

# Resirkulerte gravemasser i betongbelegningsstein

Del av forskningsprosjektet RESGRAM, finansiert av NFR-  
BIA



Annikken de Lange



Eirin Margrete Hallingby



Kine Marlén Must Evensen

## VEILEDER

Rein Terje Thorstensen  
Christian John Engelsen

**Universitetet i Agder, 2017**

Fakultet for teknologi og realfag





## Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1. Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.
  
2. Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen:
  - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.
  - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.
  - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.
  - har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.
  - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.
  
3. Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.
  
4. Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.
  
5. Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.
  
6. Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.

## Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjenning.

Opgaver som er unntatt offentlighet eller tausehetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å

gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:  JA  NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?  JA  NEI

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?  JA  NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?  JA  NEI

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)

## 1. Forord

Denne oppgaven har bidratt til å vekke en stor interesse for betongfaget innad i prosjektgruppen. Det har vært et engasjerende og givende semester, hvor vi opplever å ha tilegnet oss stor og bred kunnskap innenfor faget. Oppgaven er et ledd i forskningsprosjektet RESGRAM, finansiert av Norsk Forskningsråd. Det har vært spennende å få ta del i et så omfattende forskningsprogram, og møte samarbeidspartnere SINTEF, Velde AS, ASAK AS avd. Kristiansand, i tillegg til Universitetet i Agder.

Vi har naturligvis møtt på flere utfordringer underveis i prosjektiden, men vi har blitt overrasket over hvor hjelpelige ansatte og medstudenter tilhørende fakultetet har vært. Vi har mottatt uvurderlig hjelp som vi har satt stor pris på. Det rettes derfor stor takk til:

Rein Terje Thorstensen  
Paul Ragnar Svennevig  
Ingrid Lande Larsen  
Anette Heimdal  
Christian John Engelsen  
Alf Gunnar Løvslund  
Hanne Løvslund  
Rita Sølvi Ditlefsen  
Gerrit Ralf Surup  
Tore Vehus  
Johan Olav Brakestad  
Henrik Kofoed Nielsen  
Helge Liltved  
Hernan Mujica  
Thomas Norheim

Annikken de Lange Eirin M. Hallingby Kine M.M. Evensen  
Annikken de Lange Eirin Margrete Hallingby Kine Marlén Must Evensen

Dato/Sted: 15/5-17 Grimstad

## 2. Summary

Velde recycles uncontaminated sand and gravel from construction sites. Of the recycled raw material, 20-25% is defined as “residual fraction” because the size of it is less than 63  $\mu\text{m}$ . This bachelor thesis looks at whether residual fraction can be utilised as an alternative for filler in the production of concrete paving blocks. Investigations from literature, such as Norsk Standard, found that no regulations exist for non-concrete recycled material from construction sites, for this reason, findings are derived from laboratory research.

ASAK is a company that produces environmental stoneware. The laboratory production results was compared with the stone blocks produced at ASAK’s own facilities. It was found that by using the residual fraction as an alternative filler in concrete paving blocks, the production process at ASAK can reduce the amount of cement previously required. This can be financially beneficial for both ASAK and Velde and also be of environmental importance by reducing waste.

### 3. Innholdsfortegnelse

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring.....	i
Publiseringsavtale.....	ii
1. Forord .....	iii
2. Summary.....	iv
3. Innholdsfortegnelse.....	v
4. Figurliste .....	viii
5. Tabelliste.....	xi
6. Innledning.....	1
7. Samfunnsperspektiv .....	2
8. Teori.....	3
8.1 Norsk Standard.....	3
8.1.1 NS-EN 1338 «Belegningsstein av betong – krav og prøvingsmetoder» .....	3
8.1.2 NS-EN 1338, nasjonalt tillegg .....	3
8.1.3 NS-EN 206 «Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar».....	3
8.1.4 NS-EN 1744-1 «Prøvingsmetoder for kjemiske egenskaper for tilslag – Del 1» .....	3
8.1.5 NS-EN 12390-6 «Prøving av herdnet betong – Del 6» .....	3
8.1.6 NS-EN 12620 «Tilslag for betong».....	4
8.1.7 NS-EN 12350 «Prøving av fersk betong – Del 4».....	4
8.2 Betongbelegningsstein .....	4
8.2.1 Herregård belegningsstein .....	4
8.2.2 Permac belegningsstein.....	5
8.3 Resirkulerte gravemasser .....	5
8.4 Partikkelstørrelsefordeling.....	6
8.4.1 Sikteanalyse .....	6
8.4.2 Mastersizer 3000 .....	7
8.5 Tilslagsstørrelser.....	7
8.5.1 Filler .....	7
8.5.2 Grovt tilslag .....	7
8.5.3 Fint tilslag .....	7
8.5.4 Sement.....	8
8.6 Partikkelpakking .....	9
8.6.1 EMMA.....	9
8.7 P-stoff .....	9
8.8 Organiske stoffer .....	10

8.9	Alkali .....	10
8.10	Blandeprosedyre .....	11
8.11	Hydratisering .....	12
8.12	Herdeteknologi.....	12
8.13	Komprimering.....	14
8.14	Porer .....	15
8.15	Densitet .....	15
8.15.1	Densitet av filler .....	15
8.16	Spaltestrekkfasthet.....	16
8.17	Frostmotstand .....	17
8.17.1	Saltløsning .....	18
8.18	Slitasjemotstand, skli-/glimotstand og branntekniske egenskaper .....	18
9.	Forskerspørsmål .....	19
10.	Case/Materialer.....	20
11.	Metode .....	21
11.1	Litteraturstudie.....	21
11.2	Ekskursjon.....	21
11.3	Partikkelstørrelsefordeling .....	22
11.3.1	Laserdiffraksjon .....	22
11.3.2	Sikteanalyse.....	22
11.3.3	EMMA – Andreassen-metoden .....	23
11.4	Undersøkelse av organiske stoffer .....	23
11.4.1	Humustest 1 .....	23
11.4.2	Humustest 2 .....	24
11.4.3	Loss on ignition, LOI.....	24
11.4.4	Total organic carbon, TOC .....	25
11.5	Alkali-undersøkelse .....	25
11.6	Dispergering .....	26
11.7	Reseptutvikling .....	27
11.8	Blandeprosedyre .....	27
11.8.1	Metode fra Statens vegvesen.....	27
11.8.2	Metode utviklet i lab .....	28
11.9	Støp og avforming .....	28
11.10	Komprimering.....	29
11.10.1	Vibrasjonsbord .....	29
11.10.2	Stålstang .....	29
11.10.3	Hydraulisk verkstedspresse .....	29



11.10.4	«Pauls metode».....	30
11.11	Herdeprosess.....	31
11.12	Densitet .....	31
11.12.1	Densitet for filler .....	32
11.13	Spaltestrekkfasthet.....	32
11.14	Frostmotstand .....	33
11.14.1	Modifisert metode .....	35
12.	Resultat.....	37
12.1	Organisk materiale .....	37
12.1.1	Humus.....	37
12.1.2	LOI.....	37
12.1.3	TOC .....	37
12.2	Partikkelstørrelsefordeling.....	38
12.3	Dispergering .....	39
12.4	Densitet .....	40
12.5	Spaltestrekkfasthet.....	41
12.6	Frostmotstand .....	42
12.7	Aktuelle resepter .....	43
12.8	Økonomi .....	43
13.	Diskusjon .....	45
13.1	Organisk materiale .....	45
13.2	Alkalireaksjon .....	46
13.3	Dispergering .....	47
13.4	Partikkelstørrelsefordeling.....	48
13.5	Reseptutvikling, blandeprosedyre.....	48
13.6	Former og komprimering .....	50
13.7	Mekaniske egenskaper .....	52
13.7.1	Spaltestrekkfasthet.....	52
13.7.2	Frostmotstand .....	53
13.8	Valg av resept.....	54
13.9	Økonomi .....	59
14.	Konklusjon .....	60
15.	Anbefalinger .....	61
16.	Referanser .....	62
17.	Vedlegg.....	66

## 4. Figurliste

Figur 6.1 Residualfraksjon fra Velde [eget bilde] .....	1
Figur 6.2 Herregård belegningsstein [53].....	1
Figur 8.1 Dimensjoner for Herregård belegningsstein [18].....	5
Figur 8.2 Dimensjoner for Permac belegningsstein [19] .....	5
Figur 8.3 Sandens egenskaper i forhold til fersk betong [30] .....	8
Figur 8.4 Betingelser for Alkalireaksjon [21]. .....	10
Figur 8.5 Forstørret bilde av sementlim [40].....	12
Figur 8.6 Fasthetsutvikling [26] .....	13
Figur 8.7 Komprimeringsgrad [egen figur] .....	14
Figur 10.1 Residualfraksjonen i anlegget til Velde AS [eget bilde].....	20
Figur 10.2 Miljøanlegget til Velde AS [eget bilde] .....	20
Figur 11.1 Veldes vaskeanlegg [eget bilde] .....	21
Figur 11.2 Mastersizer 3000 [24].....	22
Figur 11.3 Anvendt siktesats [eget bilde].....	23
Figur 11.4 Program "P1" [figur fra brenneriet ved UiA] .....	25
Figur 11.5 Vekt med avlukke [eget bilde].....	25
Figur 11.6 Eksikator [eget bilde].....	25
Figur 11.7 Residualfraksjon i tørr tilstand [eget bilde] .....	26
Figur 11.8 Residualfraksjon i naturlig tilstand [eget bilde] .....	26
Figur 11.9 Synlige klumper av residualfraksjon [eget bilde] .....	26
Figur 11.10 Residualfraksjon sammen med vann og grovt tilslag [eget bilde] .....	26
Figur 11.11 Håndholdt metode. Residualfraksjon og vann [eget bilde] .....	27
Figur 11.12 Metode for avforming [eget bilde].....	28
Figur 11.13 Lokk tilhørende form for belegningsstein [eget bilde].....	28
Figur 11.14 Form for støp av belegningsstein [eget bilde]. Former produsert av Paul Svennevig .....	28
Figur 11.15 Hydraulisk verkstedspresse [eget bilde] .....	30
Figur 11.16 Form, lokk og stempel [eget bilde].....	30

Figur 11.17 Arbeidstegning "Pauls metode" [eget bilde] .....	30
Figur 11.18 «Pauls metode» [eget bilde] .....	31
Figur 11.19 Oppsett for måling av spaltestrekfasthet ifølge NS-EN 1338 [eget bilde] .....	33
Figur 11.20 Metode for mål av dimensjoner [eget bilde] .....	33
Figur 11.21 Modifisert metode for test av spaltestrekfasthet [eget bilde].....	33
Figur 11.22 Fryse-tine-skap [eget bilde].....	34
Figur 11.23 klargjøring av prøvelegemer for fryse-tine-sykluser [eget bilde].....	35
Figur 11.24 Klimakammer [eget bilde] .....	36
Figur 12.1 Sikteanalyse for sand [Egen figur] .....	38
Figur 12.2 Sikteanalyse for pukk [egen figur].....	38
Figur 12.3 Grafene viser opprinnelig og tørket tilstand [egen figur] .....	39
Figur 12.4 Grafene viser forskjellige tidssekvenser [egen figur] .....	39
Figur 12.5 Grafene viser ulike tidssekvenser [egen figur] .....	40
Figur 12.6 Resultater fra test av frostmotstand [egen figur] .....	42
Figur 12.7 Resultater fra test sammen med referanseverdi [egen figur] .....	42
Figur 12.8 Sammenligning av årlig pris [egen figur] .....	44
Figur 13.1 Prøveresultater for test 3 [eget bilde].....	45
Figur 13.2 Fargeskala til humustest 2 [eget bilde] .....	45
Figur 13.3 Mulig alkalireaksjon [eget bilde] .....	46
Figur 13.4 Mulig alkalireaksjon [eget bilde] .....	46
Figur 13.5 Sikteanalyse for sand [egen figur] .....	48
Figur 13.6 Fersk betongkonsistens observert hos ASAK [eget bilde] .....	49
Figur 13.7 Fersk Betongkonsistens støp 1 [eget bilde].....	49
Figur 13.8 Prinsipp for lokk tilhørende form for støp av belegningsstein [eget bilde] .....	51
Figur 13.9 Klimakammer under produksjon [eget bilde] .....	53
Figur 13.10 Saltløsning [eget bilde].....	53
Figur 13.11 Gjennomsnittlig spaltestrekfasthet for støp 2 og 4 [egen tabell] .....	55
Figur 13.12 sammenligning av gjennomsnittlig spaltestrekfasthet og densitet for hvert støp [egen figur] .....	55

Figur 13.13 Partikkelpakking resept 4 [egen figur] .....	56
Figur 13.14 Partikkelpakking ASAKs nye resept [egen figur].....	56
Figur 13.15 Modellert fasthetsutvikling [egen figur] .....	58
Figur 13.16 Permac Lock [20] .....	58
Figur 13.17 Belegningssteinen til venstre er produsert med ASAKs resept. Belegningssteinen til høyre er produsert med resept 4. Bildet er tatt rett etter avforming [eget bilde] .....	59

## 5. Tabelliste

Tabell 8.1 Forklaring av kurven [30] .....	8
Tabell 8.2 Alkaliinnhold i en rekke sementer [40].....	11
Tabell 8.3 Korreksjonsfaktor, k [17] .....	16
Tabell 11.1 Minimumsmengde i forhold til kornstørrelse .....	23
Tabell 11.2 Humusinnhold i forhold til fargenivå [datablad fra bygglab, kontrollrådet for betongprodukter].....	24
Tabell 12.1 Resultater fra Humustest [egen tabell] .....	37
Tabell 12.2 Gjennomsnittlig resultat for gjennomført LOI [egen tabell].....	37
Tabell 12.3 Gjennomsnittlig resultat for gjennomført LOI 1050°C [egen tabell] .....	37
Tabell 12.4 Gjennomsnittlig resultat for TOC-analyse [egen tabell] .....	37
Tabell 12.5 Gjennomsnittlig densitet for ulike støp [egen tabell].....	40
Tabell 12.6 Densitet fra fullskalaforsøk [egen tabell].....	41
Tabell 12.7 Gjennomsnittlig spaltestrekkfasthet utført etter 8 døgn [egen tabell].....	41
Tabell 12.8 Gjennomsnittlig langtidsspaltestrekkfasthet [egen tabell] .....	42
Tabell 12.9 Resept 2 [egen tabell].....	43
Tabell 12.10 Resept 4 [egen tabell].....	43
Tabell 12.11 Økonomioversikt [egen tabell] .....	43
Tabell 13.1 Mekaniske egenskaper for støp 2 og 4.....	55
Tabell 13.2 Oversikt over gjennomsnittresultater fra laboratorieforsøk [egen tabell].....	57
Tabell 13.3 Utrekning av antatt spaltestrekkfasthet etter 28 døgn. Resept 4 produsert hos ASAK. Regnet via ASAK original resept [egen tabell].....	57
Tabell 13.4 Utrekning av antatt spaltestrekkfasthet etter 28 døgn. Resept 4 produsert hos ASAK. Regnet via ASAK ny resept [egen tabell] .....	57

## 6. Innledning

Dette er en bacheloroppgave for ingeniørstudiet byggdesign ved Universitetet i Agder, skrevet vårsemesteret 2017. Oppgaven er gitt av UiA, og ble valgt fordi gruppen synes problemstillingen er interessant og nytenkende. Dette er en del av forskningsprosjektet RESGRAM<sup>1</sup>, med samarbeidspartnere Velde AS, Sintef, ASAK AS avd. Kristiansand, Statens Vegvesen og UiA.

Velde AS gjenvinner sand, pukk og grus fra innkjørte ikke-forurensede gravemasser. Massene blir prosessert gjennom et stort vaskeanlegg hvor de ønskede komponentene blir sortert, samtidig som det tas ut uønskede fragmenter. 20-25% av de innkjørte gravemassene har en størrelse  $<63\mu\text{m}$ . I dag brukes ikke denne fraksjonen, og massen deponeres. Denne restfraksjonen har fått navnet «residualfraksjonen». Dersom residualfraksjonen kan benyttes i betongproduksjon vil dette være gunstig både i et miljø- og økonomiperspektiv.

I denne oppgaven vil det undersøkes om det er mulig å utnytte residualfraksjonen i produksjon av betongbelegningsstein. Samarbeidspartneren for dette formålet er ASAK AS avd. Kristiansand, senere omtalt som ASAK. Det vil undersøkes om residualfraksjonen fra Velde AS kan benyttes i produksjon av Herregård belegningsstein hos ASAK. Dette vil forsøkes ved å justere og tilpasse eksisterende resept, å oppnå en tilsvarende fersk betongkonsistens, samt oppnå tilsvarende mekaniske egenskaper i den herdede betongen.



Figur 6.2 Herregård belegningsstein [53]



Figur 6.1 Residualfraksjon fra Velde [eget bilde]

---

<sup>1</sup> RESGRAM – utvikling av resirkulert tilslag fra gravemasser til bruk i veibygging og betongproduksjon [6].

## 7. Samfunnsperspektiv

Betong er det mest brukte byggematerialet i vår tid. I Norge alene produseres det ca 5 millioner m<sup>3</sup> betong pr år. Under produksjon av betong benyttes det hovedsakelig sement som bindemiddel. Ved norsk sementproduksjon er det totale karbonavtrykket 800 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per tonn sement. I flere land er karbonavtrykket enda høyere, og på verdensbasis anslås det totale karbonavtrykket ved produksjon av sement å utgjøre omtrent 5% av de menneskeskapte CO<sub>2</sub>-utslippene. Dette gjør at sementproduksjon står for over 90% av betongens totale karbonavtrykk [1]. Det er derfor ønskelig å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene ved produksjonen av sement, eller å redusere mengde sement brukt i betongproduksjonen.

Gjennom betongens levetid vil den ta opp CO<sub>2</sub> fra omgivelsene, karbonatiseringsprosessen [2]. Herdet betong vil ifølge SINTEF kunne binde enda mer CO<sub>2</sub> under karbonatiseringen, ved bruk av resirkulert tilslag i ny betong [3]. Resirkulert tilslag møter en del skepsis i markedet. Gravemassene som blir gjenvunnet hos Velde AS er karakterisert i tilstandsklasse 1 [4]. Denne tilstandsklasseinndelingen tar utgangspunkt i konsentrasjoner av miljøgifter i forurenset grunn. Klasse 1 innebefatter områder som verken utgjør risiko for helse eller miljø [5].

Dersom egenskapene til de resirkulerte gravemassene kan dokumenteres og er stabile, vil de også kunne brukes som tilslag i betongproduksjon på samme måte som naturlig tilslag benyttes i dag [6]. Gravemassene vil kunne leveres på samme sted hvor nye materialer, utvunnet fra gravemasser, kan hentes. I tillegg til at dette er en tidsbesparende løsning bidrar det til redusert deponi og transportbehov, er økonomibesparende og vil redusere behovet for naturlig tilslag [7].

Residualfraksjonen utgjør omtrent 25% av de innkjørte gravemassene. Dersom denne kan benyttes i produksjon av betongbelegningsstein hos ASAK, vil dette kunne gi en økonomisk gevinst for ASAK da residualfraksjonen antas å være vesentlig rimeligere enn filler og sement benyttet i dagens produksjon. Siden residualfraksjonen i dag ikke utnyttes, men deponeres vil dette også gi profitt for Velde AS [4].

## 8. Teori

### 8.1 Norsk Standard

Norsk standard blir utgitt og kontrollert av Standard Norge [8]. Det blir her beskrevet standarder for produkter, tjenester og prosesser [9].

#### 8.1.1 NS-EN 1338 «Belegningsstein av betong – krav og prøvingsmetoder»

Standard NS-EN 1338 omhandler krav og prøvingsmetoder for betongbelegningsstein. Den spesifiserer også krav for materialer og egenskaper. Det er hovedsakelig prefabrikkert belegningsstein standarden beskriver, i tillegg til tilpasningsdeler for områder der det er trafikk. Dette kan være i form av fotgjengere og kjøretøy, på ulike arenaer som gater, veier, sykkelveier og fortau. Standarden omfatter ikke synlige/utseendemessige/ egenskaper ved steinen og ikke vanninntrenging for belegningssteinen [10].

#### 8.1.2 NS-EN 1338, nasjonalt tillegg

Dette nasjonale tillegget for NS-EN 1338 omhandler de særegne forholdene i markedet i Norge, og det som man må være oppmerksom på dersom denne standarden benyttes. Hensikten med tillegget er å sette fokus på sentrale punkter i standarden, opplyse om forskjeller og fastsette norske krav og anbefalinger [11].

#### 8.1.3 NS-EN 206 «Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar»

Standarden NS-EN 206 omhandler betong, og betongens spesifikasjoner, egenskaper, fremstilling og samsvar. Det er en standard som er brukt i ulike forhold, der forskjeller for både klima og geografi spiller inn. Det stilles krav til bruk av delmaterialer som omfattes av europeiske standarder, og de som ikke er beskrevet i noen standard kan brukes etter regler på betongens bruksområde. Betongen må ha riktig eksponeringsklasse, minimumsoverdekningen for armering skal være i samsvar med det som er beskrevet. I tillegg skal betongen være støpt, komprimert og herdnet etter krav som er beskrevet i standarden. I tillegg må vedlikeholdet som brukeren utfører være hensiktsmessig. Standarden definerer oppgavene til de forskjellige aktørene, som for eksempel produsent og bruker. Der det også stilles krav til at informasjon blir utvekslet mellom de forskjellige aktørene [12].

#### 8.1.4 NS-EN 1744-1 «Prøvingsmetoder for kjemiske egenskaper for tilslag – Del 1»

Standarden 1744-1 omhandler tilslag og prøvingsmetodene for de kjemiske egenskapene til tilslaget. Beskrevet i standarden er prosedyrer, og videre er det beskrevet alternative metoder dersom prosedyrene ikke gir noen resultater. Denne standarden kan brukes til produksjon, revisjonstester og typetesting. Ved typetesting burde referansemetoden brukes og ved fabrikkproduksjon er det mulig å bruke alternativ metode dersom den har et passende arbeidsforhold med referansemetoden [13].

#### 8.1.5 NS-EN 12390-6 «Prøving av herdnet betong – Del 6»

Standarden NS-EN 12390-6 omhandler prøving av herdnet betong og i denne standarden er det hovedsakelig prøvelegemets spaltestrekkfasthet som settes i fokus. Det stilles krav til hvordan



metoden for spaltestrekfasthet skal utføres. I tillegg blir det beskrevet hvordan man undersøker spaltestrekfasthet med elementer både i sylinderform og andre former [14].

#### 8.1.6 NS-EN 12620 «Tilslag for betong»

Standarden NS-EN 12620 omhandler tilslag for betong. Det blir beskrevet egenskaper for tilslaget og fillere, som fremstilles industrielt, er naturlig eller er resirkulert. Den dekker tilslag med korndensitet  $>2,00 \text{ Mg/m}^3$  og for resirkulert tilslag mellom  $1,5\text{-}2,00 \text{ Mg/m}^3$ . I tillegg til dette er dekket den resirkulert fin tilslag (4 mm). Standarden krever også at det skal utføres kvalitetskontroller for produksjon. Det er ikke beskrevet noe om fillere som skal brukes som en bestanddel i sement, men fillere som ikke har evne til å danne forbindelser i betong er beskrevet i standarden. Standarden gir en merknad om at ukjente materialer fra sekundære forekomster ikke er beskrevet godt nok i standarden, men disse materialene er under undersøkelser for å finne ut om materialenes opprinnelse og egenskaper [15].

#### 8.1.7 NS-EN 12350 «Prøving av fersk betong – Del 4»

Standarden omhandler å definere konsistensen på fersk betong ved å undersøke komprimeringsgraden. Det er beskrevet metode for komprimering med vibrasjon, dimensjoner på beholdere, formel for å finne komprimeringsgrad og referanseverdier for resultater til komprimeringsgrad [16].

## 8.2 Betongbelegningsstein

Betongbelegningsstein skal produseres og testes etter standard NS-EN 1338 «Belegningsstein av betong. Krav og prøvingsmetoder» [17]. Det er visse dimensjonskrav til belegningsstein. Tverrsnittet må ha en horisontal lengde  $\geq 50\text{mm}$ , ved en avstand på minst  $50\text{mm}$  fra alle kanter. I tillegg skal forholdet mellom største tykkelse og største lengde være  $\leq 4$ . Tilpasningsdeler er utelatt disse kravene. Det er også satt opp tillatte avvik til lengde, tykkelse og bredde. For belegningsstein med en tykkelse mindre enn  $100\text{mm}$ , er tillatt avvik i lengde og bredde  $\pm 2\text{mm}$ , mens det for tykkelse er  $\pm 3\text{mm}$  [18] [17]. Belegningsstein skal også, ifølge NS-EN 1338, oppfylle visse krav til frostmotstand, spaltestrekfasthet, slitasjemotstand, skli-/glimotstand, branntekniske egenskaper og varmekonduktivitet [17].

#### 8.2.1 Herregård belegningsstein

Herregård belegningsstein er en type betongbelegningsstein produsert hos ASAK. Herregårdssteinen har sin karakteristikk ved det rustikke utseende. For å oppnå dette utseende, blir kanter og flater slipt ned i en trommel, også omtalt som aldringsprosess [19].

Herregårdssteinen produseres i ulike fargenyanser, bla koksmix, rødmix, gråmix og brunmix. Steinen kommer også i ulike former og formater [19].



**Helstein**  
20x13,5x6 cm  
37 stk pr m2  
133 kg pr m2  
Nobb: 22647846

*Figur 8.1 Dimensjoner for Herregård belegningsstein [18]*

### 8.2.2 Permac belegningsstein

Permac lock er en type belegningsstein i serien Permac, produsert hos ASAK. Denne belegningssteintypen er godt egnet for areal hvor det forekommer tung belastning. Dette gjelder dekker på blant annet industriarealer, flyplasser og havneanlegg. Forskjellen på denne type stein kontra for eksempel herregårdstein, er at den har en bedre bære- og lastfordelingsevne. Det karakteristiske L-utseende har sin funksjon ved at det gir stabilitet i forhold til vridning og låsing i alle retninger. Dekker lagt med denne steinen er både sterke og stabile [20].



**Permac Lock**  
22 x 22 x 10cm  
26,5 stk. pr. m2  
220 kg pr. m2

*Figur 8.2 Dimensjoner for Permac belegningsstein [19]*

### 8.3 Resirkulerte gravemasser

Resirkulert tilslag er knust herdet betong. Dette kan brukes som tilslag i betongproduksjon, men det er flere føringer på hvordan. Dette tilslaget har ingen bindemiddeleffekt, og det har ofte dårligere egenskaper, både på støpelighet og styrke, enn naturlig tilslag. Bruk av resirkulert tilslag vil ofte føre til en større andel sement i den ferdige betongen. I Norge benyttes resirkulert tilslag i betongproduksjon, i veldig liten grad [1].

Resirkulert tilslag har sin opprinnelse ved at man bearbeider uorganisk materiale som tidligere har vært brukt [15]. Det produseres ved at tungt byggeavfall knuses [21]. Resirkulert tilslag bør ansees å være reaktivt tilslag før annet er dokumentert [15].

Når det gjelder residualfraksjon er dette en rest fra gravemasser. Produksjon av resirkulert tilslag fra gravemasser til bruk i betongproduksjon har manglende dokumentasjon når det gjelder egnethet. For at resirkulert tilslag produsert fra gravemasser skal kunne ha tilsvarende bruksområde som naturlig tilslag, må egenskapene være stabile samt at dette kan dokumenteres. Egenskapene som må deklarerer er vannabsorpsjon, innhold av vannløselige og kjemiske stoffer, motstand mot knusing og slitasje, klassifisering, finstoffinnhold, gradering og korndensitet [6].

Når det gjelder egnetheten, skal varer som skal benyttes i bygg -og anlegg ha dokumentasjon i henhold til byggt teknisk forskrift som tar for seg dette. I dag anses resirkulert tilslag av standardverket som det tilslaget hvor prøvingshyppigheten er minst. For gravemasser, som kan komme fra ulike kilder og hvor opprinnelsesmaterialet er ukjent, må prøvehyppigheten økes. For resirkulert tilslag fra gravemasser er det i dag ingen dokumentasjon eller deklarasjonsveileder. For å kunne benytte resirkulert tilslag er det nødvendig med dokumentasjon på egenskapene til råmaterialene. Dette dreier seg om utvikling av toleranseverdier og gode kontrollrutiner. Forslag til dette vil bli utviklet av forskningsprosjektet RESGRAM [6].

## 8.4 Partikkelstørrelsefordeling

Klassifisering av kornstørrelse er viktig da egenskapene til løsmasser avhenger av kornstørrelse, og vektfordelingen av disse. I Norge benytter man en NGI-skala hvor de mineralske jordartene er inndelt med hensyn på kornstørrelse. I denne skalaen klassifiseres de utelukkende etter korndiameter [22].

### 8.4.1 Sikteanalyse

Tilslag i størrelsesorden 0,063mm til 90mm analyseres ved hjelp av en sikteanalyse. Ved en utført sikteanalyse skal det regnes ut andel i prosent av de ulike kornstørrelsene. Massen som hentes ut fra prøven, skal veies og få benevnningen  $M_1$  i videre utregninger. Massen som ikke går gjennom den første sikten har benevnning  $R_1$ . Siktene som ligger under den første sikten har videre benevningene  $R_2$ ,  $R_3$ , til den fineste sikten som har benevnning  $R_n$ . Bunnpannen har benevnningen P og den totale vekten på massen som er siktet skal ha benevnningen  $M_2$  [23].

Videre skal det regnes ut om forskjellen mellom  $M_1$  og  $M_2$  er mindre enn 1%. Dersom forskjellen er mer enn dette, må sikteanalysen utføres på nytt [23].

(8.1) Formel for prosentandel som ikke kom med i analysen [23]:

$$M_1 - M_2 = X$$
$$(X / M_1) * 100 = \% \text{ for svinnet}$$

Hver sikterest ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ...) skal regnes ut fra mengden  $M_1$ .

(8.2) Formel for prosentverdi for delfraksjonen [23]:

$$X_i = (R / M_1) * 100 = \% \text{-andel}$$

#### 8.4.2 Mastersizer 3000

De minste tilslagsstørrelsene er vanskelig å måle ved hjelp av en sikteanalyse. En mastersizer 3000 kan bestemme partikkelstørrelse i størrelsesorden 10nm til 3.5mm. Teknikken som benyttes i en slik maskin er laserdiffraksjon. Ved laserdiffraksjon sendes en laserstråle i en gitt retning. Når strålen treffer partiklene bryter strålen banen sin, og vinkelen måles. Denne vinkelen har sammenheng med partikkelens størrelse. Store partikler gir små vinkler på laserstrålen, mens små partikler gir større vinkler på laserstrålen [24].

### 8.5 Tilslagsstørrelser

De ulike tilslagsstørrelsene som tilsettes i betongproduksjon betegnes med d/D. Hvor «d» er minste tilslagsstørrelse, og «D» er største tilslagsstørrelse, i sikteanalysen. Tilslag som tilsettes som filler betegnes ikke på denne måten, men som filler [25].

#### 8.5.1 Filler

Filler er det fineste tilslagsmaterialet i betong [25]. Her passerer det aller meste av tilslaget 0,063 millimeterssikten. Det tilslaget som passerer denne siktestørrelsen har navn «finstoff» [15]. En utmerket egenskap ved bruk av riktig mengde filler i betong er at det vil redusere behovet for sement. Blir det derimot brukt for stor mengde filler i produksjonen, vil det gi et økt behov for vann. Dette vil igjen gi økt behov for bindemiddel [25]. Filler kan benyttes som et tilsetningsmateriale for å gjøre betongblandingen stabil [26].

#### 8.5.2 Grovt tilslag

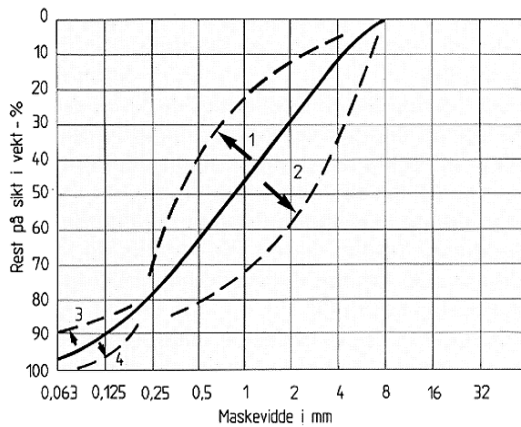
Grovt tilslag har «d» større eller lik 2mm, og «D» større eller lik 4mm [15]. Dette tilslaget kan enten være naturlig eller knust materialet. Denne tilslagsstørrelsen blir ofte omtalt som stein [1]. Stein av naturlig art i størrelsesorden 4/80mm betegnes som Singel. Stein i samme størrelsesorden fremstilt ved knusing betegnes som pukk [27].

Tilslagsmaterialet pukk er et tilslagsmateriale av god mekanisk styrke, som inkluderer både stein fra brudd eller stein siktet ut fra sandtak. Pukk er fremstilt på et pukkverk som henter ut materiale fra naturlige grusavsetninger og deretter blir pukk produsert i et knuseanlegg. Pukk produsert i knuseanleggene er et godt alternativ til stein som er naturlig, men som regel vil produksjonen av pukk i knuseanlegg være mer kostbart. Pukk er i tillegg en del av flere ressurser i betongproduksjon som ikke er fornybare, og dette kan medføre at det kan bli mangel på både knuste og naturlige materialer med de samme kvalitetene [27]. Pukk blir som oftest fremstilt av seig naturstein, som for eksempel granitt, gabbro og gneis. Formen på pukk produsert i fabrikk har ofte uregelmessig form med skarpe kanter [28].

#### 8.5.3 Fint tilslag

Fint tilslag har «D» mindre eller lik 4mm [15]. I Norge defineres den øvre grensen som 8, men for at tilslag skal kunne defineres som sand i europeiske land må den være mindre enn 4mm [26] [29]. Denne tilslagsstørrelsen omtales gjerne som sand. Natursand er det mest vanlige i Norge, men det kan også fremstilles maskinelt, maskinsand [1].

Det finnes også både naturlig sand og knust sand. Den naturlige sanden vil bli påvirket av kvaliteten på fjellgrunnen der sanden er hentet ut fra. Det skal derfor sjekkes for humusinnhold, grunnet at man ikke vet om fjellgrunnen rundt er fri for humus [29].



Figur 8.3 Sandens egenskaper i forhold til fersk betong [30]

Siktetekurve	Konsekvens for fersk betong
1. En åpnere sandkurve (økt poreinnhold, mindre pakningsgrad), såkalt sandpukkel kan medføre:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- økende vannbehov</li> <li>- økende luftinnhold</li> <li>- lettere flyt/mobilitet</li> <li>- fare for separasjon/ustabil betong</li> </ul>
2. En tettere sandkurve (som innenfor visse grenser medfører redusert poreinnhold) kan gi:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- redusert vannbehov</li> <li>- tettere pakning/mindre luftinnhold</li> <li>- mindre flyt/mobilitet/dårligere pumpbarhet («harsk» betong)</li> </ul>
3. Økt fillermengde fordres ved:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- magre blandinger (lavt sement-/fillerinnhold)</li> <li>- skarp kornform</li> <li>- bløt betong</li> </ul>
4. Redusert fillermengde er fordelaktig ved:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fete blandinger (høyt sement-/fillerinnhold)</li> <li>- rund kornform</li> <li>- stiv konsistens («tørr» betong)</li> </ul>

Tabell 8.1 Forklaring av kurven [30]

Det er beskrevet i tabell 8.1 at en åpen sandkurve, også referert til som sandpukkel, kan føre til redusert pakningsgrad. Dette kompenseres ofte ved å tilsette mer sement. Dette vil i tillegg føre til økt varmeutvikling [30].

#### 8.5.4 Sement

Den viktigste komponenten i betong er sement. Under hydratiseringen reagerer sement med vann, og danner et lim. Virkningsmekanismen til sement kommer av at det er et hydraulisk bindemiddel, et uorganisk materiale som utvikler fasthet i kontakt med vann [31] [32]. Før sementen kommer i kontakt med vann, har den ingen bindemidelegenskaper [1]. Hvor raskt betongen utvikler fasthet, og hvor sterk fasthet det kan oppnås, avhenger av sementen [33]. Det finnes flere ulike sementtyper, inndelt etter bruksområder. Standard portlandsement kjennetegnes ved at det oppnås middel fasthet, herdeforløp og hydratasjonsvarme [31].

Sement fremstilles ved at kalkstein, som hovedsakelig består av kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), knuses sammen med aluminiumoksid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kvarts og jernoksid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Dette knuses ned til pulver, og blir deretter brent i en sementovn ved omtrent  $1400^\circ\text{C}$ . Under brenning av kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), spaltes  $\text{CO}_2$  av. Denne prosessen kalles kalsinering. Det er under denne fasen kalk ( $\text{CaO}$ ) fremkommer. Kalken smeltes deretter sammen de andre mineralene, som sammen utgjør sementklinker [1] [34]. Gips blir også tilsatt under produksjon av sement. Årsaken til dette er at det vil påvirke sementens evne til å størkne. Hadde ikke gips inngått i sementproduksjonen ville sementen stivnet øyeblikkelig ved kontakt med vann [1].

For å redusere belastningen sementproduksjonen har på miljøet, har det i de siste årene vært stort fokus på reduksjon av  $\text{CO}_2$ -utslipp i prosessen. Mye av råmaterialene kan derfor komme fra alternative kilder, samt utnytting av alternativt avfall som brensel [1] [31].

## 8.6 Partikkelpakking

Sammensetning av betong har innvirkning på de mekaniske egenskapene. En god kombinasjon av forskjellige kornfordelinger vil tette hulrommene mellom store korn, og dermed vil gi bedre fasthet og bestandighet [1] [26] [35]. Dersom det er lite hulrom i blandingen på grunn av bruk av fine korn, vil dette også føre til at det er mulig å redusere sementmengden. En sammensetning med mye grovt tilslag i samme størrelse, kan føre til store hulrom og økt bruk av sement. Videre kan dette føre til separasjon av den ferske betongen og økt svinn [26]. Små partikler står for mye av overflatearealet til sammensetningen til tilslagsmaterialet, selv om de utgjør en liten del av volumet. Tilslag med stort overflateareal i forhold til volum vil øke behov for sement [1].

### 8.6.1 EMMA

EMMA «Elkem Materials Mixture Analyser» er et dataprogram som kalkulerer, og viser partikkelstørrelsesfordelingen, i en blanding av forskjellige materialer. Programmet brukes til å undersøke fordelingen i forskjellige produkter laget av betong, selv om det ble konstruert for å lage en selv-flytende betong. Ved bruk av programmet kan man optimalisere mekanisk styrke, redusere væskeinnhold og få en effektiv partikkelpakking [36].

Programmet baserer seg på Andreassen-metoden. Andreassen foreslo i 1931 at optimal pakking var mulig. Ved hjelp av datasimulering har det blitt vist at 100% pakking er mulig, dersom det benyttes en fordelingskoeffisient  $\leq 0,37$ . Programmet skisserer en graf for optimal partikkelpakking. Denne grafen er rød. Graf for egen resept er blå. Dersom den blå linjen er over den røde grafen, er det for stor mengde av denne partikkelstørrelsen i resepten. Motsatt dersom den blå linjen er under den røde grafen, er det for liten mengde av denne partikkelstørrelsen i resepten. Prinsippet er at ved å endre innhold av de ulike materialene i resepten, eller tilsette/fjerne materialtyper, kan tilsvarende graf oppnås, og dermed også optimal partikkelpakking [36].

## 8.7 P-stoff

Tilsetningsstoffer tilsettes betongblandingen for å gi betongen bestemte egenskaper. I Norge er P-stoff det vanligste tilsetningsstoffet brukt i betongproduksjon. P-stoff, lignosulfonat, er et biprodukt fra celluloseindustrien, og virker plastiserende [26]. Ved å tilsette korrekt mengde p-stoff, kan altså vannmengden i betongblandingen reduseres. I tillegg til dette løser p-stoffet opp klumper av sement som har klistret seg sammen [26] [37]. Dersom det er ønskelig å beholde samme ferske betongkonsistens, kan vannmengden reduseres dersom p-stoff tilsettes. Dette vil igjen kunne føre til redusert sementmengde i blandingen. Det finnes også negative bivirkninger ved tilførsel av p-stoffer, det kan virke retarderende på herdeprosessen. Dersom mengden p-stoff er omkring 0,5% av sementvekten vil betongblandingen vanligvis ha marginal retardering i herdeprosessen. Nærmer derimot mengden seg opp mot 1% vil retarderingen bli betydelig og uforutsigbar [26]. I følge NS-EN 206 «Betong – Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar» kan ikke innholdet av tilsetningsstoff i forhold til sementmengde være større enn 1/20 [1].

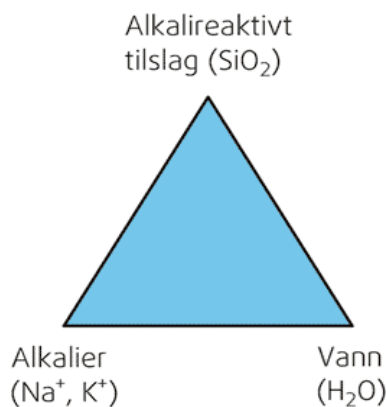
## 8.8 Organiske stoffer

Humus er en organisk substans som utvikles av døde plante- og dyrerester i jorden [13], og er den vanligste formen for forurensning i grus. Det er også den mest skadelige formen. Humus finnes stort sett i det øverste laget på grustak, og det er derfor viktig å fjerne denne delen ved uttak av grus. Dersom humusholdig tilslag blir benyttet i betongproduksjon kan dette føre til retardert herdeutvikling [26]. Det kan også redusere trykkfastheten. I alvorlige tilfeller kan dette gjøre at betongen ikke blir bundet [1].

Innhold av humus kan testes ved bruk av 3% natronlut og fargeskala [13]. Innhold av jernforbindelser kan gi misvisende resultater ved en slik test [34]. En annen metode for å undersøke organisk tilstedeværelse i et materiale er ved å utføre en «loss on ignition»-test, LOI. LOI er bestemmelse av glødetap. Her forbrennes materialet ved en gitt temperatur, og massetapet indikerer tilstedeværelsen av organiske materialer. Massetapet kan i enkelte tilfeller være tap av krystallvann eller uorganiske stoffer med forbrenningsgrad innen den gitte temperaturen [38]. Et tredje alternativ for undersøkelse av organisk materiale er TOC, total organic carbon. Dette er en kjemisk metode, hvor det kun er organisk materiale som vil forårsake massetapet [39].

## 8.9 Alkali

Alkalireaksjoner i en betongkonstruksjon er en nedbrytningsmekanisme som blir ansett som alvorlig. For at en alkalireaksjon skal forekomme må det være alkalireaktive tilslagskorn i stor nok mengde, høy nok alkalimengde og høyt nok fuktinnhold (høyere enn 80% RF). Dersom disse kravene ikke er oppfylt, vil det heller ikke forekomme en alkalireaksjon [1].



Figur 8.4 Betingelser for Alkalireaksjon

I tillegg kan temperatur ha en stor innvirkning på hvor raskt alkalireaksjonen skjer. Dersom betongelementet blir utsatt for varme over 30 grader celsius og mye fukt, vil alkalireaksjonen oppstå hurtigere [1].

Tilslag som inneholder mer enn 20% risikobergarter (Bergarter som ryolitt, siltstein fyllitt, gråvakke, kvartsitt, mylonitt og sandstein i Norge), er i norsk regelverk definert som alkalireaktive. Det finnes ingen felleseuropeiske standarder for tilslag som er alkalireaktivt, som tilsier at man skal følge nasjonale regelverk [1]. Ved bruk av pozzolaner i sementen vil faren for at det oppstår alkalireaksjoner reduseres [31].



Alkaliioner ( $\text{Na}^+$  og  $\text{K}^+$ ) kan fremtre i sement, blandevann, tilsetningsstoffer eller ved senere inntrengning [1]. For å unngå alkaliioner i betongen, er det mulig å bruke lavalkalisement, der den øverste grensen for alkaliinnhold er 0,6%. I norsk Portlandsement er det ca. 1% alkaliinnhold, og derfor er denne over grensen for lavalkalisement. Tabellen under gir en oversikt over alkaliinnholdet i forskjellige sementer [40].

Tabell 33  
Alkaliinnhold i et utvalg sementer på det norske markedet  
(Kilde: Norcem AS, Embra)

Sementtype	Klassifisering, se Byggetaljer <a href="#">572.204</a>	Typisk alkaliinnhold %
Norcem Anleggsement	CEM I 52,5 N-LA	0,60
Norcem Industrisement	CEM I 42,5 RR	1,2
Norcem Standard FA Kjøpsvik	CEM II/A-V 42,5 R	1,5
Norcem Standard FA Brevik	CEM II/A-V 42,5 R	1,3
Norcem Standard Kjøpsvik	CEM I 42,5 R	1,3
Norcem Standard Brevik	CEM I 42,5 R	1,1
Norcem Sulfatresistent sement	CEM I 42,5 R-SR-LA	0,60
Embra Miljøsement	CEM II/B-S 52,5 N	0,73

Tabell 8.2 Alkaliinnhold i en rekke sementer [40]

En flytende tung masse (gel) er reaksjonsproduktet ved en alkalireaksjon. Denne massen er sterkt hygroskopisk, den binder seg vann og kan derfor ekspandere dersom det er utsatt for høyt trykk når vann er tilstede. Dette vil føre til store oppsprekninger i betongen, som sees som et rissmønster i overflaten. I en alkalireaksjon i et produkt med store porer, vil denne gelen ekspandere inn i poresystemet og dermed føre til at det ikke blir noen oppsprekking i betongelementet. Dette kan føre til at betongen blir tettere og sterkere [1].

Det er flere konsekvenser dersom en alkalireaksjon oppstår. I tillegg til oppsprekninger i overflaten, kan også E-modulen reduseres. Dersom E-modulen reduseres, kan dette føre til større deformasjoner. De konsekvensene som er det største problemet, er følgeskadene av skadene på overflaten til betongelementet. Dette kan være at vann eller andre stoffer trenger inn og fører til større skader [1].

## 8.10 Blandeprosedyre

Blandemaskinen som blir brukt i denne oppgaven er en tvangsblender. En tvangsblender består av et kar og et roterende lokk med blader under til å skuffe materialene i maskinen. Blandingen burde være passende for maskinen og dens kapasitet [26].

På blandeverkene er det automatiseringen som styrer fordelingen av materialer som skal i blandemaskinen. Det er viktig at sementen ikke går i maskinen først, da den fort kan binde seg til fuktige steder i maskinen. Det er derfor vanlig å tilsette tilslaget først, og deretter resten av materialene. For å holde arbeidsområdet fritt for støv, er det smart å ha vekten for sement i nærheten av blandemaskinen. Tilsetningsstoffene som skal i blandingen burde tilsettes sammen med

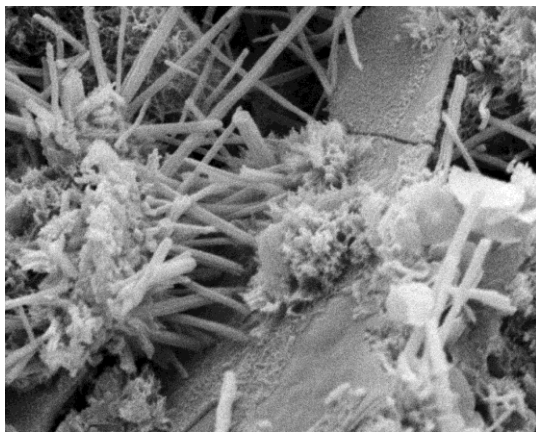


en del av vannet. Dersom alt vannet ikke benyttes kan resten av vannet tilsettes i slutten av blandeprosessen, for å forbedre støpbarheten [26].

Blandetiden er viktig for at blandingen skal bli godt nok blandet. Blandingen skal være ensfarget og homogen, alle gruskorn og steiner skal være dekket av sement og vann, der alt er likt fordelt i hele blandingen. Når blandingen er ferdig er det viktig at blandingen ikke blir forflyttet, slik at den ikke kan separere seg. Ved tømning av blandemaskinen burde også blandingen tømmes vertikalt, da dette reduserer faren for separering [26].

### 8.11 Hydratisering

Under herdingen av betong reagerer sement med vann. Denne prosessen kalles hydratisering. Det vokser da ut «tråder» fra sementkornets overflate. Disse trådene binder seg sammen, og danner et lim. Hydratiseringen kan foregå over flere år, men utviklingen skjer raskest de første døgnene. Sementlimets styrke avhenger av vann-sementforholdet, V/C-forholdet. Den ferdige betongens styrke avhenger igjen av sementlimets styrke. Sementlimet er også avgjørende på hvor tett og bestandig betongen vil bli.



Figur 8.5 Forstørret bilde av sementlim [40]

Dersom all sementen skal hydratisere, og omdannes til sementlim, vil det være et vannbehov på 40% av den totale sementvekten. 25% vil gå til den kjemiske prosessen av hydratiseringen, mens 15% vil bli fysisk bundet til overflaten. Dersom vannmengden overstiger 40%, V/C-forholdet stiger høyere enn 0,4, vil den ferdige betongen bli dårligere som følge av at sementlimet blir svakere og mer porøst. Lavere V/C-forhold vil ikke gi tilstrekkelig mengde vann for at all sementen vil kunne hydratisere [26].

Det finnes andre bindemidler som kan benyttes i betongproduksjon. Slike bindemidler er pozzolaner og slagg. Dersom slike bindemidler blir benyttet i betongblandingen i tillegg til sement, byttes V/C-forholdet ut med masseforhold [26]. Masseforhold er vann/bindemiddel [33].

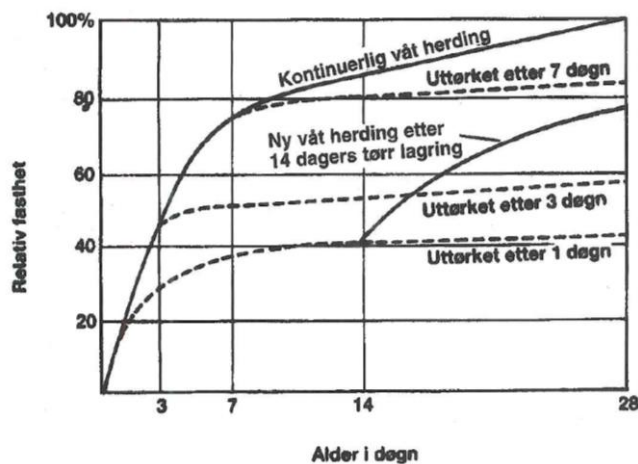
### 8.12 Herdeteknologi

Mye av herdeprosessen for betong foregår de første dagene etter støp, og denne tiden vil påvirke hvordan betongens langtidsegenskaper blir. Det er tre betingelser som fører til at betongen har en optimal herdeutvikling. Disse tre herdebetingelsene er temperatur, tid og fuktighet [26].

Under herdeprosessen begynner en varmeutvikling, forårsaket av hydratiseringen. På grunn av varmen, vil fuktigheten fordampe og drive ut til luften rundt. Sementlimet i betongen bli mer kompakt, som videre vil medføre mindre fuktighet tilført overflaten. Dersom overflaten til betongen ikke tildekkes under herdeforløpet vil overflaten bli svak. For å oppnå bedre kontroll over herdeforløpet av prøvelegemet, er det mulig å legge prøvelegemet i vannbad. Vannbadet er ofte innstilt på en konstant temperatur på 20°C. Det er viktig at overflaten og innvendig deler av betongen ikke er utsatt for store temperaturforskjeller under herdetiden. Riss, oppsprekking og dårligere bestandighet er negative reaksjoner ved store temperaturforskjeller [26].

Herding av betong oppstår ikke momentant, grunnet gipsens retarderende evne i sementen. Kalsiumsulfatet (gipsen) må bli brutt ned før hydratiseringen kan starte. Denne retarderende effekten er nødvendig for at sementlimet skal kunne bearbeides og utsette herdingen slik at støp av betong kan foregå på en hensiktsmessig måte [1].

For å undersøke betongens fasthetsutvikling, testes prøvelegemene hyppig i løpet av 48 timer. Videre vil ofte de resterende testene utføres etter 3 døgn, 7 døgn og 28 døgn [1]. Det er ofte ikke stor forandring i fasthetsutviklingen etter 7 døgn, og derfor kan man ofte forutse fastheten ved 28 døgn [35].



Figur 8.6 Fasthetsutvikling [26]

Fasthet måles i kraft per flateenhet og er den største spenningen et materiale kan utsettes for før det går til brudd. Benevningen for fasthet er MPa = N/mm<sup>2</sup> [34]. Kunnskap om fasthetsutvikling er viktig for planlegging og utførelse av arbeid med betong. Parameterne som bestemmer fasthetsutviklingen er klinkersammensetning, masseforhold, V/C-tall og herdeforhold [41] [31].

Det finnes flere metoder for å undersøke fasthetsutviklingen av et prøvelegeme. Den mest vanlige er trykkfasthet, der det undersøkes hvor stor trykkraft betongen tåler per flateenhet. I tillegg finnes det flere strekkfasthetsmetoder, for å undersøke hvor mye strekk betongelementet tåler. Dette er strekkfasthet, spaltestrekfasthet og bøyestrekfasthet [26]. Betongens strekkfasthet er normalt omtrent 4-12% av betongens totale trykkfasthet. På grunn av at strekkfastheten ikke bidrar særlig til bæreevnen, er det ofte ikke et krav til strekkfasthet for de fleste betongelementer. For å øke strekkfastheten blir det som regel brukt armering [1]. Den siste metoden for å undersøke fasthet er

standfasthet, som omhandler evnen maskinlagde betongelementer har til å beholde riktig form og dimensjoner etter støp [26].

### 8.13 Komprimering

Ved produksjon av betong, og ved påfyll i former, vil det oppstå luft i blandingen [42]. Komprimering av betong er viktig for å oppnå at betongen pakker seg godt, samt at luftbobler inne i betongen blir redusert [43] [1]. Variablene som avgjør mengde luft kommer fra partikkelstørrelsefordeling, hvilken blandemaskin som brukes, blandetid og selve betongkonsistensen [42]. Komprimering av betongelementer er viktig for at betongen skal flyte ut i formen, at luftbobler skal forsvinne og for at betongen skal dekke armeringen i elementet [26]. I tillegg vil god komprimering ha stor innvirkning for fasthetsutviklingen for betongelementene, da luftporer vil påvirke den herdede betongen [1]. Tilstrekkelig komprimering er avgjørende for å utnytte materialenes muligheter [26]. I følge NS-EN 206 skal betongens konsistens bestemmes enten ved synkprøving, komprimeringsgrad, utbedringsmål eller synkutbredelsesprøving. For spesielle bruksområder, som jordfuktig betong, kan annen metode anvendes [1].

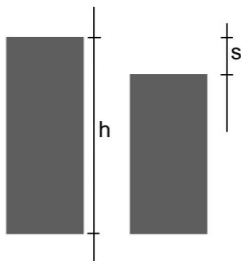
En metode for å komprimere betong er vibrasjon. Ved vibrasjon blir betongen utsatt for sterke vibrasjoner (3000 til 18000 svingninger/minutt), som vil drive luften ut av betongen. I tillegg vil vibrasjonen øke trykket fra betongen til formene. Videre vil lengden på vibreringstiden ha påvirkning på det ferdige produktet. Normal vibreringstid er på 5-10 sekunder [26]. Densitet, fuktighet og mengde av luftporer er noe av det som bestemmer hvor mye kraft i vibrasjonen som behøves for å komprimere betongen. En fersk betong med en jordfuktig konsistens er ofte vanskelig å komprimere, og behøver derfor mye krefter for å oppnå tilstrekkelig komprimering. Det er ofte nødvendig at betong med jordfuktig konsistens blir produsert i form med både trykk og vibrasjon, for å få ønsket fasthet og tetthet. Endringer i tilslagsmaterialene kan påvirke komprimeringsgraden. Flere hulrom i den ferske betongen, kan føre til at komprimering med kraft ikke vil fungere [1].

(8.3) Graden for komprimering er gitt ved [16] :

$$C = \frac{h}{h - s}$$

H = Høyden innvendig i beholderen

S = høyden etter komprimering fra den ferske betongen til kanten av beholderen



Figur 8.7  
Komprimeringsgrad [egen figur]

## 8.14 Porer

Betong er et materiale som inneholder om lag 120-180 liter porer pr. m<sup>3</sup> betong [1]. Luftporenes størrelse og form spiller en viktig rolle inn på egenskapene til betongen, i tillegg til mengden. Betongens tetthet, styrke og bestandighet avhenger av kapillærporer og luftporer. Kapillærporer oppstår når det er mer vanninnhold enn nødvendig i blandingen, mens for å unngå store mengder luftporer er det viktig at tilslaget er godt gradert. Det vil alltid oppstå noe innkapslet luft, men god pakking og komprimering vil bidra til å redusere mengden. I noen tilfeller er det ønskelig å øke luftinnholdet i betongmassen, da det kan bidra til å gjøre betongen mer tilbørlig for frysing og tining. 1% økning av luftporer vil gi 4% redusert fasthet, så innføring av luftporer i betongen må være nøye overveid. Dersom betongen beholder utseende og styrke over tid, er det også en bestandig betong. Utføringen av støp, komprimering og herding er svært viktig for bestandigheten av betongen. [26].

## 8.15 Densitet

Densitet er et mål på massetetthet, masse per volumenhet. Ved å måle den herdede betongens densitet kan luftinnhold og komprimeringsgrad bestemmes. Det vil også kunne gi en formening om pakningsgraden av materialet. Herdet betong har som oftest en densitet på ca. 2400kg/m<sup>3</sup> [26]. Det er en god referanse å sjekke densiteten til prøvelegemene før en går i gang med test av spaltstrekkfasthet, for å sjekke hvor kompakt prøvelegemet er [14]. Vannets densitet er 1,0g/cm<sup>3</sup> [26].

(8.4) Densitet [kg/m<sup>3</sup>] [44]:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

m = masse i luft (g)

(8.5) V = volum (dm<sup>3</sup>) [44]:

$$V = \frac{(\text{masse i luft (g)} - \text{masse senket i vann (g)})}{\text{vannets densitet } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

### 8.15.1 Densitet av filler

Utregning av densitet av filler baserer seg på formler hentet fra Statens Vegvesens håndbok [23]:

(8.6) Volum av pyknometer:

$$V = \frac{(M_3 - M_0)}{P_w}$$

V = volum av pyknometer (ml)

M<sub>0</sub> = Pyknometerets vekt (g)

M<sub>3</sub> = Pyknometerets vekt med vann (g)

P<sub>w</sub> = Vannets densitet (Mg/m<sup>3</sup>)

(8.7) Densitet av filler:

$$P_f = \frac{(M_1 - M_0)}{V - \frac{(M_2 - M_0)}{P_l}}$$

$p_f$  = Densitet for filler

$M_0$  = Pyknometrets vekt (g)

$M_1$  = Pyknometrets og tørr prøves vekt (g)

$M_2$  = Pyknometrets, tørr prøve og vannets vekt (g)

$V$  = Volum av pyknometer (ml)

$P_l$  = Vannets densitet ( $Mg/m^3$ )

## 8.16 Spaltestrekkfasthet

Spaltestrekkfasthet er en metode for å måle betongens strekkfasthet [1]. Ved test av spaltestrekkfasthet påføres lasten jevnt. Det vil da oppstå strekkspenninger vertikalt på prøvelegemet. Når strekkspenningene overstiger strekkapasiteten til prøvelegemet, sprekker det [45].

Betongbelegningstein testes for spaltestrekkfasthet på en litt annen måte enn når det benyttes sylindre for bestemmelse av spaltestrekkfasthet til betong. Ved test av spaltestrekkfasthet for belegningsstein av betong benyttes hele belegningssteinen. Siden prøvestykket da ikke har en sylindrisk form benyttes et litt annet oppsett av prøvemaskinen [46] [17].

Den karakteristiske spaltestrekkfastheten skal være  $\geq 3,6$  MPa. Ingen av enkeltresultatene i testen kan være mindre enn 2,9 MPa, eller ha en bruddlast på mindre enn 250 N/mm [11].

Rapporten for måling av spaltestrekkfasthet skal inneholde spaltestrekkfastheten, avrundet til nærmeste 0,1 MPa, og bruddlast pr. lengdeenhet, avrundet til nærmeste 10 N/mm av spaltelengden [17].

(8.8) Trykkfasthet (MPa),  $T$  [17]:

$$T = 0,637 \times k \times \frac{P}{S}$$

- $P$  = Bruddlast (N)
- $S$  = Arealet ( $mm^2$ ) på bruddflaten
- $k$  = korreksjonsfaktor for belegningssteinens tykkelse. For tykkelse  $\leq 140$ mm bestemmes  $k$  etter tabell

$t$ (mm)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
$K$	0,71	0,79	0,87	0,95	1,00	1,06	1,11	1,15	1,19	1,23	1,25

Tabell 8.3 Korreksjonsfaktor,  $k$  [17]

(8.9) Areal ( $\text{mm}^2$ ) på bruddflaten [17]:

$$S = l \times t$$

- $l$  = lengden (mm) på bruddflaten. Måles som gjennomsnitt av måling under og over belegningssteinen.
- $t$  = tykkelsen (mm) på bruddflaten av prøvelegemet. Måles som gjennomsnitt av tre målinger. En måling i hver ende, og en i midten av belegningssteinen.

(8.10) Bruddlast pr. lengdeenhet (N/mm),  $F$  [17]:

$$F = \frac{P}{l}$$

### 8.17 Frostmotstand

Utsettes betongen for vann vil mange av luftporene fylles. I Norge er ikke frostskafer i betong et stort problem, men de er størst i forbindelse med saltholdig vann. Når betongen blir utsatt for saltholdig vann vil det oppstå avskalling. Dette er en prosess som brer seg sakte fra overflaten og innover i betongen. Dette er godt synlig, men dersom det ikke innskrenker overdekningen til armeringen er dette i hovedsak et estetisk problem [1]. Det er spesielt betong på horisontale plan, utsatt for snø og regn, som får problemer med avskalling på grunn av frostsprengning i betongen. Nedbrytningen vil skje raskere og kraftigere ved høyere porøsitet i sementlimet [26]. Når vann fryser utvider det seg med omtrent 9%. Dersom vannfyllingsgraden i poresystemet passerer 90% vil betongen bli påført strekkspenninger. Overstiger disse strekkspenningene betongens strekkfasthet, vil betongen sprenges [35].

Grad av vannmetning og innhold av luftporer er viktige faktorer ved test av frostmotstand, sammen med delmaterialene i betongen [15].

Det finnes tre klasser for test av frostmotstand på belegningsstein. I Norge skal kravene for klasse tre være tilfredsstillende. Klasse tre har ingen krav om vannabsorpsjon, men krever at avskallingen ved en fryse-tine-test ikke overskrider  $1,0\text{kg/m}^2$ . Ingen enkeltverdier kan være over  $1,5\text{kg/m}^2$  [11].

(8.11) Beregning av massetap pr. arealenhet i  $\text{kg/m}^2$  [17]:

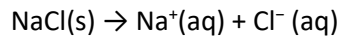
$$L = \frac{M}{A}$$

- $L$  = massetap pr. arealenhet av prøvelegemet ( $\text{kg/m}^2$ )
- $M$  = massen (kg) av den totale mengden avskallet materialet etter 28 døgn.
- $A$  = arealet ( $\text{m}^2$ ) på prøvingsoverflaten.

Rapporten for fryse-tine-testen skal inneholde massetap pr. arealenhet av prøvelegemet ( $\text{kg/m}^2$ ), massen (mg) av den totale mengden avskallet materialet etter 28 døgn og arealet ( $\text{mm}^2$ ) av prøveoverflaten [17].

### 8.17.1 Saltløsning

Når det gjelder løselighet og felling av salter må det i en løsningsprosess foregå en brytning av bindinger, samt at nye bindinger må dannes. Salt løst i vann fører til at saltionene blir totalt omsluttet av vannmolekyler, ionene er hydratiserte. Løselighetsreaksjonen for NaCl ser slik ut [47]:



En saltløsning av NaCl ved 20°C vil opprettholde en relativ luftfuktighet på 75,5%. Avvik fra denne relative luftfuktigheten ved korrekt temperatur er på 0% [48].

Dersom produktene i reaksjonslikningene ikke er rene kan det dannes andre stoffer enn ønsket i reaksjonen [49].

Innhold i springvann kan være noe vanskelig å få full oversikt over. Springvann inneholder bla kjemikalier, bakterier, mikroorganismer, mineraler, jern, nitrogen, mangan, samt magnesiumsalter og kalium fra grunnen [50].

### 8.18 Slitasjemotstand, skli-/glimotstand og branntekniske egenskaper

Ifølge norsk standard vil belegningsstein av betong ha en skli-/glimotstand som oppfyller kravene dersom belegningssteinen ikke er slipt eller polert med den hensikt av å få en glatt overflate. Det er ikke nødvendig å teste betongbelegningsstein for dette dersom den har beholdt sin naturlige form [17]. Belegningsstein av betong tilfredsstiller kravene til den høyeste klassen for branntekniske egenskaper, uten test. Prinsippet for test av slitasjemotstand er å slipe belegningssteinen med et slipemiddel [10].

## 9. Forskerspørsmål

Velde AS gjenvinner pukk, grus og sand fra innkjørte gravemasser. Etter massene er vasket, sortert og ønskede komponenter tatt ut, gjenstår det en resterende fraksjon på størrelse  $<63\mu\text{m}$ . Dette er det vi i oppgaven henviser til som «residualfraksjon». ASAK AS avd. Kristiansand vil heretter omtales som ASAK.

*«Hvordan utnytte residualfraksjonen for bruk i produksjon av betongbelegningsstein, type Herregårdsstein<sup>2</sup>, og dermed oppnå økonomisk gevinst for både Velde AS og ASAK?»*

For å svare på forskerspørsmålet er det satt følgende underspørsmål:

1. Hvordan dispergere<sup>3</sup> residualfraksjonen?
2. Hvordan karakterisere konsistensen til den ferske betongen ASAK<sup>4</sup> benytter i dag, og hvordan oppnå tilsvarende konsistens i laboratoriet ved å tilpasse ulike faktorer (partikkelstørrelsefordeling, vanninnhold, V/C-forhold og redusere sementmengde)?
3. Hvordan oppnå ønskelige mekaniske egenskaper i herdet betong (frostmotstand og spaltestrekkfasthet)?

---

<sup>2</sup> Produsert hos ASAK AS avd. Kristiansand

<sup>3</sup> Dispergere – Finfordele [54]

<sup>4</sup> ASAK AS avd. Kristiansand, type Herregård



## 10. Case/Materialer

I denne oppgaven undersøkes det om residualfraksjonen ( $<0,63\mu\text{m}$ ) fra resirkulerte gravemasser kan benyttes som filler i betongbelegningsstein.

Residualfraksjonens form og konsistens kan minne om leire grunnet vaskeprosessen ved miljøanlegget til Velde AS. Dette gjør dispergering til et viktig element for å kunne utnytte den i blandeprosessen, da oppnåelse av en homogen betongmasse kan være utfordrende.



Figur 10.2 Miljøanlegget til Velde AS [eget bilde]



Figur 10.1 Residualfraksjonen i anlegget til Velde AS [eget bilde]

Regelverk knyttet til produksjon av betongbelegningsstein er beskrevet i NS-EN 1338. Det er i denne oppgaven valgt å fokusere på spaltestrekkfasthet og frostmotstand.

Da residualfraksjonen er en resirkulert gravemasse, kan den inneholde spor av andre stoffer som kan ha en virkning på det ferdige produktet. Det vil derfor være nødvendig å undersøke residualfraksjonen for organisk materiale.

I produksjonen hos ASAK krever maskinen at den ferske betongkonsistensen er jordfuktig, slik at den kan avformes direkte etter komprimering. Det er derfor nødvendig å tilstrebe tilsvarende konsistens i laboratoriet ved UiA.

Det skal i denne oppgaven utvikles en resept med innhold av residualfraksjonen som filler for bruk til produksjon av betongbelegningsstein. Målet er at resepten skal gi økonomisk vinning til både ASAK og Velde AS.

## 11. Metode

Dette kapitlet tar for seg ulike metoder benyttet for å kunne svare på oppgaven. Både kvalitativ og kvantitativ metode er anvendt. Det ble også benyttet Microsoft Excel, Microsoft Project og et grafisk tegneprogram. Disse programmene vil ikke bli forklart nærmere.

### 11.1 Litteraturstudie

Formålet med litteraturstudiet var å tilegne teoretisk kunnskap, for å få en bredere forståelse for aktuelle temaer. Faglitteratur, vitenskapelige artikler, produktinformasjon og relevante håndbøker for laboratorieundersøkelser er anvendt under hele prosjektperioden. I tillegg til bøker ble det anvendt faglitteratur på nett. «Google scholar» og «Bibsys ASK» har vært brukt som søkemotorer for å finne gode og kildekritiske artikler. Kilder fra nett ble hovedsakelig innhentet fra Norsk Standard og Byggforsk.

### 11.2 Ekskursjon

Under prosjektperioden ble samarbeidspartneres produksjonslokaler besøkt. ASAK sine produksjonslokaler i Kristiansand ble besøkt flere ganger. Besøkene inkluderte både omvisning, møter, henting av materialer til forsøk på laboratoriet på UiA, karakterisering av fersk betongkonsistens og utførelse av fullskalaforsøk. Omvisning og møter på fabrikk omhandlet hovedsakelig produksjonen av belegningsstein og hvordan belegningssteinene blir lagret på fabrikk etter støp. I tillegg ble laboratoriet på fabrikk vist, der fabrikk kontrollsjekker produkter og utvikler nye resepter.

Fabrikk til Velde AS, i Sandnes, ble besøkt en gang. Dette besøket inkluderte foredrag fra produksjef hos Velde AS, samt omvisning på produksjonsanlegget og miljøstasjonen. Foredraget omhandlet hovedsakelig resirkulerte gravemasser, hvordan gravemassene blir mottatt av samfunnet og hva de kan brukes til. Det ble også holdt en presentasjon som omhandlet fremdrift av bacheloroppgaven under dette besøket.

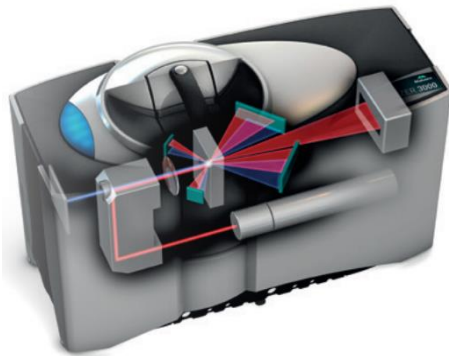


Figur 11.1 Veldes vaskeanlegg [eget bilde]

## 11.3 Partikkelstørrelsefordeling

### 11.3.1 Laserdiffraksjon

I denne oppgaven brukes det er en Mastersizer 3000. En Hydro EV benyttes for å dispergere materialet, før det går igjennom laserdiffraksjonen. Det brukes også et SOP-program (Standard operating procedures) som er brukt i et tidligere prosjekt, og er spesifisert for finfiller.



Figur 11.2 Mastersizer 3000 [24]

Prosedyren for analysen av partikkelstørrelse foregår slik:

- Rense maskinen
- Tilsette materialet/partiklene som skal analyseres til mengden er på ca. 10%
- Testen gjør 5 undersøkelser av samme prøve.
- Deretter må maskinen renses igjen
- I programvaren på maskinen får man ut grafer for hver av prøven, og en gjennomsnittsgraf. I tillegg er det opplyst hvilke størrelser det er størst mengde av i prøven.
- For å være forsikret om at prøven viser representativ størrelsesfordeling, er det viktig å gjøre dette flere ganger.

### 11.3.2 Sikteanalyse

Prosedyren for sikteanalyse, hentet fra Statens vegvesen sin håndbok R210, kapittel 133 ble benyttet [23]:

- Først hentes en masse fra tilslaget som skal analyseres.
- I følge statens vegvesen sin håndbok bestemmer den antatte kornstørrelsen minimumsmengden for mengden av materialet som skal i sikten.
- Når valgt mengde er hentet ut fra prøvematerialet, tørkes dette og videre etter avkjøling veies det. Vekten før siktingen er kalt  $M_1$ .
- Deretter siktes prøven i en maskin, der den skal stå i 5 min.
- Når maskinen er ferdig, tas sikten ut av maskinen og deretter sikter man manuelt. Dette gjør man ved å riste sikten over ett hvitt papir, og deretter heller det som går igjennom over i sikten som er under.
- Prøven fra hver sikt helles i en skål, og veies. Vekten for hele massen blir videre kalt  $M_2$ .
- For å sjekke at sikteanalysen er godkjent, må man regne ut hvor mye som er tapt gjennom testen.

- Dersom prosentandelen på tapt prøve i testen er mer enn 1%, må man utføre en ny prøve.

Videre må det utvikles diagrammer for siktekurvene for å få et grafisk bilde av hvordan kornfordelingen i prøven er.



Figur 11.3 Anvendt siktesats [eget bilde]

Øvre kornstørrelse (D) (mm)	Prøvestørrelse (liter)
63	10
32	2,1
16	1,7
8	0,8
≤4	0,3

Tabell 11.1 Minimumsmengde i forhold til kornstørrelse

### 11.3.3 EMMA – Andreassen-metoden

Det lages først et bibliotek med partikkelstørrelsesfordelingen for de ulike materialene som skal benyttes. Mengden [ $\text{kg/m}^3$ ] og densiteten [ $\text{g/cm}^3$ ] av de ulike materialene blir så satt inn i programmet. Deretter blir fordelingen presentert i nummer, samt i grafisk format. Grafen blir sammenlignet med grafen utviklet med Andreassen-metoden. Graf for egen resept oppgis i blått, mens graf basert på Andreassen-metoden presenteres i rødt. Resepter kan optimaliseres ved å tilstrebe graf lik den røde. Dette gjøres ved å endre de ulike materialenes innhold i resepten.

## 11.4 Undersøkelse av organiske stoffer

### 11.4.1 Humustest 1

Denne metoden er en eldre metode beskrevet i Statens vegvesen sin håndbok, utgitt i 2005 [51].

- 200 gram av prøvematerialet tilsettes i en glassylinder ved hjelp av en glasstrakt.
- En 125 ml blanding med 3% natronlut (NaOH) helles så i glassylinderen.
- Tett glassylinderen med en kork og rist den i 1 minutt.
- Deretter vendes den 10 ganger.
- Blandingen må stå i 24 timer, før resultatene kan sjekkes.

- Deretter sjekker man fargen mot en fargeskive for å finne ut hvor mye humus tilslaget inneholder. Dersom ikke en fargeskive er tilgjengelig, er det også mulig å beskrive fargen på væsken for å finne en indikator på mengden humusinnhold.

FARGE-BESKRIVELSE	FARGESTYRKE Rapportert verdi	HUMUSINNHOOLD I HENHOLD TIL FARGENIVÅ
Fargeløs - svak gul mot sterk gul	Lysere enn 0,5	Prøven inneholder humusstoffer i så ubetydelige mengder at det ikke er skadelig for betong
Sterk gul til mørkgul/lysebrun	0,5 - 1	Prøven inneholder humusstoffer i så ubetydelige mengder at det sannsynligvis ikke er skadelig for betong. Man må imidlertid være spesielt oppmerksom dersom fargenivået nærmer seg 1, da dette er grenseverdi for når det er nødvendig med videre undersøkelser av tilslaget
Mørk brun eller brunrød	Mørkere enn 1	Prøven inneholder humusstoffer i såvidt store mengder at det kan være skadelig for betong. Tilslaget må undersøkes nærmere før det benyttes i betong. (se tilleggsundersøkelser, Vedlegg 1).

Tabell 11.2 Humusinnhold i forhold til fargenivå [datablad fra bygglab, kontrollrådet for betongprodukter]

#### 11.4.2 Humustest 2

Prosedyren for å sjekke humusinnholdet i tilslaget for test 2 er hentet fra NS-EN 1744 [13]:

- Hell 3% NaOH-blanding i en glassflaske/sylinder til høyden på ca. 80 mm.
- Deretter heller man tilslaget man skal teste i glassflasken/sylinderen, til høyden på både tilslaget og blandingen er på ca. 120 mm.
- Man rister deretter flasken, uten kork, slik at luftboblene forsvinner.
- Korken settes på, og man rister flasken i ca. 1 min.
- La flasken stå i 24 timer.
- Etter 24 timer undersøkes fargen på prøven opp mot en skala/annen prøve, slik at man får en indikator på hvor mye humus det er i prøven.

#### 11.4.3 Loss on ignition, LOI

Test 1: 550°C



CEN/TS 15403:2006 beskriver at de inerte<sup>5</sup> skålene skal avbrennes uten innhold i  $550\pm 10^{\circ}\text{C}$  i 60 minutter for avbrenning. De skal deretter veies uten innhold til nærmeste 0,1 mg. Det er viktig at prøvene er homogene. Prøven tørkes til konstant vekt. Det benyttes eksikkator for å avkjøle prøvene før de veies. Prøven settes deretter inn i ovn med kapasitet  $550^{\circ}\text{C}$ . Programmet benyttet var «P1»

Temperaturstigningen i program «P1», som brenneriet på UiA benytter er noe avvikende fra CEN/TS 15403:2006.

Temperaturstigningen og tiden er omtalt på lik måte frem til  $250^{\circ}\text{C}$ . CEN/TS 15403:2006 beskriver at stigningen fra  $250^{\circ}\text{C}$  til  $550^{\circ}\text{C}$  skal foregå over en tid på 60 minutter, mens «P1» programmet kun benytter 30 minutter. Videre beskriver standarden at temperaturen på  $550^{\circ}\text{C}$  skal holdes i minimum 2 timer. Programmet «P1» er satt til 20 timer. Prøvematerialene tas så ut av ovnen, og skal ifølge standard plasseres på en metallplate. Dette benyttes ikke på brenneriet, så prøvene ble plassert i eksikkator. Prøvene veies tilslutt til nærmeste 0,1mg.

Test 2:  $1050^{\circ}\text{C}$

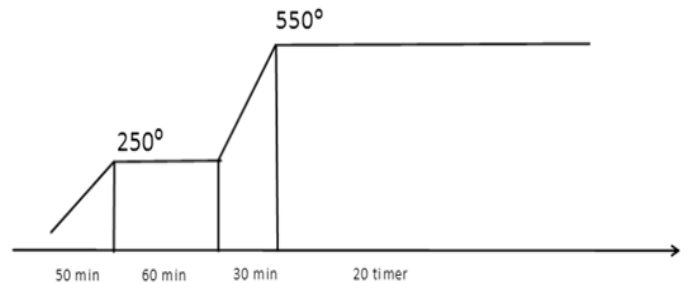
Denne testen benyttet lik prosedyre som forrige test. Ovnen ble programmert til  $1050^{\circ}\text{C}$ , og fulgte tilsvarende tidsforløp frem til  $550^{\circ}\text{C}$ . Deretter steg den kontinuerlig opp til  $1050^{\circ}\text{C}$ , og holdt temperaturen i 24timer.



Figur 11.6 Eksikkator [eget bilde]



Figur 11.5 Vekt med avlukke [eget bilde]



Figur 11.4 Program "P1" [figur fra brenneriet ved UiA]

#### 11.4.4 Total organic carbon, TOC

Det ble sendt fem prøver til SINTEF, hvor de ble videresendt til selskapet ALS Laboratory Group Norwas AS for undersøkelse. Metoden for undersøkelsen er utført i henhold til NS-EN 13137, som omhandler totalt organisk karbon i avfall, sedimenter og slam.

#### 11.5 Alkali-undersøkelse

Den hvite gelen som har vokst ut av betongbelegningssteinen skrapes av og puttes i et prøveglass. Prøveglasset ble sendt til SINTEF for videre undersøkelser.

<sup>5</sup> Inert – kjemisk stoff som ikke danner forbindelser [55]

## 11.6 Dispergering

Det ble undersøkt forskjellige metoder for dispergering av residualfraksjonen i denne oppgaven.



Figur 11.8 Residualfraksjon i naturlig tilstand [eget bilde]



Figur 11.7 Residualfraksjon i tørr tilstand [eget bilde]

Den første metoden for dispergering er å tilsette filler, grovt tilslag og 70% av vannet i blandemaskinen. Det grove tilslaget vaskes før bruk, da det kan inneholde mindre partikler som ikke må undersøkes i partikkelstørrelsesanalysen. Deretter blander maskinen de tilsatte materialene i sekvenser på 30 sekunder for å undersøke om filleren er oppløst. Når det ikke er noen synlige tegn til uoppløst filler, sjekkes væsken i Mastersizeren for en partikkelstørrelsesanalyse. Dersom analysen ikke gir forventede resultater, må det grove tilslaget vaskes, og prosedyren gjentas.

Den andre metoden for dispergering er relativt lik den første. Forskjellen er at tidssekvensene i denne metoden er lengere. Når det ikke er noen synlige tegn til at filleren ikke er oppløst, sjekkes den i Mastersizeren.



Figur 11.10 Residualfraksjon sammen med vann og grovt tilslag [eget bilde]



Figur 11.9 Synlige klumper av residualfraksjon [eget bilde]

Den siste metoden for dispergering er å bruke en håndholdt blander. I denne metoden tilsettes residualfraksjon og vann i en bøtte. Deretter benyttes den håndholdte blanderen for å forsøke å dispergere den. Dette utføres til residualfraksjonen er synlig løst opp. Deretter utføres det en partikkelstørrelsesanalyse av væsken i Mastersizeren.



Figur 11.11 Håndholdt metode. Residualfraksjon og vann [eget bilde]

## 11.7 Reseptutvikling

Under utvikling av blanderesept ble det benyttet teori og erfaring. ASAKs originale resept ble benyttet som et utgangspunkt, og senere resepter ble videreutviklet derfra. Det ble innhentet informasjon om V/C-forhold, hydratisering, tilsetningsstoff, partikkelstørrelsefordeling, filler og tilslagets evne til å binde seg til sementlim. I tillegg skulle det tilstrebes en så lik fersk betongkonsistens som ASAKs originale resept, for at resepten kan benyttes i ASAKs produksjonsanlegg.

## 11.8 Blandeprosedyre

### 11.8.1 Metode fra Statens vegvesen

I Statens Vegvesens håndbok står det beskrevet en metode for fremstilling av betong hvor sammensetningen har betydning for egenskapene til betongen [23].

Prosedyren som er beskrevet i håndboken fra 2016 er slik [23]:

- Fukt maskinen
- Tilslagsmaterialene helles i karet i følgende rekkefølge: Sand, stein og pulver
- Materialene tørrblandes i 1 minutt
- Flytende materialer tilsettes slik:
  - o Ca. 50% vann, 30 sekunder.
  - o L-stoff, evt. andre stoffe, med resterende vann, 60 sekunder. Ekskludert SP-stoffer
- Materialene blandes i 30 sekunder
- Maskinen står stille i 120 sekunder, med lokket på.



- SP-stoff, 30 sekunder
- Materialene våtblandes i 90 sekunder
- Betongtemperatur og konsistens måles før 5 min har gått. Dersom konsistens er riktig, bestemmes densitet og luftinnhold
- For stiv konsistens: SP-stoff, 30 sekunder. Deretter 90 sekunder blanding.

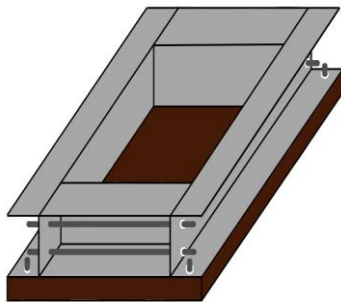
### 11.8.2 Metode utviklet i lab

Dette er en modifisert blandeprosedyre, som baserer seg på prosedyren som er nevnt over. I denne prosedyren tilsettes pukk, residualfraksjon og 70% av vannet først.

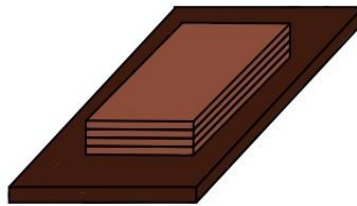
- Fukt blandemaskinen før materialene tilsettes
- Stein, filler og 70 % av vannet -> 4 minutter i blandemaskinen
- Sand og sement -> 1 minutt i blandemaskinen
- P-stoff og resterende vann helles gjennom lokket i løpet av 60 sekunder
- 30 sekunder
- Stå i ro i 120 sekunder
- Blandes i 90 sekunder
- Skraper bunnen
- andes i 30 sekunder

### 11.9 Støp og avforming

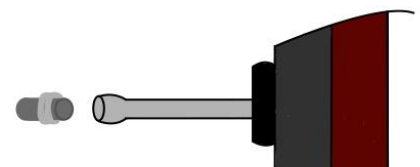
Formene blir fylt manuelt med fersk betong, før de blir komprimert.



Figur 11.14 Form for støp av belegningsstein [eget bilde]. Former produsert av Paul Svennevig



Figur 11.13 Lokk tilhørende form for belegningsstein [eget bilde]



Figur 11.12 Metode for avforming [eget bilde]

Formene er bygd med to gjengestenger i hver av de korte endene og disse er festet med bolter. I tillegg er det fire gjengestenger festet til bunnen. For å skru opp boltene blir det brukt en fastnøkkel for å løsne opp på begge sider og i to av boltene festet til bunnen. I tillegg skal to av gjengestengene tas ut på den ene siden. Videre fjernes gjengestengene fra formen med en pipenøkkel festet på en drill. For å bruke drillen, må boltene festes sammen på den ene siden av gjengestangen med to

fastnøkler. Når begge gjengestengene er tatt ut av formen, er det mulig å skyve steinen ut av formen. Når steinen er tatt ut, må formen settes sammen igjen.

## 11.10 Komprimering

### 11.10.1 Vibrasjonsbord

I denne oppgaven ble det brukt et vibrasjonsbord for komprimering på laboratoriet hos UiA, også kalt vibrobord. Vibrasjonsbordet er et bord med en flat overflate og en innbygget pedal på undersiden. Ved bruk av bordet plasseres en form på maskinen. Formen skal være fylt med fersk betong til overflaten. Når vibreringen starter er det nødvendig å passe på at formen ikke glir av bordet. Vibrasjonen skal holdes i gang til store korn kun er dekket av et tynt lag av finfraksjonene i blandingen og til det ikke lenger er synlige luftbobler i blandingen [23].

### 11.10.2 Stålstang

En stålstang kan brukes for å komprimere former med fersk betong, slik at hulrommene i formen blir tettet. Det skal fylles på tre like tykke lag, og mellom hvert lag skal stålstangen støtes 25 ganger ned i overflaten av laget. I det første laget skal det støtes helt ned til det nesten når bunnen av formen, og i de to neste lagene skal det stålstangen støtes ned til det underliggende laget. Om den ferske betongen synker nedover ved bruk av stålstang, skal det fylles på mer betong. Ved endt komprimering med stålstang, skal laget som ligger over kantene av formen skrapes vekk med en sagende bevegelse [23].

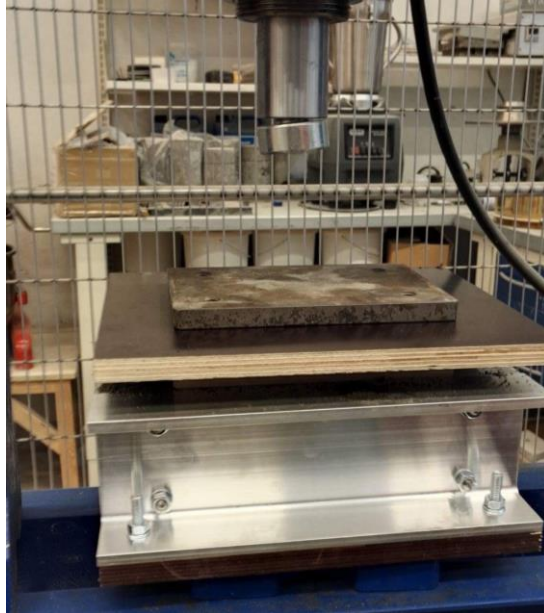
### 11.10.3 Hydraulisk verkstedspresse

En håndholdt verkstedspresse på Bygglabben ble anvendt for å oppnå høyest mulig komprimeringsgrad. Prinsippet for denne metoden er at det blir brukt en hydraulisk vektstang. Dette betyr at en relativ liten kraft, kan oppnå høyt trykk [52].

Formene ble fylt omtrent 1 cm fra kanten, før de ble plassert i verkstedspressen. Et tilpasset lokk, med et blylodd på toppen, blir så plassert før pressingen begynner. Verkstedpressen tåler et trykk på opptil 20 tonn. Maksimalt trykk ble benyttet på alle formene.



Figur 11.15 Hydraulisk verkstedspresse [eget bilde]

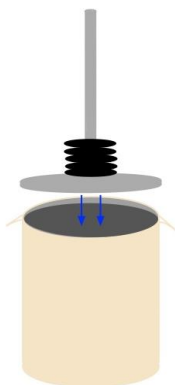


Figur 11.16 Form, lokk og stempel [eget bilde]

#### 11.10.4 «Pauls metode»

«Pauls metode» ble utviklet ved UiA i forbindelse med en bacheloroppgave, skrevet våren 2015.

Hensikten med å bruke denne metoden er å danne et sammenligningsgrunnlag for komprimerbarheten av den ferske betongen produsert hos ASAK, mot den ferske betongen produsert ved UiA, med ASAKs resept.



Figur 11.17  
Arbeidstegning  
"Pauls metode"

Prinsippet for denne metoden er at en lufttrykkmålebøtte blir fylt med betong. Det ble besluttet å fylle bøtten helt, og skjære av den overfløydige betongen, for å påse at det var en konstant høyde rundt hele bøtten. Deretter slippes en vektstang, med totalt 10,74kg, 10 ganger ned på betongen. Komprimeringsgraden måles så på tre bestemte plasser, før prosessen gjentas. Prosedyren gjentas til komprimeringsgraden er konstant.



Figur 11.18 «Pauls metode» [eget bilde]

### 11.11 Herdeprosess

Det er i denne oppgaven utnyttet to ulike prosedyrer for herdeforløp. Årsaken til dette er forsøkene som omhandler spaltestrekkfasthet og frostmotstand.

Det første døgnet er likt for begge metodene. Etter komprimering blir formene med den ferske betongen plassert under plast. Når det har gått ca. 24 timer, skrur formene fra hverandre og betongbelegningssteinene tas ut.

Betongbelegningsstein som skal testes for frostmotstand settes direkte inn i et klimakammer i 7 døgn. I klimakammeret skal temperatur og luftfuktighet være stabil gjennom hele herdetiden. Luftfuktigheten skal være mellom 55% og 75%, og temperaturen skal være omkring 20 (+/-2)°C.

Betongbelegningsstein som skal testes for spaltestrekkfasthet settes i et vannbad som har en stabil temperatur på 20°C. Betongbelegningssteinen skal ligge i vannbadet i 7 døgn. Vannbadet blir regulert med en temperaturføler som er festet på innsiden [26].

### 11.12 Densitet

Prøvestykkene skal ligge i vannbad ved 20°C +/- 2°C inntil vektøkningen ikke er større enn 0,2% i løpet av 24 timer før densiteten fastsettes. Før testing tørkes prøvene av for overflatevann. Deretter veies de i både luft, og senket i vann [14].

Metoden benyttet i denne oppgaven er slik som beskrevet over. Prøvestykkene lå i vannbad i 7 døgn før densiteten ble fastsatt.

### 11.12.1 Densitet for filler

Metoden benyttet for undersøkelse av densitet for filler er hentet fra Statens Vegvesens håndbok [23]:

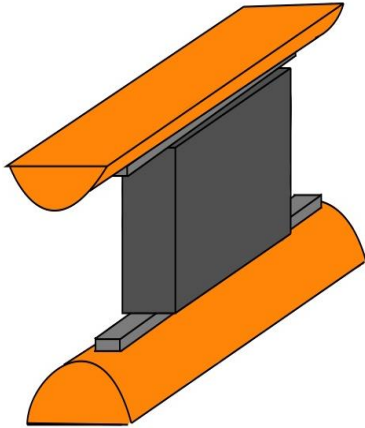
- Minimum 50 gram filler tørkes i et varmeskap ( $110\pm 5^\circ\text{C}$ ) i en porselensskål. Når massen er konstant tas prøvematerialet ut av varmeskapet og avkjøles i en eksikator.
- Før materialet skal testes, må synlige klumper pulveriseres forsiktig
- Ta i bruk en 0,125mm sikt og behold alt som kommer gjennom sikten
- Rene pyknometre veies med glasspropp (kork). ( $M_0$ )
- Pyknometrene fylles med destillert vann og settes i et vannbad i 60 minutter. Dette skjer uten propp og i  $25\pm 5^\circ\text{C}$ .
- Etter 60 minutter settes glassproppen på slik at hele stigrøret fylles med vann. Videre tørkes og veies pyknometeret. ( $M_3$ ) Deretter blir volumet av pyknometrene regnet ut.
- Det fordeles  $10\pm 1$  gram filler på tre pyknometre. Prøvene veies hver for seg, med en nøyaktighet på tre desimaler. ( $M_1$ )
- Pyknometrene fylles til det er halvfullt og dunkes lett for å fjerne luft.
- Pyknometrene settes i en vakuumsikator, der trykket reduseres kontinuerlig til 30 millibar i fem minutter. For å fjerne luft, gjentas dette i minimum 30 minutter og til luftbobler ikke lenger er synlige.
- Deretter tas pyknometrene ut av eksikatoren og fylles helt med vann. Pyknometrene settes ned i et vannbad uten glasspropp i 60 minutter.
- Glassproppen settes på slik at hele stigrøret er fullt. Pyknometrene tørkes og veies. ( $M_2$ )

### 11.13 Spaltestrekkfasthet

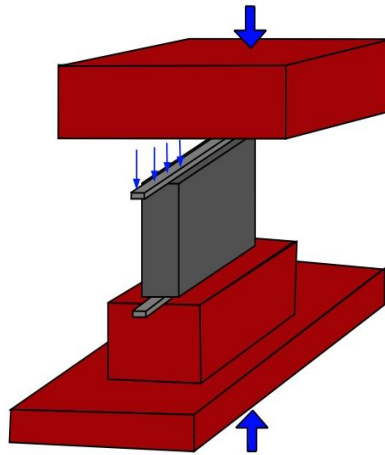
I følge NS-EN 1338 skal prøvemaskinen kunne øke lasten i gitte steg, og den må ha skala med en nøyaktighet på  $\pm 3\%$  i det gjeldende lastområdet. Lasten skal påføres jevnt, og med en økende hastighet som gir økning i belastning med  $0,04\text{--}0,06\text{ MPa/s}$ . Maskinen skal ha to stive plater i topp og bunn, som har en buet kontaktflate. Radiusen på disse halve sylindrene skal være 75 mm ( $\pm 5$  mm), og den øvre skal kunne rotere. Mellom de buede kontaktflatene og prøvestykket skal det være et overføringsstykke. Disse skal være 14-16 mm brede, og 3-5 mm tykke. Overføringsstykkene skal også være minst 10 mm lengre enn antatt bruddplan, og av et materiale som oppfyller gitte fasthetskrav [17].

Prøvelegemene skal prepareres med en bestemt metode før spaltestrekkfastheten skal bestemmes. Dersom belegningssteinen har en ru overflate eller ujevnheter i overflaten skal dette fjernes. Det er viktig at minst mulig materiale fjernes når overflaten gjøres plan. Belegningssteinen skal ligge i vannbad ( $15\text{--}25^\circ\text{C}$ ) i 21-27 timer før testingen begynner. Prøvingen startes direkte etter prøvelegemene er tatt opp av vannbad og har blitt tørket lett for overflatevann. Det kan benyttes andre metoder for preparering ved rutineprøving dersom det er en sammenheng mellom resultatene av de to prosessene [17].

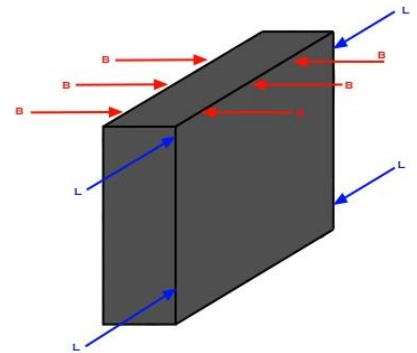
Ved testing legges det et overføringsstykke under og over belegningssteinen. Spaltesnittet bestemmes så testen utføres etter det lengste spaltesnittet. Prøvematerialet skal settes parallelt og symmetrisk [17].



Figur 11.19 Oppsett for måling av spaltestrekkfasthet ifølge NS-EN 1338 [eget bilde]



Figur 11.21 Modifisert metode for test av spaltestrekkfasthet [eget bilde]



Figur 11.20 Metode for mål av dimensjoner [eget bilde]

UiA har ikke en trykkpresse klargjort for undersøkelse av spaltestrekkfasthet. Det ble derfor besluttet å benytte en modifisert metode, med avvik fra standarden. Trykkpressen som benyttes for måling av trykkfasthet ble stilt inn til dimensjoner for betongbelegningsstein. Trykkpressen har ikke buede kontaktflater, men øverste trykkplate kan rotere. I følge NS-EN 12390-6, «Prøving av herdet betong, Del 6: Prøvelegemers spaltestrekkfasthet», gir tester utført med rette plater samme resultater som tester utført med buede plater. Referansemotoden for test av spaltestrekkfasthet er bruk av buede plater på testmaskinen, og sylindriske prøvelegemer, men test på prismer uten de buede platene, kan benyttes som en normativ metode [14]. Det ble først forsøkt å benytte stykker av kryssfiner som overføringsstykker, men dette viste ved innledende forsøk å være av for svakt materialet. Det ble derfor benyttet overføringsstykker i aluminium. Disse ble kuttet til i riktige dimensjoner på maskinlaben.

Trykkpressen benyttet for test av spaltestrekkfasthet er «FORM+TEST PRUFSYSTEME». Før prøvelegemene ble testet ble de målt ved hjelp av en skyvelære. Samme skyvelære ble benyttet hver gang, for å minimere feilkilder. Prøvelegemenes lengde ble målt i topp og bunn, mens bredden ble målt i hver ende, og på midten, som vist på figur 11.20. Prøvelegemene ble deretter plassert i trykkpressen som vist på figur 11.21. Resultatene fra testen ble lest av datamaskinen tilhørende trykkpressen.

### 11.14 Frostmotstand

Hvordan test av frostmotstand skal utføres står spesifisert i standarden for betongbelegningsstein, NS-EN 1338. Prinsippet for denne metoden er at de kondisjonerte<sup>6</sup> prøvestykkene blir dekket med en

<sup>6</sup> Kondisjonere - føre prøvelegemet i foretrukket tilstand



3% NaCl-løsning, for så å bli utsatt for 28 fryse-tine-sykluser. Det materialet som skaller av under testen blir så samlet opp, og deretter veid. Vekten av det avskallede materialet oppgis i  $\text{kg/m}^2$  [17].

Prøvestykkene skal ha en bestemt størrelse. Prøveoverflaten skal være på  $7500\text{mm}^2 < 25000\text{mm}^2$ . Den største tykkelsen skal være 103 mm. Prøveoverflaten skal bestemmes, til nærmeste millimeter, av et gjennomsnitt på tre målinger av lengde og bredde. Dersom prøvestykkene må sages ut av en belegningsstein for å oppfylle størrelseskravene skal dette gjøres etter tidligst 20 døgn fra produksjonsdato [17].

Når prøvestykkene er mellom 28 og 35 døgn gamle skal de kondisjoneres i et klimakammer i 7 døgn (+/- 5 timer). Klimakammeret skal ha en temperatur på  $20^\circ\text{C}$  (+/-  $2^\circ\text{C}$ ), og holde en relativ luftfuktighet (RF) på 65% (+/- 10%). Fordampningsgraden de første 4 timene (+/- 5 minutter) skal være på  $200 \text{ g/m}^2$  (+/-  $100 \text{ g/m}^2$ ). Prøvestykkene skal ha minst 50 mm avstand. Under kondisjoneringstiden skal en gummiduk (3mm +/- 2mm) som tåler saltløsningen og er elastisk ned til  $-20^\circ\text{C}$  limes til alle overflater, utenom prøveoverflaten. Duken skal rekke 20mm (+/- 2mm) over prøveoverflaten. Silikongummi, eller annet tetningsmiddel, skal benyttes for å tette mellom prøvestykket og gummiduken. Dette gjøres for å hindre vanninntrenging mellom prøvestykket og gummiduken [17].

Etter tiden i klimakammeret er ferdig skal prøvelegemene bli dekket med et 5mm (+/- 2mm) tykt lag med vann. Slik skal det stå i en temperatur på  $20^\circ\text{C}$  (+/-  $2^\circ\text{C}$ ), i 3 døgn (+/- 2 timer) [17].

Før fryse-tine-syklusene begynner skal prøvestykkene isoleres, og vannet skal byttes ut med saltløsningen, 3% NaCl. For å opprettholde laget med saltløsning over prøveoverflatene kan det etter 7 og 14 døgn etterfylles hvis behov. Dette skal gjøres under tinefasen. Polyetylenfolie (0,1mm < 0,2mm) skal anvendes horisontalt over prøveoverflaten for å forhindre fordampning. Folien skal legges stramt, og ikke være i kontakt med saltløsningen. Varmeisoleringen som benyttes skal være polystyren (19-21mm), og varmekonduktivitet ( $0,035 \text{ W/mK} < 0,4 \text{ W/mK}$ ), eller tilsvarende [17].



Figur 11.22 Fryse-tine-skap [eget bilde]

Det er viktig at prøvelegemene står horisontalt (avvik mindre enn 3 mm pr. meter) når de settes inn i frysekammeret. Tidsregistreringen for første syklus starter umiddelbart (+/- 30 min). Dersom en syklus må avbrytes er det viktig at prøvelegemet holdes kjølig ( $-16^{\circ}\text{C} < -20^{\circ}\text{C}$ ). Varer avbruddet mer enn tre døgn skal testen avbrytes [17].

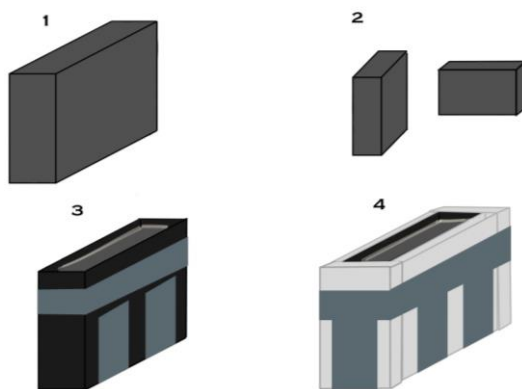
Under frysetinesyklusene skal temperaturen i løpet av hver syklus over  $0^{\circ}\text{C}$  i mellom 7 og 9 timer. Temperaturen registreres kontinuerlig på minst ett prøvestykke (sentrum av overflaten). Prøvestykket som testes skal ha en representativ plassering [17].

Det er viktig at det er god luftsirkulasjon i frysekammeret for å oppnå presise sykluser. Dersom det benyttes få prøvestykker kan frysekammeret fylles med innleggsstykker, hvis nødvendig for korrekte sykluser [17].

Ved endt fryse-tine-sykluser (28 sykluser) skal alt avskallet materialet samles ved å skylle det ned i et kar med en sprayflaske til alt materialet er fjernet fra prøveoverflaten. Det benyttes en 20 – 30 mm bred malerkost, skåret ned til en bust med lengde på omtrent 20 mm, for å børste materialet ned i karet. Væsken og det avskallede materialet tømmes i karet gjennom et filterpapir. Materialet vaskes deretter i filterpapiret med minst én liter vann. Dette er for å påse at alt saltet blir vasket bort. Det avskallede materialet, sammen med filterpapiret, skal tørkes i minst 24 timer ved  $105^{\circ}\text{C}$  (+/-  $5^{\circ}\text{C}$ ). Den tørkede avskallede massen skal veies (nøyaktighet +/- 0,2 g). Det skal tas hensyn til filterpapiret ved veiing [17].

#### 11.14.1 Modifisert metode

Av tidshensyn ble metoden for utførelse av test for frostmotstand modifisert. Enkelte av materialene fra metode beskrevet i standard ble også erstattet med tilsvarende. For hvert støp ble 3 belegningsstein testet for frostmotstand. Metoden som ble benyttet startet ved at betongbelegningssteinene lå et døgn i former dekket av plast. De ble deretter lagt rett i et klimakammer, hvor de lå i fire døgn før de ble kuttet til riktige dimensjoner, og kledd med gummiduk, slik som beskrevet i standarden, NS-EN 1338. Det ble benyttet materialer tilhørende fryse-tineskapet ved UiA, beregnet for dette formål. Det ble deretter lagt et 5mm tykt vannlag på den utildekte overflaten til prøvelegemet, før steinene ble lagt tilbake i klimakammer i 3 nye dager.



Figur 11.23 klargjøring av prøvelegemer for fryse-tine-sykluser [eget bilde]



Etter endt kondisjoneringstid ble prøvelegemene varmeisolerert med 20mm tykk polystyren (varmekonduktivitet 0,037W/mK). Vannet på overflaten ble så erstattet med et 5mm tykt lag med 3% NaCl, før det ble tildekket med plast for å hindre avdampning. Prøvelegemene ble så plassert i fryse-tineskapet, hvor de ble utsatt for 8 fryse-tinesykluser. Etter endt test ble det avskallede materialet børstet forsiktig av prøvelegemet, og veid med metode beskrevet i standarden, NS-EN 1338. I stedet for filterpapir ble det benyttet kaffefilter. Dette ble det tatt hensyn til ved veiing.



Figur 11.24 Klimakammer [eget bilde]

## 12. Resultat

Dette kapitlet omhandler resultater av prosjektoppgaven. Det vil bli presentert resultater fra undersøkelser, for å bedømme om residualfraksjonen kan benyttes i produksjon av betongbelegningsstein. Videre er disse resultatene benyttet for valg av aktuelle resepter. Det er hovedsakelig de mekaniske egenskapene som er vektlagt ved valg av aktuelle resepter. Egenproduserte betongbelegningsstein har betegnelse «støp 1...7».

Det har blitt besluttet å presentere gjennomsnittlige resultater for å gi bedre oversikt. For utfyllende resultatoversikt se vedlegg.

### 12.1 Organisk materiale

#### 12.1.1 Humus

Det ble gjennomført tre humustester. Kun test to og tre ga tellende resultater. Første humustest var ikke lesbar, og ga derfor ingen resultat.

Test:	Resultat
Test 1	-
Test 2	0,5 - 1
Test 3	0,5

Tabell 12.1 Resultater fra Humustest [egen tabell]

#### 12.1.2 LOI

Det ble utført test av «loss on ignition» (550°C) på både residualfraksjonen, og ASAKs filler fra Franzefoss. De gjennomsnittlige resultatene vises i tabellen under.

Test:	Resultat (%)	variasjoner for prøver i samme serie (%):
Residualfraksjon	3,14	0,2
ASAKs filler fra Franzefoss	0,14	0,01

Tabell 12.2 Gjennomsnittlig resultat for gjennomført LOI [egen tabell]

Residualfraksjonen ble undersøkt ved 1050°C i tillegg.

Test:	Resultat (%)	variasjoner for prøver i samme serie (%):
Residualfraksjon	5,00	0,09

Tabell 12.3 Gjennomsnittlig resultat for gjennomført LOI 1050°C [egen tabell]

#### 12.1.3 TOC

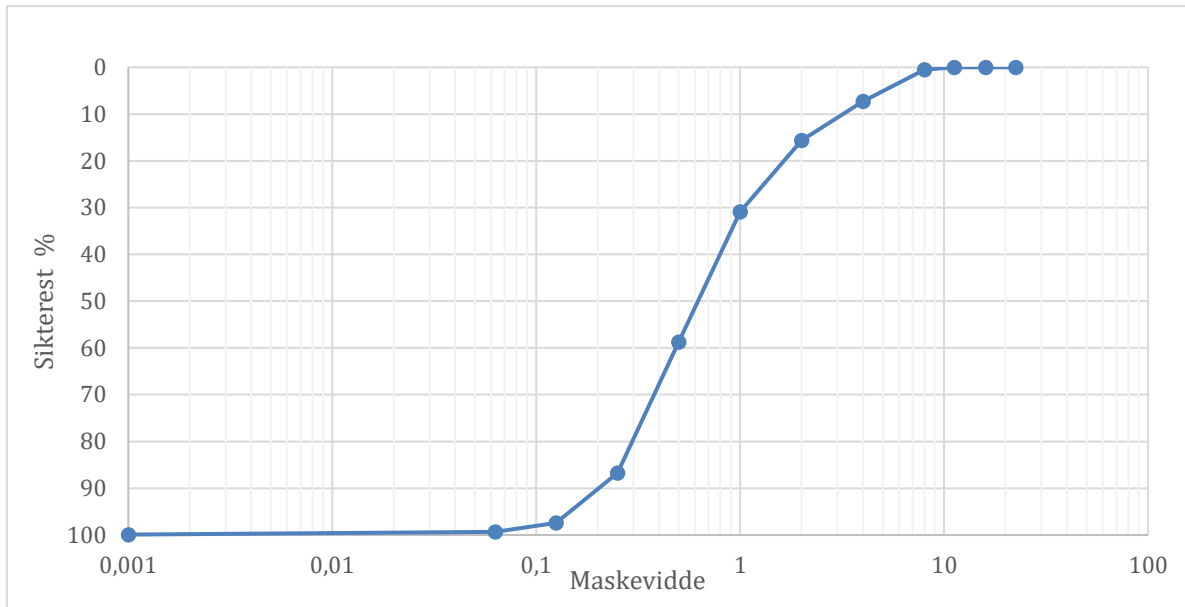
5 prøver av residualfraksjonen ble sendt inn til «total organic carbon», TOC-analyse. Analysen viste et gjennomsnittlig innhold av TOC på 0,86%

Test:	Resultat (%)	Variasjoner for prøvene i samme serie (%):
Residualfraksjon	0,86	0,05

Tabell 12.4 Gjennomsnittlig resultat for TOC-analyse [egen tabell]

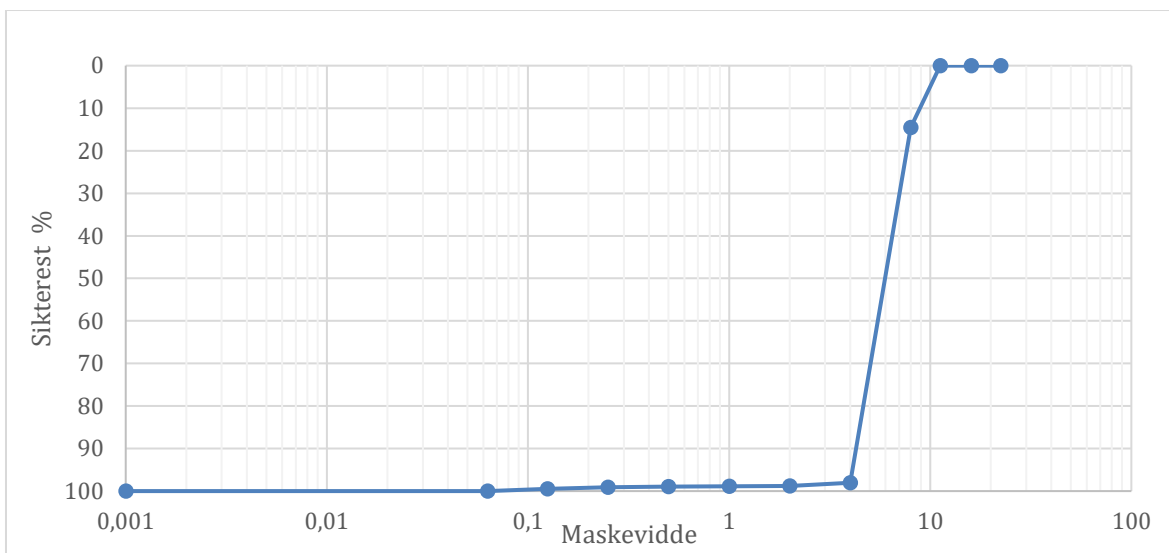
## 12.2 Partikkelstørrelsefordeling

Det ble utført en sikteanalyse av sanden benyttet i produksjon hos ASAK. Det er også denne sanden som har blitt benyttet i resepter støpt ved UiA. Figur 12.1 viser kornfordelingen etter sikteanalyse.



Figur 12.1 Sikteanalyse for sand [Egen figur]

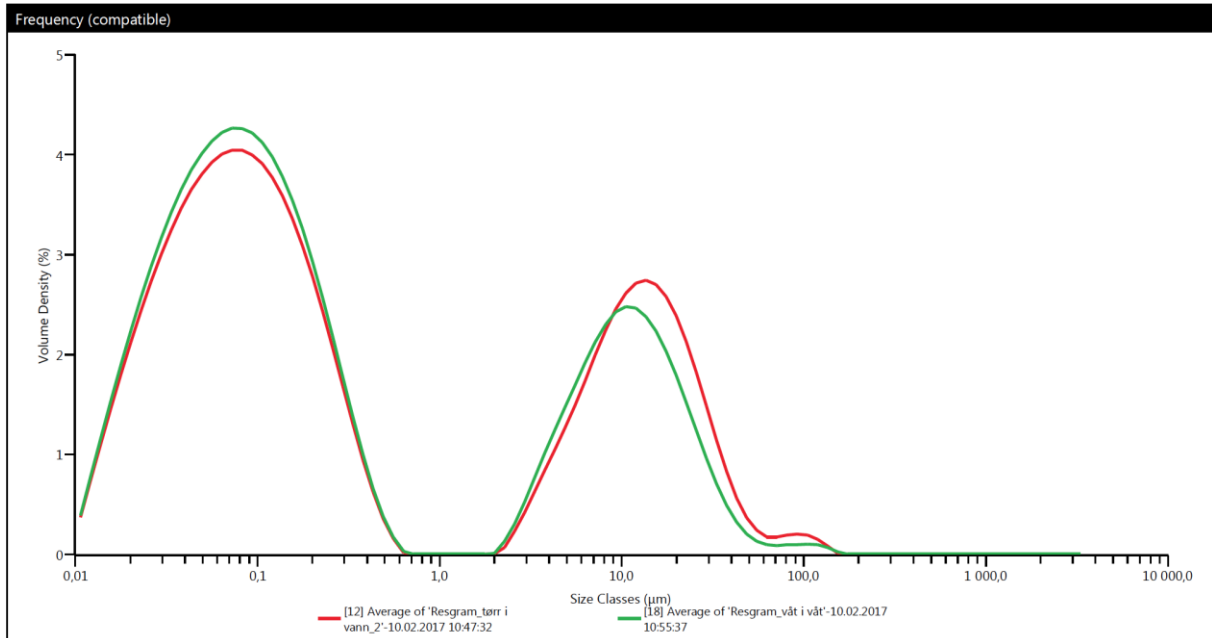
Det ble også utført sikteanalyse for pukken brukt under forsøkene. Figur 12.2 viser kornfordelingen sikteanalyse for pukk.



Figur 12.2 Sikteanalyse for pukk [egen figur]

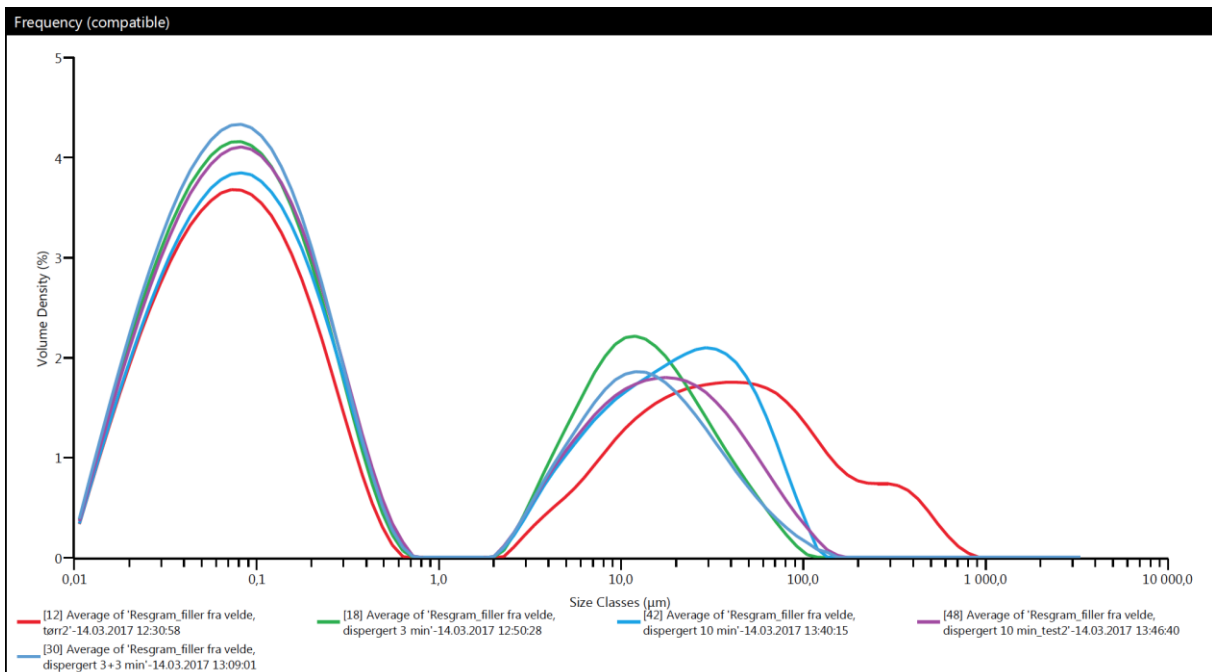
### 12.3 Dispergering

Resultatene fra partikkelstørrelsesanalysen i Mastersizeren viste at residualfraksjonen i opprinnelig tilstand ble dispergert bedre enn i tørket tilstand.



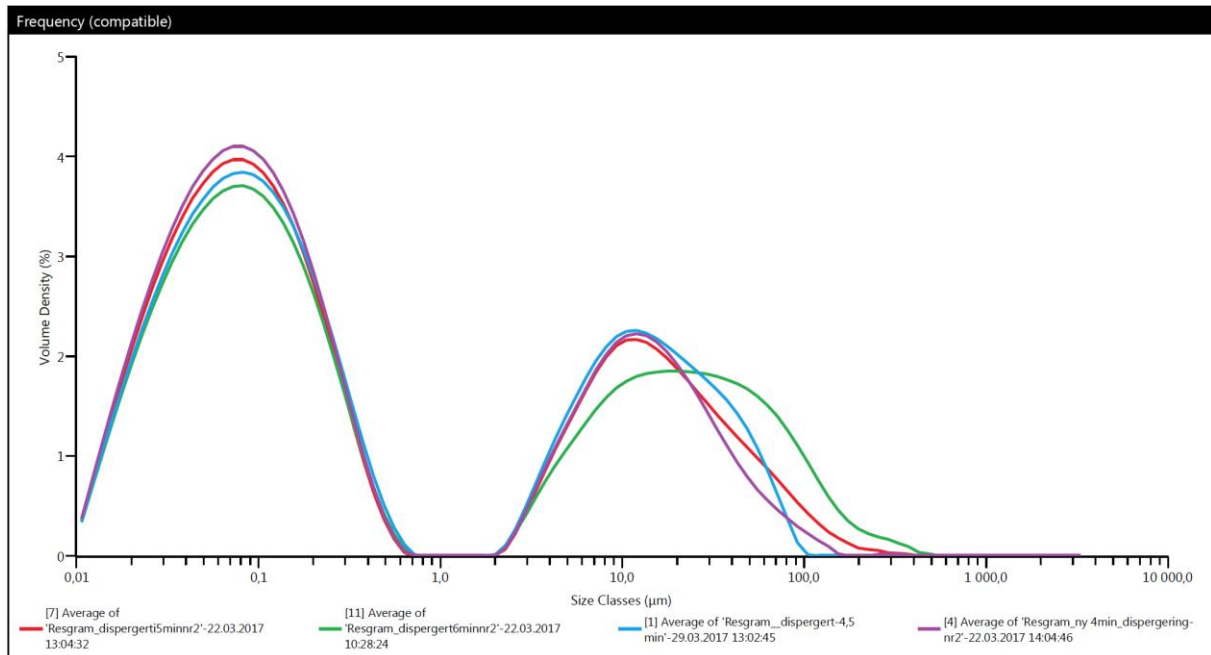
Figur 12.3 Grafene viser opprinnelig og tørket tilstand [egen figur]

De ulike metodene for dispergering, viste at residualfraksjonen ble dispergert best med metoden der det var kortere sekvenser. Tre + tre minutter hadde best resultat.



Figur 12.4 Grafene viser forskjellige tidssekvenser [egen figur]

Videre undersøkelser for hvilken tidssekvens som ga best resultat, viste at tidssekvensen på fire minutter hadde best dispergering. Ved fire minutter var det både høyest mengde små partikler og det var i tillegg ikke noen synlige «klumper» i karet.



Figur 12.5 Grafene viser ulike tidssekvenser [egen figur]

Fire minutter dispergering i blandemaskinen ble derfor valgt som dispergeringsmetode for støp av belegningsstein i laboratoriet.

## 12.4 Densitet

Resultater fra måling av densitet er oppgitt i tabell 12.4. Denne viser at densiteten på egenstøpte belegningsstein ligger under referanseverdien oppgitt fra ASAK på 2300kg/m<sup>3</sup>. Belegningssteinene støpt hos ASAK har derimot en densitet over referanseverdien.

RESEPT:	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
Belegningsstein produsert hos ASAK, ny resept	2333,35169
Belegningsstein produsert hos ASAK, original resept	2403,09232
Støp 1 ASAKs nye resept	2221,66944
Støp 2	2203,00538
Støp 3	2218,52062
Støp 4	2247,76604
Støp 5 ASAKs nye resept	2258,86635
Støp 6	2201,44849
Støp 7	2226,19935

Tabell 12.5 Gjennomsnittlig densitet for ulike støp [egen tabell]

Det ble også testet for residualfraksjonens densitet. Resultatet fra denne testen viste at residualfraksjonen hadde en densitet på  $2,15\text{g/cm}^3$ .

Resultatene av densitet av betongbelegningstein med resept 4, blandet ved UiA, produsert hos ASAK viste at den gjennomsnittlige verdien er over referanseverdien gitt av ASAK. Videre er også densitet i området av ASAKs egenproduserte betongbelegningsstein.

RESEPT:	Densitet [ $\text{kg/m}^3$ ]
Resept 4, blandet UiA, produsert ASAK, Permac Lock	2313,9
Belegningsstein produsert hos ASAK, Permac Lock	2368,1

Tabell 12.6 Densitet fra fullskalaforsøk [egen tabell]

## 12.5 Spaltestrekkfasthet

Belegningsstein produsert hos ASAK, og belegningsstein produsert ved UiA, ble alle testet for spaltestrekkfasthet med modifisert metode.

Resultatene i tabell 12.5 viser gjennomsnittlig spaltestrekkfasthet etter 8 døgn. Belegningssteinene produsert hos ASAK hadde allerede etter 8 døgn en spaltestrekkfasthet og bruddlast over referanseverdiene. Ingen av belegningssteinene støpt ved UiA oppnådde en spaltestrekkfasthet innenfor referanseverdiene. Når det gjelder bruddlast var det kun støp 5 som svarte til kravene.

RESEPT:	Spaltestrekkfasthet [Mpa]	Bruddlast pr lengdeenhet [ $\text{N/mm}^2$ ]
Belegningsstein produsert hos ASAK, original resept (8 døgn)	5,71930463	612,527445
STØP 1 (8 døgn) ASAKs nye resept	1,36438554	150,889961
STØP 2 (7 døgn)	2,00324075	217,164868
STØP 3 (8 døgn)	1,46071346	158,916602
STØP 4 (8 døgn)	2,00198816	217,220302
STØP 5 (8 døgn) ASAKs nye resept	2,65247442	295,310891
STØP 6 (8 døgn)	1,37243931	151,991206
SRØP 7 (8 døgn)	1,39117838	161,742822

Tabell 12.7 Gjennomsnittlig spaltestrekkfasthet utført etter 8 døgn [egen tabell]

Resultatene i tabell 12.6 viser gjennomsnittlig langtidsspaltestrekkfasthet utført ved UiA, med modifisert metode. Begge støpene produsert av ASAK har en gjennomsnittlig langtidsspaltestrekkfasthet innenfor referanseverdiene. Dette er også tilfelle for bruddlast. Belegningssteinene produsert ved UiA oppfyller ikke kravene ved 28døgnsspaltestrekkfasthet, men støp 2 har en gjennomsnittlig bruddlast over referanseverdien.

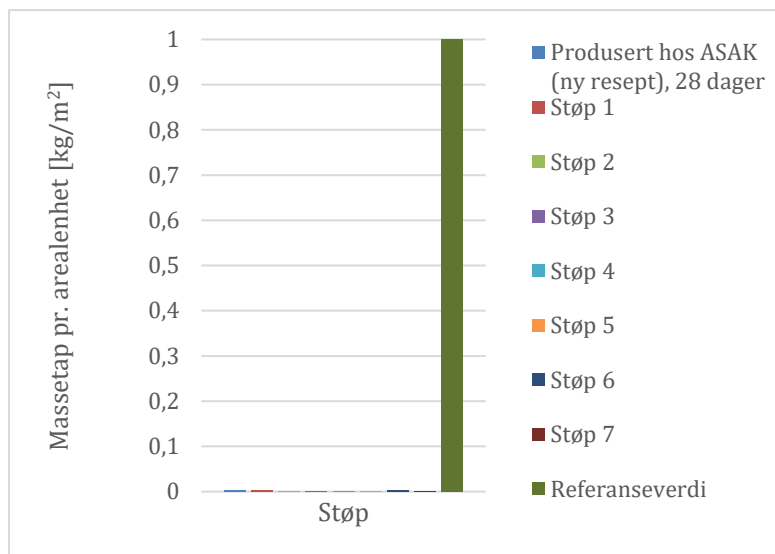
RESEPT:	T [MPa]	Bruddlast pr lengdeenhet [ $\text{N/mm}^2$ ]
Belegningsstein produsert av ASAK, ny resept (53døgn)	5,19361379	557,685946

Belegningsstein produsert av ASAK, original resept (29døgn)	6,84007019	732,720006
STØP 1: (28 døgn) ASAKs nye resept	2,07961517	229,084849
STØP 2: (28døgn)	2,37136506	256,937626
STØP 4: (14døgn)	2,02226804	219,976833

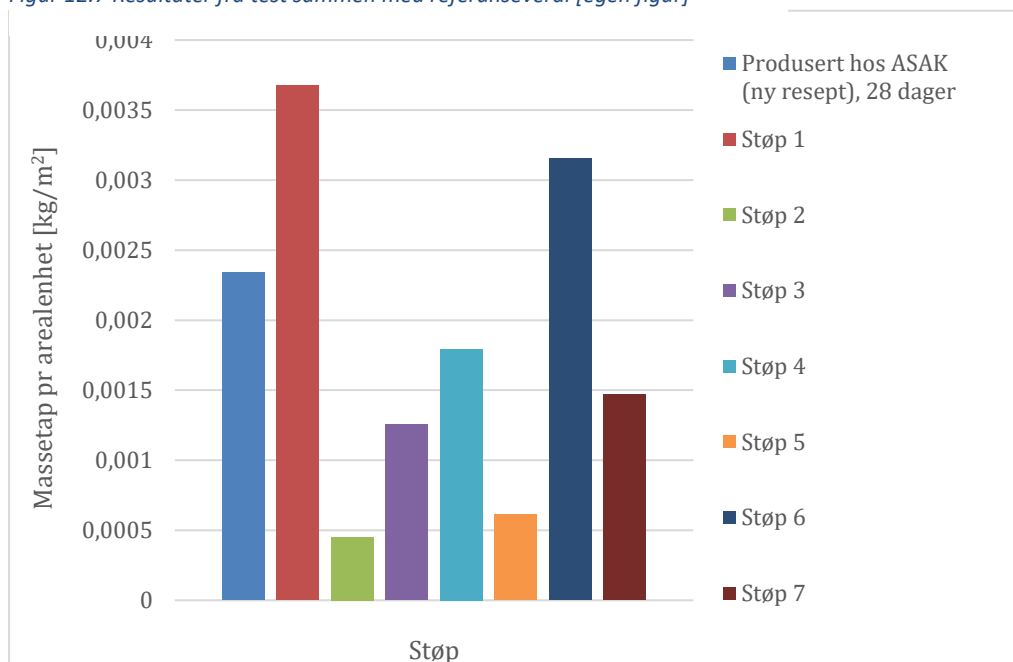
Tabell 12.8 Gjennomsnittlig langtidsspaltestrekkfasthet [egen tabell]

## 12.6 Frostmotstand

Alle støp utført på laboratoriet ved Universitetet i Agder ble testet for frostmotstand, med en modifisert metode. Belegningsstein produsert hos ASAK etter ny resept ble også testet. Ingen resultater er over referanseverdien på  $1\text{kg}/\text{m}^2$ .



Figur 12.7 Resultater fra test sammen med referanseverdi [egen figur]



Figur 12.6 Resultater fra test av frostmotstand [egen figur]

## 12.7 Aktuelle resepter

Sett i sammenheng med resultater fra spaltestrekkfasthet og frostmotstand, var aktuelle resepter resept 2 og 4. Endringen i resept 2 var kun erstatning av original filler med residualfraksjonen. Resept 4 hadde et V/C-forhold på 0,35. Sementinnholdet ble redusert med 14,3%, og erstattet med residualfraksjon. ASAKs originale filler ble også erstattet med residualfraksjonen.

Grovt tilslag, pukk 4-8	7,83kg
Fint tilslag, sand	46,95kg
Residualfraksjon	0,522kg
Sement	10,62
P-stoff	0,042kg
Vann	3,060kg

Tabell 12.9 Resept 2 [egen tabell]

Grovt tilslag, pukk 4-8	7,83kg
Fint tilslag, sand	46,95kg
Residualfraksjon	2,039kg
Sement	9,103kg
P-stoff	0,042kg
Vann	2,962kg

Tabell 12.10 Resept 4 [egen tabell]

## 12.8 Økonomi

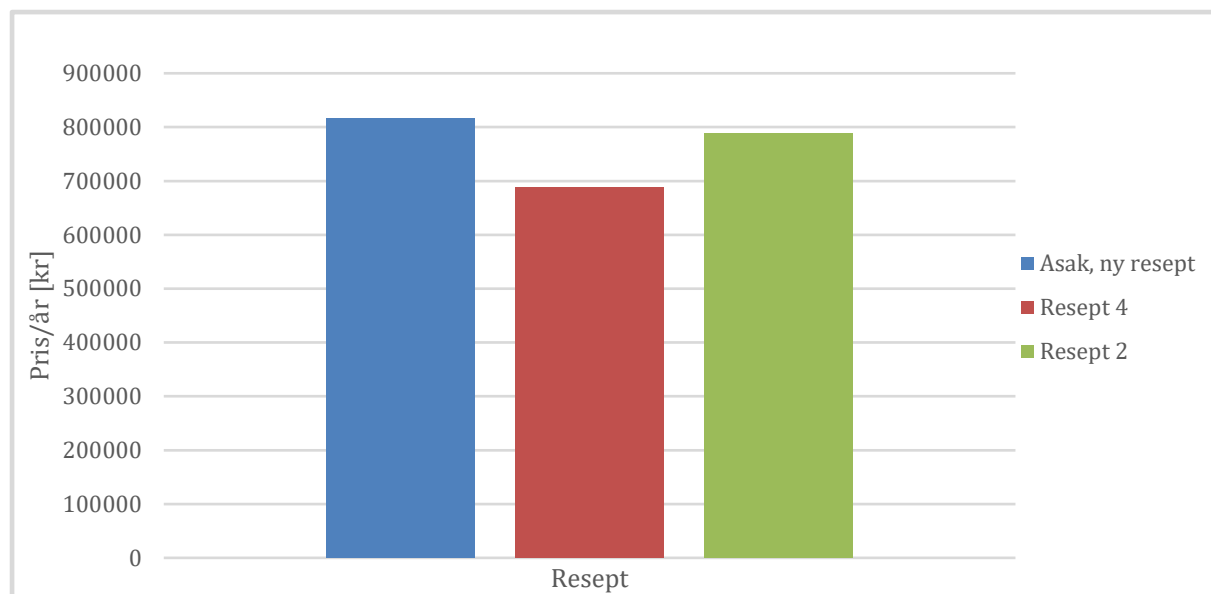
Resultater for mulige økonomibesparelser fremkommer i tabellen under. Den finansielle gevinsten er beregnet ved å erstatte ASAKs nye resept med resept 2 og 4, i den årlige produksjonen av Herregårdsstein. Ulikhetene mellom ASAKs nye resept, og resepter utviklet i laboratoriet ved Universitetet i Agder er sement, residualfraksjon og filler. Dette er faktorene som vil påvirke økonomibesparelsene.

	Pris sement [kr/m <sup>3</sup> ]	Pris filler [kr/m <sup>3</sup> ]	Pris residualfraksjon [kr/m <sup>3</sup> ]	Total pris [kr/m <sup>3</sup> ]
ASAK ny resept	354	13,92	0	367,92
Resept 4	303,43	0	6,997	310,23
Resept 2	354	0	6,997	355,74

Tabell 12.11 Økonomioversikt [egen tabell]

ASAK har en årlig produksjon av Herregård belegningsstein lik 40 000m<sup>2</sup>. Benyttes resept 2 vil dette gi en årlig besparelse på om lag 27 000kr/år. Dersom resept 4 kan benyttes i stedet vil dette gi en besparelse på om lag 127 870kr/år. Benyttes resept 4 vil dette utgjøre en årlig prisreduksjon på 15,6 %. Benyttes resept 2 vil dette gi en årlig prisreduksjon på 3,3%.





Figur 12.8 Sammenligning av årlig pris [egen figur]

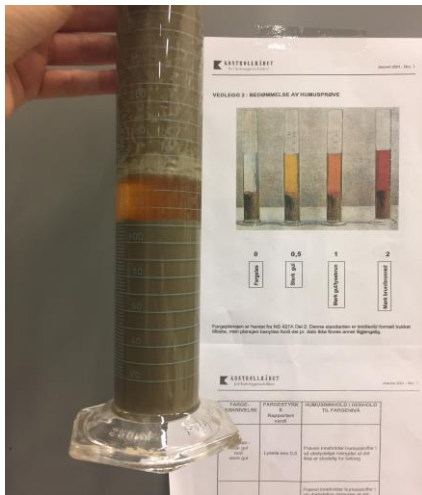
## 13. Diskusjon

### 13.1 Organisk materiale

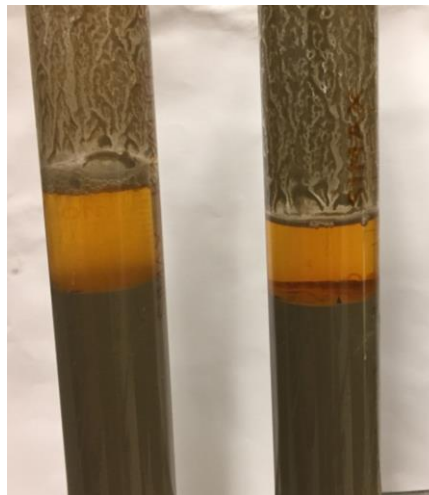
Ved resirkulerte gravemasser kan det opptre organisk materiale. Det ble derfor besluttet å utføre forskjellige tester for organisk materiale før residualfraksjonen kunne benyttes. Dette vil kunne gi en indikator på tilstedeværelsen av organisk stoff.

Et kjent tilfelle i tilslagsmaterialer er humus, og det ble derfor bestemt at det skulle testes for dette. Det ble først utført en humustest beskrevet i en eldre håndbok fra Statens vegvesen, da det ikke var noen test beskrevet i den nyere håndboken. Den fine kornstørrelsen til residualfraksjonen førte til vanskeligheter med å blande ut fraksjonen i blandingen av 3% natronlut. Dette fordi blandingen ble så kompakt at væsken ikke fikk kontakt med alt prøvematerialet. Prøven var ikke lesbar, og ble derfor forkastet.

Det ble videre undersøkt om Norsk Standard beskrev en annen metode for humusprøve. Dette er beskrevet i NS-EN 1744. Denne fremgangsmåten ble tatt i bruk i de resterende forsøkene. For å få et bedre grunnlag i forhold til validiteten av testen, ble det utført to parallelle prøver. Disse prøvene viste en fargeindikator som tilsier at tilslaget burde undersøkes videre. Dette fordi det nærmer seg grenseverdi for at tilslaget inneholder så mye humus at det kan være skadelig for betongen. Når det er sagt kan fargeutslaget også komme av jernforbindelser i tilslaget. Humustest tre viste en relativt lysere farge.



Figur 13.2 Fargeskala til humustest 2 [eget bilde]



Figur 13.1 Prøveresultater for test 3 [eget bilde]

Grunnet forskjell i resultatene fra humustestene, ble det besluttet at det skulle utføres en «Loss on ignition»-test. Dette for å gjennomføre en grundigere undersøkelse av organisk materiale. Tre prøver ble testet for å påse at resultatene var valide. Gjennomsnittlig massetap etter utført test var 3% ved 550°C. Det ble gjennomført en analyse på ASAKs nåværende filler fra Franzefoss for en sammenligning. Gjennomsnittlig massetap for denne filleren var 0,14%. Residualfraksjonen ble testet på nytt, hvor temperaturen holdt 1050°C. Denne LOI-undersøkelsen ga et gjennomsnittlig massetap

på 5%. Det ble sendt 5 prøver av residualfraksjonen til SINTEF for undersøkelse av TOC. Resultatet fra denne testen var at det gjennomsnittlige massetapet var på 0,86%.

Testene for organisk materiale ga altså varierende svar. TOC undersøkelse indikerer at residualfraksjonen inneholder 0,86% organisk materiale. Undersøkelse ved LOI-test indikerer at det er 3% (ved 550°C) og 5% (ved 1050°C) organisk materialet i residualfraksjonen. I tillegg til dette ga to humustester ulike svar.

Det kan være flere årsaker til de varierende resultatene. Humustester kan gi fargeutslag ved innhold av jern i det testede materialet. Ved en LOI-undersøkelse kan uorganiske materialer med en fordampningsgrad innenfor 105-550°C ha bidratt til massetapet. Dette tatt i betraktning er det også en stor mulighet for at residualfraksjonen ikke er en homogen masse. Residualfraksjonen kommer fra resirkulerte gravemasser, og også fra forskjellige steder. Dersom det er tilfelle at residualfraksjonen ikke er en homogen masse vil de ulike uthentingene kunne gi forskjellige resultater.

## 13.2 Alkalireaksjon

I produksjonen av belegningsstein på laboratoriet ble det oppdaget at noen av steinene som ble produsert med V/C-tall på 0,40 hadde det utviklet seg en reaksjon i vannbadet. Reaksjonen kom fram som en «markliknende» gel ut av belegningssteinen, der den hadde vært utildekket av andre steiner. Denne reaksjonen ble diskutert, og kunne etter utseende å dømme minne om en alkalireaksjon. Under befaring hos Velde ble det lagt fram at residualfraksjonen kunne være alkalireaktiv. Teorien tilsier at når det gjelder resirkulert tilslag, skal dette antas å være alkalireaktivt før noe annet er dokumentert. Gjennom diskusjon med veileder og ansatte i SINTEF, ble det stilt spørsmål ved herdeforholdene til steinen. Steinen hadde ligget i et vannbad med 20°C, og derfor ikke utsatt for noen varmeksponeering. Det ble besluttet at den hvite «markliknende» gelen skulle skrapes av med papir og legges i et prøveglass. Videre ble prøven sendt til SINTEF for testing.



Figur 13.4 Mulig alkalireaksjon [eget bilde]



Figur 13.3 Mulig alkalireaksjon [eget bilde]

Dersom det viser seg at det er en alkalireaksjon som har oppstått vil det være aktuelt å benytte en lavalkalisement under produksjon av betongbelegningsstein hvor residualfraksjonen benyttes.

### 13.3 Dispergering

Residualfraksjonen blir levert i fuktig tilstand, grunnet vaskeprosessen av gravemassene hos Velde. Den originale filleren Velde produserer og filleren (Fransefoss) de bruker hos ASAK blir levert som en tørr masse. Dette medfører derfor at residualfraksjonen har en annen konsistens. Denne konsistensen kan gjøre at filleren kan ha vanskeligheter med å dele seg i blandemaskinen. Det ble derfor besluttet at residualfraksjonen skulle testes ved laserdiffraksjon (Mastersizer), for å undersøke om den ble dispergert best i original eller tørr tilstand. Denne beslutningen ble tatt for å ha et grunnlag før metodene for dispergering ble utført. For å hindre sedimentering ble det rørt kontinuerlig i prøvevæsken. Resultatene i Mastersizer viste at residualfraksjonen i opprinnelig form ga best dispergering. Dette vil også hensiktsmessig da residualfraksjonen ikke trenger å tørkes før bruk.

På bakgrunn av resultatene ble metoden med residualfraksjonen i original form videreutviklet for å oppnå høyest dispergeringsgrad. På grunn av residualfraksjonens leiraktige konsistens ble det besluttet å benytte grovt tilslag sammen med vann i blandemaskinen. Det grove materialet ble vasket før bruk, slik at fillersand ikke skulle påvirke analysen av residualfraksjonen. Vannmengden ble regulert etter residualfraksjonens vanninnhold, og etter reseptens totale vannbehov. Da tilsetningsstoffer skal tilsettes sammen med vann kunne ikke hele vanninnholdet tilsettes under dispergeringstiden. Det ble derfor benyttet 70% av det totale vanninnholdet under dispergeringen.

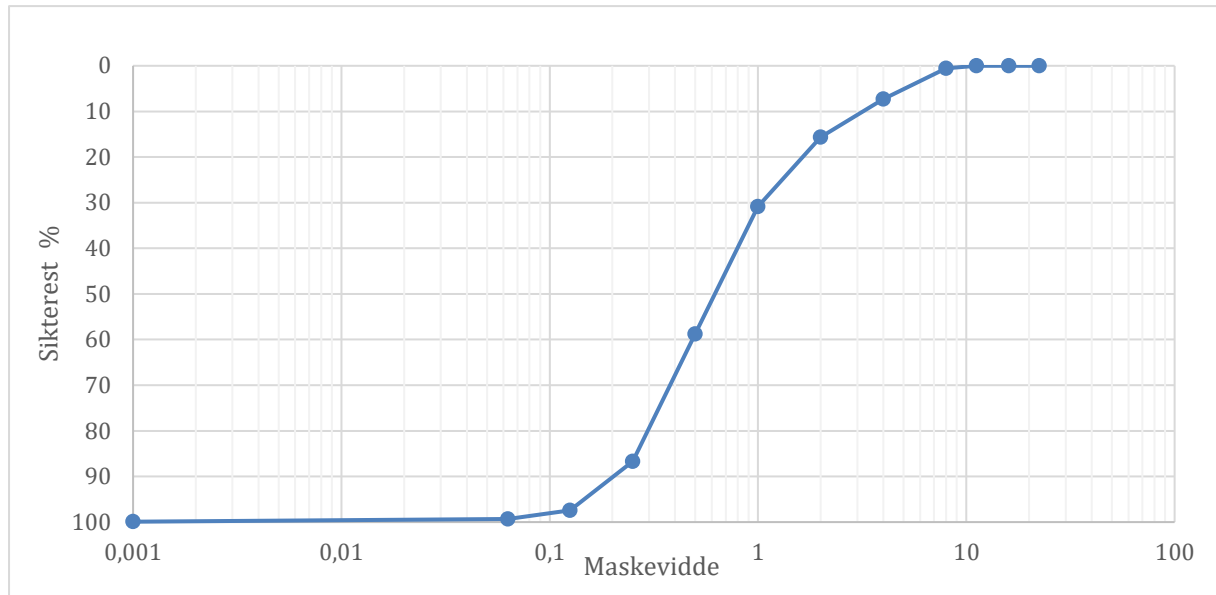
Tidssekvens i blandemaskinen var avgjørende for dispergeringsgraden. Det ble først foretatt visuell undersøkelse av dispergeringen. Dersom det var synlige klumper av residualfraksjonen i blandemaskinen ble tidssekvensen økt. Når det ikke lenger var synlig uoppløst residualfraksjon ble det foretatt hyppige undersøkelser i Mastersizer for å finne korrekt tidssekvens. Hyppigheten var viktig for å unngå lengre dispergeringstid enn nødvendig. For å sikre valide resultater ble hver analyse undersøkt flere ganger.

Analysene i Mastersizeren viste høyest dispergeringsgrad etter fire minutter. Lengre tidssekvens kunne vært forenelig med en tolkning av bedre dispergering, noe analysene avkreftet. Det er sett på muligheten for at årsaken til dette kan være at de fineste partiklene rekker å sedimentere, eller at partiklene rekker å klumpe seg sammen. Det er allikevel ikke funnet noen logisk sammenheng mellom testresultatene og tidssekvens, annet enn at fire minutter ved alle undersøkelser har gitt best resultat. Alle tidssekvenser er testet fire ganger. Hver test er et gjennomsnitt av fem serier.

Det ble sett på muligheten for å benytte en håndholdt blander for å dispergere residualfraksjonen sammen med vann. Dette fordi det da kunne bidratt til færre avvik fra Statens Vegvesens blandedprosedyre. Samtidig er det ikke ønskelig å tilføre nye ledd i prosessen hos ASAK. Allikevel ble det gjennomført en test med denne metoden for ikke å utelukke et potensielt godt resultat. Grunnet at det var store synlige «klumper» som ikke ville dispergere, ble det besluttet at testen ikke skulle analyseres i Mastersizeren.

Analysen av disse forsøkene viste at residualfraksjonen oppnådde høyest dispergeringsgrad med en tidssekvens på fire minutter. Metoden med grovt tilslag ga best resultater, og vil ikke tilføre et ekstra ledd i produksjon av betongbelegningsstein hos ASAK. Dispergeringen av residualfraksjonen med denne prosedyren ble derfor brukt videre ved støp av betongbelegningsstein i laboratoriet.

### 13.4 Partikkelstørrelsefordeling



Figur 13.5 Sikteanalyse for sand [egen figur]

På grunnlag av sikteanalysen er det laget diagram for sand. Sandkurven er i dette tilfellet en «Sandpukkel». I teorien er det beskrevet at ved en slik kurve vil det være økt poreinnhold og mindre pakningsgrad. En konsekvens ved en slik sandkurve er at det kan bli et økende behov for vanninnhold. En måte å kompensere for det økte vannbehovet vil være å tilsette p-stoff. En annen konsekvens er at det også kan fremkomme et økt luftinnhold. Grunnet den sterke komprimeringsprosessen på fabrikk, betraktes ikke dette som et problem. Denne type kurve vil også føre til at betongen får en lettere mobilitet, noe som er observert ved støp. Den ferske betongen produsert på laboratoriet har en jordfuktig konsistens, og lett å håndtere.

Hulrommene i sikteanalysen kan kompenseres for med sement. Det er i denne oppgaven brukt residualfraksjon i stedet for sement, da residualfraksjonen har omtrent samme kornstørrelse. Ved bruk av residualfraksjon som en substitutt har dette også redusert V/C-forholdet og dermed også vannbehovet.

### 13.5 Reseptutvikling, blandedprosedyre

Reseptutviklingen tok utgangspunkt i resept tilsendt fra ASAK. ASAK produserer i dag betongbelegningsstein, type Herregård, etter en annen resept. Resepten som benyttes i produksjon i dag er omtalt som ASAK originale resept. Denne resepten inneholder både 2/4 og 4/8 pukk. ASAK ønsker å kun benytte 4/8 pukk i sin produksjon, og har derfor utviklet en ny resept. Denne resepten er omtalt som ASAKs nye resept. Denne resepten benyttes ikke i produksjon i dag. Da ASAK ønsker å erstatte original resept, ble det bestemt at denne resepten skulle ligge til grunn for reseptutviklingen.

Det ble støpt etter den nye resepten for å kunne danne et sammenligningsgrunnlag for senere resepter. Dette med hensyn til komprimeringsgrad, fersk betongkonsistens og mekaniske egenskaper. Materialene benyttet gjennom hele forsøket var hentet hos ASAK, for å minimere mulige feilkilder i størst grad. Det ble oppgitt fra ASAK at deres V/C-forhold er så lavt som 0,3. På

bakgrunn av denne informasjonen ble det regnet ut hvor mye vann det skulle benyttes i ASAKs resept, støp 1. For at dette skulle bli en konservativ sammenligning ble Statens vegvesens håndbok R210 brukt under blandedeprosessen. Idéen var at denne tilnærmingen ville gi et så godt støp som mulig.



*Figur 13.6 Fersk betongkonsistens observert hos ASAK [eget bilde]*



*Figur 13.7 Fersk Betongkonsistens støp 1 [eget bilde]*

Ved støp av resepter utviklet under forsøket ble egen blandedeprosedyre benyttet. Hvor grovt tilslag, residualfraksjon og 70% av vannet ble tilsatt blandemaskinen først. Dette ble blandet i fire minutter, før den standardiserte metoden til Statens vegvesen ble benyttet for resten av blandedeprosedyren.

Da det måtte benyttes spesiallagede former til prosjektet, og belegningssteinene skulle testes for både spaltestrekkfasthet og frostmotstand, ble støpeperioden svært begrenset. Dette førte til at fersk og herdet betongkonsistens var eneste resultat før støpeperioden var over, hvilket gjorde det utfordrende å utvikle forbedrede resepter.

Det ble bestemt at det skulle endres så få faktorer som mulig for hvert støp. Dette for at det skulle bli klarere hvilke endringer som ga utslag. Den første endringen som ble utført, støp 2, var å erstatte ASAKs originale filler med residualfraksjonen. Ingen annen endring ble gjort dette støpet. Det ble registrert at den ferske betongkonsistensen liknet støp 1.

I den originale resepten fra ASAK benyttes det en sementmengde over hydratiseringsmuligheten i forhold til vann. Det antas derfor at store deler av sementmengden i dag benyttes som filler. Siden den jordfuktige betongkonsistensen skal opprettholdes ble det sett bort fra muligheten for å øke vanninnholdet. Det ble derfor besluttet å redusere sementinnhold i blandingen, for å oppnå et V/C-forhold på 0,4, og dermed oppnå full hydratisering av sementen i støp 3. ASAKs resept inneholder 0,395% P-stoff i forhold til sementmengde. Det ble ikke gjort endringer av P-stoffinnhold under støp 3, noe som resulterte i at P-stoffinnholdet ble økt til 0,527% i forhold til sementmengde benyttet i blandingen. Siden P-stoffinnholdet skal være nærmere 1% for at det skal ha noen retarderende effekt på herdeforløpet antas det at dette ikke vil utgjøre noen stor forskjell i fasthetsutviklingen. Det ble allikevel forsøkt i støp 6 å redusere mengde p-stoffinnhold. Støp 6 omtales nærmere senere i kapitlet.

På grunn av den store endringen fra V/C-forhold 0,3-04 ble det besluttet å også teste en blanding med V/C-forhold 0,35, støp 4. Det et antas at gruppens erfaring med blandedeprosedyre og utstøpning har forbedret seg gjennom forsøkene. Det ble derfor besluttet å støpe ASAKS resept på nytt, støp 5, midtveis i reseptutviklingen.

Det oppsto mistanke om at residualfraksjonen ikke hadde blitt ordentlig dispergert under støp 3, da mengden benyttet i forhold til vann og grovt tilslag var økt betraktelig. Dette støpet ble derfor gjentatt. P-stoffinnholdet ble også redusert til lik prosentmengde tilsatt hos ASAK. Mistanken ble bekreftet, og det ble sett store «klumper» av uoppløst residualfraksjon etter dispergeringstid på 4 minutter. Det ble derfor besluttet å øke dispergeringstiden for å se om dette kunne bidra til at residualfraksjonen ble ordentlig oppløst. Det ble under hyppige kontroller visuelt undersøkt oppnådd dispergeringsgrad. Da det etter totalt 8 minutter ikke ble registrert god oppløsning av residualfraksjonen ble det besluttet å tilsette 50% av det resterende vannet. Synlige «klumper» ble også løst opp manuelt. Det ble ikke registrert uoppløst residualfraksjon etter nye 2 minutter blandetid. Det å gå bort fra bestemt blandedprosedyre ble nøye overveid, men det ble besluttet at det var viktigere å undersøke om resepten ville gi gode resultater dersom den var ordentlig blandet.

Siste støp, støp 7, ble utviklet med grunnlag i at ASAK i sin originale resept har benyttet større andel grovt tilslag, og mindre andel fint tilslag. Undersøkelser utført på belegningsstein produsert hos ASAK med original og ny resept, tyder på at den originale resepten gir en større spaltstrekkfasthet i det ferdige produktet.

Siden grovt tilslag har mindre overflate pr volumenhet, behøver det også mindre sement for å utvikle fasthet. På grunn av at den ferske betongkonsistensen ved V/C-forhold 0,4, og p-stoffinnhold 0,395% i støp 6 viste seg å gi liknende konsistens observert hos ASAK, ble det besluttet å videreutvikle denne resepten. Siden ASAK allerede hadde utført et teststøp hvor all 2/4 pukk ble erstattet med 4/8 pukk, og dette ga lite tilfredsstillende utseende, ble det ikke utført slikt støp. Det ble valgt å heller forøke en 50-prosentvis tilnærming.

### 13.6 Former og komprimering

Den jordfuktige betongkonsistensen brukt i produksjon av belegningsstein produsert hos ASAK komprimeres ved vibrasjon og trykk kombinert, med høy kapasitet. For å tilstrebe tilsvarende effekt på egenstøpte belegningsstein ble det viktig å utarbeide en god metode for komprimering.

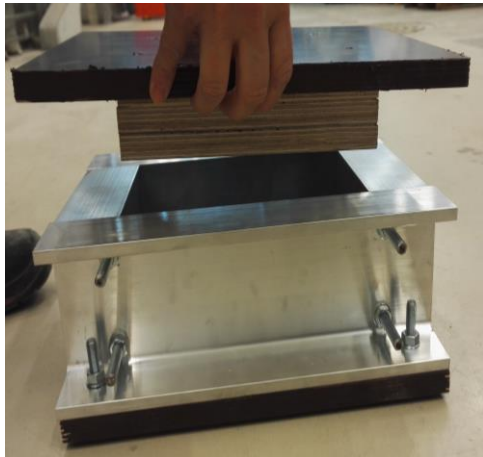
Ved innledende forsøk ble Statens Vegvesens metode med jernstang benyttet. Dette viste seg å være vanskelig i en så jordfuktig betong. Det ble også benyttet vibrasjonsbord for komprimering. Denne metoden var heller ikke optimal, da utseende etter et døgn herding var veldig ujevnt.

Belegningssteinens fasthet var lav, og den gikk i oppløsning allerede ved avforming. Det ble bestemt at en hydraulisk verkstedspresser med kapasitet på 20 tonn skulle benyttes. Det var ikke mulig å oppdrive informasjon om hvor sterkt trykk og vibrasjon det blir brukt i ASAKs produksjon, men det antas at 20 tonn er langt under deres kapasitet. Alle belegningssteiner komprimert ved UiA ble derfor komprimert til vektindikatoren viste 20 tonn.

Siden belegningsstein ifølge NS-EN 1338 skal testes for spaltstrekkfasthet, og at dette skal utføres på selve belegningssteinen, måtte det produseres egne former for dette formål. Det ble først vurdert om formene kunne lages av kryssfiner, men det ble antatt at formene ville gi etter for et trykk på 20 tonn. Formene ble derfor utformet i aluminium. For at formene skulle tåle trykket også i forankringspunktene ble det festet bolter og gjengestenger i kortsidene av formene. Dette gjorde at avformingsprosessen ble veldig tidkrevende. Dette høye trykket førte til at gjengestengene boret seg fast, og var derfor svært vanskelig å løsne. Da første støp skulle ut av formene ble det brukt over fire



timer med tre personer på denne prosessen. Det ble da benyttet fastnøkkel og hammer for å få løs gjengestengene. Dette gjorde at gjengestengene ble ødelagt, og måtte erstattes. Utover i støpeperioden ble det utformet bedre løsning på hvordan belegningssteinene kunne avformes, og tid brukt til dette formål ble redusert til et par timer med to personer. Det ble da benyttet drill med pipenøkkel som bits for å trekke ut gjengestengene.



*Figur 13.8 Prinsipp for lokk tilhørende form for støp av belegningsstein [eget bilde]*

Måldimensjonene for egenproduserte belegningsstein var satt til ASAKs oppgitte dimensjoner på (60x135x200) mm. For å oppnå en tykkelse på 60mm ble det spesialtilpasset et lokk til formene. Dette lokket ble laget slik at når lokket var presset helt ned, var det et 60mm hulrom i formen. Lokket ble utformet slik at det ikke kunne presses lenger ned. Tanken bak denne ideen var at formene ble fylt med riktig mengde betong, og at et trykk på 20 tonn ville komprimere betongen slik at toppen av lokket ble liggende oppå formen, og at det derfor ville bli konstant høyde på 60mm inne i formen. I teorien var dette en god løsning, men resultatene ble noe avvikende. Det antas at årsaken til de forskjellige resultatene er at komprimeringen er en manuell metode, både med hensyn på oppfylling av former og pumping av verkstedspressen. Det kan også være at forskjell i blandingen har gjort at enkelte masser ikke har kunnet komprimeres like mye. At det har vært for mye betong i formen før komprimeringen og at lokket har blitt trykt noe sammen, eller at massen har blitt presset ned, men ikke har forblitt like komprimert etter at trykket har blitt fjernet.

For å danne et sammenligningsgrunnlag skulle «Pauls metode» benyttes på ASAKs ferske betongkonsistens, og på den ferske betongkonsistensen produsert i laboratoriet ved UiA med ASAKs resept. Dette ble gjennomført på den ferske betongen produsert i laboratoriet ved UiA, men da ASAK påtok seg et uventet oppdrag ble det vanskelig å gjennomføre dette i produksjonslokalene hos ASAK. ASAK produserte Permac Lock ut prosjektiden. Det ble valgt å gjennomføre «Pauls metode» på den ferske betongen til denne betongbelegningssteinen, men siden disse er produsert med en annen resept ble det ikke gått videre med disse resultatene.



## 13.7 Mekaniske egenskaper

### 13.7.1 Spaltestrekkfasthet

På grunn av at det ikke finnes en maskin tilpasset test av spaltestrekkfasthet på belegningssteiner ved UiA, ble det utformet en modifisert metode for dette formålet. Som teorikapittelet om spaltestrekkfasthet omtaler har det vist seg å gi like resultater ved bruk av flate trykkplater i prøvemaskinen. Belegningsstein produsert med ny resept hos ASAK, testet av ASAK, viser en gjennomsnittlig spaltestrekkfasthet på 5,75MPa etter 8 døgn herding. Tester etter 28 døgn herding ga en gjennomsnittlig spaltestrekkfasthet på 5,25MPa. Prosjektgruppen antar at årsaken til at spaltestrekkfastheten har gått ned etter 28 døgn er på grunn av variasjoner i prøvelegemene. Det ble kun testet to belegningssteiner per serie. Belegningssteinene produsert hos ASAK, testet med modifisert metode ved UiA, viser en gjennomsnittlig spaltestrekkfasthet etter 53 døgn på 5,19 MPa. Dette er et gjennomsnitt av 8 belegningsstein, hvor spriket av resultater går fra 4,27 MPa til 6,17 MPa. Resultatene tyder på at den modifiserte metoden kan benyttes for å regne omtrentlig spaltestrekkfasthet, da det ifølge teorien ikke er særlig stor fasthetsutvikling etter 28 døgn.

Det ble oppgitt fra ASAK at de har registrert at prøvelegemer med en densitet over 2300kg/m<sup>3</sup> også har en spaltestrekkfasthet over den karakteristiske verdien på 3,5 MPa. Belegningssteinene produsert hos ASAK hadde alle en densitet over denne verdien, og en spaltestrekkfasthet innenfor referanseverdiene. Dette gjelder både belegningsstein produsert etter original og ny resept.

Belegningssteinene produsert ved UiA hadde verken densitet over referanseverdien, eller spaltestrekkfasthet over den karakteristiske verdien. Dette gjelder både belegningsstein produsert etter ASAKs nye resept, og belegningsstein produsert etter egenproduserte resepter. Belegningsstein produsert etter original resept ble ikke gjennomført ved UiA. Som tidligere nevnt oppnådde ASAK verdier innenfor referanseverdiene med den nye resepten. Det antas derfor at mulig årsak til at det ikke lykkes å oppnå samme resultater ved UiA kan være forskjell i blandedprosess, utstøpning, komprimering og/eller lagring. På grunn av at lagringen av belegningssteinene er utført med vannbad ved en temperatur på 20°C, som ifølge teorien vil gi best forutsetninger for fasthetsutvikling antas det ikke at lagringen av prøvelegemene er det utslagsgivende. ASAK oppbevarer sine produkter ett døgn i herdekammer, før de pakkes i plast og plasseres enten inne eller ute for lagring. Luftfuktigheten belegningssteinene blir utsatt for vil derfor variere. Blandeprosessen utført ved produksjon av belegningsstein med ASAKs nye resept ved UiA er hentet fra Statens vegvesens håndbok. Denne prosedyren er utformet for å gi best mulige resultater, noe som også er erfaringen til labpersonell tilhørende laboratoriet ved UiA. Siden blandedprosess er utført manuelt i dette forsøket vil det likevel kunne være variasjoner i kvaliteten. Dette gjelder også utstøpning og komprimering. Erfaringen til prosjektgruppen kan heller ikke sammenlignes med erfaringen ASAK har ved blanding og utstøpning.

Disse delene av prosessen tatt til betraktning er det likevel komprimeringsgraden som antas å være den store utslagsgiveren. Maskineriet ved ASAK har en mulighet til å utføre høyt trykk kombinert med sterk vibrasjon under komprimeringen av sine produkter. Teorien tilsier at vibrasjon og trykk kombinert gir en bedre komprimeringsgrad enn ved statisk komprimering. Metoden benyttet med

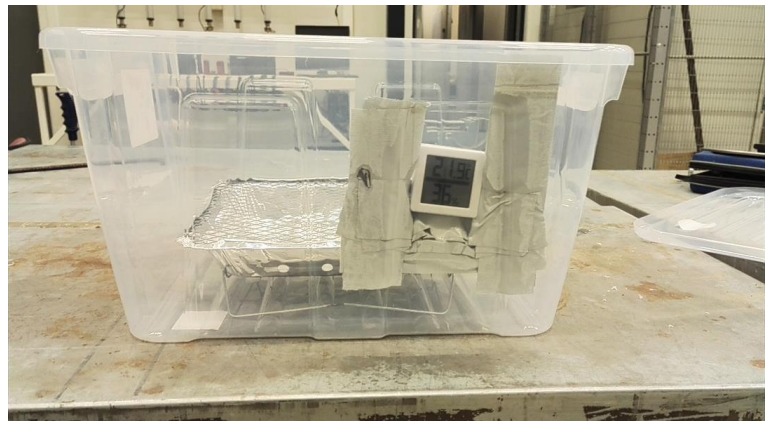
verkstedspressen er en statisk metode. Belegningssteinene produsert ved UiA er veldig porøse, noe som igjen tyder på at komprimeringen ikke er tilstrekkelig.

### 13.7.2 Frostmotstand

Laboratoriet ved UiA er utstyrt med et fryse-tine-skap, utformet til utførelse av test for måling av frostmotstand. Test av frostmotstand var ikke utført ved UiA tidligere, og blir heller ikke utført av ASAK selv. Det måtte derfor tillages klimakamre til kondisjoneringstiden. Metoden som ble utformet skulle etter teorien gi en konstant relativ luftfuktighet (RF) dersom temperaturen ble holdt konstant. Temperaturen gjennom prosjektiden ble holdt relativt konstant, og innenfor referanseverdiene på 20°C (+/-2°C). Allikevel holdt ikke RF konstant verdi, men økte over den tillatte maksverdien på 75%. Siden frostmotstand ifølge teorien er relatert til graden av vannmetning på prøvelegemet, ble klimakamrene nøye overvåket, og åpnet for å holde riktig RF. Dette ble en veldig tidkrevende metode, og det ble derfor tillaget flere hull i hvert kammer. Det ble tilslutt oppnådd en RF innenfor referanseverdiene på 55%-75%. Hvorfor klimakamrene ikke holdt konstant RF er vanskelig å konstatere, men det har blitt sett på muligheten for at saltløsningen kan ha inneholdt mindre forurensninger. Saltet ble blandet ut med springvann, og ikke destillert vann. Noe som kan bety at vannet hadde innhold av ioner som har dannet en reaksjon med saltionene.



Figur 13.10 Saltløsning [eget bilde]



Figur 13.9 Klimakammer under produksjon [eget bilde]

På grunn av tidsbegrensninger ble det besluttet å la belegningssteinene herde i klimakammeret. Klimakammeret holder en høy luftfuktighet, og ASAK selv oppbevarer som nevnt tidligere egne belegningsstein både ute og inne etter et døgn herding i herdekammer. Det antas derfor at herderegimet benyttet i laboratoriet ved UiA ikke avviker betraktelig fra ASAKs metode. Det må allikevel nevnes at NS EN 1338 spesifiserer at prøvelegemene skal være mellom 28-35 døgn før test av frostmotstand utføres. Da prøvelegemene har lavere fasthet ved færre dagers herding antas det at denne modifikasjonen ikke vil bidra til forbedrede resultater. Det ble også besluttet å helle på vannlaget under kondisjoneringen i klimakammeret, og at prøvelegemene skulle utsettes for 8 fryse-tine-sykluser, da dette gjorde at alle forsøk kunne testes for frostmotstand. Alle forsøk på egenstøpte

belegningsstein ble utført med samme metode. Sammenligningsgrunnlaget er derfor ansett som valid.

Ved måling av avskalling ble det benyttet kaffefilter for å skylle av eventuelle saltrester. På grunn av at materialet er av så liten størrelse må filteret veies sammen med prøvematerialet. Det ble antatt at kaffefiltrene har forskjellig vekt, og at de vill miste masse ved oppvarming. For å ta hensyn til vekt av filter ble det derfor tatt vekt av ti tomme kaffefilter. Filtrene ble deretter gjort våte og deretter tørket før det så ble målt vekten på nytt. Det ble regnet et gjennomsnitt av vekttapet, og dette ble så benyttet for å trekke vekk vekten av kaffefiltrene ved veiing av det avskallede materialet. Muligheten for å undersøke de faktiske filtrene ble sett på, men siden massetapet ved oppvarming gang nummer to vil kunne være annerledes fra første gang, ble denne metoden sett på som uaktuell.

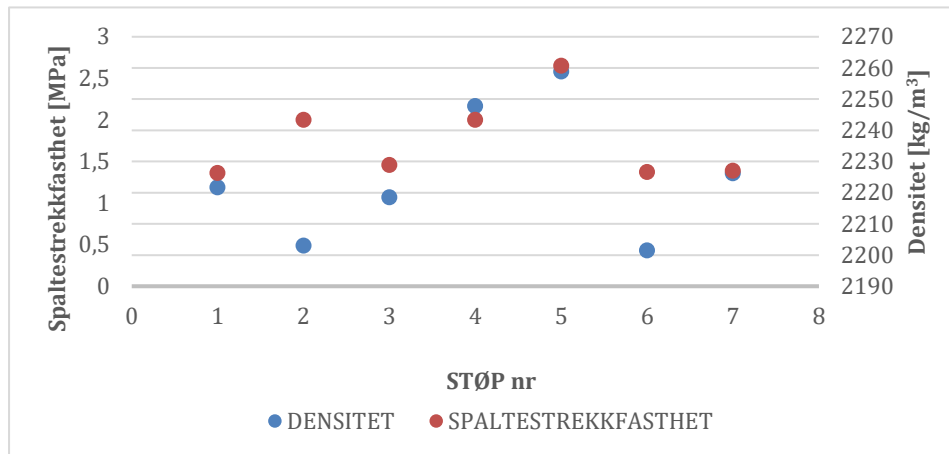
Referanseverdien for test av frostmotstand er at avskalling etter 28 døgn ikke skal overstige  $1\text{kg/m}^2$ . Ingen enkeltverdier over  $1,5\text{ kg/m}^2$ . Som resultatene fra frostmotstandstesten viste var alle verdier under denne referanseverdien. Det er grunn til å anta at avskallingen ville vært større ved korrekt antall sykluser, men det finnes ingen indikasjoner på at avskallingen ville ha oversteget referanseverdien.

Da prøvelegemene skulle kuttes ut til riktige dimensjoner ble det oppdaget at NS-EN 1338 oppga største tykkelse i kvadratmillimeter. Da tykkelse ikke blir oppgitt i kvadratmillimeter ble det sett på muligheten for at dette var oppgitt som tverrsnitt. Dette ble forkastet da tykkelse heller ikke skal oppgis som tverrsnitt. Det ble derfor besluttet å undersøke hva standarden beskriver på andre språk. Den engelske varianten oppgir største tykkelse i millimeter. Dette ble bekreftet etter kontakt med «RISE CBI Betonginstituttet AB», som holder til i Borås i Sverige (CBI utfører test av frostmotstand for ASAK)

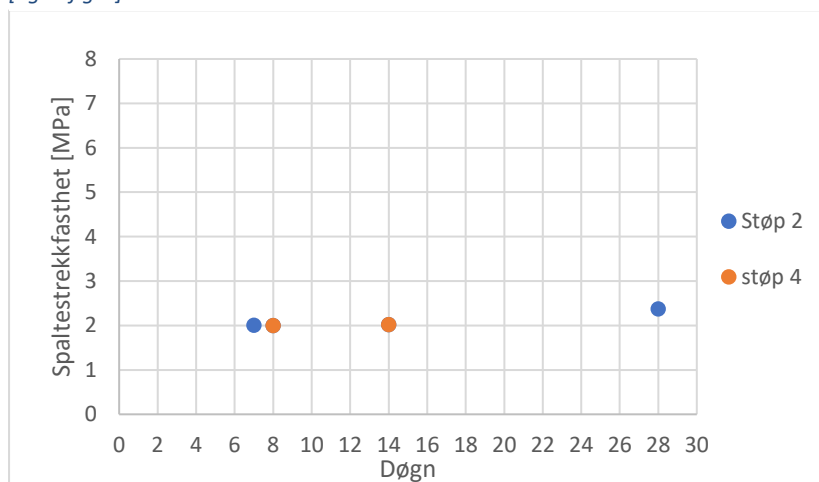
### 13.8 Valg av resept

Resultater for konsistens, spaltestrekfasthet og frostmotstand tatt i betraktning falt valget av resept på resept 4, anvendt på støp 4. Denne resepten ga tilfredsstillende konsistens av den ferske betongen, samtidig som spaltestrekfastheten etter 8 døgn var av de beste resultatene. Resept 2 og 4 ga begge veldig liknende resultater. Alle tester for frostmotstand var godt innenfor referanseverdien på  $1\text{Kg/m}^2$ .

Figur 13.11 viser målinger spaltestrekkfasthet for støp 2 og 4, mens figur 13.12 gir oversikt over den gjennomsnittlige spaltestrekkfastheten. Tabell 13.1 gir en oversikt over de mekaniske egenskapene til de to aktuelle støpene. Det fremkommer tydelig at resultatene for de to støpene er bortimot like. Det er allikevel verdt å merke seg at den gjennomsnittlige densiteten for støp 2 er lavere enn støp 4. Pakking og komprimering må sees i sammenheng med densitet. En sterkere komprimering vil sannsynligvis også gi en høyere densitet. Siden densitet og spaltestrekkfasthet har sammenheng kan dette tyde på at støp 2 ville oppnådd bedre resultater ved tilsvarende densitet. På grunn av at resept 2 inneholdt betraktelig mindre andel residualfraksjon, ble det besluttet å anvende resept 4.



Figur 13.12 sammenligning av gjennomsnittlig spaltestrekkfasthet og densitet for hvert støp [egen figur]

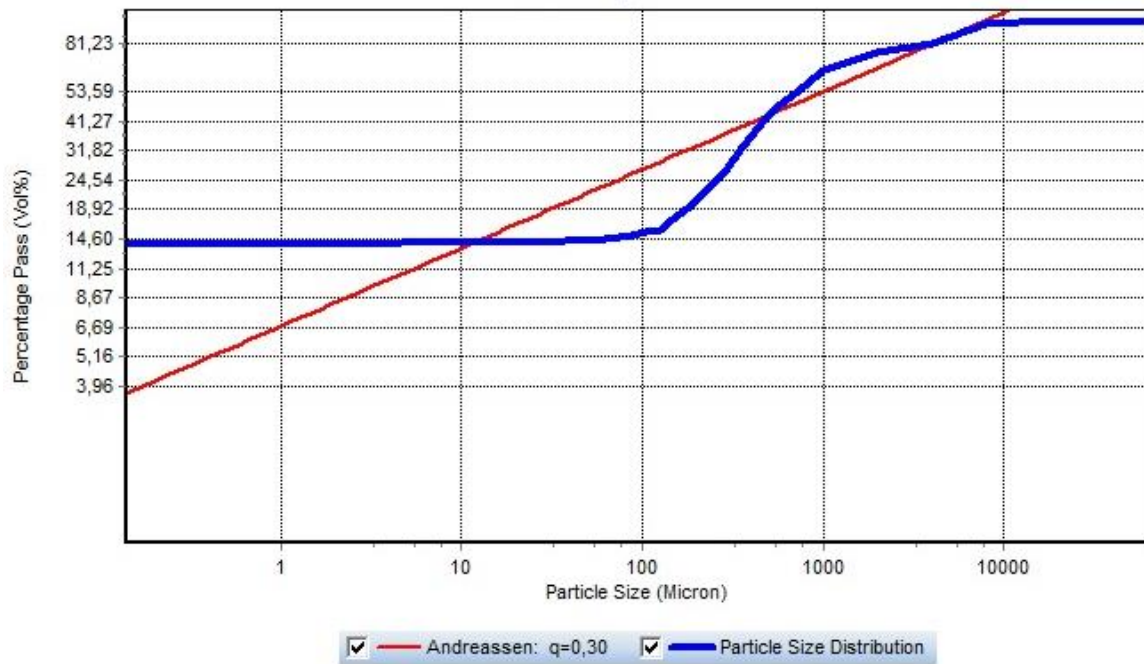


Figur 13.11 Gjennomsnittlig spaltestrekkfasthet for støp 2 og 4 [egen tabell]

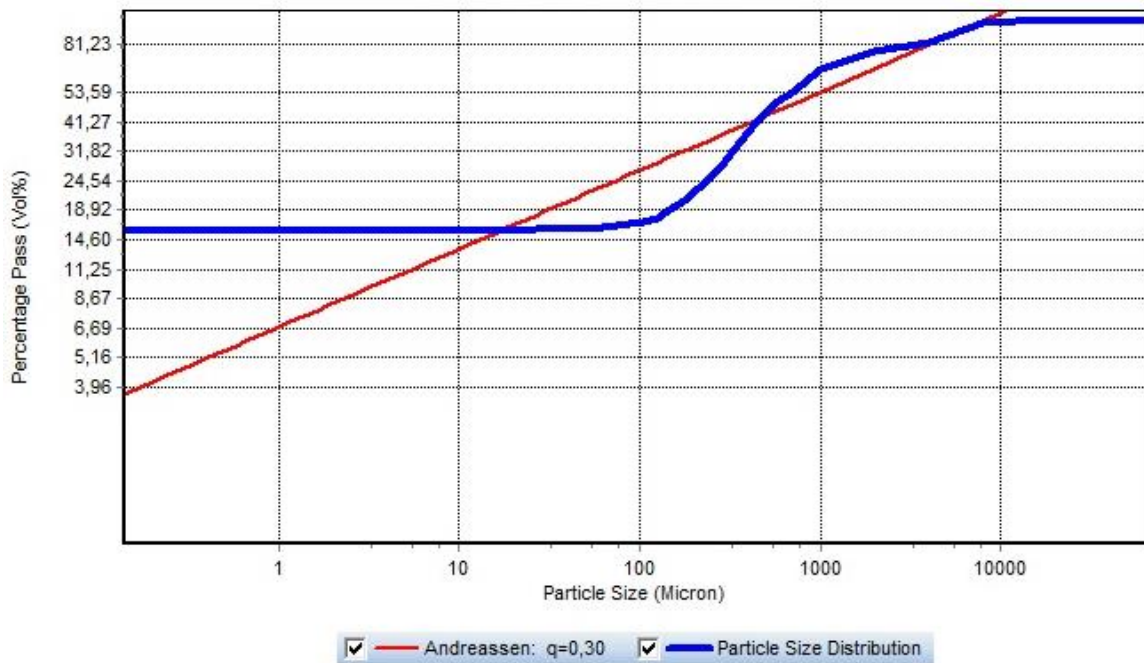
	Alder [døgn]	Spaltestrekkfasthet [MPa]	Bruddlast [MPa]	Densitet [kg/m³]
Støp 2	7	2,00	217,16	2203,00
	28	2,37	256,94	
Støp 4	8	2,00	217,22	2247,77
	14	2,02	219,98	

Tabell 13.1 Mekaniske egenskaper for støp 2 og 4

Programmet EMMA ble benyttet for å undersøke partikkelpakkingen til resept 4 opp mot ASAKs nye resept. Resultatene av analysen viser svært lik partikkelpakking.



Figur 13.14 Partikkelpakking ASAKs nye resept [egen figur]



Figur 13.13 Partikkelpakking resept 4 [egen figur]

Det ble så undersøkt om produksjon i ASAKs lokaler med resept 4 vil kunne gi en spaltestrekfasthet over den karakteristiske verdien etter 28 døgn. Det første steget i denne prosessen var å sette opp verdier fra utført test av spaltestrekfasthet.

Resept	Produsent	8 døgn [MPa]	>28 døgn [MPa]
Asak original	ASAK	5,72	6,84
Asak ny	ASAK	$X_1$	5,19
Asak ny	UiA	2,65	$X_2$
UiA, resept 4	UiA	2	$X_3$

Tabell 13.2 Oversikt over gjennomsnittresultater fra laboratorieforsøk [egen tabell]

Det neste steget var å undersøke hvordan de manglene verdiene kunne utregnes. Det er grunn til å anta at fasthetsutviklingen for ASAKs nye resept, ASAKs originale resept og resept 4 er tilsvarende. Alle materialer benyttet under forsøkene er hentet hos ASAK. Ved denne antagelsen i grunn kan det settes opp en rekke ligninger som gir forholdet mellom de ulike reseptene.

For å sikre så valide resultater som mulig ble det utført to sammenligninger. Den første tok utgangspunkt i ASAKs originale resept. Det ble ved denne metoden regnet ut at resept 4 utviklet ved UiA, produsert hos ASAK vil oppnå en spaltestrekfasthet på 3,9 MPa.

Forsøk 1	Ligning		Sum
Steg 1	$6,84 / 5,72 = X_2 / 2,65$	$X_2 =$	3,2
Steg 2 (1)	$6,84 / 5,72 = X_3 / 2$	$X_3 =$	2,4
Steg 2 (2)	$3,17 / 2,65 = X_3 / 2$	$X_3 =$	2,4
Steg 3	$3,2 / 5,19 = 2,4 / X$	$X =$	3,9

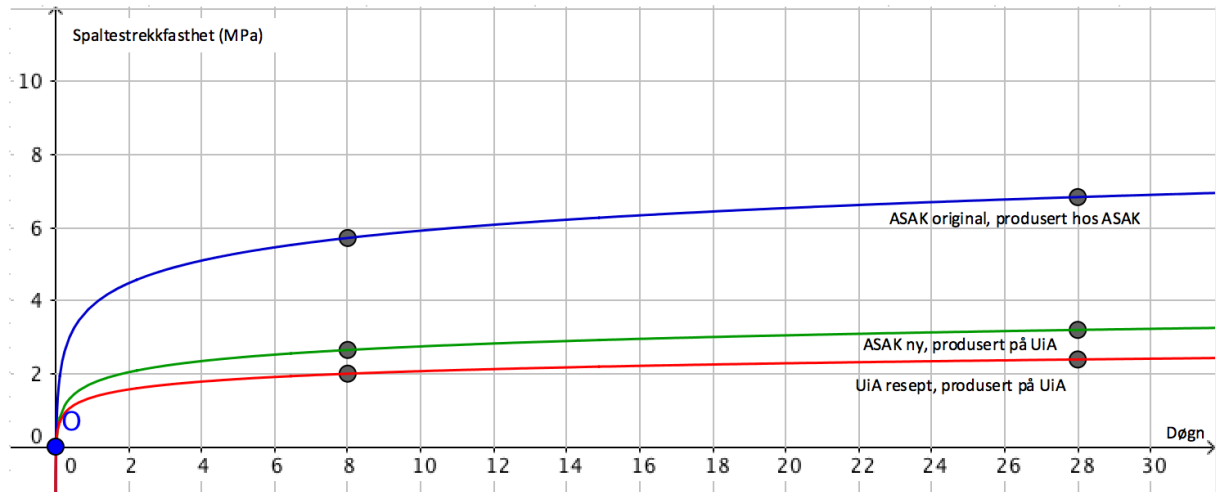
Tabell 13.3 Utregning av antatt spaltestrekfasthet etter 28 døgn. Resept 4 produsert hos ASAK. Regnet via ASAK original resept [egen tabell]

Neste beregning tok utgangspunkt i ASAKs nye resept. I likhet med metode én ble spaltestrekfastheten regnet til å skulle bli 3,9 MPa ved denne metoden også.

Forsøk 2	Ligning		Sum
Steg 1	$2,65 / 5,19 = 2 / X$	$X =$	3,9

Tabell 13.4 Utregning av antatt spaltestrekfasthet etter 28 døgn. Resept 4 produsert hos ASAK. Regnet via ASAK ny resept [egen tabell]





Figur 13.15 Modellert fasthetsutvikling [egen figur]

Intensjonen var fra begynnelsen av å benytte endelig resept for fullskalaforsøk av betongbelegningsstein type Herregård hos ASAK. Dessverre lot ikke dette seg gjennomføre da formplaten var til reparasjon, og ASAK senere hadde påtatt seg et stort oppdrag, og derfor produserte Permac Lock industristein ut prosjektiden.



Figur 13.16 Permac Lock [20]

Det ble avgjort å utføre fullskalaforsøk med denne formen for å sjekke hvilken densitet det kan oppnås med ASAKs komprimeringsmaskin. Etersom denne belegningssteinen har totalt ulik form fra Herregård belegningsstein ble det sett på muligheten for å skjære ut prøvelegemer for test av spaltestrekkfasthet. Da maskinen hos ASAK på nytt ble ødelagt, og måtte repareres var det ikke lenger tid til å utføre test av spaltestrekkfasthet. På grunn av at test av frostmotstand er en så omfattende og tidkrevende prosess kunne heller ikke dette gjennomføres. Det ble allikevel gjennomført teststøp i ASAKs produksjonslokaler. Resept fire var tørr nok til at ASAK godkjente den ferske betongkonsistensen, og tillot den derfor å passere gjennom deres system. Dette lot seg gjøre, og belegningssteinen ble estetisk. Densiteten oppnådd ved dette forsøket ble høyere enn tidligere, og oppfylte akkurat ASAKs referanseverdi. Den ble allikevel noe lavere enn ASAKs egenproduserte Permac Lock. Forskjellen var minimal, og det antas at resepten vil oppnå høyere densitet produsert hos ASAK. Dette siden densiteten kan ha blitt påvirket av type blandemaskin og transport.

Betongblandingen ble blandet i laboratoriet ved UiA, og deretter fraktet til ASAK. Det tok minst en time fra blandedprosessen var over til den ble produsert i ASAKs lokaler.



*Figur 13.17 Belegningssteinen til venstre er produsert med ASAKs resept. Belegningssteinen til høyre er produsert med resept 4. Bildet er tatt rett etter avforming [eget bilde]*

### 13.9 Økonomi

Av de totale gravemassene på 100 000 tonn/år utgjør residualfraksjonen 20-25%. Målet er å benytte residualfraksjon som filler i betongproduksjon, fortrinnsvis i produksjon av betongbelegningsstein. Dette vil ha et verdiskapningspotensiale for prosjektets samarbeidspartnere. Her vil VELDE AS og ASAK bli omtalt. VELDE AS vil produsere resirkulert tilslag som fører til utvikling og produksjon av produkter med tilsvarende egenskaper som naturlig tilslag. Dette vil øke konkurransedyktigheten til produkter som er miljøvennlig. Gravemasser leveres til VELDE AS mot at leverandør får en sum. I tillegg til at dette er kostnadmessig konkurransedyktig, vil dette begrense ulovlig deponering og spare miljøet. Samtidig med levering av avfallsmateriale, kan kunden kjøpe resirkulerte gravemasser. Leveranse for avfall og kjøp av tilslag foregår da på samme sted, noe som videre vil føre til reduserte transportkostnader.

I denne oppgaven har det blitt regnet ut at det vil være mulighet å oppnå en kostnadsbesparelse på 127 440kr/år for ASAK, noe som tilsvarer en årlig prisreduksjon på omtrent 15,6 %. Det er viktig å merke seg at dette kun gjelder for betongbelegningsstein type Herregård. ASAK produserer totalt 25 000 tonn betongprodukter pr/år, av dette utgjør Herregård betongbelegningsstein 5320 tonn/år. Dersom det er mulig å utnytte residualfraksjonen i alle betongprodukter vil kostnadsbesparelsene øke betraktelig.

Resirkulerte tilslag vil kunne kjøpes for en lavere pris (10-20%). Som beskrevet tidligere, er et konservativt anslag på resirkulerte gravemasser som er behandlet hos velde på ca. 100 000 tonn/år. Dersom 10% av dette kan brukes som filler i betongproduksjon, kan det føre til en verdiskapning på 1mill.kr/år.



## 14. Konklusjon

Forskerspørsmålet er gitt med tre underspørsmål (se side 17). Konklusjonen er nummerert i henhold til forskerspørsmålets underspørsmål.

1. Prosjektet har vist at det er mulig å dispergere residualfraksjonen. Erfaringen er at dette blir løst best i blandemaskinen sammen med grovt tilslag og vann, men at andel residualfraksjon i forhold til grovt tilslag er avgjørende. I tillegg til dette har tidssekvensen vist seg å være en avgjørende faktor.
2. Karakteriseringen av ASAKs ferske betongkonsistens ble gjennomført ved visuell og taktil<sup>7</sup> undersøkelse. Da ASAK påtok seg et uventet oppdrag av annen type belegningsstein ble det vanskelig å gjennomføre forsøksbasert karakterisering av den ferske betongkonsistensen. Det har i tillegg vist seg at tilsvarende fersk betongkonsistens kan oppnås i laboratoriet ved UiA. Dette ble oppnådd ved alle gjennomførte tilpasninger av de forhåndsbestemte faktorene (partikkelstørrelsefordeling, vanninnhold, V/C-forhold og redusere sementmengden).
3. Forsøk utført i laboratoriet ved UiA tyder på at det er mulig å oppnå ønskelige mekaniske egenskaper ved å erstatte eksisterende filler med residualfraksjonen i produksjon av betongbelegningsstein. I tillegg er det grunn til å anta at reduksjon av sementmengde ved bruk av residualfraksjon som filler kan være oppnåelig. Resept 4 med et V/C forhold på 0,35, og da også en redusert sementmengde på hele 14,3%, ga tilfredsstillende fersk betongkonsistens. Samtidig indikeres det at frostmotstanden vil være tilstrekkelig.

Fasthetsutviklingen er størst de første dagene. ASAKs nye resept produsert hos ASAK er 62% sterkere enn samme resept produsert ved UiA. Det er derfor rimelig å anta at også resepten utviklet i laboratoriet ved UiA vil oppnå høyere styrke produsert hos ASAK. Beregninger indikerer at spaltetrekkfastheten vil være over den karakteristiske verdien ved produksjon i ASAKs lokaler.

Densitet er en god indikasjon på hvor høy spaltetrekkfasthet som kan oppnås. Densitet oppnådd ved produksjon hos ASAK er høyere enn densitet oppnådd ved produksjon i laboratoriet ved UiA. Den er også innenfor ASAKs referanseverdi. Dette er en ytterligere indikasjon på at tilstrekkelig spaltetrekkfasthet vil kunne oppnås.

Partikkelpakningsprogrammet EMMA viste at ASAKs nye resept og resept 4 hadde omtrent samme partikkelpakking. Dette er en ytterligere indikasjon på at oppnåelig fasthet kan oppnås.

Mekaniske egenskaper ble undersøkt ved hjelp av modifiserte metoder. Dette må det tas hensyn til før det trekkes eventuelle slutninger.

Det antas med dette at det er mulig å utnytte residualfraksjonen i produksjon av betongbelegningsstein hos ASAK til å erstatte nåværende filler, samt redusere sementmengde. Dersom dette gjennomføres vil det gi betydelig økonomisk gevinst for både ASAK og Velde AS.

---

<sup>7</sup> Taktil – oppfattes gjennom følelsessansen ved berøring [56]

## 15. Anbefalinger

Det er gjennom arbeid med prosjektet funnet flere områder det ville vært interessant å undersøke videre.

- Det ville vært ønskelig å optimalisere resepten ytterligere. Det bør vurderes om partikkelpakningsprogrammet Emma kan benyttes for videre optimalisering av partikkelpakkingen.
- Blant annet ville det på grunn av alkalireaksjonen som oppsto under produksjon av belegningsstein med residualfraksjonen vært av interesse å erstatte standard sement FA med en lavalkaliment.
- Det ville også være aktuelt å undersøke ulike mengder tilsetningsstoff i resepten, for å se om dette kunne bidra til bedre utnyttelse av sementen.
- Variasjon i testresultater av organisk materiale gjør det svært aktuelt å undersøke dette nærmere, og sørge for at testingen er representativ for materialet. Videre vil det være interessant å undersøke om egenskapene til belegningssteinene kan bli påvirket av eventuelle mineralogiske variasjoner eller kjemisk innhold i de resirkulerte gravemassene.
- Spaltestrekkfasthet og frostmotstand undersøkt i laboratoriet ved UiA ble utført med modifiserte metoder. Det er av interesse å undersøke disse mekaniske egenskapene med metodene beskrevet i standarden for betongbelegningsstein.

## 16. Referanser

- [1] P. Gjerp, S. Smeplass, M. Maage, B. Pedersen, B. Kristiansen og J. Injar, *Betong Regelverk, teknologi og utførelse*. 1 utgave. Oslo: Byggenæringens Forlag AS , 2015.
- [2] Norsk Betongforenings Miljøkomité, "CO2 utslipp - sement og betong. UTFORDRINGER OG RESPEKTIVER," 2009. Hentet fra: [http://fabeko.no/assets/CO2\\_rapport-2009-02.pdf](http://fabeko.no/assets/CO2_rapport-2009-02.pdf).
- [3] S. S. Strand. (2017). *Resirkulert betong kan suge mer CO2 ut av luften*. Tilgjengelig: <http://www.bygg.no/article/1309843>.
- [4] Forskningsgruppen RESGRAM , «Utvikling av resirkulert tilslag fra gravemasser til bruk i veibygging og betongproduksjon - RESGRAM», Norge, 2015.
- [5] S. Tremoen, «[www.miljodirektoratet.no](http://www.miljodirektoratet.no),» 12 2009. [Internett]. Available: <http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2553/ta2553.pdf>. [Funnet 15 03 17].
- [6] SINTEF, «[www.sintef.no](http://www.sintef.no),» 07 03 2017. [Internett]. Available: <http://www.sintef.no/siste-nytt/utvikling-og-gjenbruk-av-resirkulert-tilslag-fra-g/>. [Funnet 2017 05 03].
- [7] Velde AS. *Når vi gjenvinner - gjenvinner alle*. Tilgjengelig: <http://www.veldeas.no/miljoambisjon/>. [Funnet 03 05 2017].
- [8] Standard Norge. (2017). *Norsk Standard*. Tilgjengelig: <http://www.standard.no/standardisering/norsk-standard/>.
- [9] Store norske leksikon. (2015). "Norsk Standard" i *Store norske leksikon*. Hentet fra: [https://snl.no/Norsk\\_Standard](https://snl.no/Norsk_Standard).
- [10] *Belegningsstein av betong. Krav og prøvingsmetoder*, NS-EN 1338, 2003, pp. Figur D.1, s 32.
- [11] *Nasjonalt tillegg*, NS-EN 1338, 2003.
- [12] *Betong Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar*, NS-EN 206, 2013.
- [13] *Prøvingsmetoder for kjemiske egenskaper for tilslag*, NS-EN 1744-1, 2012.
- [14] *Prøving av herdnet betong, Del 6*, NS 12390-6, 2009.
- [15] *Tilslag for betong*, NS-EN 12620, 2016.
- [16] *Prøving av fersk betong del 4: Komprimeringsgrad*, NS-EN 12350, 2009.
- [17] *Belegningsstein av betong. Krav og prøvingsmetoder*, NS-EN 1338, 2003.

- [18] NKF - Norsk kommunalteknisk Forening, Belegningsstein og heller av betong - en veileder 11 2005. Available: [www.asak.no/content/download/6548/37204/file/NKF-hefte.pdf](http://www.asak.no/content/download/6548/37204/file/NKF-hefte.pdf). [Funnet 24 03 2017].
- [19] ASAK miljøstein Norge, «[www.ASAK.no](http://www.ASAK.no),» 2017. [Internett]. Available: <http://www.asak.no/Produkter/Belegningsstein/Herregaardstein>. [Funnet 04 05 2017].
- [20] ASAK miljøstein Norge, «[www.asak.no](http://www.asak.no),» 2017. [Internett]. Available: <http://www.asak.no/Produkter/Belegningsstein/Permac>. [Funnet 04 05 2017].
- [21] C. J. Engelsen, «[www.byggforsk.no](http://www.byggforsk.no),» 03 2015. [Internett]. Available: [https://www.byggforsk.no/dokument/3162/resirkulert\\_tilslag\\_av\\_tegl\\_og\\_betong](https://www.byggforsk.no/dokument/3162/resirkulert_tilslag_av_tegl_og_betong). [Funnet 22 04 2017].
- [22] Byggesaken, «[www.byggesaken.no](http://www.byggesaken.no),» [Internett]. Available: <http://www.byggesaken.no/webfiles/Klassifisering%20-%20Siktekurver.pdf>. [Funnet 14 02 2017].
- [23] Veidirektoratet, «[www.vegvesen.no](http://www.vegvesen.no),» 03 2015. [Internett]. Available: [http://www.vegvesen.no/\\_attachment/185231/binary/1090658](http://www.vegvesen.no/_attachment/185231/binary/1090658). [Funnet 28 04 2017].
- [24] Malvern, «[www.malvern.com](http://www.malvern.com),» [Internett]. Available: <http://www.malvern.com/Assets/MRK1872.pdf>. [Funnet 14 04 2017].
- [25] Store Norske Leksikon, «[www.snl.no](http://www.snl.no),» 14 02 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/filler>. [Funnet 17 02 2017].
- [26] Gylderndal Undervisning, BETONG BOKA, Oslo: Gyldendal Norsk Forlag, 2004.
- [27] N. Karlsson, «[www.byggforsk.no](http://www.byggforsk.no),» 03 2004. [Internett]. Available: [https://www.byggforsk.no/dokument/3204/steinmaterialer\\_sand\\_grus\\_og\\_pukk#i33](https://www.byggforsk.no/dokument/3204/steinmaterialer_sand_grus_og_pukk#i33). [Funnet 26 04 2017].
- [28] R. S. Nordahl, «[www.snl.no](http://www.snl.no),» 14 02 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/pukk>. [Funnet 26 04 2017].
- [29] M. Haugen og J. Lindgård, «[www.byggforsk.no](http://www.byggforsk.no),» 11 2012. [Internett]. Available: [https://www.byggforsk.no/dokument/588/tilslagsmaterialer\\_for\\_betong#i0](https://www.byggforsk.no/dokument/588/tilslagsmaterialer_for_betong#i0). [Funnet 26 04 2017].
- [30] S. Jacobsen, «[www.byggforsk.no](http://www.byggforsk.no),» 11 1997. [Internett]. Available: [https://www.byggforsk.no/dokument/284/tilslagets\\_innvirkning\\_paa\\_betongens\\_egenskaper](https://www.byggforsk.no/dokument/284/tilslagets_innvirkning_paa_betongens_egenskaper). [Funnet 26 04 2017].
- [31] C. J. Engelsen og K. Aarstad, «[www.byggforsk.no](http://www.byggforsk.no),» 03 2016. [Internett]. Available: [https://www.byggforsk.no/dokument/589/sement\\_typer\\_egenskaper\\_og\\_bruksomraader](https://www.byggforsk.no/dokument/589/sement_typer_egenskaper_og_bruksomraader). [Funnet 26 04 2017].

- [32] O. C. Stenby, «[www.byggogbevar.no](http://www.byggogbevar.no),» 03 03 2017. [Internett]. Available: <https://www.byggogbevar.no/pusse-opp/mur/artikler/begreper-i-betong>. [Funnet 26 04 2017].
- [33] K. Aarstad, «[www.byggforsk.no](http://www.byggforsk.no),» 03 2016. [Internett]. Available: [https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong\\_typer\\_egenskaper\\_ogBruksomraader#i01](https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_ogBruksomraader#i01). [Funnet 03 05 2017].
- [34] NORCEM CEMENT AS, *Betong ABC*, Oslo: NORCEM CEMENT AS, 1985.
- [35] P. Gjerp og M. Opsahl, *Grunnleggende betongteknologi*, Lillestrøm: Byggenæringens Forlag, 2001.
- [36] Elkem, «[www.elkem.com](http://www.elkem.com),» [Internett]. Available: <https://www.elkem.com/documents/software/emma-user-doc.pdf>. [Funnet 01 05 2017].
- [37] R. Myrdal, «[www.byggforsk.no](http://www.byggforsk.no),» 08 2010. [Internett]. Available: [https://www.byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer\\_for\\_betong](https://www.byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer_for_betong). [Funnet 26 04 2017].
- [38] Norges geologiske undersøkelse, «[www.ngu.no](http://www.ngu.no),» 21 04 2015. [Internett]. Available: <https://www.ngu.no/fagomrade/bestemmelse-av-gl%C3%B8detap>. [Funnet 08 05 2017].
- [39] *Karakterisering av avfall. Bestemmelse av totalt organisk karbon (TOC) i avfall, slam og sedimenter*, NS-EN 13137, 2001.
- [40] O. Mangor-Jensen, «[www.byggforsk.no](http://www.byggforsk.no),» 10 2007. [Internett]. Available: [https://www.byggforsk.no/dokument/299/alkalireaksjoner\\_i\\_betong\\_skademekanisme\\_og\\_regelverk\\_ved\\_nybygging](https://www.byggforsk.no/dokument/299/alkalireaksjoner_i_betong_skademekanisme_og_regelverk_ved_nybygging). [Funnet 22 04 2017].
- [41] Norcem, «[www.weber-norge.no](http://www.weber-norge.no),» [Internett]. Available: [http://www.weber-norge.no/uploads/media/Industrisement\\_datablad.pdf](http://www.weber-norge.no/uploads/media/Industrisement_datablad.pdf). [Funnet 27 04 2017].
- [42] D. Vollset, «[www.mapei.com](http://www.mapei.com),» 2010. [Internett]. Available: [http://www.mapei.com/public/NO/linedocument/luft\\_i\\_betong\\_2010\\_lck.pdf](http://www.mapei.com/public/NO/linedocument/luft_i_betong_2010_lck.pdf). [Funnet 17 02 2017].
- [43] J. V. Thue. (2016). "betong" i *Store norske leksikon*" Hentet fra: <https://snl.no/betong>.
- [44] Statens vegvesen, «[www.vegvesen.no](http://www.vegvesen.no),» 07 1997. [Internett]. Available: [http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle\\_filer/14.63/014-632.pdf](http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle_filer/14.63/014-632.pdf). [Funnet 13 02 2017].
- [45] Høgskolen i Oslo og Akershus, «<http://www.iu.hio.no>,» 25 02 2004. [Internett]. Available: [http://www.iu.hio.no/bygglab/Betonglab/lab\\_metoder.htm#spaltestrekk](http://www.iu.hio.no/bygglab/Betonglab/lab_metoder.htm#spaltestrekk). [Funnet 24 03 2017].

- [46] Statens vegvesen , «[www.vegvesen.no](http://www.vegvesen.no),» 07 1997. [Internett]. Available: [http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle\\_filer/14.63/014-635.pdf](http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle_filer/14.63/014-635.pdf). [Funnet 17 02 2017].
- [47] [www3.lokus.no](http://www3.lokus.no), «[www3.lokus.no](http://www3.lokus.no),» [Internett]. Available: <http://www3.lokus.no/index.jsp?marketplaceId=34417953&languageId=1&siteNodeId=71406929&didLogin=true>. [Funnet 04 05 2017].
- [48] A. Wexler og S. Hasegawa, «[www.nist.gov](http://www.nist.gov),» 19 02 1954. [Internett]. Available: [http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/53/jresv53n1p19\\_A1b.pdf](http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/53/jresv53n1p19_A1b.pdf). [Funnet 17 02 2017].
- [49] B. Pedersen, «[www.snl.no](http://www.snl.no),» 27 01 2016. [Internett]. Available: <https://snl.no/reaksjonsligning>. [Funnet 08 05 2017].
- [50] [www.nyttnorge.com](http://www.nyttnorge.com), «[www.nyttnorge.com](http://www.nyttnorge.com),» [Internett]. Available: <http://www.nyttnorge.com/godt-drikkevann-skal-bare-inneholde-stoffer-kroppen-har-godt-av.html>. [Funnet 04 05 2017].
- [51] Veidirektoratet, «[www.vegvesen.no](http://www.vegvesen.no),» April 2005. [Internett]. Available: [http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Kvalitetsikrede%20\\_filer/14\\_4\\_Losmasser\\_fjell\\_og\\_steinmaterialer/14\\_44\\_Konsistens\\_og\\_humus/014\\_444\\_Humus\\_NaOH\\_apr\\_05.pdf](http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Kvalitetsikrede%20_filer/14_4_Losmasser_fjell_og_steinmaterialer/14_44_Konsistens_og_humus/014_444_Humus_NaOH_apr_05.pdf). [Funnet 03 05 2017].
- [52] Ø. Høines, «[www.ndla.no](http://www.ndla.no),» 03 03 2017. [Internett]. Available: <http://ndla.no/nb/node/58059?fag=35>. [Funnet 25 04 2017].
- [53] ASAK, «[www.asak.no](http://www.asak.no),» [Internett]. Available: [http://www.asak.no/Produkter/Belegningsstein/Herregaardstein/\(selectedcolor\)/1764](http://www.asak.no/Produkter/Belegningsstein/Herregaardstein/(selectedcolor)/1764). [Funnet 15 04 17].
- [54] Store norske leksikon, (2009). "dispergering" i *Store norske leksikon* Hentet fra <https://snl.no/dispergering>.
- [55] Språkrådet, «[www.ordbok.uib.no](http://www.ordbok.uib.no),» 2017. [Internett]. Available: [http://ordbok.uib.no/perl/ordbok.cgi?OPP=inert&ant\\_bokmaal=5&ant\\_nynorsk=5&begge=+&ordbok=begge](http://ordbok.uib.no/perl/ordbok.cgi?OPP=inert&ant_bokmaal=5&ant_nynorsk=5&begge=+&ordbok=begge). [Funnet 14 05 2017].
- [56] Store norske leksikon, (2015). "taktil" i *Store norske leksikon* Hentet fra: <https://snl.no/taktil>.

## 17. Vedlegg

Se egen fil for vedlegg.

<b>17.1 Labrapporter</b>	<b>2</b>
17.1.1 Labrapport for støp 1	2
17.1.2 Labrapport for støp 2	6
17.1.3 Labrapport for støp 3	8
17.1.4 Labrapport for støp 4	10
17.1.5 Labrapport for støp 6	11
17.1.6 Labrapport for støp 7	12
17.1.7 Labrapport for "Loss on ignition"	13
17.1.8 Labrapport for humustest 2	15
17.1.9 Labrapport for humustest 3	17
17.1.10 Labrapport for dispergering av filler, 1	20
17.1.11 Labrapport for dispergering av filler, 2	22
17.1.12 Labrapport for dispergering, 3	24
17.1.13 Spaltestrekk for belegningsstein produsert hos ASAK 06.02.17	25
17.1.14 Spaltestrekk for belegningsstein produsert hos ASAK 31.03.17	29
<b>17.2 Møtereferat</b>	<b>34</b>
17.2.1 Møtereferat 25.01.17	34
17.2.2 Møtereferat 03.02.17	35
17.2.3 Møtereferat 13.02.17	36
17.2.4 Møtereferat 01.03.17	37
17.2.5 Møtereferat 16.03.17	38
17.2.6 Møtereferat 27.03.17	39
17.2.7 Møtereferat 03.04.17	40
17.2.8 Møtereferat 07.04.17	41
<b>17.3 Tilsendte rapporter</b>	<b>42</b>
17.3.1 Tilsendt TOC-rapport fra SINTEF	42
17.3.2 Rapport - LOI	46
<b>17.4 Brukermanualer</b>	<b>49</b>
17.4.1 Brukermanual for Mastersizer	49
17.4.1 Brukermanual for EMMA	69
<b>17.5 Resultater fra programvarer</b>	<b>104</b>
17.5.1 Resultater fra EMMA	104
17.5.2 Resultater fra Mastersizer	106
<b>17.6 Resepter</b>	<b>113</b>
<b>17.7 Forskningsartikkel, LOI</b>	<b>115</b>
<b>17.8 Produktblad, ASAK</b>	<b>123</b>
<b>17.8 Mottakskrav til jord- og gravemasser hos VELDE</b>	<b>127</b>