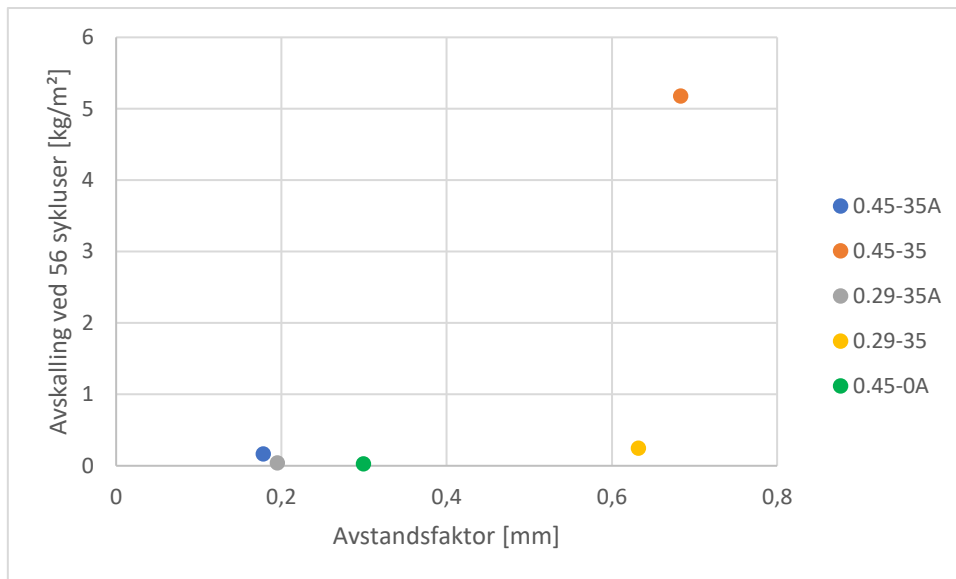
Luftinnhold, spesifikk overflate og avstandsfaktor for samtlige blandinger er spesifisert i tabell 6. Resultatene i tabellen er basert på skanning med bildeoppløsning 3200 ppt. Noen av blandningene er skannet ved flere ulike bildeoppløsninger. Disse resultatene er gjengitt i vedlegg D.

Tabell 6: Luftinnhold og luftporestruktur dokumentert ved analyse av planslip.

Blandinger	Totalt luftinnhold [%]	Spesifikk overflate [mm <sup>-1</sup> ]	Avstandsfaktor [mm]
0.45-35A	3.85 – 4.67	27.472 – 30.421	0.168 – 0.192
0.45-35*	1.97	10.452	0.683
0.29-35A	5.72 – 6.15	21.400 – 21.919	0.185 – 0.204
0.29-35	1.24 – 2.33	9.458 – 15.461	0.566 – 0.698
0.45-0A*	6.17	13.727	0,299**

\*For disse blandningene ble kun en skanning gjennomført. \*\*Den registrerte avstandsfaktoren for denne blandingen avviker i stor grad fra verdien funnet i fersk betong og er med stor sannsynlighet for høy.

Resultatene viser tydelig at spredningen i avstandsfaktor innenfor en og samme betongserie kan være relativt stor. Luftporestrukturen til betongene med flygeaske og luftinnføring ligger på grensen til akseptkriteriet (0,18 mm) for betong utsatt for frost i nærvær av tinesalter. For betongene uten luftinnføring er det som forventet registrert lavt luftinnhold og høye avstandsfaktorer.



Figur 21: Sammenheng mellom avstandsfaktor og avskalling.

Figur 21 viser sammenhengen mellom oppnådd avstandsfaktor og avskalling. I figuren er det benyttet gjennomsnittsverdier både for avskalling og avstandsfaktor for alle blandinger. Avskallingsverdiene er lest av ved 56 sykluser i stedet for 112 siden dataene for referanseblandingen stopper ved 84 sykluser.

Av figur 21 ser vi at det er en sammenheng mellom avstandsfaktor og avskalling. Dataene i figuren viser at betongen med høyest avskalling også hadde høyest avstandsfaktor. Figuren viser også at blandinger med lavest avskalling også har de laveste avstandsfaktorene. Ellers bør det nevnes at målt avstandsfaktor for referanseblanding (0.45-0A) er noe høy, og avviker fra målinger gjort i fersk betong.

## 4. Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultatene med hensyn til frostbestandighet og luftporestruktur for betong med høyt flygeaskeinnhold.

Resultatene med hensyn til avskalling viste at betongene som inneholdt flygeaske hadde mer avskalling sammenlignet med betongen med OPC. Dette samsvarer med studiene til Gebler & Klieger (1987), Johnsten (1987) og Bouzoubaâ et al. (2008), som alle rapporterte om tilsvarende funn.

Studien viser en klar sammenheng mellom masseforhold og motstand mot salt/frost-avskalling. Resultatene viser at både betongene med og uten flygeaske generelt gir lavere frostmotstand ved økende masseforhold. Det er også en klar tendens til at innblanding av flygeaske også gir redusert motstand mot avskalling selv ved lave masseforhold.

Når det gjelder akseptkriteriet for avskalling viser figur 15 at flygeaskebetongene likevel presterer meget godt. Dette gjelder spesielt ved lave masseforhold. Begge flygeaskebetongene med luftinnføring tilfredsstilte kravene til frostbestandighet i henhold til Boråsmetoden, med avskalling mindre enn 1,0 kg/m<sup>2</sup> etter 112 fryse-/tinesykluser. Flygeaskebetongen med lavt masseforhold og uten luftinnføring viste også lite til moderat avskalling, men ble ansett som ikke akseptabel grunnet akselerert avskalling.

Figur 17 viser en tydelig korrelasjon mellom absorpsjonsmålingene og resultatene for avskalling. Blandingene med høyest avskalling oppnådde høyest absorpsjon og lavest avskalling tilsvarte lavest absorpsjon. Dette sammenfaller med funnene gjort av Jacobsen og Sellevold (1994), hvor de peker på nettopp denne sammenheng.

I enkelte tilfeller kan en volumøkning som følge av intern oppsprekking sammen med avskalling fremstå som en «tilsynelatende» lav skadegrad. For å avdekke slike forhold ble det også gjennomført forsøk med ultralydhastighet. For «friske» betonger uten skade forventes en økning i ultralydhastighet gjennom betongen med økende antall fryse-/tinesykluser. Tap av ultralydhastighet indikerer derimot en betong med indre frostskaide. Figur 19 og 20 viser at det bare er blanding 0.29-35 som har avtakende ultralydhastighet ved økende antall fryse-/tinesykluser, og dermed en indikasjon på indre skade. De øvrige blandingene har økende ultralydhastighet, det vil si ingen indikasjon på intern skade. Resultatene gir likevel ikke grunnlag for å fatte bestemte slutninger med hensyn til oppsprekking og indre skade for disse blandingene.

Dersom vi betrakter luftporesystemet til betongene fremstilt i tabell 6, ser vi at betongene med høyt flygeaskeinnhold oppnår et bedre luftporesystem sammenlignet med referansebetongen. Resultatene for referanseblandingen hva gjelder avstandsfaktor anses i dette tilfellet til å være for høyt sammenlignet med reell verdi. Slik det fremgår av resultatene er det en klar tendens til at flygeaskebetongen presterer dårligere under frosttesting sammenlignet med referansebetongen. Det er derfor mest sannsynlig målt en avstandsfaktor for referansebetongen som er høyere enn reell verdi.

Generelt vet vi at for å tilfredsstille kravene til frostbestandighet for betong utsatt for saltholdig vann, bør ikke avstandsfaktoren for luftinnført betong overskride 0,18 mm. Resultatene viser at betongene med flygeaske og luftinnføring oppnådde avstandsfaktorer i underkant av 0,20 mm og tilfredsstiller dermed ikke dette kravet. Det er likevel verdt å merke seg at resultatene fra målinger gjort i fersk betong (AVA) i noen tilfeller viser avstandsfaktorer lavere enn 0,18 mm. De oppnådde avstandsfaktorene for flygeaskebetongene med luftinnføring anses likevel som relativt gode, da de

ligger i underkant av 0,20 mm. Det vil også være en viss usikkerhet knyttet til resultatene siden den benyttede metoden for luftporeanalyse anses som meget operatørvhengig.

## 5. Konklusjon

Basert på resultatene i denne studien, trekkes følgende konklusjoner:

- Når det gjelder avskalling gir betonger med flygeaske redusert motstand mot frost/salt-avskalling. Dette ses ved å sammenligne blanding 0.29-35A og blanding 0.45-0A, hvor referanseblandingen (0.45-0A) presterer bedre enn flygeaskebetongen (0.29-35A), selv om referanseblandingen har et mye høyere masseforhold.
- Luftinnføring har dokumentert god effekt på flygeaskebetonger, på tilsvarende vis som for CEM I-betonger. Dette kommer tydelig frem særst for avskallingsresultatene presentert i figur 15 og 16. Blanding 0.29-35A og blanding 0.45-35A presterer vesentlig bedre enn flygeaskebetongene uten luftinnføring (0.45-35 og 0.29-35).
- Den lufttilsatte flygeaskebetongen har relativt god frostmotstand og presterer tilfredsstillende i henhold til kriterier for avskalling, med avskalling mindre enn  $1,0 \text{ kg/m}^2$  etter 112 fryse-/tinesykluser.
- Den negative effekten av flygeaske på frost/salt-avskalling synes å være økende med økende masseforhold. Ved tilstrekkelig lave masseforhold kan betonger med flygeaske likevel oppnå svært god frostbestandighet.
- Hva gjelder indre skader er det vanskelig å trekke noen konkret slutning i så måte. Dette grunnet en lite pålitelig forsøksoppstilling for lengdeendring, samt usikkerhet knyttet til påliteligheten av ultralydhastighetsmålinger.
- Det er mulig å produsere betonger med høyt innhold av flygeaske med tilstrekkelig frostmotstand i henhold til gjennomførte laborietester. Av studien fremgår også viktigheten av en god luftporestruktur sett i sammenheng med frostpåkjenning. Luftinnføring med tilhørende luftporestruktur er derfor viktige aspekter som må tas ekstra godt hensyn til ved produksjon av flygeaskebetong.

## 6. Videre arbeid

Denne oppgaven er en del av et pågående forskningsprosjekt, *Durable Advanced Concrete Structures* (DACS). Oppgaven inngår også som et samarbeid med PhD-kandidat og medveileder Andrei Shpak. En mer omfattende rapport er derfor ventet ved ferdigstilling av Shpak sin doktoravhandling.

**Indre skader** – Det er ikke foretatt tilstrekkelige målinger hva gjelder lengdeendring. Dette må gjennomføres som et ledd i en mer omfattende analyse av betongenes eventuelle indre skader.

**Luftporeanalyse** – Flere prøvestykker bør slipes og skannes, slik at resultatene gir helhetlige korrekte verdier for blandingene.

## 7. Feilkilder

I forbindelse med denne oppgaven har det blitt gjennomført flere laboratorietester. En rekke usikkerhetsmomenter kan knyttes til disse.

Selv om frosttestingen i denne oppgaven følger en fast prosedyre i henhold til Boråsmetoden, vil det forekomme avvik som gir ulik frostbelastning sammenlignet med tilsvarende laboratoriemetoder gjennomført andre steder. Det vil også foreligge en betydelig grad av usikkerhet rundt i hvilken grad laboratoriemetodene avspeiler virkelig oppførsel i felt. Det bør også påpekes at laboratoriemetodene i hovedsak er utviklet for betonger med CEM I, og er ikke uten videre egnet til dokumentasjon av betonger med flygeaske.

Resultatene med hensyn til lengdeendring vil kunne påvirkes av en rekke faktorer, som bidrar til å gjøre metoden lite pålitelig. Målingene av prøvene ble gjennomført på forskjellige tidspunkter, noe som medfører ulik temperatur ved de ulike målingene. I tillegg er metoden operatørvhengig og målenøyaktigheten vil derfor kunne variere.

Flere av laboratoriemetodene i denne oppgaven er i stor grad operatørvhengig. Dette gjelder spesielt luftporeanalysen, hvor det er mange menneskelige faktorer som vil påvirke sluttresultatet.



## Referanser

- [1] MAAGE, M. (2015) *BETONG – REGELVERK, TEKNOLOGI OG UTFØRELSE. 1. UTGAVE. OSLO: NORSK BETONGFORENING OG BYGGENÆRINGENS FORLAG.*
- [2] NORSK BETONGFORENING MILJØKOMITÉ. (2008) *CO<sub>2</sub>-UTSLIPP – SEMENT OG BETONG UTFORDRINGER OG PERSPEKTIVER.* OSLO: NORSK BETONGFORENING. TILGJENGELIG FRA: [https://fabeko.no/assets/CO2\\_rapport-2009-02.pdf](https://fabeko.no/assets/CO2_rapport-2009-02.pdf)
- [3] JAHREN, P. (2003) *GREENER CONCRETE – WHAT ARE THE OPTIONS? THE CO<sub>2</sub> CASE.* STF22 A03610. TRONDHEIM: SINTEF, CEMENT AND CONCRETE.
- [4] BYGGFORSK (1999) 520.067 FROSTNEDBRYTNING AV BETONG OG ANDRE PORØSE BYGGEMATERIALER. TILGJENGELIG FRA: [https://www.byggforsk.no/dokument/2624/frostnedbrytning\\_av\\_betong\\_og\\_andre\\_poroese\\_bygge\\_materialer#i733](https://www.byggforsk.no/dokument/2624/frostnedbrytning_av_betong_og_andre_poroese_bygge_materialer#i733)
- [5] FAGERLUND, G. (1973) *CRITICAL DEGREES OF SATURATION AT FREEZING OF POROUS AND BRITTLE MATERIALS.* REPORT 34. LUND, SVERIGE: DIVISION OF BUILDING TECHNOLOGY AT LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY.
- [6] VUORINEN, J. (1970) ON THE USE OF DILATION FACTOR AND DEGREE OF SATURATION IN TESTING CONCRETE FOR FROST RESISTANCE, *NORDISK BETONG*, VOL 14, NO 1, PP, 37-64.
- [7] JACOBSEN, S. (RED.) (2016) *CONCRETE TECHNOLOGY 1.* 4. UTGAVE. TRONDHEIM: NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, DEPARTMENT OF STRUCTURAL ENGINEERING.
- [8] PEDERSEN, B. (2016) *SEMENTER MED FLYGEASKE OG SLAGG: LAB- OG FELTERFARINGER.* SVV-RAPPORT 517. STATENS VEGVESEN. TRAFIKKSIKKERHET, MILJØ- OG TEKNOLOGIAVDELINGEN.
- [9] VALENZA II, J.J., SCHERER, G.W. (2007 B) *A REVIEW OF SALT SCALING: 1. MECHANISMS.* CEMENT AND CONCRETE RESEARCH, VOL. 37, PP 1022-1034.
- [10] V. M. MALHOTRA & A. A. RAMEZANIANPOUR. (1994) FLY ASH IN CONCRETE. 2. UTG. CANADA CENTRE FOR MINERAL AND ENERGY TECHNOLOGY, S. 67-72, 153-165.
- [11] LANGLEY, W.S. & LEAMAN, G.H. (1998): "PRACTICAL USES FOR HIGH-VOLUME FLY ASH CONCRETE UTILIZING A LOW CALCIUM FLY ASH". PROCEEDINGS OF THE SIXTH CANMET/ACI/JCI INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLY ASH, SILICA FUME, SLAG AND NATURAL POZZOLANS IN CONCRETE, ACI SP-178, VOL.1, S. 545-574.
- [12] N. BOUZOUBAË, A. BILODEAU, B. FOURNIER, R.D. HOOTON, R. GAGNÉ, AND M. JOLIN. (2008) DEICING SALT SCALING RESISTANCE OF CONCRETE INCORPORATING SUPPLEMENTARY CEMENTING MATERIALS: LABORATORY AND FIELD TEST DATA, *CANADIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING* 35(11):1261-1275. DOI: 10.1139/L08-067.
- [13] NAIK, T.R., RAMME, B.W., TEWS, J.H. (1995) PAVEMENT CONSTRUCTION WITH HIGH-VOLUME CLASS C AND CLASS F FLY ASH CONCRETE, *ACI MATERIALS JOURNAL*, VOL. 92, PP 200-210.
- [14] JOHNSTON C. (1987) EFFECT OF MICROSILICA AND CLASS C FLY ASH ON RESISTANCE OF CONCRETE TO RAPID FREEZING AND THAWING AND SCALING IN THE PRESENCE OF DEICING AGENTS. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, FARMINGTON HILLS, MICH. PP. 1183–1204. REPORT SP-100.
- [15] P. KLIEGER, S. GEBLER (1987) FLY ASH AND CONCRETE DURABILITY. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, DETROIT, SPECIAL PUBLICATION, S. 1043-1069.

- [16] SNOECK, D., VAN DEN HEEDE, P., DE BELIE, N. (2016) TOWARDS AN ADEQUATE DEICING SALT SCALING RESISTANCE OF HIGH-VOLUME FLY ASH (HVFA) CONCRETE AND CONCRETE WITH SUPERABSORBENT POLYMERS (SAPS) FROST ACTION IN CONCRETE. RILEM PRO 114, s. 141-150.
- [17] BILODEAU, A., SIVASUNDARAM, V., PAINTER, K. E., MALHOTRA, V. M. (1994) DURABILITY OF CONCRETE INCORPORATING HIGH VOLUMES OF FLY ASH FROM SOURCES IN THE U.S., ACI MATERIALS JOURNAL, VOL 91, S 3-12.
- [18] CEN/TS 12390-9:2015 *TESTING HARDENING CONCRETE – PART 9: FREEZE-THAW RESISTANCE – SCALING – COMPLEMENTARY ELEMENT*. TECHNICAL COMMITTEE CEN/TC 51 “CEMENT AND BUILDING LIMES”.
- [19] SWEDISH STANDARDS INSTITUTE (2015) SS 137003:2015 BETONG – ANVÄNDNING AV SS-EN 206 I SVERIGE. S. 23.
- [20] BØRSUM, O.C. (2017) *PREPARATION SYSTEM, SALT SCALING, ABSORPTION AND INTERNAL DAMAGE IN THE CEN/TS 12390-9 CONCRETE FROST TEST*. MASTEROPPGAVE. NTNU, GLØSHAUGEN.
- [21] JACOBSEN, S. OG SELLEVOLD, E.J. (1994) *FROST/SALT SCALING TESTING OF CONCRETE – IMPORTANCE OF ABSORPTION DURING TEST. NO. 14.1, NORDIC CONCRETE RESEARCH. NORWEGIAN CONCRETE ASSOCIATION*.
- [22] STANDARD NORGE (2006) *NS-EN 480-11 BESTEMMELSE AV LUFTPORESTRUKTUR I HERDNET BETONG*. TILGJENGELIG FRA:  
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=141994>
- [23] FONSECA, P.C, SCHERER, G.W. (2014) AN IMAGE ANALYSIS PROCEDURE TO QUANTIFY THE AIR VOID SYSTEM OF MORTAR AND CONCRETE, MATERIALS AND STRUCTURES, 48:3087–3098 DOI 10.1617/s11527-014-0381-9
- [24] ASTM C457 / C457M-16, STANDARD TEST METHOD FOR MICROSCOPICAL DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE AIR-VOID SYSTEM IN HARDENED CONCRETE, ASTM INTERNATIONAL, WEST CONSHOHOCKEN, PA, 2016, WWW.ASTM.ORG, s. 292-307.

## Vedlegg

### Vedlegg A Betongmaterialer

Dette vedlegget inneholder informasjon om bindemidler, tilsetningsmaterialer og tilsetningsstoff for betongene benyttet i oppgaven.



**MAPEI**

# Mapeair 25 1:9

**Air entraining admixture**

**CE**  
EN 934-2  
T 5

**AREA OF USE**  
**Mapeair® 25 1:9** is a surface active agent which promotes the formation of small air bubbles and is used to improve the frost resistance of concrete and mortar. **Mapeair® 25 1:9** also gives improved workability and reduces the risk of segregation. The product is usually used in combination with Mapei's plasticising or superplasticising admixtures. **Mapeair® 25 1:9** is based on synthetic tensides and tall oil derivatives.

**TECHNICAL CHARACTERISTICS**  
Concrete always contains a certain amount of air (1 - 3 %). In order to meet the usual requirements of 4 - 6 % air in fresh concrete, **Mapeair® 25 1:9** is added, which produces smaller and more evenly distributed air bubbles, which leads to improved freeze-thaw resistance.

Air introduced during mixing is transformed into small evenly distributed pores in the presence of **Mapeair® 25 1:9**. These entrained air bubbles also improve the workability and reduce the amount of water required. Increased air content leads generally to a decrease in compressive strength. A general guide is that 1 % of air reduces the compressive strength by 5 %. This is partly compensated for by the reduced need for water and by adding plasticising and/or superplasticising admixtures.

**Mapeair® 25** will also improve stability during transportation by reducing the risk of segregation for concrete containing a low volume of fine particles and actively preventing bleeding (transportation of water to the surface of fresh concrete).

**WORKING INSTRUCTIONS**  
**Mapeair® 25 1:9** is delivered ready for use and can be added directly into the mixer. To obtain an even distribution of air from batch to batch, it is important that **Mapeair® 25 1:9** is added at the same stage of the mixing procedure each time.

The dosage required to give the desired air content varies with aggregates, cement type and quantity present. Other additives may also have an influence. It is important that the addition of **Mapeair® 25 1:9** is determined by trial mixing and that the air content in the fresh concrete is checked regularly.

**DOSAGE**  
0.5 - 5.0 kg of **Mapeair® 25 1:9** pr. m<sup>3</sup> of concrete.

**ATTENTION**  
Variations in other components in the concrete can greatly influence the formation of air bubbles in concrete. In some cases duration of transport and transportation equipment used can produce variations in air content.  
If the mixing time has been too short the total measured air content may increase from production to delivery, whereas in most cases a reduction of air content is observed. Normally this reduction is the result of the release of larger, undesirable air bubbles.

# Mapeair 25 1:9

The producer must therefore base his calculations on experience with the particular constituents used.

## PACKAGING

Mapeair® 25 1:9 is available in 1000 liter IBC tanks and in tank.

## STORAGE

The product must be stored at temperatures between +8 and +35°C, and will retain its properties for at least one year if stored unopened in its original packaging. If the product is exposed to direct sunlight, colour variation may occur, but this will not affect the technical properties of the product.

## SAFETY INSTRUCTIONS FOR PREPARATION AND USE

Mapeair® 25 1:9 is not considered dangerous according to European regulations regarding classification of chemicals. It is recommended to wear gloves and goggles and to take usual precautions for handling of chemicals.

For further and complete information about the safe use of our product please refer to the latest version of our Material Safety Data Sheet.

## PRODUCT FOR PROFESSIONAL USE

### WARNING

*The technical recommendations and details in this product description represent our current knowledge and experience of the products. All the above information should be treated as a guide and full consideration should be given. Anyone using the product must ensure that it is suitable for the intended purpose before use. The manufacturer cannot be held liable for use of the product for purposes for which it is not recommended or in the event of accidental use.*

Please refer to the most recent version of the technical data sheet on our website at [www.mapei.no](http://www.mapei.no)

All relevant references for the product are available upon request and from [www.mapei.no](http://www.mapei.no)

## TECHNICAL DATA (typical values)

### PRODUCT IDENTITY

Type:	liquid
Colour:	transparent
Viscosity:	low viscosity < 20 mPa*s
Solid content, (%):	0.42 ± 0.04
Density, (g/cm <sup>3</sup> ):	1.00 ± 0.02
pH:	8.5 ± 1
Chloride content, (%):	≤ 0.05
Alkali content (Na <sub>2</sub> O-equivalent), (%):	≤ 0.2

### CHARACTERISTICS OF CONCRETE CONTAINING MAPEAIR 25 1:9:

Volume of air in concrete mixture EN 12350-7:	6 % at dosage 0.05 % weight of cement (reference 2.2 %)
Spacing factor in hardened concrete, EN 480-11 (mm):	0.190 (requirement < 0.200)
Specific surface, EN 480-11, (mm <sup>2</sup> /mm <sup>3</sup> ):	25.2 (requirement > 25)
Frost resistance (scaling) - EN 12390-9 (kg/m <sup>2</sup> ):	0.05 (best classification < 0.1 : excellent)



Any reproduction of text, photos and illustrations published here is prohibited and subject to prosecution

05.10.2015 GB





# Dynamon SX-23

Superplasticizing  
additive for concrete  
and mortar



#### PRODUCT DESCRIPTION

**Dynamon SX-23** is a very effective superplasticizing admixture based on modified acrylic polymers. This product is part of the **Dynamon System**. This system is based on DPP technology (Designed Performance Polymers) developed by Mapei, where the properties of the admixtures are custom built for different kinds of concrete. The **Dynamon System** is developed from Mapei's own composition and production of monomers.

#### APPLICATION AREAS

**Dynamon SX-23** is specially designed for ready-mix concrete production and can be used to increase the workability for all types of concrete and/or reduce water consumption.

Some special areas of application are:

- Watertight concrete that requires high or very high strength and strict requirement to concrete durability in aggressive environments.
- Concrete with high workability requirements.
- Self-compacting concrete with somewhat longer open times. If necessary, this type of concrete can be stabilised with a viscosity enhancing admixture, such as **Viscofluid** or **Viscostar**.

- Frost resistant concrete – in combination with an air entraining agent like **Mapeair**. The type of air entraining is chosen based on the properties of the other ingredients.
- Concrete for flooring to create a more pliable concrete with greater workability. High dosages of the product and low temperatures can lead to a certain retardation of the concrete.

**Dynamon SX-23** differs greatly from superplasticizing admixtures based on sulphonated melamines and naphthalenes, as well as from first-generation acrylic-based polymers – by having a higher water-reducing effect and a longer open time.

The necessary dosage to achieve the desired workability/water reduction will be significantly lower when using **Dynamon SX-23**, than with older types of superplasticizing admixtures.

The time of closing **Dynamon SX-23** is not so important, but the shortest mixing time is generally obtained when adding **Dynamon SX-23** after at least 80 % of the mixing water is added. It is advisable to do some preliminary testing to obtain optimal utilization of the mixing equipment.



# Dynamon SX-23

## PROPERTIES

**Dynamon SX-23** is a water soluble product of active acrylic polymers that effectively disperses cement within the mixture.

This effect can be utilised in three ways:

1. To reduce the amount of mixing water, but at the same time maintain the concrete workability. Lower w/c ratio gives increased strength, reduced permeability and improved durability.
2. To increase workability compared to concrete with the same w/c ratio. The strength remains the same but ease of placement is improved.
3. To reduce both the water and the cement without altering the mechanical strength. Through this method it is possible to reduce costs (less cement), shrinkage (less water) and also the risk of temperature gradients due to the lower heat of hydration. This last effect is particularly important for concrete containing a high percentage of cement.

## COMPATIBILITY WITH OTHER PRODUCTS

**Dynamon SX-23** can be combined with Mapei's other concrete additives, for example accelerators like **Mapefast** and setting retardants like **Mapetard**.

The product can also be combined with air entraining agents for production of frost-resistant concrete, **Mapeair** products. Selecting the type needed is done based on the properties of the other ingredients.

When combining products, it is recommended that testing is done to obtain the desired effect in the mixture. You may also contact our technical department.

## DOSAGE

**Dynamon SX-23** is added to achieve the desired effect, strength, durability, workability and cement reduction by varying its dosage between 0.3 and 2.0 % of the amount of cement + fly ash + microsilica.

Higher dosages increase the concrete's open time, which means the time where the concrete can be worked. A higher dosage and a lower concrete temperature will cause some retardation.

Test mixtures using the selected parameters are always recommended.

## PACKAGING

**Dynamon SX-23** is available in 25 liter cans, 200 liter drums, 1000 liter IBC tanks and in tank.

## STORAGE

The product must be stored at temperatures between +8 and +35°C, and will retain its properties for at least one year when stored unopened in original packaging. If the product is exposed to direct sunlight, colour variation may occur, but this will not affect the technical properties of the product.

## SAFETY INSTRUCTIONS FOR PREPARATION AND USE

**Dynamon SX-23** is not considered dangerous according to the European regulation regarding classification of mixtures. It is recommended to wear gloves and goggles and to take the usual precautions for handling of chemicals.

For further and complete information about safe use of our product please refer to our latest version of the safety data sheet.

PRODUCT FOR PROFESSIONAL USE

## WARNING

*Although the technical details and recommendations contained in this product data sheet correspond to the best of our knowledge and experience, all the above - information must, in every case, be taken as merely indicative and subject to confirmation after long-term practical application: for this reason, anyone who intends to use the product must ensure beforehand that it is suitable for the envisaged application: in every case, the user alone is fully responsible for any consequences deriving from the use of the product.*

Please refer to the current version of the technical data sheet, available from our web site [www.mapei.com](http://www.mapei.com)

All relevant references for the product are available upon request and from [www.mapei.com](http://www.mapei.com)

# Dynamon SX-23

## TECHNICAL DATA (typical values)

### PRODUCT IDENTITY

Appearance:	liquid
Colour:	yellow-brown
Viscosity:	low viscosity; <30 mPa·S
Solids content, %:	23.0 ± 1.1
Density, g/cm <sup>3</sup> :	1.05 ± 0.02
pH:	6 ± 1
Chloride content, (%):	< 0.05
Alkali content (Na <sub>2</sub> O-equivalent) %:	< 2.0

Any reproduction of text, photos and illustrations published here is prohibited and subject to prosecution.

21.01.2015 GB



PRODUCT DATA SHEET

# Anleggsement

## CEM I 52.5 N

Last revision April 2015

The cement satisfies the requirements according to NS-EN 197-1:2011 for Portland cement CEM I 52.5 N.

Properties		Declared values	Requirements according to NS-EN 197-1:2011
Fineness (Blaine m <sup>2</sup> /kg)		360	
Specific weight (kg/dm <sup>3</sup> )		3.14	
Soundness (mm)		1	≤ 10
Initial setting time (min)		120	≥ 45
Compressive strength (MPa)	1 day	18	
	2 days	30	≥ 20
	7 days	46	
	28 days	60	≥ 52.5
Sulfate (% SO <sub>3</sub> )		≤ 4.0	≤ 4.0
Chloride (% Cl <sup>-</sup> )		≤ 0.085	≤ 0.10
Water soluble chromium (ppm Cr <sup>6+</sup> )		≤ 2	≤ 2 <sup>1</sup>
Alkalies (% Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> )		0.60	
Clinker (%)		96	95-100
Minor additional constituents (%)		4	0-5

1. According to EU regulation REACH Annex XVII point 47 Chromium VI compounds.

**NORCEM**

HEIDELBERGCEMENT Group

Norcem AS, Postboks 142, Lilleaker, 0216 Oslo  
Tlf. 22 87 84 00 firmapost@norcem.no www.norcem.no



PRODUCT DATA SHEET

# ANLEGGSEMENT FA

## CEM II/A-V

LAST REVISION JUNE 2015

The cement satisfies the requirements according to NS-EN 197-1:2011 to Portland-fly ash cement CEM II/A-V 42.5 N.

Properties		Declared values	Requirements according to NS-EN 197-1:2011
Fineness (Blaine m/kg)		390	
Specific weight (kg/dm <sup>3</sup> )		3.02	
Soundness (mm)		1	≤ 10
Initial setting time (min)		165	≥ 60
Compressive strength (MPa)	1 day	15	
	2 days	24	≥ 10
	7 days	37	
	28 days	55	≥ 42.5 ≤ 62.5
Sulfate (% SO <sub>3</sub> )		≤ 3.5	≤ 3.5
Chloride (% Cl)		≤ 0.085	≤ 0.10
Water soluble chromium (ppm Cr <sup>6+</sup> )		≤ 2	≤ 2 <sup>1</sup>
Alkalies (% Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> ) <sup>2</sup>		0.6	
Clinker (%)		83	80-94
Fly ash (%)		17	6-20

1. According to EU regulation REACH Annex XVII point 47 Chromium VI compounds.
2. Calculated from the clinker part.

**NORCEM**  
HEIDELBERG CEMENT Group

Norcem AS, Postboks 142, Lilleaker, 0216 Oslo  
Tlf: 22 87 84 00 firmapost@norcem.no www.norcem.no

## Vedlegg B Metode og prosedyrer

Dette vedlegget inneholder informasjon tilknyttet metodedelen av oppgaven og omhandler gjennomføring og prosedyrer for både frosttesting og luftporeanalyse.

### SLIPEPROSEDYRER – STRUERS TEGRAMIN-30

Den antatt svakeste betongen med hensyn til sliping er hovedsakelig benyttet under utprøving av prosedyrer. Det er likevel benyttet blandinger uten luft (prosedyre 6 og 8) i utarbeidelsen av slipeprosedyre. Dette grunnet manglende tilgang på prøvestykker fra svakeste betong på det tidspunktet de to aktuelle prosedyrene (6 og 8) ble gjennomført.

Følgende diamantslipeskiver ble benyttet under sliping:

Akasel Aka-Piatto 220



Akasel Aka-Piatto 600



Akasel Aka-Piatto 1200



#### PROSEDYRE 1 (prøve nummer 63 A og 63 D):

220, 2 min, 50 N  
600, 4 min, 50 N  
1200, 4 min, 50 N

#### PROSEDYRE 2 (Blanding 1A, prøve nummer 12)

220, 4 min, 70 N  
600, 4 min, 70 N  
1200, 4 min, 70 N

#### PROSEDYRE 3 (Blanding 1A, prøve nummer 12C):

220, 10 min, 100 N  
600, 4 min, 70 N  
1200, 4 min, 70 N

#### PROSEDYRE 4 (Blanding 2A, prøve nummer 49)

220, 2 min, 200 N  
600, 4 min, 70 N  
1200, 4 min, 70 N

**GJELDER FOR ALLE PROSEDYRER:**  
300 rpm, co-rotation

**PROSEDYRE 5 (Blanding 2A, prøve nummer 48):**

220, 1 min, 150 N  
600, 2 min, 100 N  
1200, 2 min, 100 N

**PROSEDYRE 6 (Blanding 2B, prøve nummer 68):**

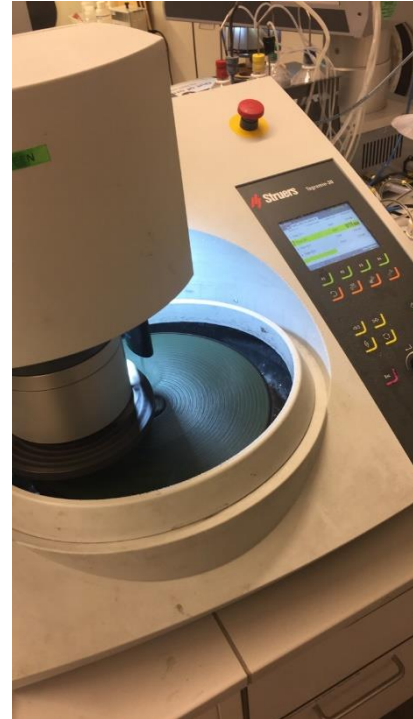
220, 1,5 min, 120 N  
600, 2 min, 100 N  
1200, 2 min, 100 N

**PROSEDYRE 7 (Blanding 2A, prøve nummer 48):**

220, 2 min, 120 N  
600, 2 min, 120 N  
1200, 2 min, 120 N

**PROSEDYRE 8 (Blanding 2B, prøve nummer 67)**

220, 1 min, 100 N (Dette gjøres 8-12 ganger, avhengig av  
betongkvalitet. Prøvestykket vaskes og børstes etter hver  
slipesevens på 1 min.)  
600, 2 min, 100 N  
1200, 2 min, 100 N



**SKANNING AV PRØVESTYKKER**

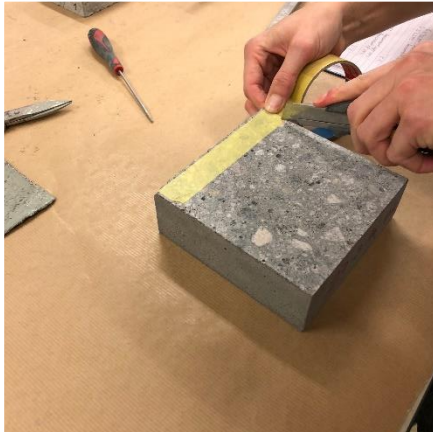
Prøvene ble skannet med Epson Perfection V600 Photo.





## PREPARERING AV PRØVESTYKKER - BORÅSTEST

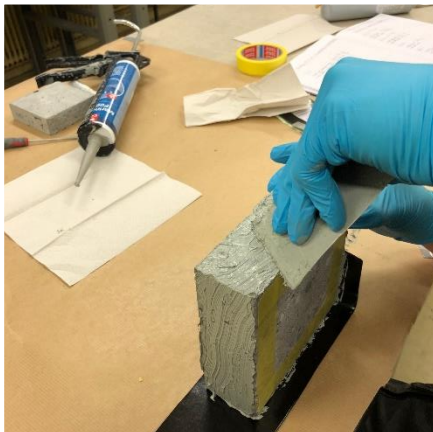
Det teipes langs kantene av prøvestykkene med en avstand på et par millimeter til kanten, for å unngå at limet som påføres senere skal feste seg til testflaten.



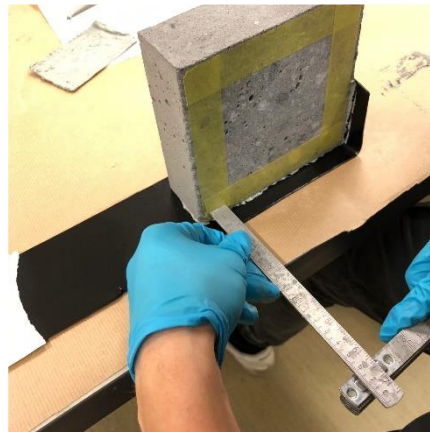
Det festes butyltape av typen Sitko Elastic på alle prøvens overflater bortsett fra den sagede testflaten.



Limet smøres jevnt utover alle flatene før teipen festes.



Underveis i prepareringen må man påse at fribordet på prøvens overflate er  $20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ .



## KLIMAROM

Prøvene oppbevares i et klimarom frem til fryse-/tine-testingen starter. Klimarommet skal ha en relativ fuktighet på  $65 \pm 5 \%$  og en temperatur på  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Fordampningshastigheten fra fritt vannspeil i et kar (gult kar til høyre på bildet) skal være  $45 \pm 15 \text{ g/m}^2\text{t}$ .



## MÅLING AV LENGDEENDRING - DYBLER

Det ble målt lengdeendring på utvalgte prøvestykker. Disse prøvene fikk installert invar dybler, som ble montert sentrisk på hver side av prøvestykket.



## PRØVEOPPSTILLING

For å sikre endimensjonal frysing blir bunnflaten og sidene isolert. Figuren til venstre viser hvordan plastduken hindrer at vannet på prøveflaten fordamper.



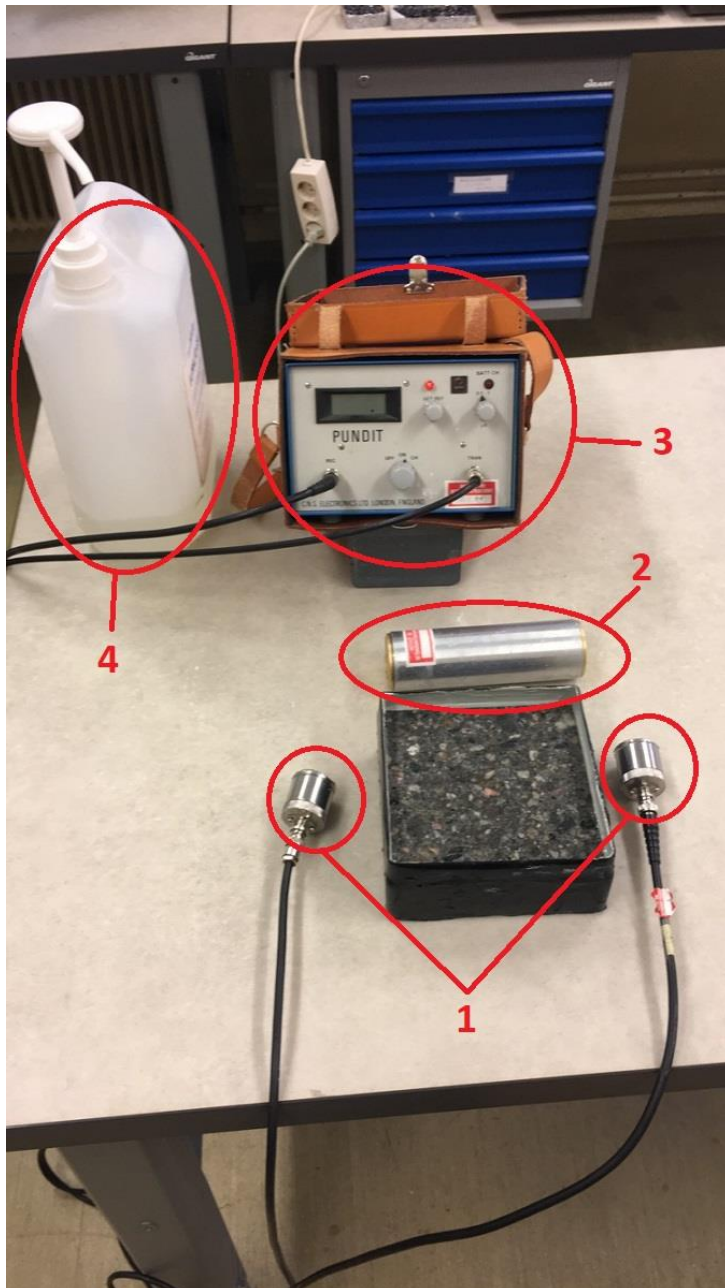


## FRYSESKAP

Prøvene ble plassert i fryseskapet som vist på bildet nedenfor. Det er fire prøver per hylle.



## MÅLING AV ULTRALYDHASTIGHET



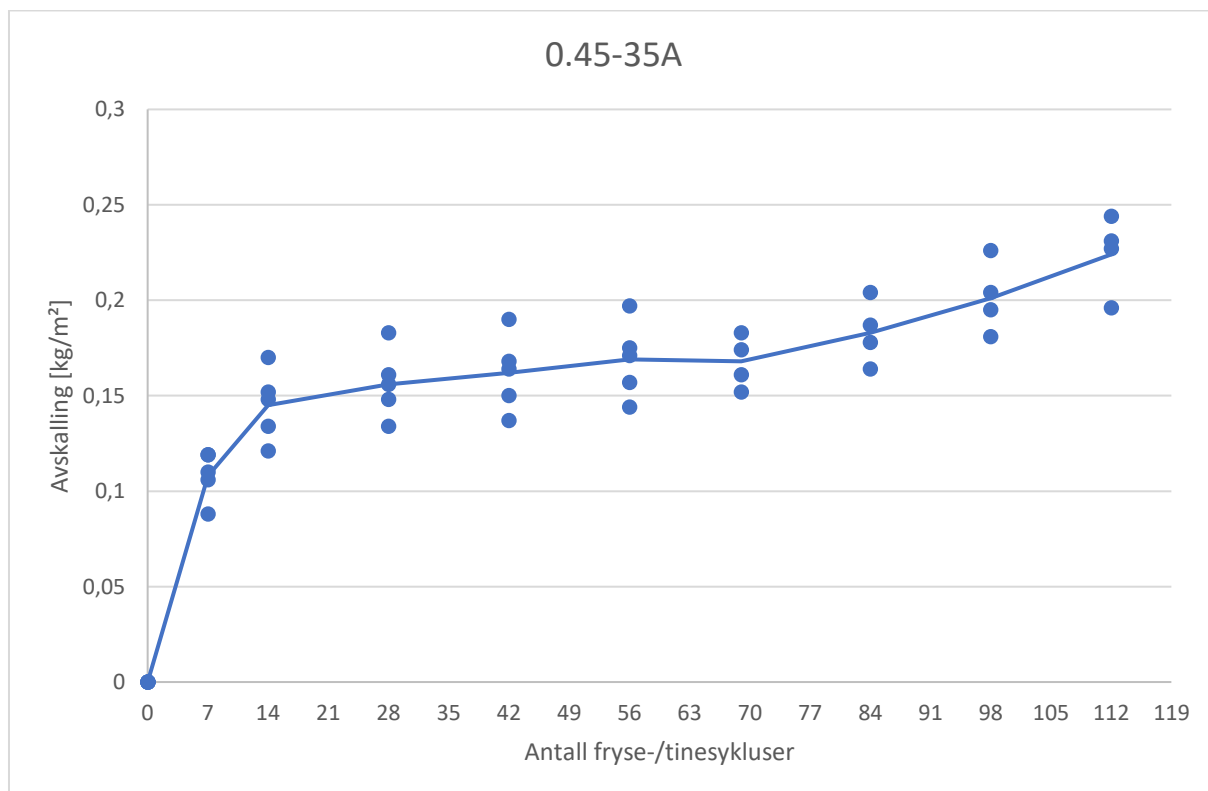
1. Transdusere
2. Kalibreringsstang
3. PUNDIT (Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating Tester) m aleapparat
4. Ultralydgel

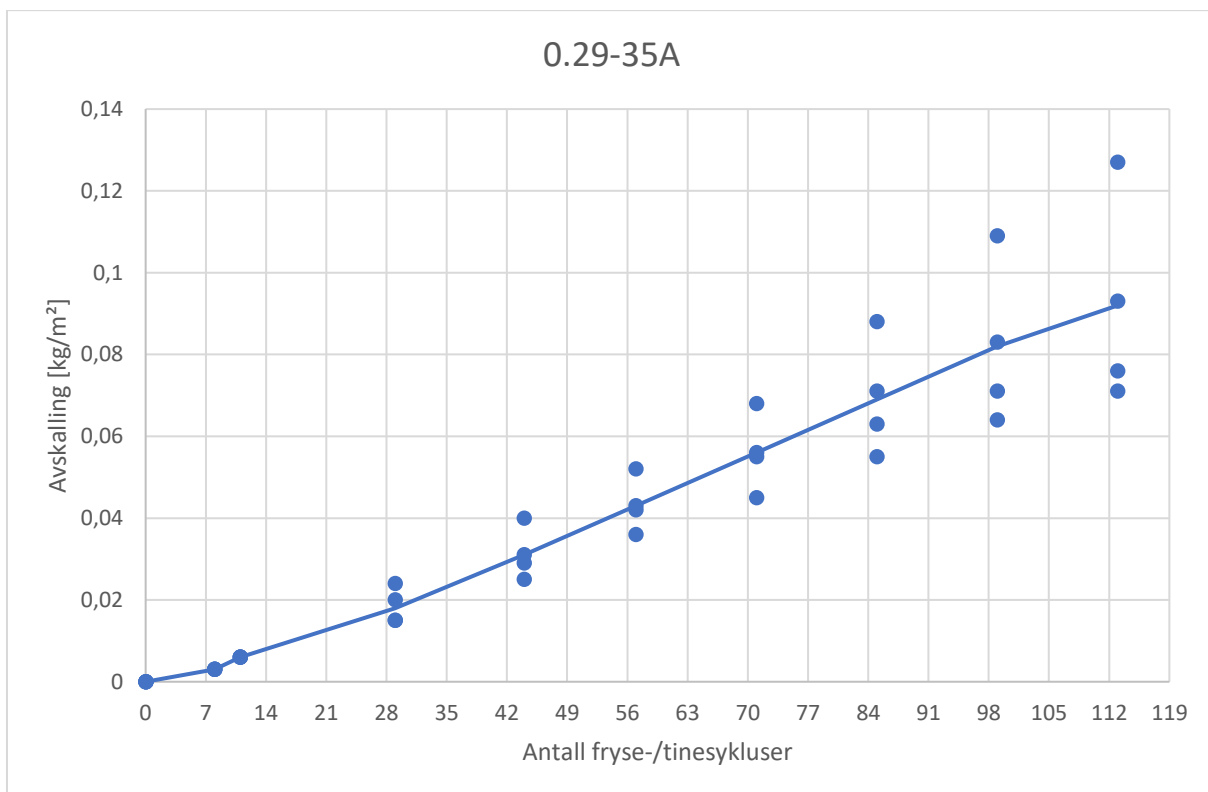
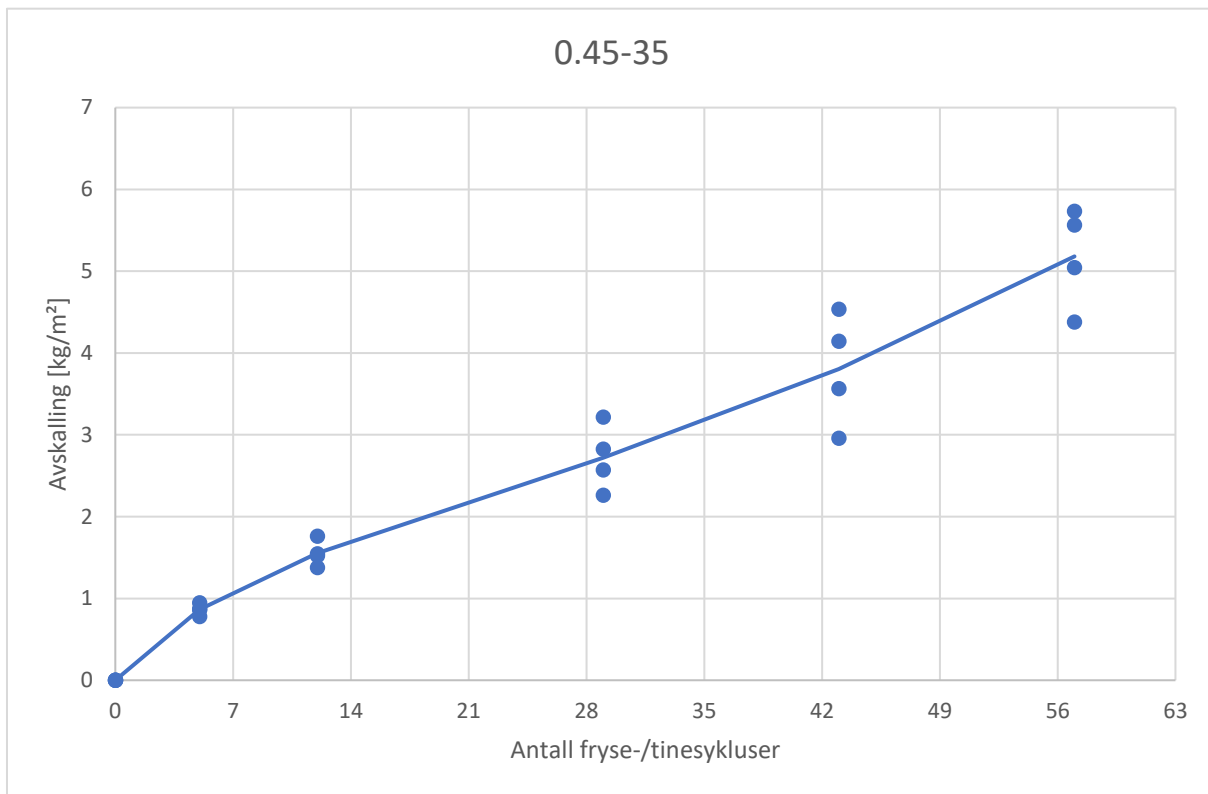


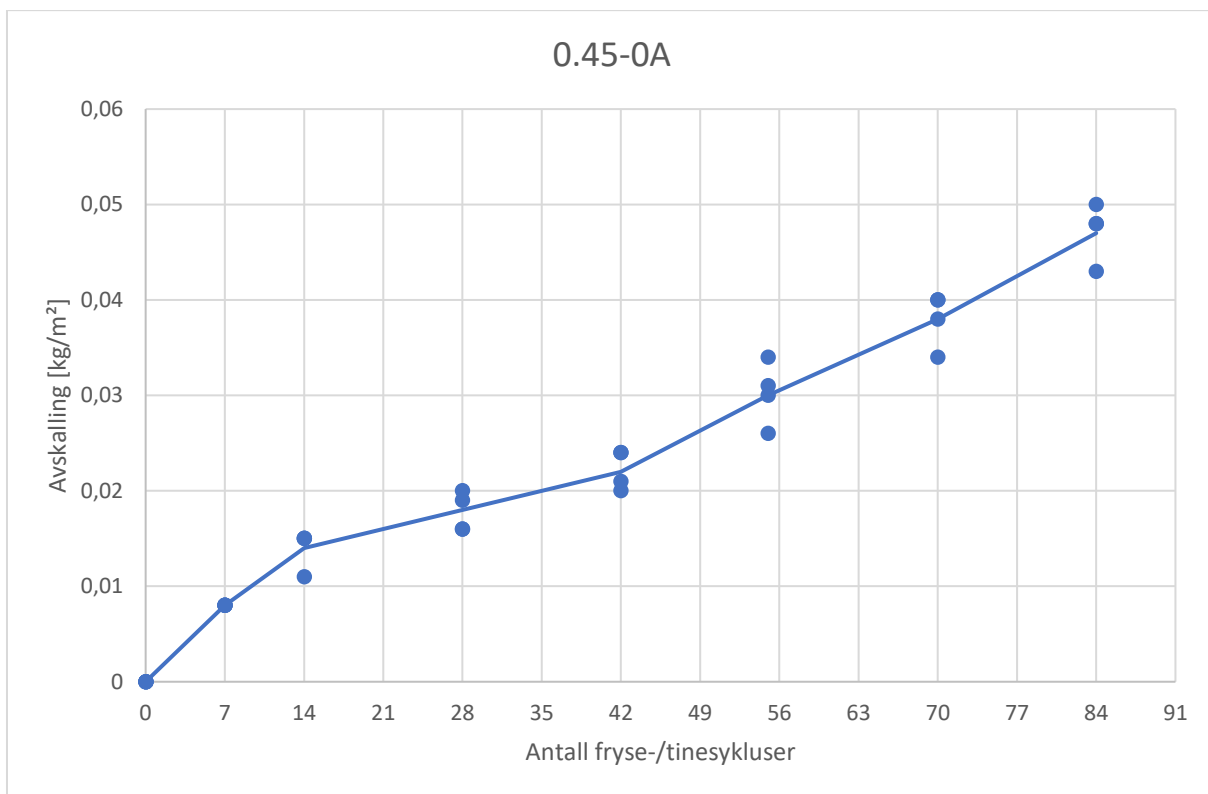
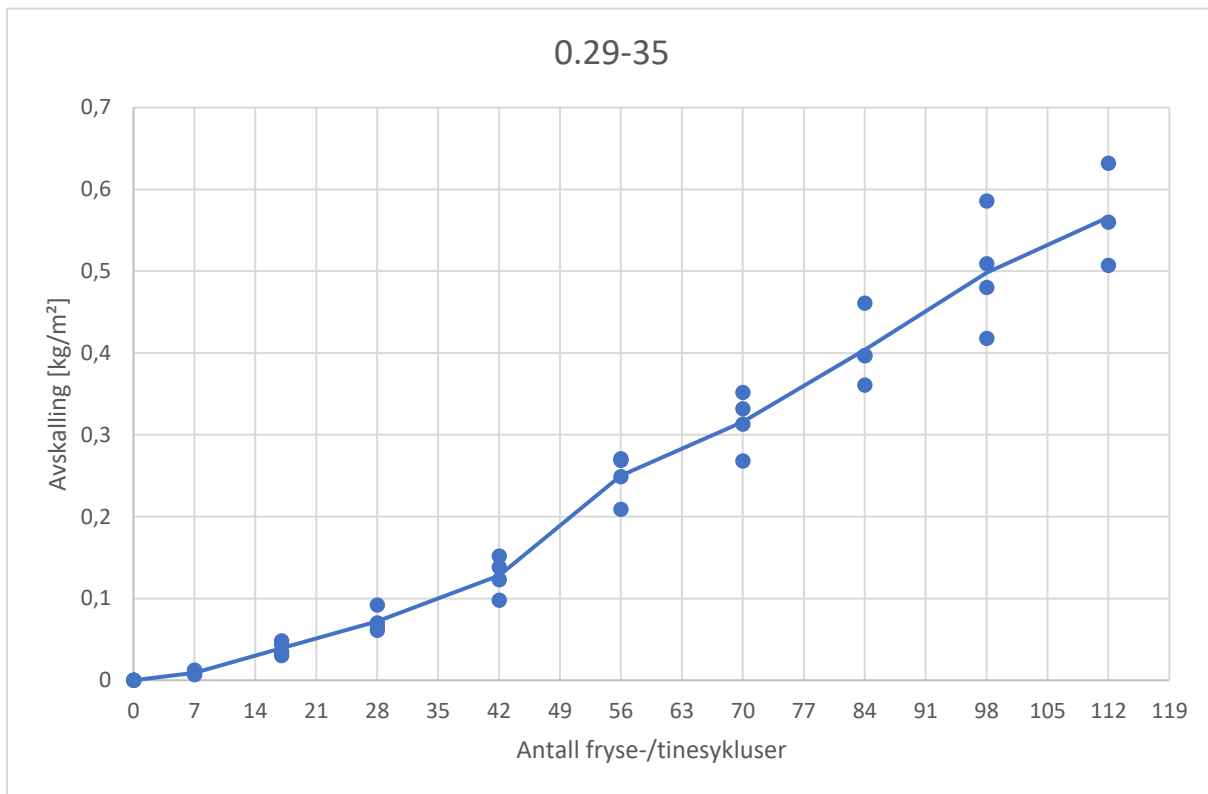
## Vedlegg C Resultater – Frosttesting

Dette vedlegget inneholder data som viser spredning i resultater for hver enkelt blanding. Vedlegget inneholder også informasjon og input vedrørende målinger av lengdeendring.

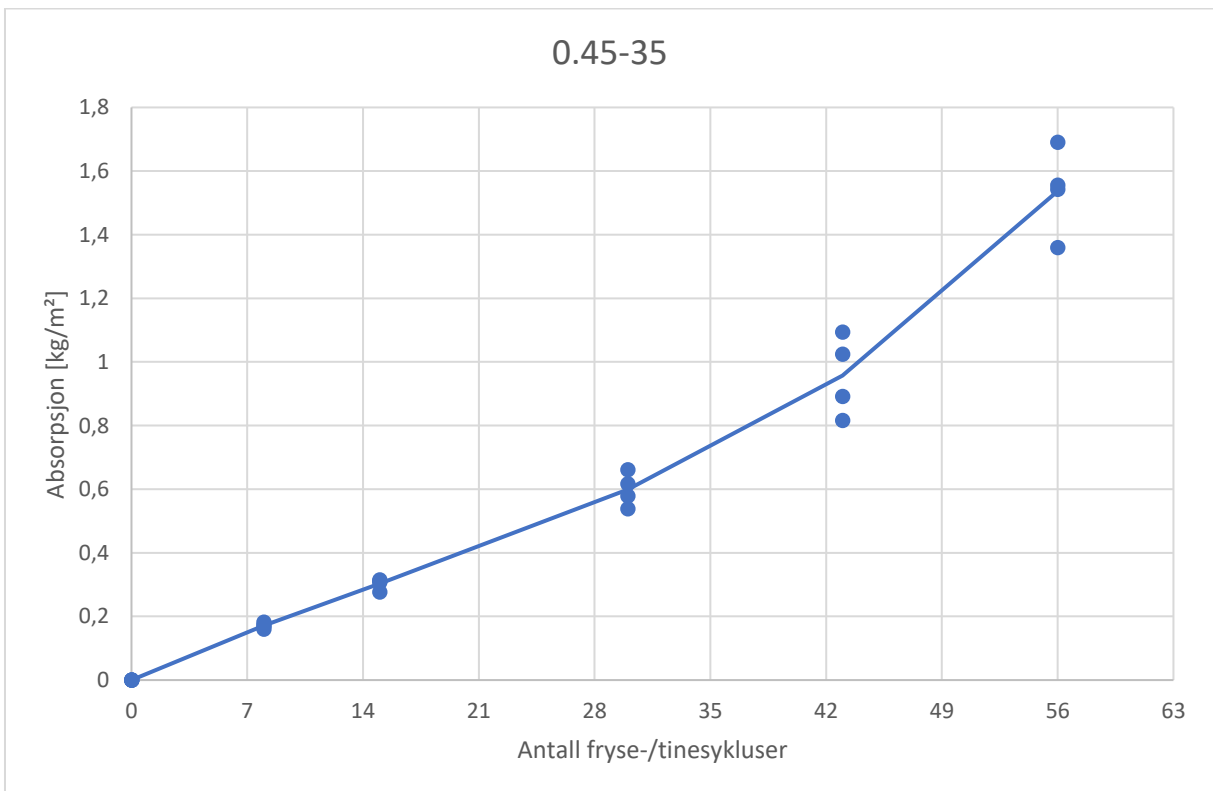
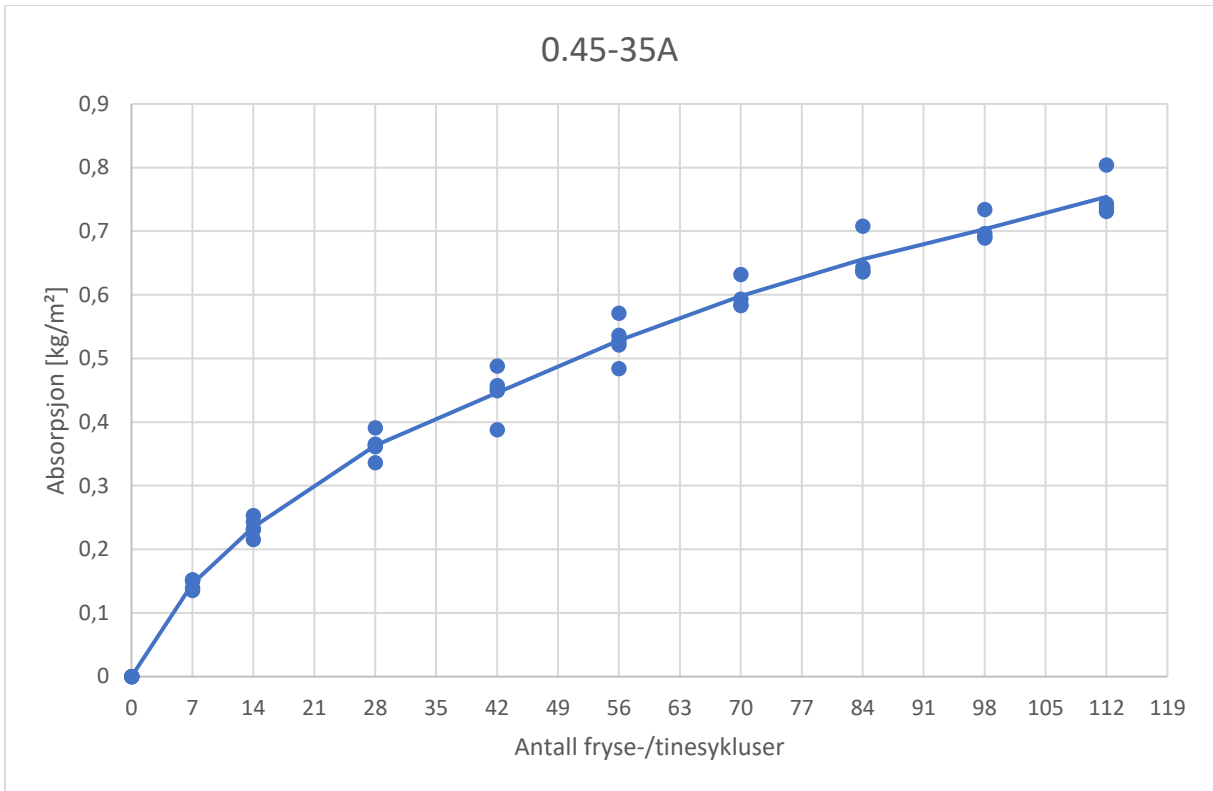
### AVSKALLING

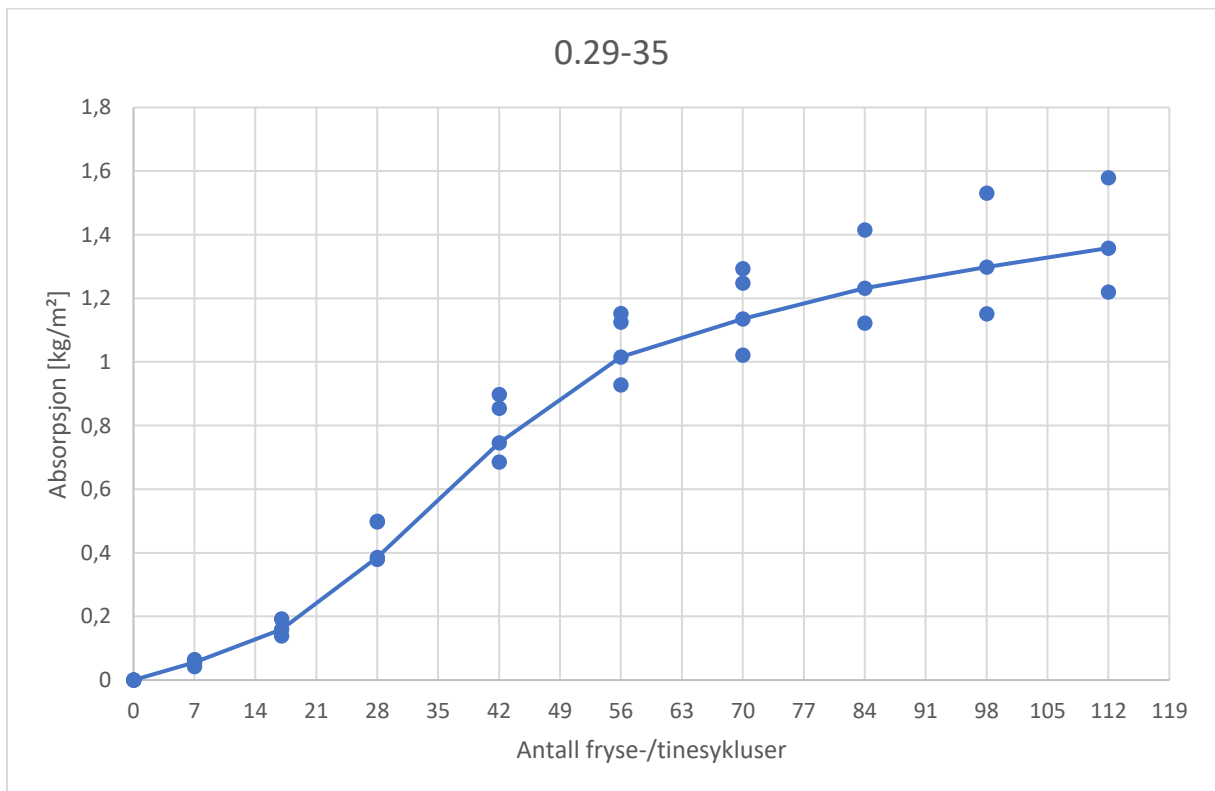
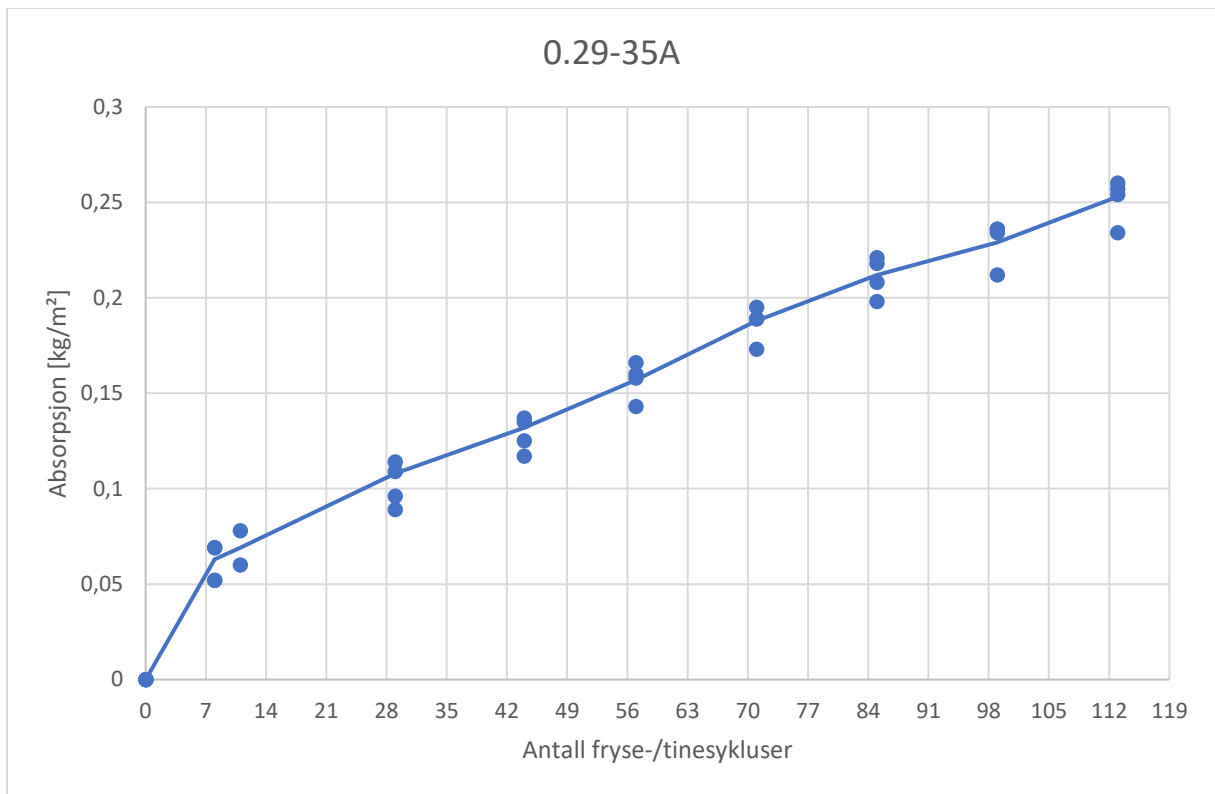


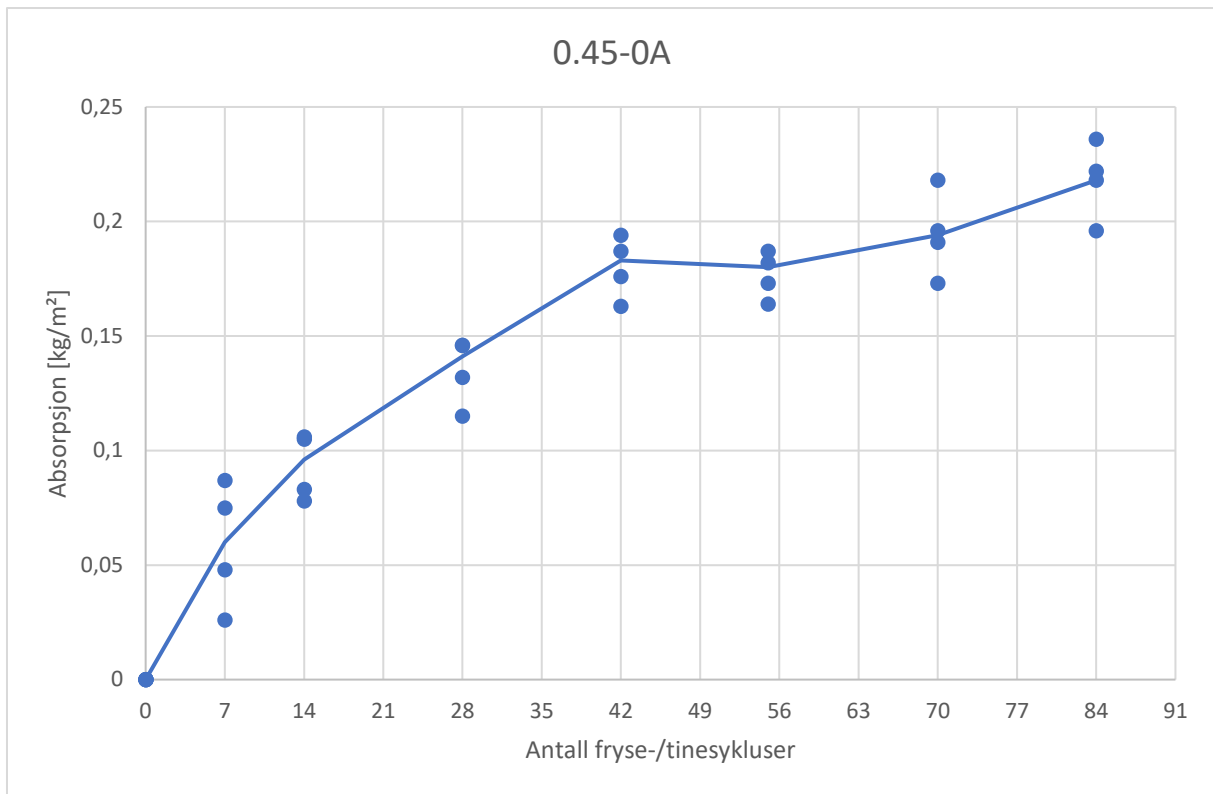




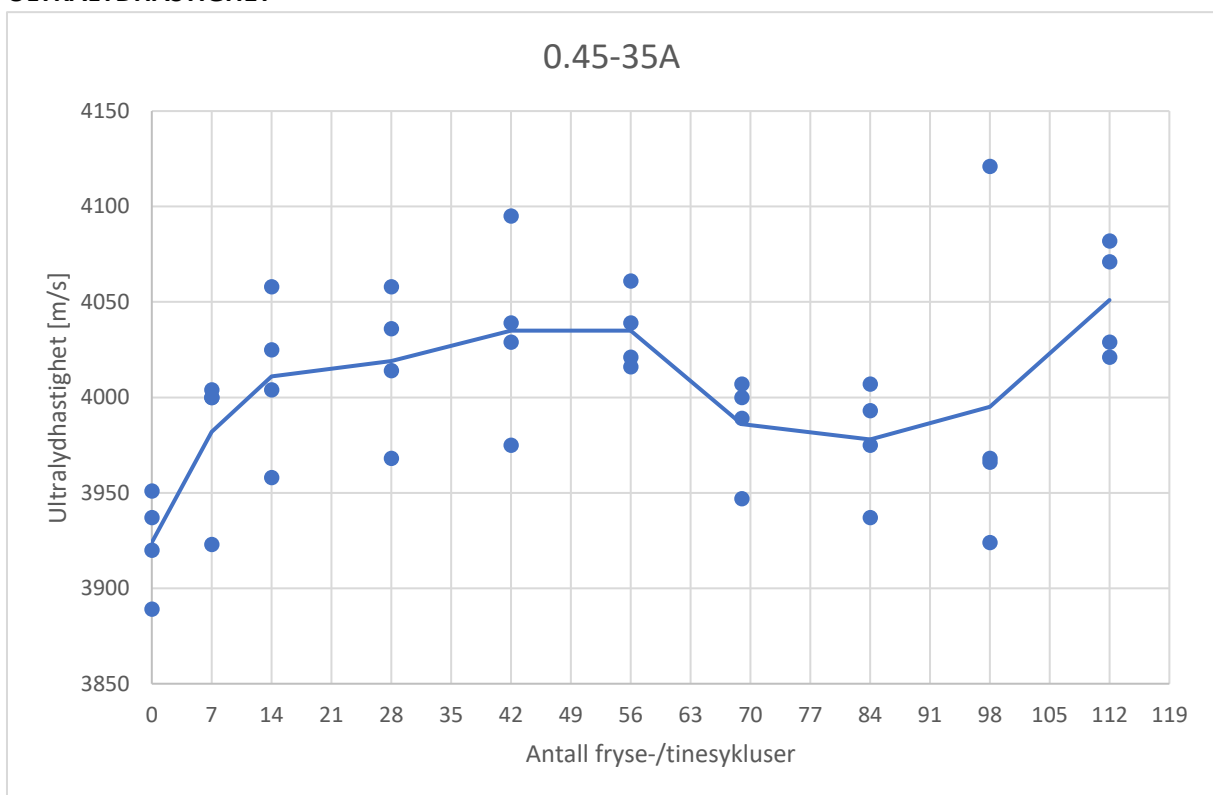
## ABSORPSJON

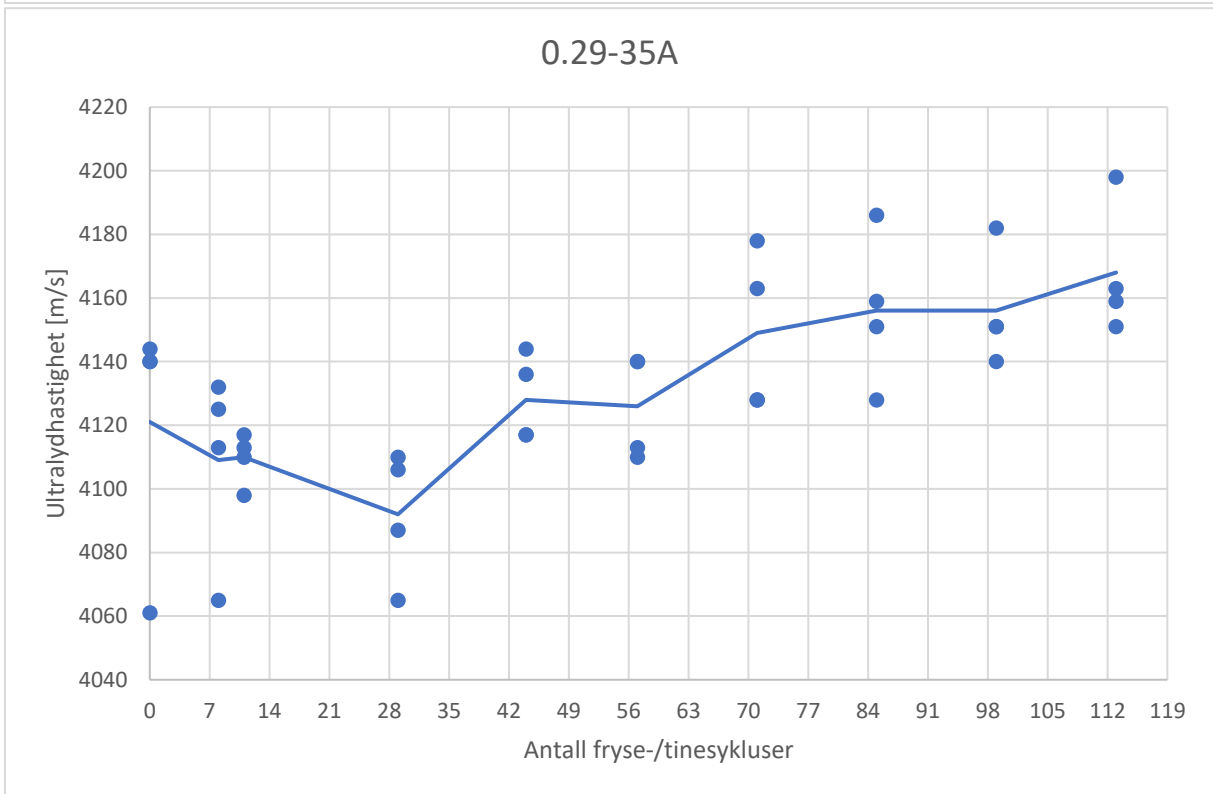
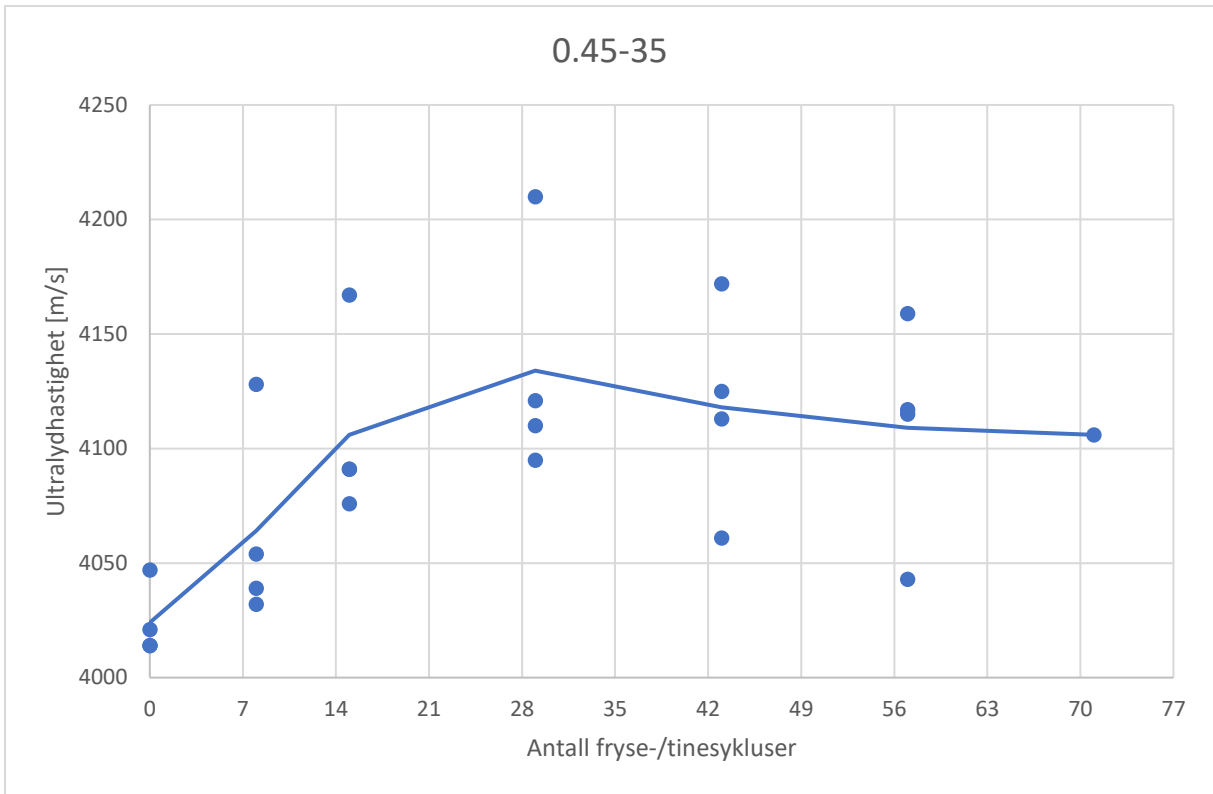


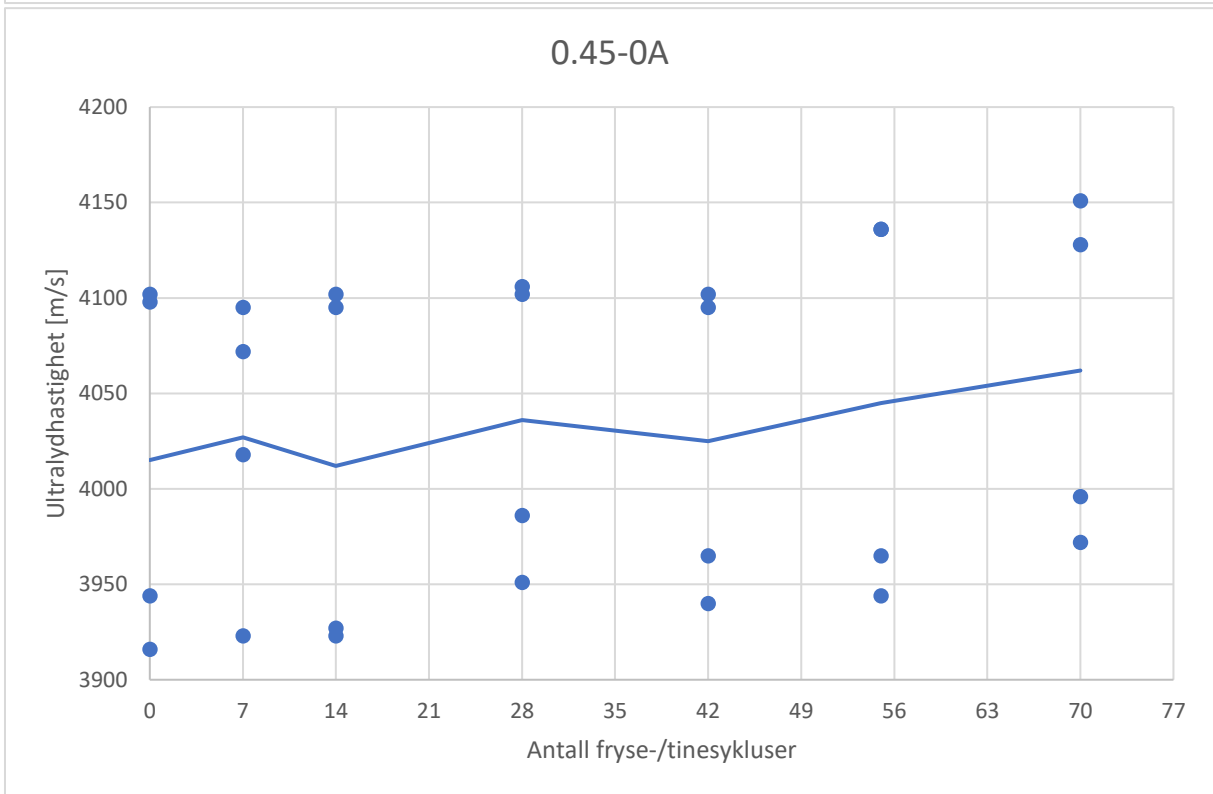
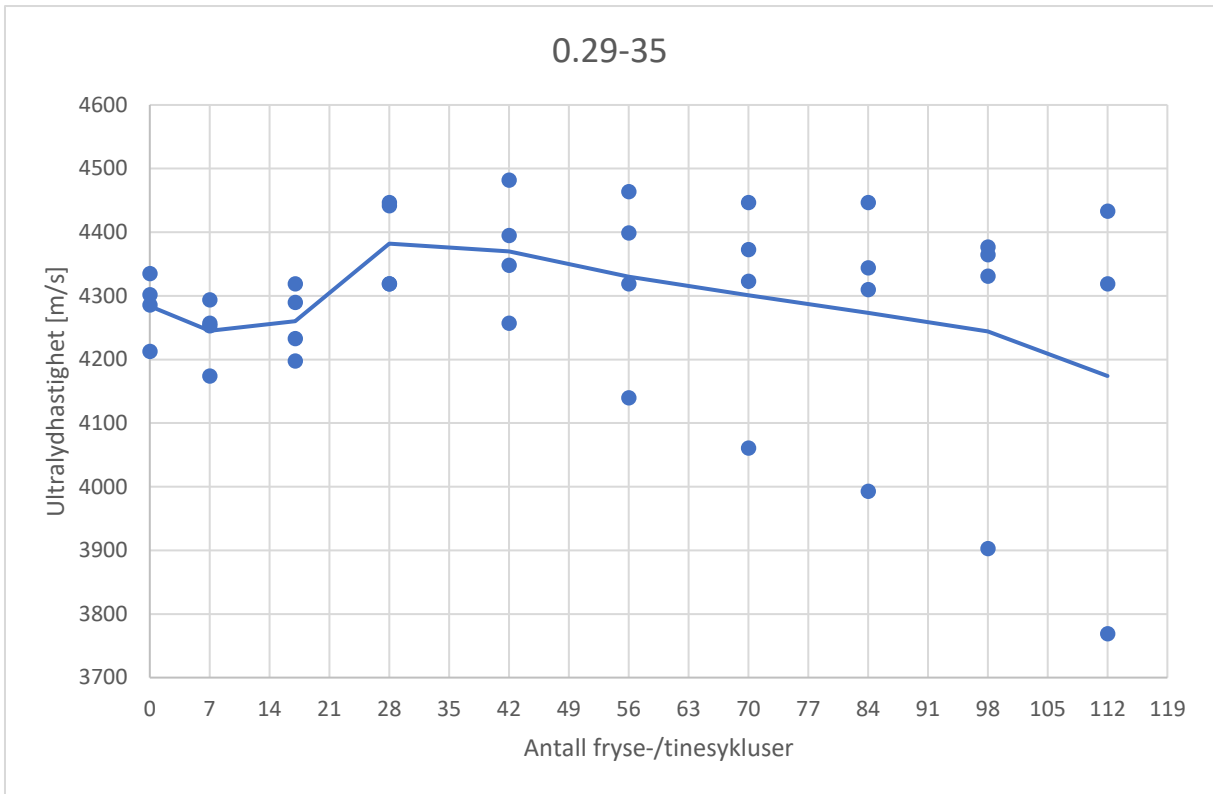




## ULTRALYDHASTIGHET









## DILATOMETRI

Blanding	Prøvestykke	Lengde, L [mm]
0.29-35A	103-2	116,19
0.29-35A	104-3	115,66
0.29-35	83-1	113,80
0.29-35	84-2	111,71
0.45-0A	121-1	112,67
0.45-0A	122-2	110,67

<b>103-2</b>	
Sykluser	dL [mm]
0	-3,8473
9	-3,828
16	-3,842
30	-3,846

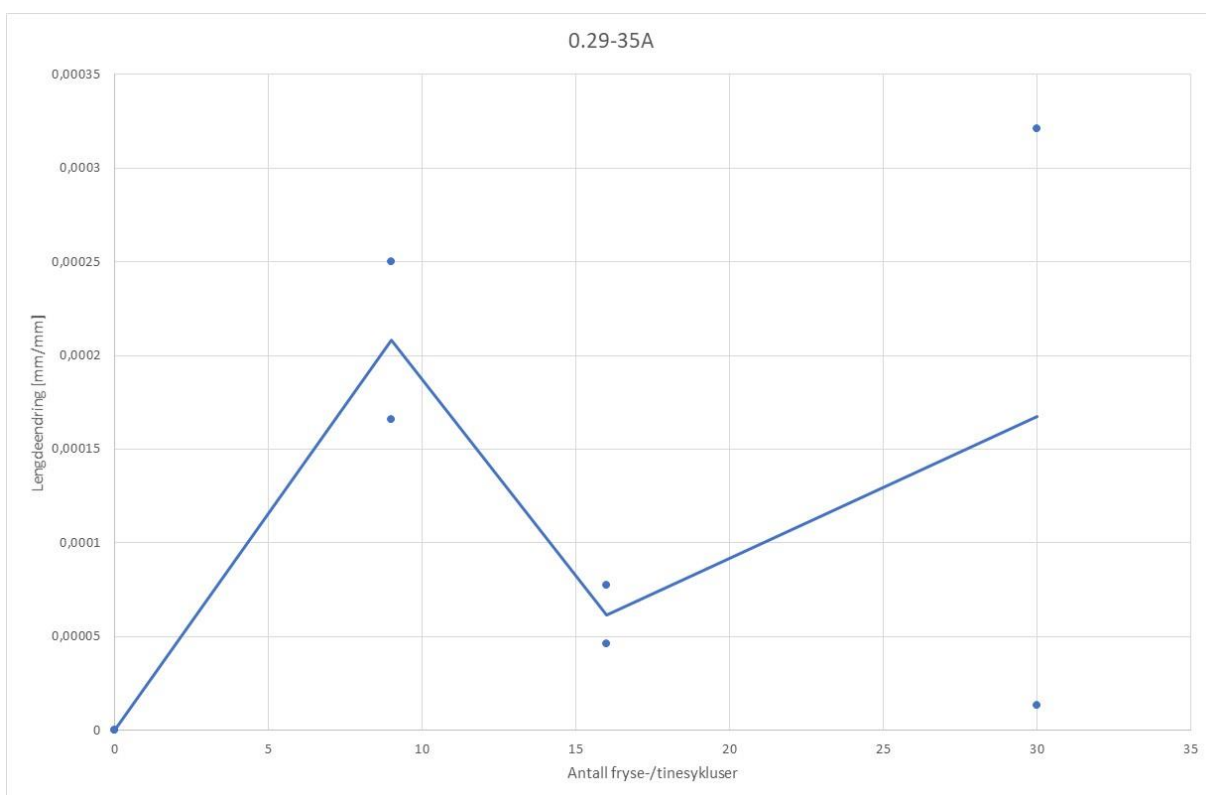
<b>104-3</b>	
Sykluser	dL [mm]
0	-3,42965
9	-3,398
16	-3,418
30	-3,390

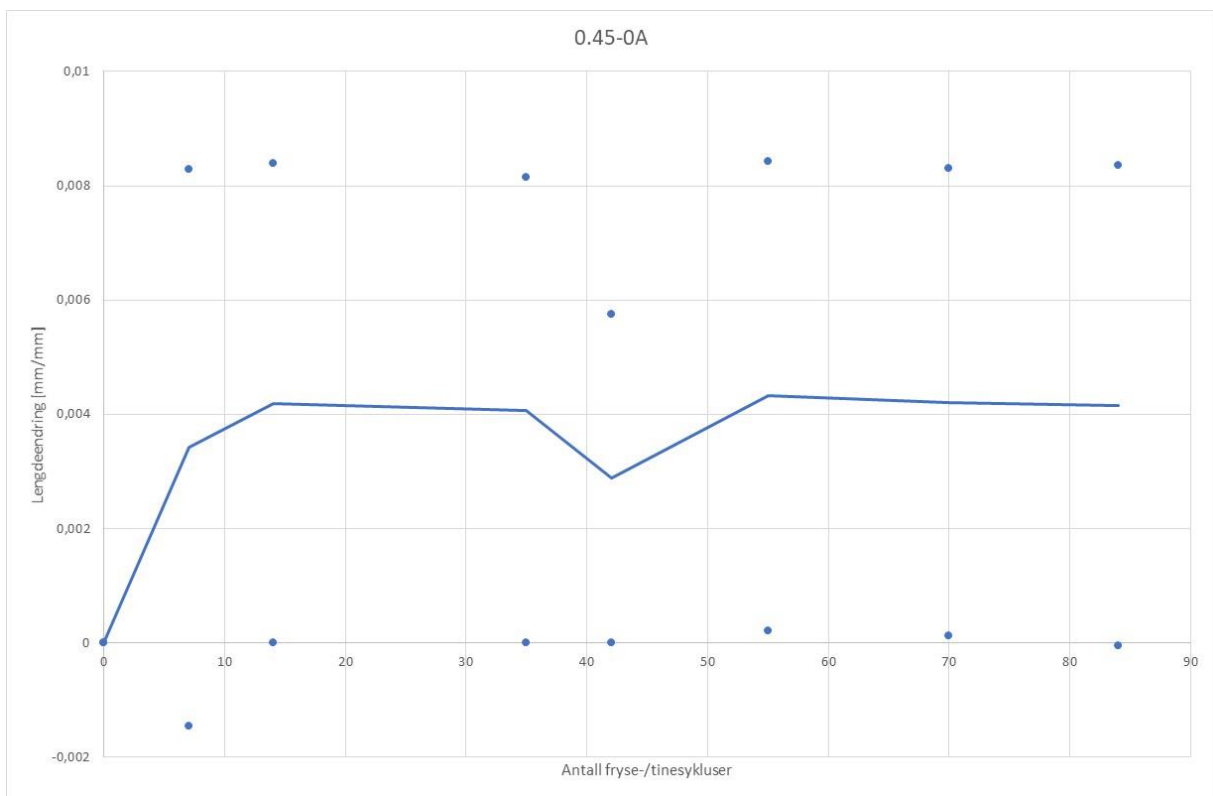
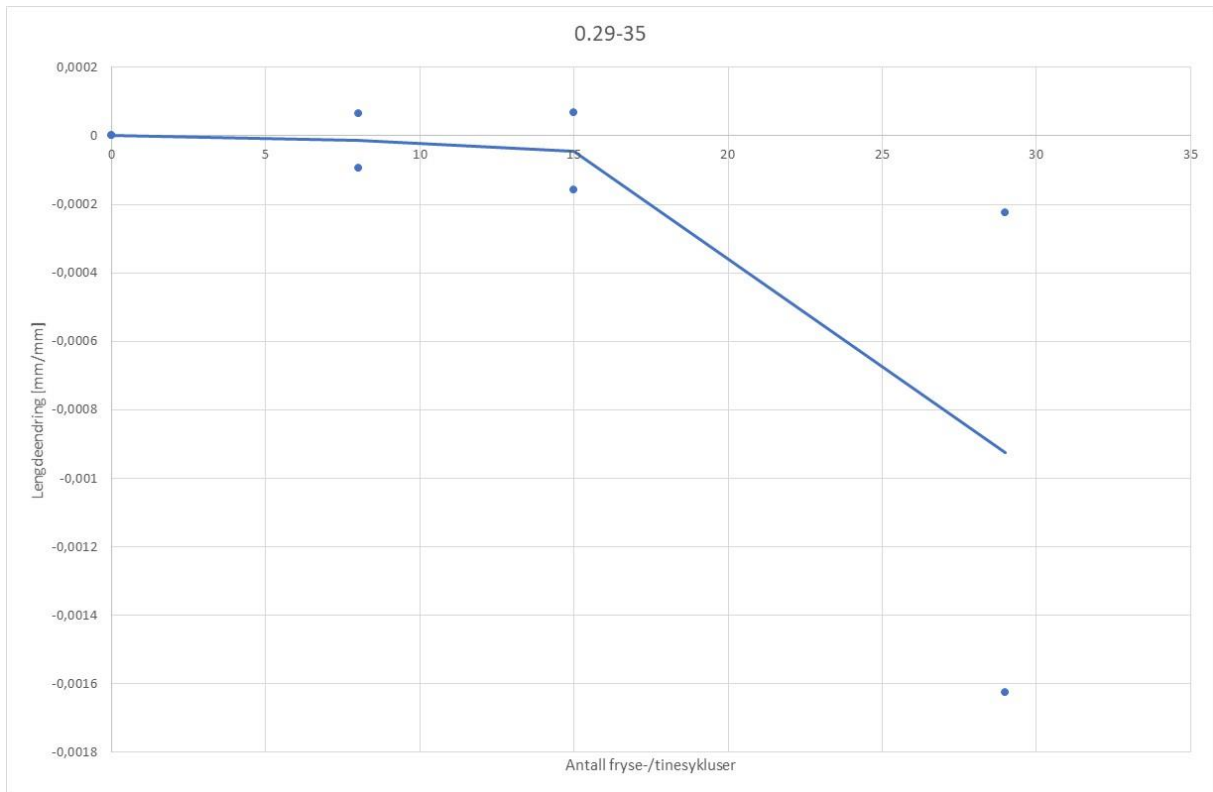
<b>83-1</b>	
Sykluser	dL [mm]
0	-1,57985
8	-1,5905
15	-1,598
29	-1,605

<b>84-2</b>	
Sykluser	dL [mm]
0	0,36267
8	0,37
15	0,370
29	0,181

121-1	
Sykluser	dL [mm]
0	-2,0909
7	-2,25385
14	-2,09055
35	-2,09117
42	-2,090445
55	-2,066
70	-2,0768
84	-2,0959

122-2	
Sykluser	dL [mm]
0	0,49444
7	1,4109
14	1,423
35	1,3963
42	1,1317
55	1,4271
70	1,4127
84	1,4196

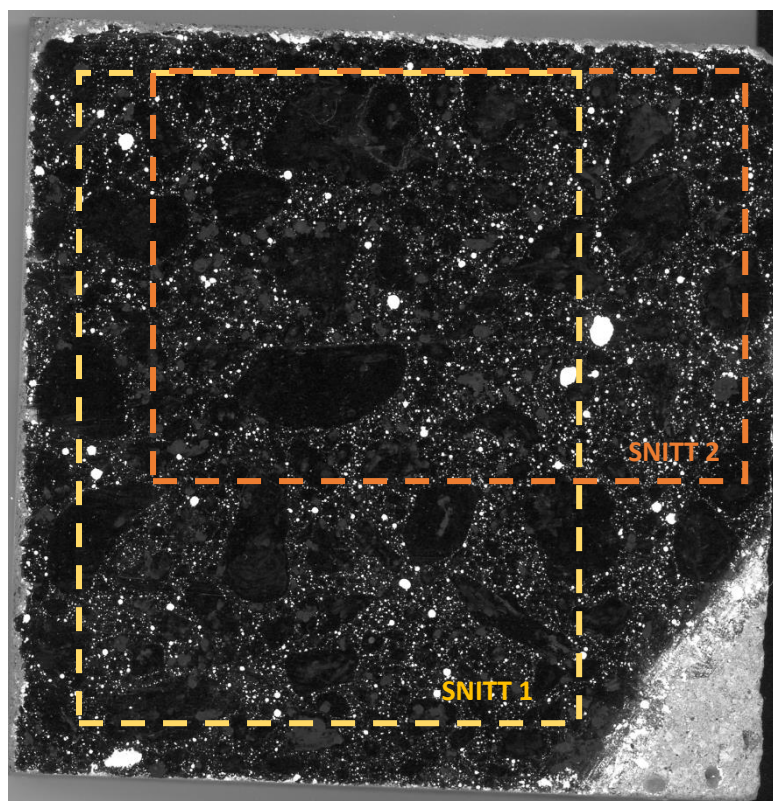




## Vedlegg D Resultater – Luftporeanalyse

Dette vedlegget inneholder informasjon om luftporestrukturen til de ulike blandingene. Dataene i dette vedlegget er utarbeidet av PhD-kandidat og medveileder Andrei Shpak.

### BLANDING 2A. 0,45-35 A



**Blanding 2A. Prøve #48.** Bildet 300ppt

Saget fra 100mm terning

Pastavolum – 266 L

ID	Bildeoppløsning, ppt	Pasta /luft - forhold	Total luft innhold, %	Spesifikk overflate, mm-1	Powers Avstands faktor, mm	Mean computed sphere radius, $\mu\text{m}$
2A #48 snitt 1	1200	6,52	3,92	24,880	0,210	24,052
	2400	6,67	3,84	28,665	0,184	21,283
	3200	6,65	3,85	30,421	0,173	18,968
	4800	6,66	3,84	29,351	0,180	22,823

2A #48 schnitt 2	3200	6,64	3,85	27,472	0,192	23,617
---------------------	------	------	------	--------	-------	--------

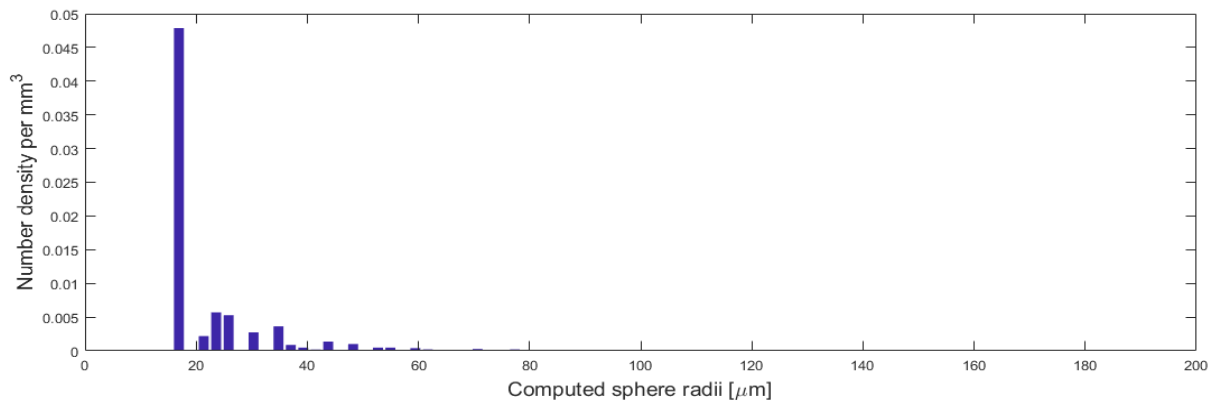
AVA				26,7	0,239	
-----	--	--	--	------	-------	--

Ferskbetong densitetsmetode			5,81			
-----------------------------	--	--	------	--	--	--

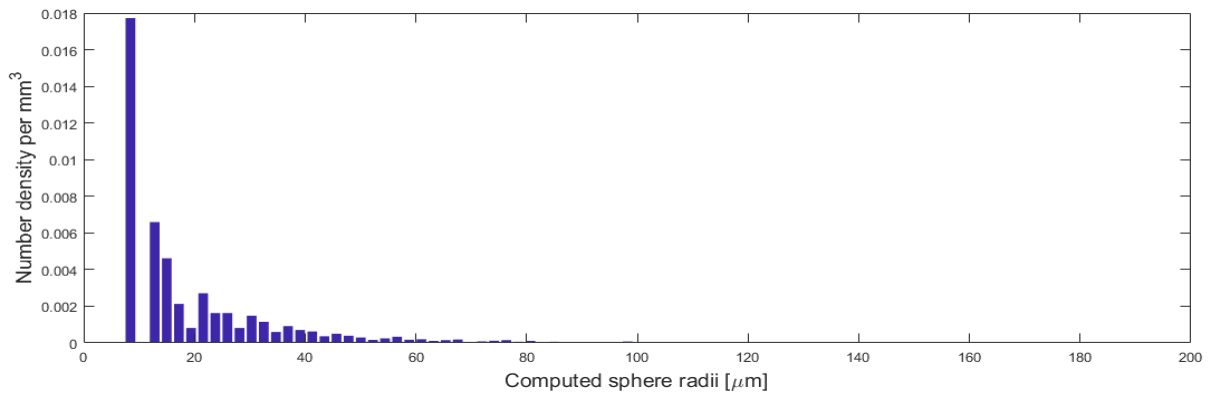
Avformingsdensitetsmetode			4,43			
---------------------------	--	--	------	--	--	--

PF			5,90			
----	--	--	------	--	--	--

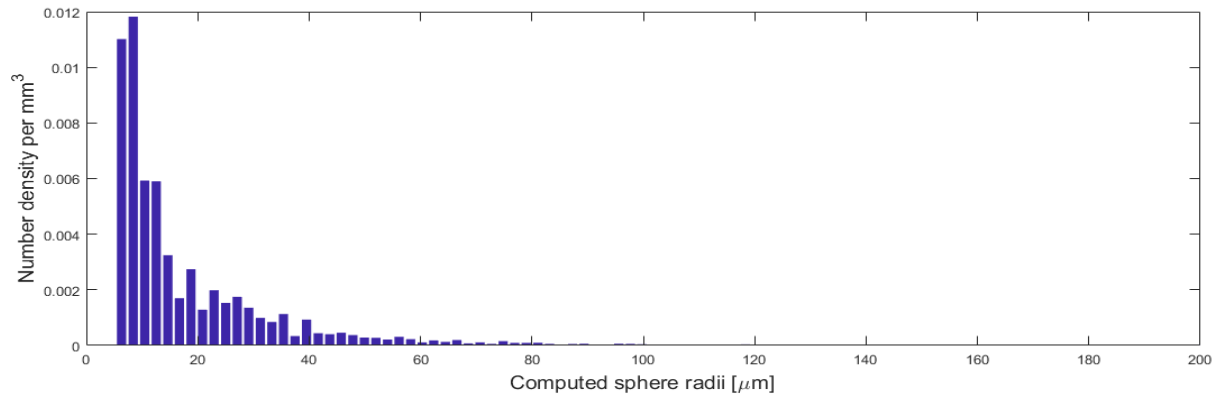
**2A #48 snitt 1**



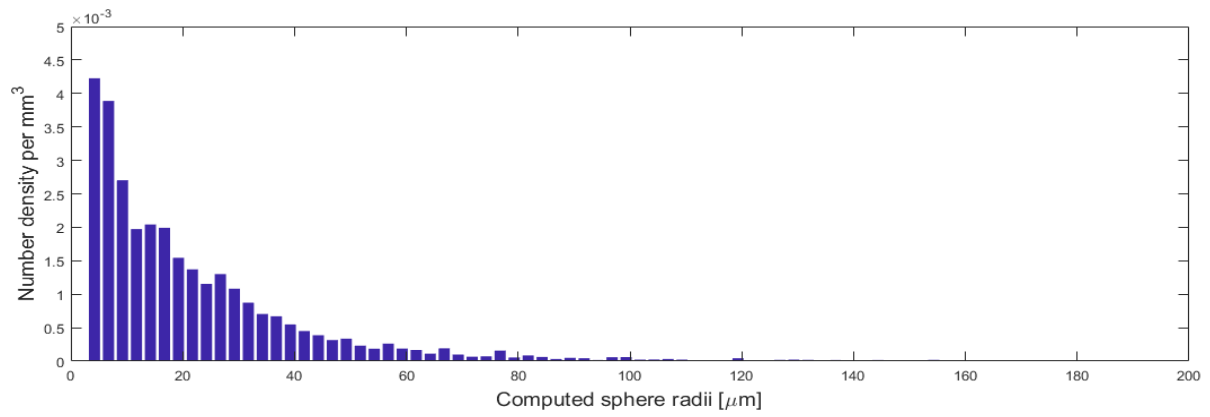
1200 ppt



2400ppt

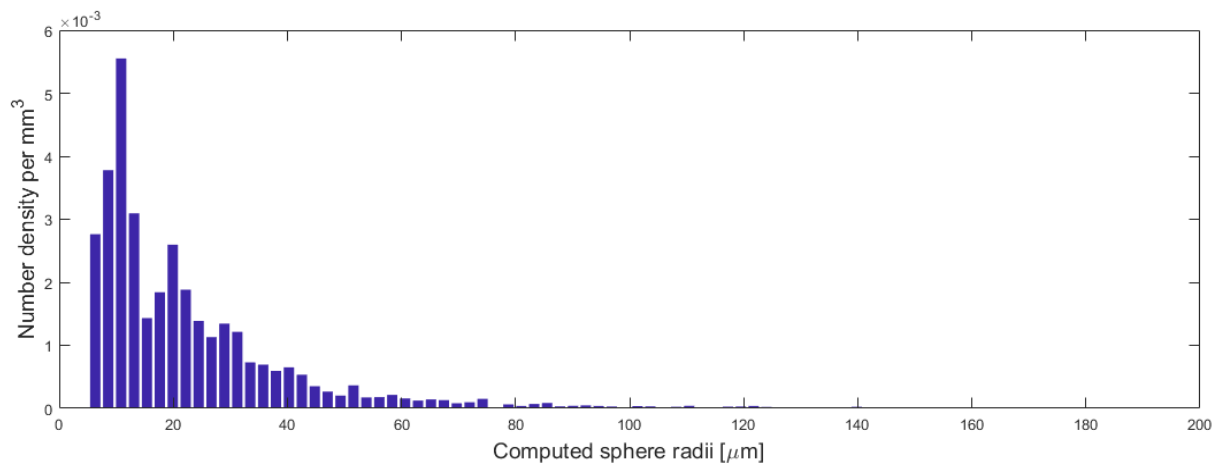


3200ppt

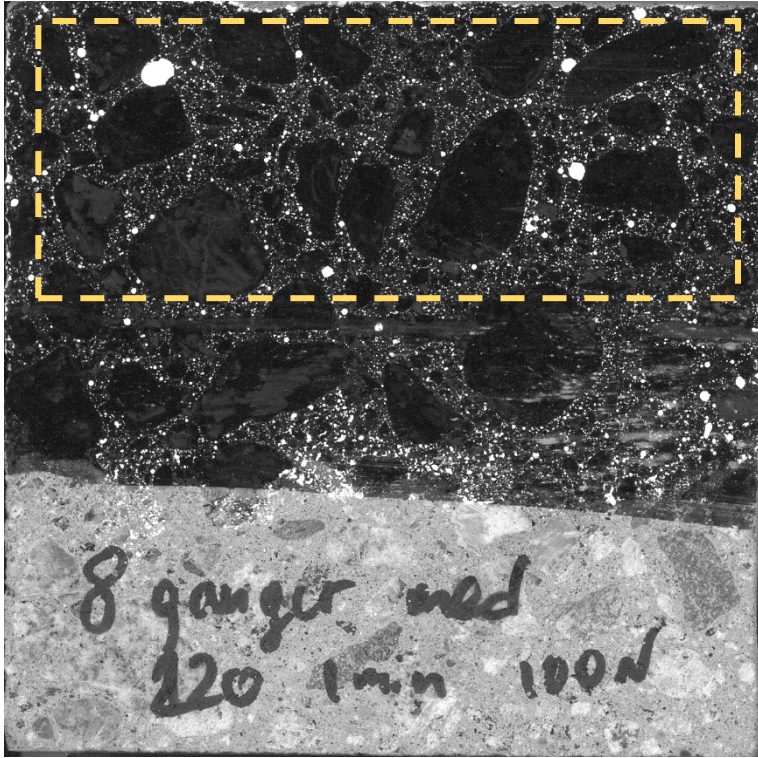


4800ppt

**2A #48 snitt 2**



3200ppt



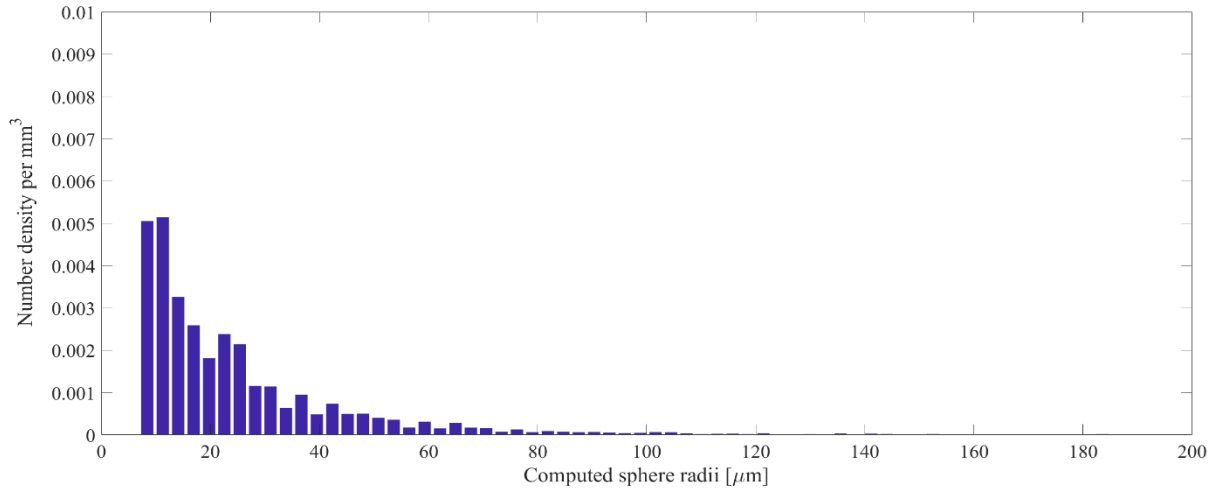
**Blanding 2A. Prøve #47C. Bildet 300ppt**

Saget fra 100mm terning

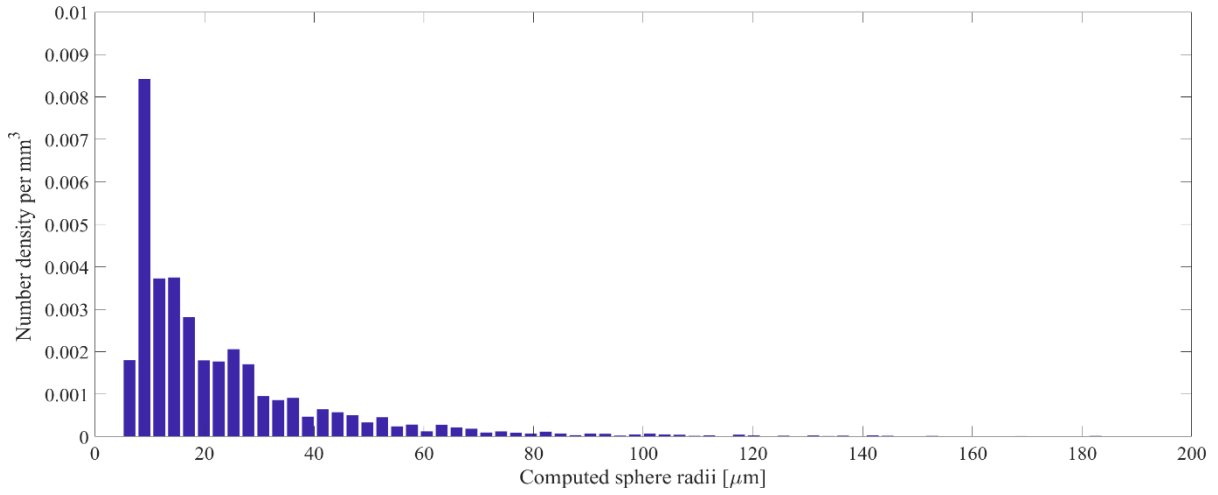
Pastavolum – 266 L

ID	Bildeoppløsning, ppt	Pasta /luft - forhold	Total luft innhold, %	Spesifikk overflate, mm <sup>-1</sup>	Powers Avstands faktor, mm	Mean computed sphere radius, μm
2A #47	2400	5,40	4,70	27,080	0,177	25,457
	3200	5,43	4,67	28,544	0,168	23,788

**2A #47C**

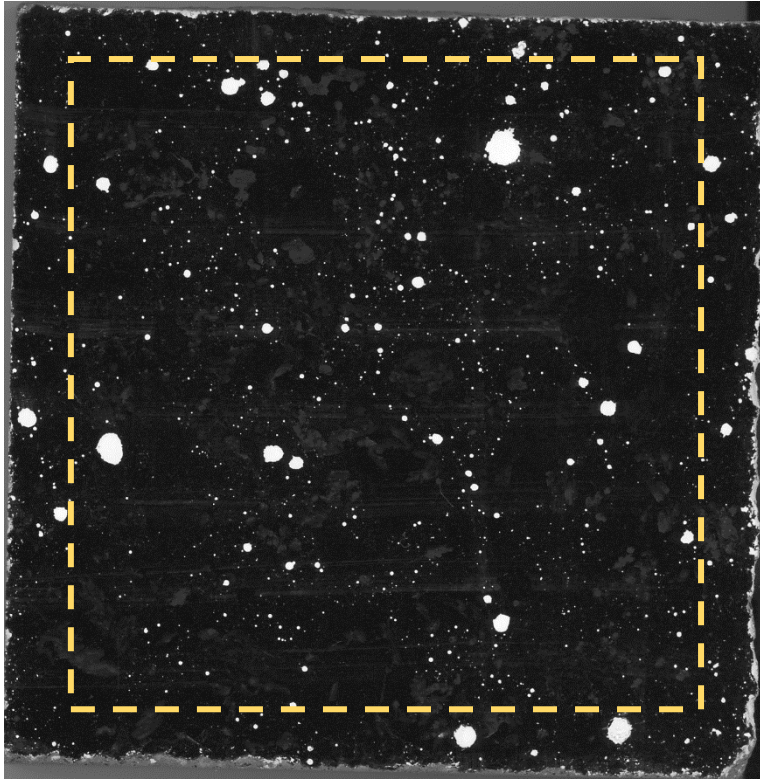


**2400ppt**



**3200ppt**





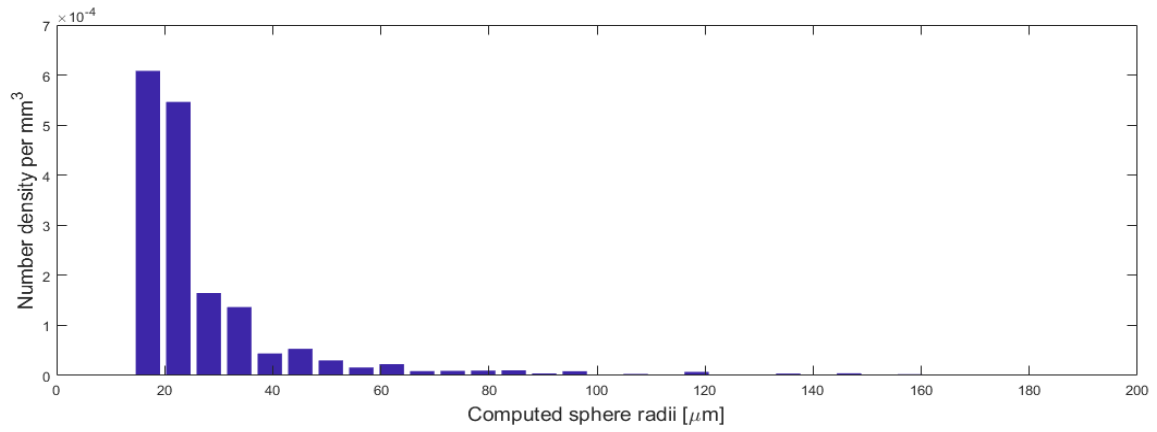
**Blanding 2B. Prøve # 67.** Bildet 300ppt

Saget fra 100mm terning

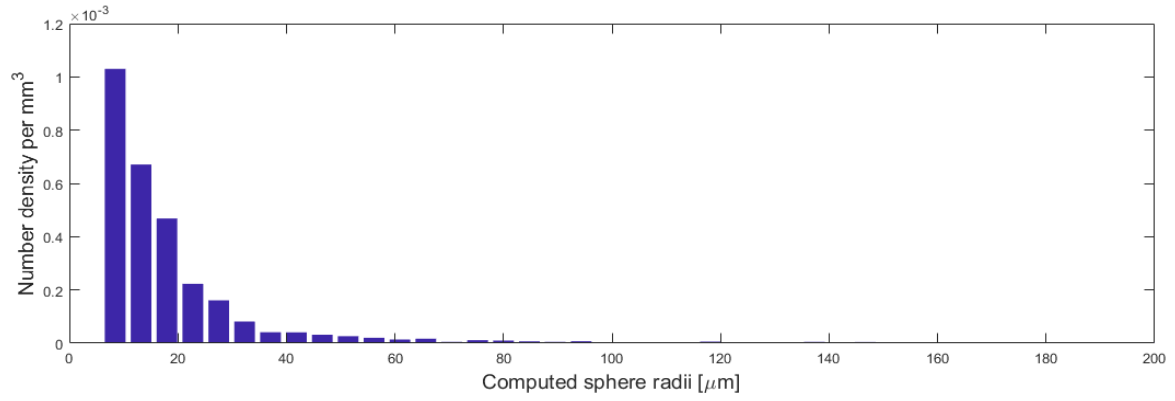
Pastavolum – 263 L

ID	Bildeoppløsning, ppt	Pasta /luft - forhold	Total luft innhold, %	Spesifikk overflate, mm-1	Powers Avstands faktor, mm	Mean computed sphere radius, $\mu\text{m}$
2B #67	1200	12,98	1,99	9,194	0,774	29,523
	2400	13,09	1,97	9,968	0,717	20,193
	3200	13,08	1,97	10,452	0,683	17,901
	4800	13,19	1,96	9,910	0,723	19,790
AVA				13,4	0,826	
Ferskbetong densitetsmetode			1,31			
Avformingsdensitetsmetode			0,43			
PF			2,40			

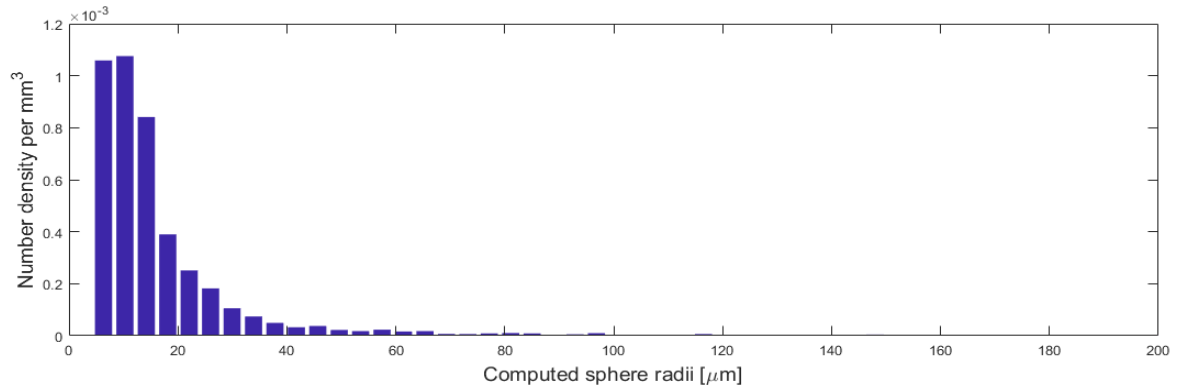
### 2B # 67



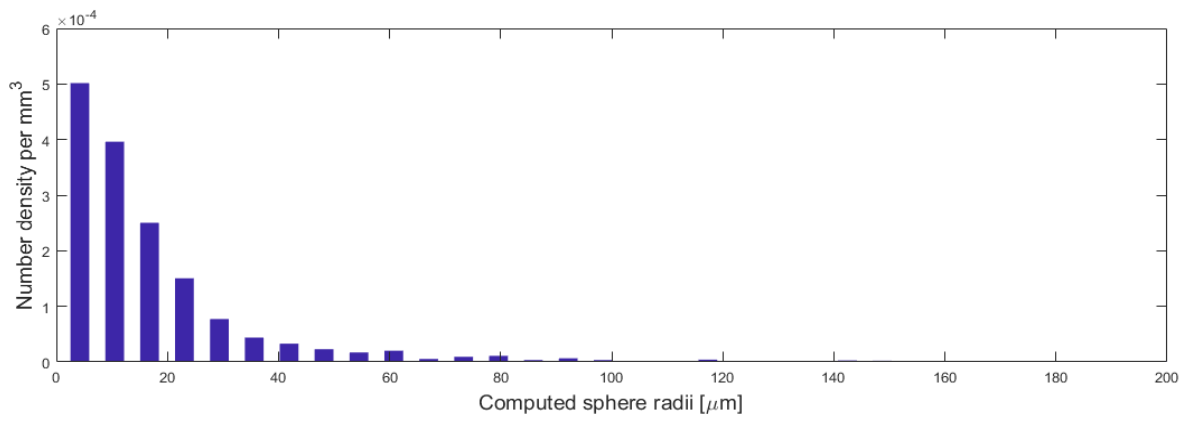
### 1200ppt



### 2400ppt

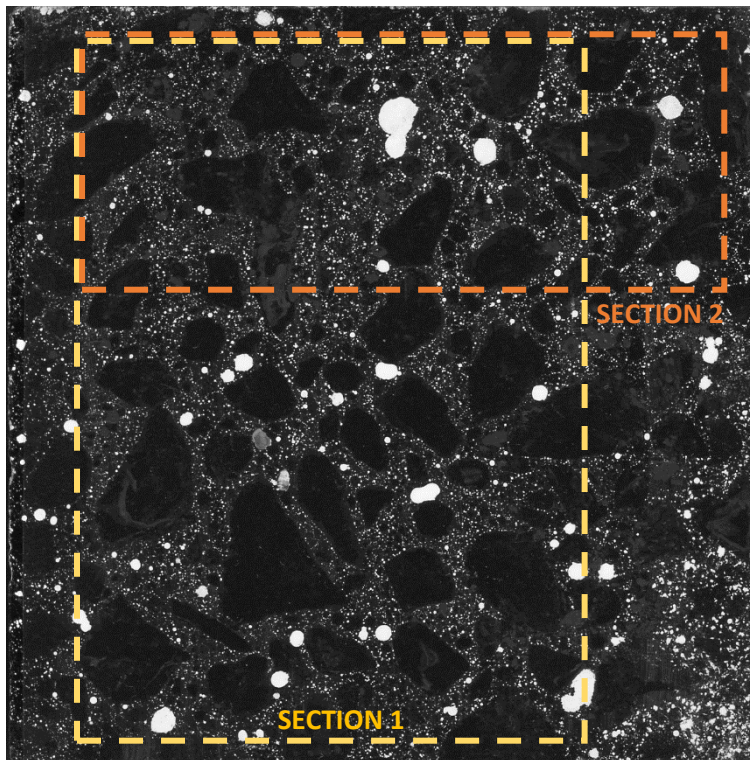


### 3200ppt



4800ppt

**BLANDING 3A, prøve #105. 0,293-35 A**



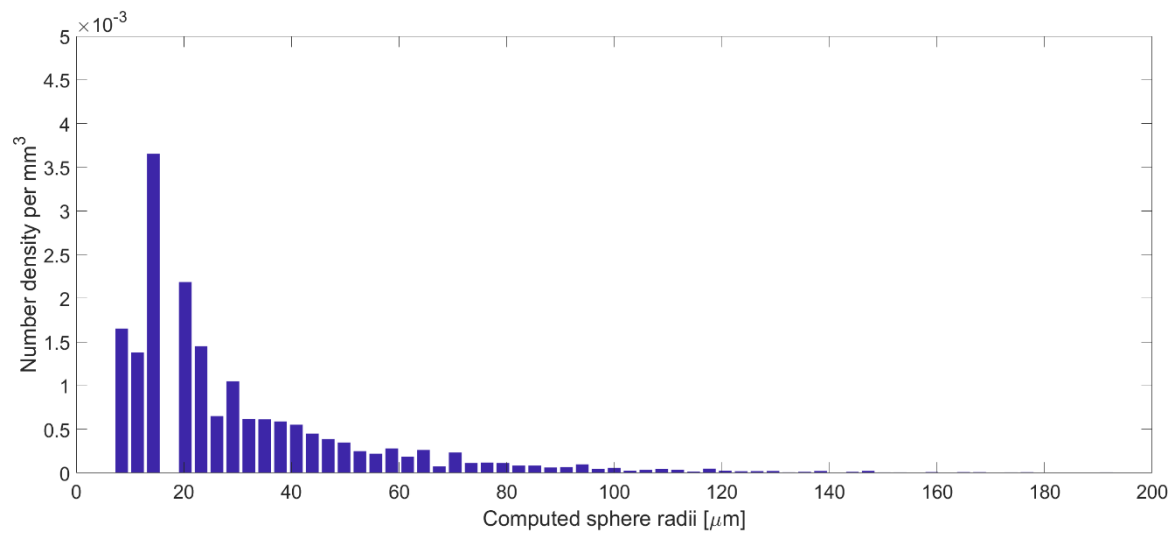
**Blanding 3A. Prøve #105-2. Bildet 300ppt**

Saget fra 150mm terning

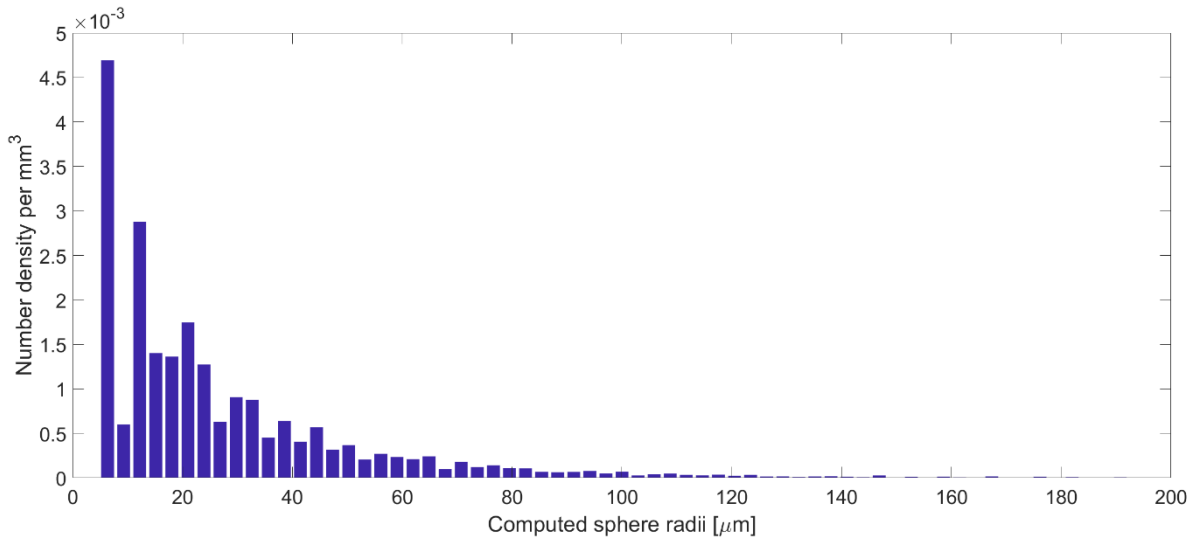
Pastavolum – 266 L

ID	Bildeoppløsning, ppt	Pasta /luft - forhold	Total luft innhold, %	Spesifikk overflate, mm <sup>-1</sup>	Powers Avstands faktor, mm	Mean computed sphere radius, μm
3A 105-2 snitt 1	2400	4,39	5,71	20,574	0,212	31,740
	3200	4,39	5,72	21,400	0,204	27,521
snitt 2	2400	4,06	6,14	21,066	0,193	32,952
	3200	4,06	6,15	21,919	0,185	29,036
<b>3A 105-2 ave</b>	<b>3200</b>	<b>4,28</b>	<b>5,86</b>	<b>21,57</b>	<b>0,20</b>	<b>28,01</b>
AVA				35,800	0,149	
Ferskbetong densitetsmetode			5,93			
Avformingsdensitetsmetode			5,07			
PF			5,20			

**3A 105-2 snitt 1**

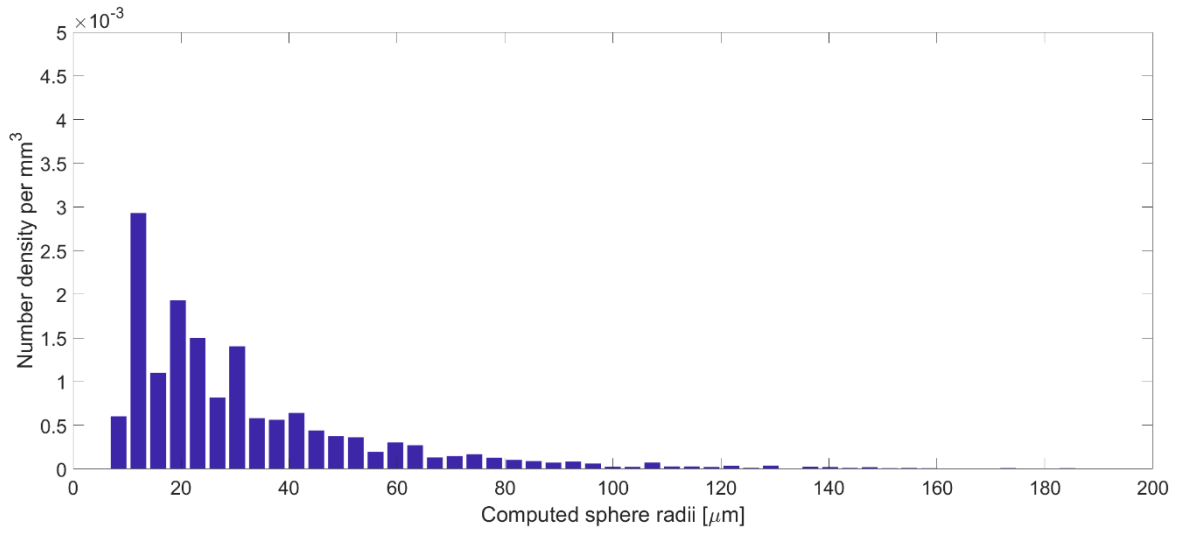


2400ppt

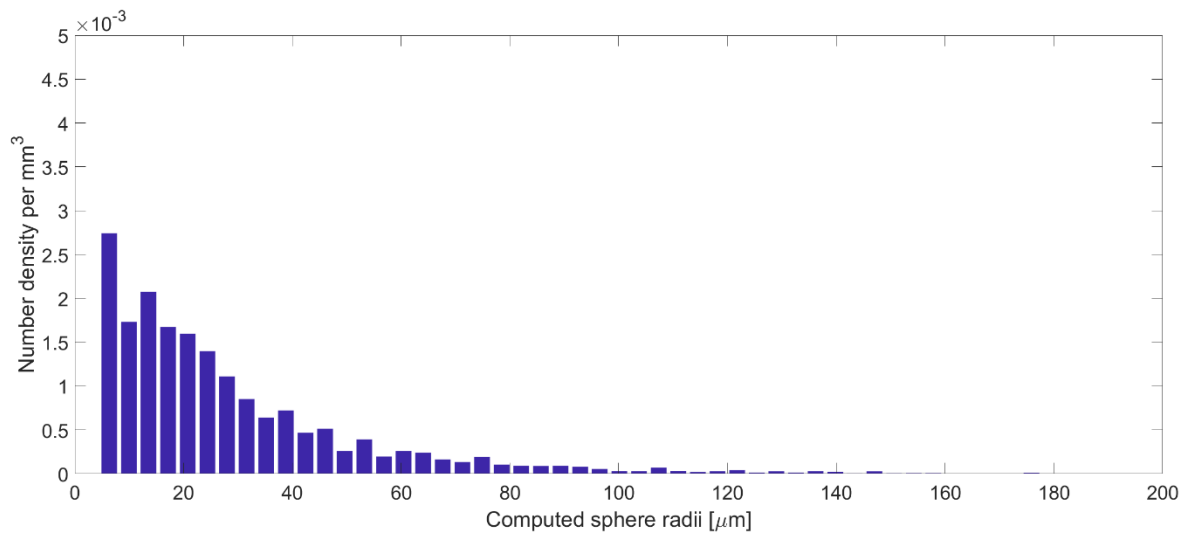


3200ppt

**3A 105-2 snitt 2**

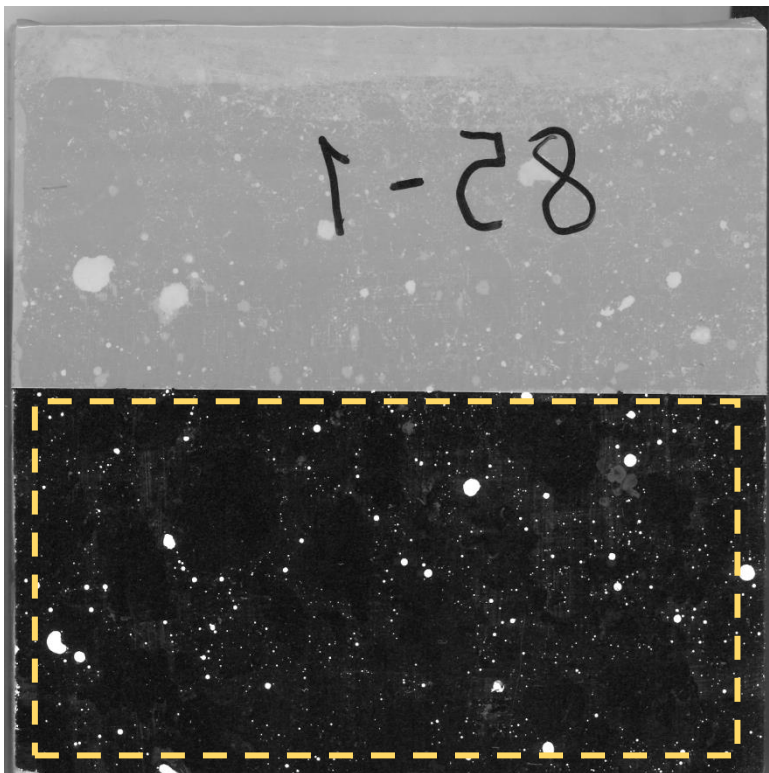


2400ppt



3200ppt

**BLANDING 3B, prøve #85. 0,293-35 0**



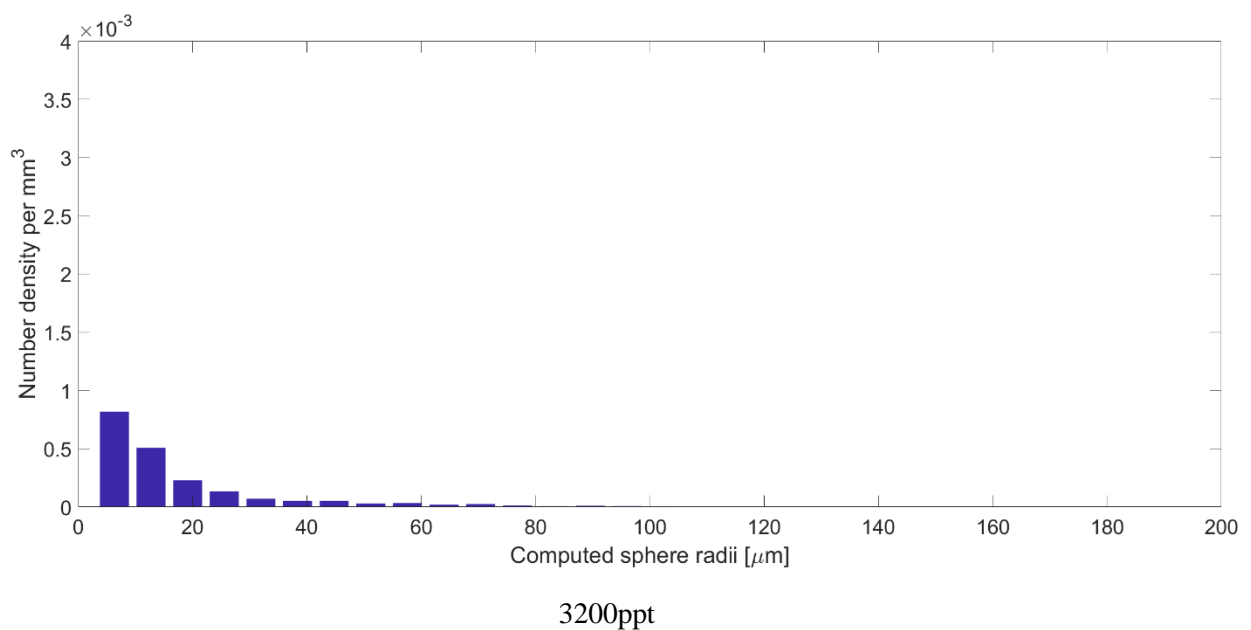
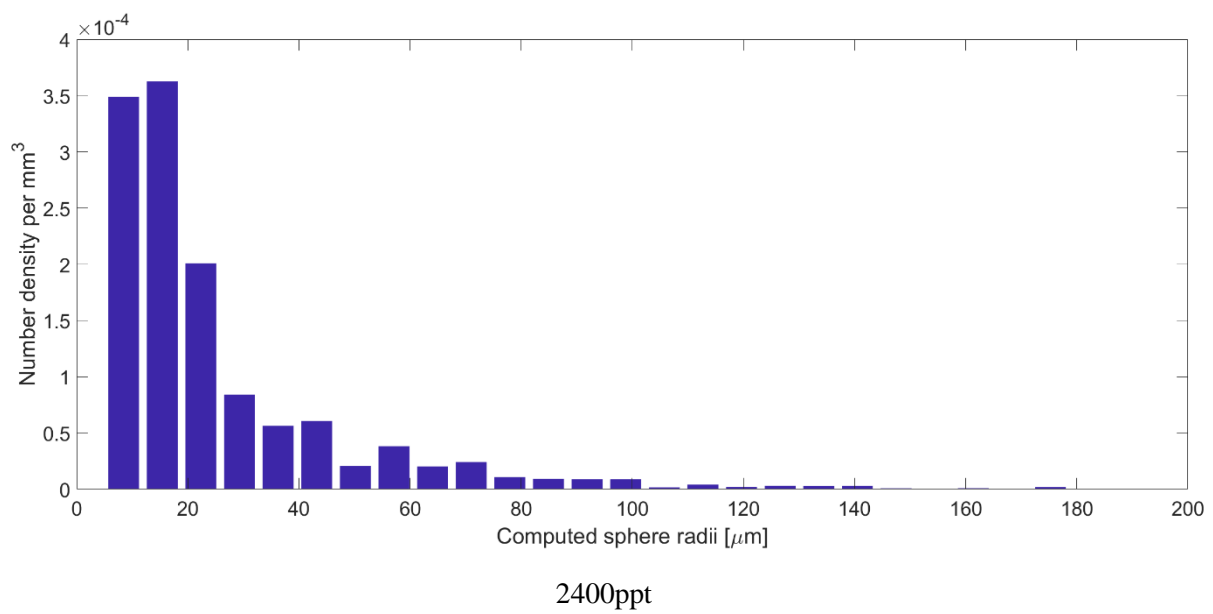
**Blanding 3B. Prøve #85-1. Bildet 300ppt**

Saget fra 150mm terning

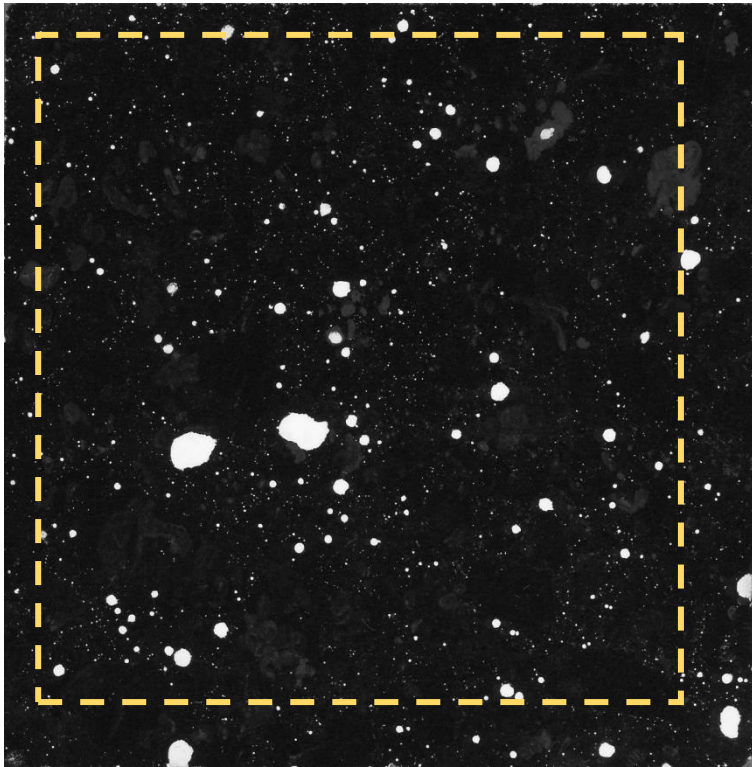
Pastavolum – 262 L

ID	Bildeoppløsning, ppt	Pasta /luft - forhold	Total luft innhold, %	Spesifikk overflate, mm-1	Powers Avstands faktor, mm	Mean computed sphere radius, $\mu\text{m}$
3B 85-1	2400	20,95	1,24	14,745	0,594	26,540
	3200	20,92	1,24	15,461	0,566	20,035

### 3B 85-1



**BLANDING 3B, prøve #85-2. 0,293-35 0**



**Blanding 3B. Prøve #85-2. Bildet 300ppt**

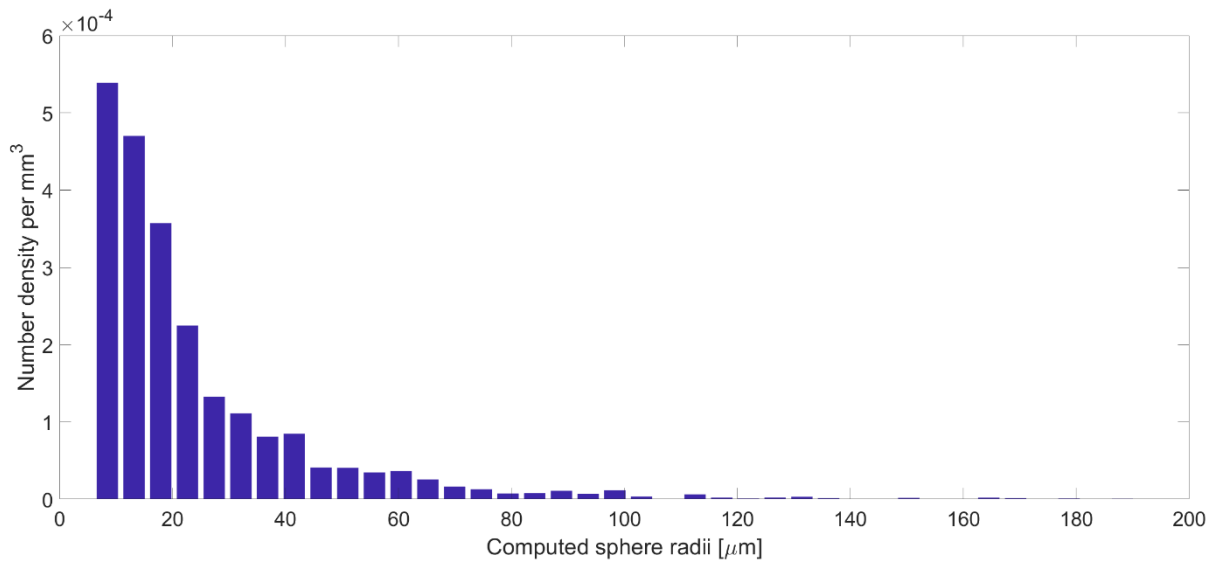
Saget fra 150mm terning

Pastavolum – 262 L

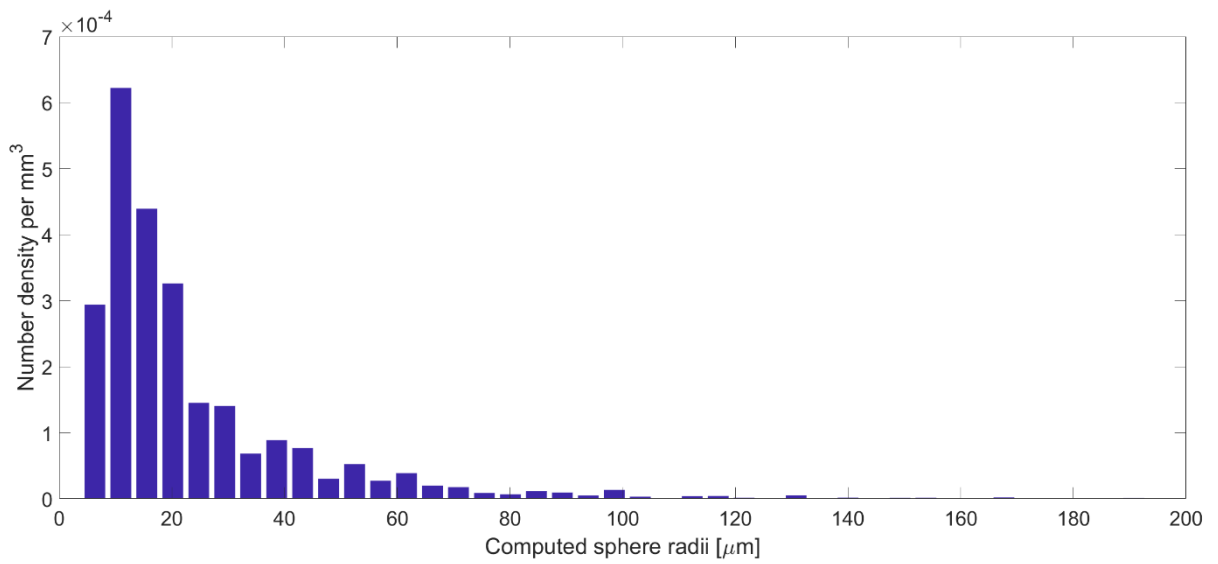
ID	Bildeoppløsning, ppt	Pasta /luft - forhold	Total luft innhold, %	Spesifikk overflate, mm-1	Powers Avstands faktor, mm	Mean computed sphere radius, $\mu\text{m}$
3B 85-2	2400	10,97	2,33	9,102	0,726	25,326
	3200	10,96	2,33	9,458	0,698	24,453
<b>3B 85 AVE</b>	3200	15,94	1,79	12,459	0,632	22,24
AVA				13,500	0,737	
Ferskbetong densitetsmetode			2,00			
Avformingsdensitetsmetode			1,46			
PF			1,90			



### 3B 85-2

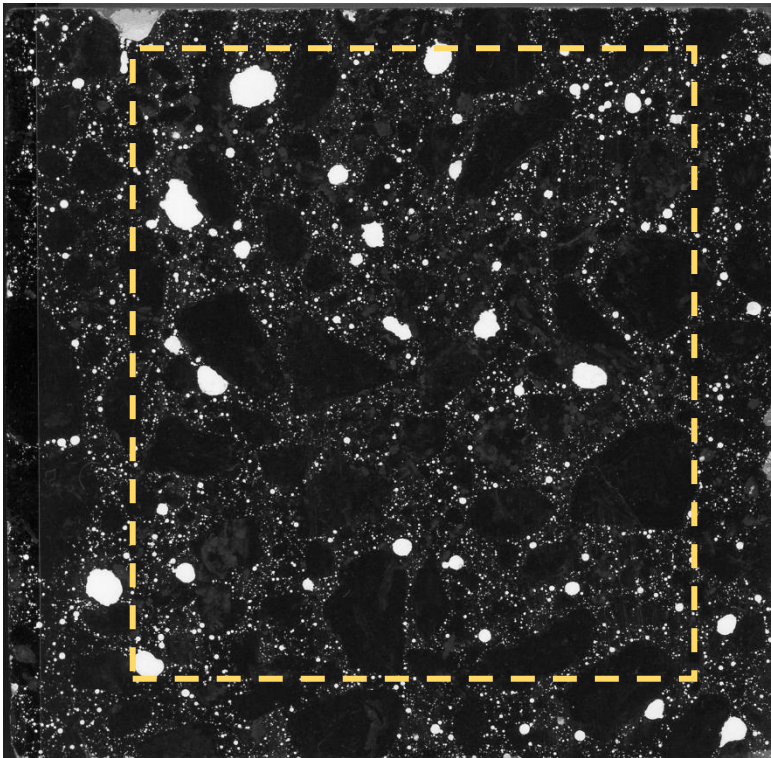


### 2400ppt



### 3200ppt

**BLANDING 4A, prøve #123-1. 0,45-0 A**



**Blanding 4A. Prøve #123-1. Bildet 300ppt**

Saget fra 150mm terning

Pastavolum – 270 L

ID	Bildeoppløsning, ppt	Pasta /luft - forhold	Total luft innhold, %	Spesifikk overflate, mm-1	Powers Avstands faktor, mm	Mean computed sphere radius, $\mu\text{m}$
4A 123-1	2400	4,11	6,17	13,288	0,309	33,589
	3200	4,10	6,17	13,727	0,299	32,464
	4800	4,05	6,25	13,403	0,302	24,279

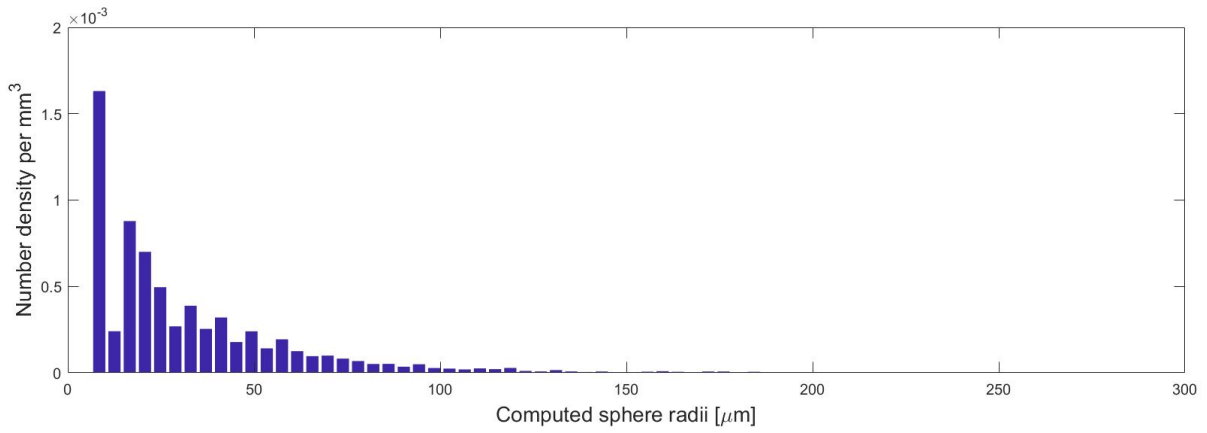
AVA 24,4 0,201

Ferskbetong densitetsmetode 5,39

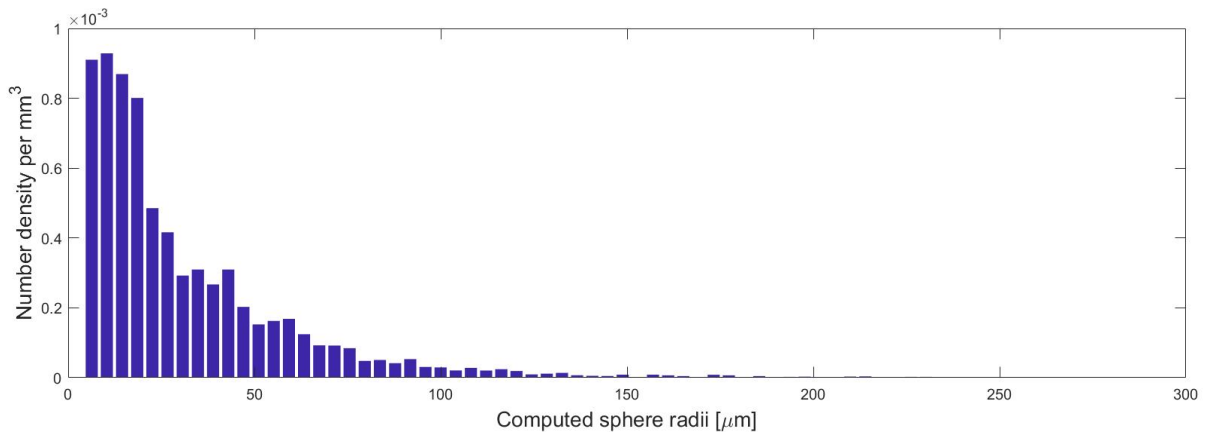
Avformingsdensitetsmetode 3,85

PF 5,40

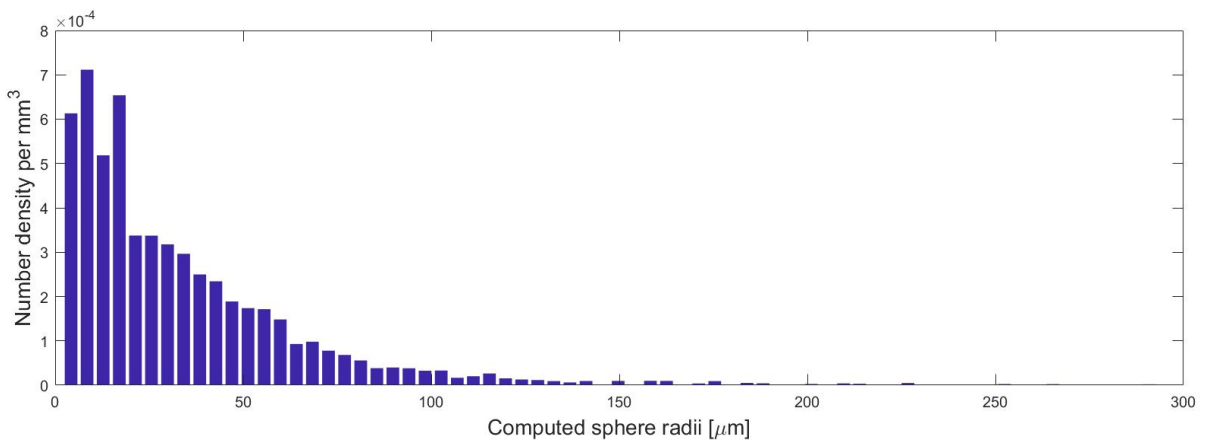
**4A #123-1**



2400ppt



3200ppt



4800ppt

## Vedlegg E Tekniske data

Dette vedlegget inneholder tekniske spesifikasjoner om materialene benyttet i oppgaven.

### Butyltape Sitko Elastic 605 80 mm x 10 m - Produktblad



# sitko Elastic

## Tetningstape 605

**SITKO ELASTIC'S** overflatestruktur består av en tynn polyolefinmembran som er meget elastisk både på langs og tvers. Dette membranlaget er belagt med et kraftig selvvulkaniserende butylgummilim. Sitko 605 limer og tetter både metall-, plast-, tegl-, betong- og trematerialer.

Sitko 605 kan benyttes i de fleste konstruksjonsoverganger som en holdbar forsegling av luftsperrer, i henhold til standard DIN 4108, del 7.

Tapens overlegne elastisitet gjør at den med fordel kan benyttes for tetting rundt krevende og komplekse former.

Det anbefales at sterkt absorberende, porøse eller sandholdige overflater forbehandles med f.eks butyl- eller lignende primer.

<b>Farge</b>	Sort
<b>Basismateriale</b>	Polyolefinmembran
<b>Lim</b>	Butylgummilim
<b>Tykkelse</b>	2 mm
<b>Bredde</b>	50 eller 80 mm
<b>Lengde</b>	10 m
<b>Vekt</b>	1500 eller 2400 g/rull
<b>Elastisitet</b>	> 300 %
<b>Klebeevne</b>	15,0 N/25 mm
<b>Varme/kuldefleksib.</b>	-30... +80 °C
<b>Spesifikasjon</b>	DIN 4108, del 7
<b>Forpakning</b>	10/6 ruller/eske; 14,9/14,3 kg



**Kartopap AS / Tectis Bygg**  
Svinesundsveien 338,  
1787 Berg i Østfold

+47 69 21 61 61  
+47 69 21 61 60

kartopap@halden.net  
www.kartopap.no



Teknisk datablad

Erstatter: 2012-02-09

Dato: 2018-03-20

## Marin&Teknik Fug&Lim



Fuktherdende medium til høymodulær elastisk fugemasse, og et sterkt lim spesielt beregnet for innen- og utendørs bruk i båter, biler, campingvogner og hus.

Overmalbart universal utendørs lim og fugemasse.

1-komponent, løsemiddelfri, overmalbar fugemasse og utendørs lim med vedheft til et vidt spekter av underlag.

- Overmalbar med de fleste malinger.
- Utmerket værbestandighet
- Absorberer akustiske og mekaniske vibrasjoner
- Utmerket vedheft til de fleste materialer uten primer
- Utmerkede bearbeidingsegenskaper

Miljøvennlig med hensyn til arbeids- og innemiljø, samt avfallshåndtering og livssyklusaspekter.

### TEKNISKE DATA

**Kjemisk base:** Silan terminert polymer  
**Emballasje:** 300 ml patron  
**Holdbarhet:** 12 måneder fra produksjonsdato  
**Lagringsforhold:** Skal lagres tørt, beskyttet mot direkte sollys og ved en temperatur mellom +5 °C og +25 °C.  
**Egenvekt:** Ca. 1,48 kg/l (ISO 868)  
**Shore A Hardhet:** Ca. 45 (etter 28 dager) (ISO 868)  
**Strekfasthet:** Ca. 2,0 N/mm<sup>2</sup> (ISO 37)  
**Strekmodul:** Ca. 0,80 N/mm<sup>2</sup> (etter 28 dager) (23 °C) (ISO 8339)  
**Forlengelse ved brudd:** Ca. 500 % (ISO 37)  
**Rivefasthet:** -13,0 N/mm (ISO 34)  
**Bevegelseskapasitet:** ± 12,5 % (ISO 9047)

**Kjemisk bestandighet:** Bestandig mot vann, sjøvann, fortynnede alkalier, sement mørtel og vannfortynnede vaskemidler.  
Ikke bestandig mot alkoholer, organiske syrer, konsentrerte alkalier og konsentrerte syrer, klorert (hydro-karboner) drivstoff.  
For detaljert informasjon vennligst kontakt vår tekniske avdeling.

**Temperaturbestandighet:** -40 °C til +90 °C  
**Skinndannelse:** Ca. 60 min (23 °C / 50 % RF.) (CQP 019-1)  
**Herdehastighet:** Ca. 2 mm/24th (23 °C / 50 % RF.)

(CQP 049-2)

**Overflatetemperatur:** +5 °C til +40 °C  
**Luftfuktighet:** 30 % til 90 %  
**Omgivelsestemperatur:** +5 °C til +40 °C, min. 3 °C over dugpunkt temperaturen  
**Sig:** 3 mm (20 mm profil, 23 °C) (ISO 7390)

### BUNNFYLLING

Bruk bunnfylling av polyetylen skum med lukkede celler.

**GODKJENNINGS STANDARDER**  
EN 15651-1 F EXT-INT CC20HM  
EN 15651-4 INT CC

### MILJØINFORMASJON

Oppfyller M1 (Emisjonsklasse for bygningsmaterialer)

### FUGEUTFORMING

Fugen må være utformet til å passe bevegelsen i fugen og fugemassens bevegelseskapasitet.  
Fugebredden skal være ≥ 10 mm og ≤ 35 mm.  
Fugen skal ha et bredde til dybde forhold på 1:0,8 for gulvfuger og 2:1 for fasadefuger.





Standard fugebredder for fuger mellom betongelementer		
Fugeavstand [m]	Min. fugebredde [mm]	Min. fugedybde [mm]
2	10	10
4	15	10
6	20	10
8	30	15
10	35	17

Alle fuger må være korrekt utformet og dimensjonert i henhold til de relevante standarder, før utførelse. Grunnlaget for beregning av den nødvendige fugebredde er typen av konstruksjon og dens dimensjoner, de tekniske verdiene til de tilstøtende byggematerialene og fugemassen, samt den spesifikke eksponeringen av bygningen og fugene. Fuger med bredde  $\leq 10$  mm er kun for sprekkekontroll og dermed ikke bevegesfuger. Den relevante fugebredden er bredden ved påføring av fugemassen (veiledningsverdi ved +10 °C). For bredere fuger, vennligst kontakt vår tekniske avdeling.

#### INFORMASJON OM PÅFØRING

Omtrentlig forbruk for gulvfuger			
Fugelengde [m] pr. 600 ml	Fugelengde [m] pr. 300 ml	Fugebredde [mm]	Fugedybde [mm]
6	3	10	10
3	1,5	15	13
1,8	0,9	20	17
1,2	0,6	25	20
0,8	0,4	30	25

#### FORBEHANDLING AV UNDERLAGET

Underlaget skal være rent, tørt, fast og homogent, fritt for oljer, fett, støv og løse eller løstsittende partikler. Løs maling, sementslam og andre løstsittende forurensninger må fjernes. Casco® Marin&Teknik hefter normalt uten bruk av primer og/eller aktivator.

For optimal vedheft og ved kritiske høyttelsesapplikasjoner, som ved bygninger med flere etasjer, fuger som er utsatt for store belastninger, høy værbelastning eller konstant vannpåvirkning, skal følgende priming og/eller forbehandlingsprosedyrer følges:

Alle metalloverflater som ikke er nevnt nedenfor skal behandles med en meget fin slipepute og Casco® Primer 21 skal påføres med en ren pensel eller rulle. Før fuging skal primeren gis en tørketid på > 30 minutter (maks 8 timer).

#### PORØSE UNDERLAG

Betong, lettbetong og sementbasert murpuss, mørtler, murstein, og naturstein skal primes med Casco® Primer 21 som påføres med en ren pensel. Før fuging skal primeren gis en tørketid på > 30 minutter (maks 8 timer).

For detaljerte råd, vennligst kontakt vår tekniske avdeling.

Bemerk Primere er kun til forbedring av vedheft. De kan hverken erstatte riktig rengjøring av overflaten eller øke flatens styrke i betydelig grad.

METALL	Det er utmerket vedheft til de fleste metaller. Rå aluminium kan gi vedheftstap etter eksponering for etsende miljø. Marin&Teknik Fug&Lim hefter ikke til bly og kobber.
TRE	Det er generelt meget god vedheft til tørt tre.
GLASS	Marin&Teknik Fug&Lim hefter til glass uten primer. For glasskonstruksjoner med høy UV-eksponering på limfugen er Marin&Teknik Fug&Lim ikke å anbefale.
PLAST	Marin&Teknik Fug&Lim hefter til ikke-plastisert PVC, polyester, epoksy, polyuretan, melamin, etc. Forhåndstesting er anbefalt på akryl, ABS, polystyren, polykarbonat og plastisert PVC. Vedheft til polyetylen eller polypropylen er lav.



PORØSE UNDERLAG	Dersom styrken på underlaget er godt nok har Marin&Teknik Fug&Lim meget god vedheft til de fleste porøse underlag. For granitt og marmor naturstein er det anbefalt å benytte Casco® Primer 21.
BETONG	Det vil være dårlig vedheft til fersk eller våt betong. For denne typen påføringer er det anbefalt å benytte Casco® Primer 21.

Det er anbefalt å gjøre forhåndstester.

#### PÅFØRINGSMETODE / VERKTØY

Casco® Marin&Teknik leveres klar til bruk. Etter nødvendig forbehandling av underlaget plasseres en bunnfyllingslist i anbefalt dybde og det påføres primer om nødvendig. Monter en patron i fugepistolen og press Casco® Marin&Teknik inn i fugen slik at massen sikres full kontakt med fugesidene og luftlommer unngås. Casco® Marin&Teknik skal komprimeres og presses godt mot fugesidene for å sikre god vedheft. Det er anbefalt å benytte maskeringstape der det er påkrevet med nøyaktige og pent utseende fugekanter. Maskeringstapen fjernes før hinnedannelse. Det skal ikke benyttes glattmidler som inneholder løsningsmidler.

#### Ved liming:

Etter forbehandling av underlaget påføres Casco® Marin&Teknik på limflaten i striper eller punkter med intervaller på noen få centimeter.

Benytt kun håndkraft til å presse sammen delene som skal limes. Om nødvendig kan tape, kiler eller annen understøttelse benyttes til å holde delene sammen i den første herdetiden. Et unøyaktig plassert element kan lett løsnes og plasseres på nytt i løpet av de første minuttene etter påføring. Optimal heft oppnås når Casco® Marin&Teknik er fullstendig herdet, f.eks. etter 24 til 48 timer ved en temperatur på +23 °C og en limtykkelse på 2 til 3 mm.

#### RENGJØRING

Fjern all overflødig masse fra fugen og verktøy før massen har herdet ved bruk av en klut.

Herdet masse fjernes mekanisk.

På huden tørkes ikke herdet masse bort med en klut og vaskes med såpe og vann eller Sika Power wipes.

Oppbevares utilgjengelig for barn.  
Skal ikke skylles ned i avløp.

#### BEGRENSNINGER

Casco® Marin&Teknik kan overmales med de fleste konvensjonelle fasademalingsystemer. Allikevel må malinger testes for å sikre kompatibilitet ved å utføre forhåndsprøver (f.eks. i henhold til ISO teknisk blad: Overmalbarhet og malingskompatibilitet på fugemasser). De beste resultater ved overmaling oppnås når massen er fullstendig herdet.

Bemerk Ikke-fleksible malingsystemer kan påvirke fugemassens elastisitet og føre til krakelering av malingsfilmen.

Fargeforandringer kan forekomme dersom massen eksponeres for kjemikalier, høye temperaturer og UV-stråling (spesielt på hvit farge). Imidlertid vil ikke en forandring i farge influere på den tekniske ytelse og holdbarheten til produktet.

Kontakt vår tekniske avdeling for råd før produktet benyttes på naturstein.

Casco® Marin&Teknik skal ikke benyttes til forsegling av glass, på tjæreholdige underlag, naturgummi, EPDM gummi eller andre bygningsmaterialer som kan avgi oljer, mykgjørere eller løsningsmidler som kan angripe fugemassen.

Casco® Marin&Teknik skal ikke benyttes til fuger i eller rundt svømmebasseng.

Casco® Marin&Teknik skal ikke benyttes til fuger med vanntrykk eller fuger som ligger permanent under vann.

Ikke utsett uherdet Casco® Marin&Teknik for produkter som inneholder alkohol da disse kan forstyrre eller hindre herdingen av fugemassen.

Vår informasjon er basert på laboratorieprøver og praktisk erfaringer, og kan som sådan betraktes som veiledende i forbindelse med valg av produkt og arbeidsmetode. Eitersom brukerens arbeidsforhold ligger utenfor vår kontroll, påtar vi oss ikke noe ansvar for resultatene. Vårt ansvar dekker utelukkende personskade eller skade som faktisk har blitt bevisst etter feil og mangler i et produkt produsert av oss.

Sertifisert iht:



SIKA NORGE AS  
Postadresse:  
Postboks 571  
2026 SKJETTEN  
Tlf.: +47 67 06 79 00  
Web: www.casco.no





#### BASIS FOR PRODUKTDATA

Alle tekniske data i dette produktdatabladet er basert på laboratorietester. De målte data kan avvike på grunn av omstendigheter utenfor vår kontroll.

#### LOKALE RESTRIKSJONER

Vennligst bemerk at som et resultat av lokale restriksjoner kan egenskapene til dette produktet variere fra land til land. Vennligst konferer lokalt produktdatablad for eksakt beskrivelse av bruksområder og egenskaper.

#### ØKOLOGI, HELSE OG SIKKERHET

For informasjon og råd om sikker behandling, lagring og avhending av kjemiske produkter skal brukeren konsultere oppdatert sikkerhetsdatablad som inneholder fysiske, økologiske, toksikologiske og andre sikkerhetsrelaterte data.

#### JURIDISK INFORMASJON

Denne informasjonen, og i særdeleshet anbefalingene i forbindelse med anvendelse av Casco-produkter er gitt i god tro, basert på Cascos inneværende kunnskap og erfaring med produktene når de er riktig lagret, behandlet og anvendt under normale forhold iht. Cascos anbefalinger.

I praksis vil forskjellene i materialer, underlag og lokale forhold være av en slik karakter at verken denne informasjonen, andre skriftlige anbefalinger eller noen annen form for råd kan innebære noen garanti med hensyn til det bearbejdede produktets omsetningspotensiale eller egnethet for et bestemt formål, ei heller noen annen form for juridisk ansvar. Brukeren må teste produktets egnethet for den aktuelle anvendelse og bruk. Casco forbeholder seg retten til å endre egenskapene på sine produkter. Tredjeparts eiendomsrett må respekteres. Enhver ordre aksepteres i henhold til våre gjeldende salgs- og leverings-betingelser. Brukere skal alltid forholde seg til sist oppdaterte versjon av produktdatablad og sikkerhetsdatablad for det aktuelle produktet. Kopier av sist oppdaterte versjon finnes på våre nettsider, eller kan fås på forespørsel.

#### SUPPLERENDE PRODUKTER

Casco ProGun P160 eller Håndsprøyte H2, Primer 21, fugepinner og bunnfyllingslist.

#### FDV

Renhold bør i regelen vaskes med mest mulig pH-øytrale vaskemidler, for eksempel Casco Allrent, som er et svakt alkalisk vaskemiddel (pH 7,5). Hyppig vask med sure vaskemidler vil forringe fugemassen.

#### Vedlikehold

Vedlikeholdsintervallene vil variere. De vil påvirkes sterkt av mekaniske og ytre forhold, og må derfor fortløpende vurderes. Produktet vil over tid bli nedbrutt av ytre påvirkninger. Nedmatting og fargeforskjeller vil kunne fremkomme. Reparasjoner og skader bør utføres med et tilsvarende produkt. Noe fargeavvik vil da fremkomme.

#### Metoder for avhending

Unngå at det produseres avfall, eller reduser avfallsmengde til et minimum i den grad det er mulig. Avfallshåndtering må skje i samsvar med lokalt regelverk. Tom og tørr emballasje kan leveres til gjenvinning. SIKKA NORGE AS er tilsluttet Grønt Punkt Norge med medlemsnr. 11339. Vennligst kontakt lokal myndighet for rettleiding om avfallsbehandling. Unngå kontakt med store mengder spillmateriale og utslipp til jord og vannveier på overflaten.

#### Den europeiske avfallslisten (EAL)

10 13 11 annet avfall av sementbasert komposittmaterialer enn det nevnt i 10 13 09 og 10 13 10.

#### Farlig avfall

Rester og ikke herdet produkt er farlig avfall og leveres til Miljøstasjon.

Vår informasjon er basert på laboratorieprøver og praktisk erfaringer, og kan som sådan betraktes som veiledende i forbindelse med valg av produkt og arbeidsmetode. Ettersom brukerens arbeidsforhold ligger utenfor vår kontroll, påtar vi oss ikke noe ansvar for resultatene. Vårt ansvar dekker utelukkende personskade eller skade som faktisk har blitt bevist etter feil og mangler i et produkt produsert av oss.

#### Sertifisert iht



SIKKA NORGE AS  
Postadresse:  
Postboks 571  
2026 SKJETTEN  
Tlf.: +47 67 06 79 00  
Web: www.casco.no





