

Institutt for Bygg- og energiteknikk - Bygg

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

BACHELOROPPGAVE

BACHELOROPPGAVENS TITTEL Gjenbrukspotensialet til betongslam i betongproduksjon – påvirkning på konsistens og trykkfasthet	DATO 26.05.2023
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG 74 / 8
FORFATTERE Fillip Holth, Kristian Horgen & Zakariye Muse Isse	VEILEDER Mahdi Kioumarsı

UTFØRT I SAMARBEID MED Betong Øst AS	KONTAKTPERSON Silje Gystad Ytterdal & Stefan Skjæret
---	--

SAMMENDRAG

Prosjektet omhandler gjenbrukspotensialet til betongslam, og dens påvirkning på betongens trykkfasthet og konsistens. Oppgavens bakgrunn stammer fra betongbransjens ønske om å drifte mer sirkulært. Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med Betong Øst, og involverte et laboratoriearbeid der betongslammets egenskaper ble testet.

Det ble gjennomført sikteanalyser på betongslam hentet fra ulike avdelinger hos Betong Øst. Videre ble to typer slam i ulike mengder innlemmet i betongresepter. Integrering av større mengder slam i betongblandingen førte til økt vannbehov for å oppnå ønsket konsistens. Til tross for at innlemmingen av betongslam reduserte betongens trykkfasthet, viste resultatene et potensial for betongblandinger med høyt slaminnhold der hvor norske standarder for endelig fasthet er opprettholdt.

Tatt til betraktning at innlemmingen påvirket betongens trykkfasthet og konsistens negativt, indikerte resultatene et potensial for gjenbruk av betongslam i produksjon av fabrikkbetong. Dette representerer en lovende mulighet for sirkulær drift.

3 STIKKORD

Betongslam

Sirkulær økonomi

Betongproduksjon

FORORD

Denne oppgaven ble utført våren 2023, og er en avsluttende bacheloroppgave utarbeidet ved bygglinjen på Oslo Metropolitan – storbyuniversitet. Oppgaven er et avsluttende arbeid for ingeniørfag – bygg, under studieretningen konstruksjonsteknikk.

Oppgaven utført i samarbeid med Betong Øst, og ble valgt med miljø og bærekraft i fokus. Betongavfall står for en stor andel utslipp av klimagasser, vi ønsker dermed å undersøke mulighetene for resirkulering av betongslam, med sikte på å redusere betongbransjens utslipp og samtidig øke lønnsomhet. Målgruppen for oppgaven er fagfolk i betongbransjen og fremtidige studenter med interesse innenfor emne.

Vi ønsker å rette en stor takk til vår interne veileder ved Oslomet, Mahdi Kioumarsi med oppfølging gjennom semesteret, og nyttige innspill på hvordan oppgaven skulle struktureres. Til sist vil vi rette en stor takk til våre samarbeidspartnere ved Betong Øst; Silje Ytterdal, Kristian Grave og Stefan Skjæret for høyt verdsatt veiledning gjennom prosjektet.

Sted og dato: Oslo, 26.05.2023

X *Fillip Holth*

Fillip Holth

X *Zakariye Isse*

Zakariye Muse Isse

X *Kristian Horgen*

Kristian Horgen

SAMMENDRAG

Dette prosjektet omhandler gjenbrukspotensialet til betongslam, og dens påvirkning på betongens trykkfasthet og konsistens. Oppgavens bakgrunn stammer fra betongbransjens ønske om å drifte mer sirkulært. Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med Betong Øst, og involverte et laboratoriearbeid der betongslammets egenskaper ble testet.

Det ble gjennomført sikteanalyser av slam hentet fra ulike avdelinger hos Betong Øst. Videre ble det utviklet slamrecepter basert på to slamtyper: én med nedbrutt slam til fint tilslag, og en annen basert på de ubehandlede agglomererte slampartiklene produsentene sitter med etter sedimenteringsprosessen. Det ble utviklet resepter ved bruk av et digitalt proporsjoneringsverktøy, der deler av tilslaget ble erstattet med 5%, 10% og 30% slam. Slammets påvirkning på konsistens ble vurdert ved synk – og utbredelsesmål. Videre ble innvirkningen på trykkfasthet analysert etter 2 og 28 døgn. Effekten ble evaluert ved å sammenligne mot en referanseresept, deretter ble resultatene knyttet opp til krav definert i det norske standardverket for betongproduksjon.

Gjennom sikteanalysene ble det observert at finstoffmengden i slammet var lavere enn antatt i tidlig fase. Sikteanalysene bekreftet at betongslammet var agglomerert til større partikler. Innlemmingen av slammet økte vannbehovet. Dette skyldtes tilstedeværelse av finstoff som ikke var nedbrutt, kornform etter nedbrytning og slammets høyere absorberingsevne. Betongblandinger med høyt slaminnhold krevde derfor økt vannbehov og dosering av SP-stoff, for å oppnå ønsket konsistens. Resultatene indikerte at innlemmingen av betongslam påvirket betongens trykkfasthet negativt. Likevel har laboratorieforsøkene vist at det er mulig å fremstille betongblandinger med relativt høye mengder betongslam, med akseptabel trykkfasthet iht. NS-EN 206. Betongblandinger med økt vannbehov krevde mer sement og førte til økt utslipp av CO₂. Likevel kan noe ekstra utslipp være akseptabelt, ettersom gjenbruken kan medføre en betydelig reduksjon i avfall sendt til deponi.

Tatt til betraktning at innlemmingen påvirket betongens trykkfasthet og konsistens negativt, indikerte resultatene et potensial for gjenbruk av betongslam i produksjon av fabrikkbetong. Dette representerer en lovende mulighet for sirkulær drift.

ABSTRACT

This project explored the potential of integrating concrete slurry waste (CSW), and its impact on the compressive strength and consistency of concrete. The background of this dissertation stems from the desire of the concrete sector to operate sustainably. This project, in collaboration with Betong Øst, involved lab work where the properties of CSW was evaluated.

Sieve analyses was conducted on slurry samples collected from several Betong Øst branches. Furthermore, slurry recipes were developed using two types of CSW: unhandled slurry with agglomerated particles, and degraded slurry to fine aggregate. These recipes were developed using a digital proportioning tool, where some of the aggregate was replaced with 5%, 10% and 30% of slurry. Slump and flow tests were conducted to determine the consistency of fresh concrete with integrated CSW. Additionally, the compressive strength was measured after 2 and 28 days. The results were compared to a reference and evaluated against requirements in Norwegian concrete production standards.

Particle size distribution from sieve analyses revealed that the CSW had fewer fine particles than expected, due to agglomeration of the slurry into larger particles. The integration of CSW increased the water demand due to the presence of ungraded fine particles, particle shape after deterioration and slurry's higher absorption capacity. A greater content of CSW therefore resulted in an increase of water demand and superplasticizers to achieve desired consistency. Results from compressive strength tests indicated that the presence of CSW affected the strength adversely. However, most mixtures met the requirements set by NS-EN 206. Mixtures with integrated CSW, due to the higher water demand, required more cement which further caused higher emission of CO₂. Nevertheless, these emissions may be acceptable as the recycling of CSW can lead to significant reduction of hazardous waste sent to landfills.

Taking the negative effects on compressive strength and consistency into account, the results indicate the potential of integrating CSW into manufacture of new concrete. This represents a promising opportunity to further sustainable operations.

Innhold

FORORD	i
SAMMENDRAG.....	ii
ABSTRACT	iii
Innhold.....	iv
Definisjonsliste	vii
Figurliste	x
Tabelliste.....	xi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Formål	2
1.3 Problemstilling.....	3
1.4 Avgrensninger.....	4
2 Teori.....	5
2.1 Betongslam	5
2.1.1 Innhold av betongslam	6
2.1.2 Sedimenteringsprosessen	7
2.1.3 Prosessvann.....	8
2.1.4 Bærekraftig håndtering av betongslam	10
2.1.5 Krav ved gjenbruk av betongslam	10
2.1.6 Tørrvask av betongbiler	11
2.2 Tilslag i betong	11
2.2.1 Geometriske krav til tilslag	11
2.2.2 Generelle krav tilslag	13
2.3 Reaksjon mellom vann og sement	13
2.4 Tilsetningsstoffer	15
2.4.1 Plastifiserende og superplastifiserende tilsetningsstoff	15
2.4.2 Andre tilsetningsstoffer.....	16
2.5 Betongresept	16
2.6 Egenskaper til fersk betong.....	17
2.6.1 Stabilitet	17
2.6.2 Komprimerbarhet.....	18
2.6.3 Mobilitet.....	18
2.7 Prøving av fersk betong	19
2.7.1 Synkmål	19
2.7.2 Utbredelsesmål.....	20
2.7.3 Densitet	21
2.8 Trykkfasthet – og bestandighetsklasser	21

2.8.1 Trykkfasthetsklasser.....	21
2.8.2 Bestandighetsklasser.....	22
2.9 Sirkulærøkonomiske og miljøvennlige aspekter.....	23
2.9.1 Formel for CO ₂ utslipp ved produksjon av betong.....	23
2.9.2 Sirkulærøkonomi og LCA.....	23
3 Metode.....	24
3.1 Valgt metode.....	25
3.2 Drøfting av metode.....	25
3.3 Materiell.....	26
3.3.1 Betongslam.....	26
3.3.2 Bindemiddel, tilsetningsstoff og tilslag.....	26
3.4 Programvare.....	27
3.4.1 Sikteanalyseeskjema.....	27
3.4.2 Proporsjonerings - og blanderesepteskjema.....	28
3.5 Prosedyre og gjennomføring.....	32
3.5.1 Laboratorieforsøk: Sikteanalyse.....	33
3.5.2 Fuktmåling av tilslag.....	34
3.5.3 Laboratorieforsøk: Fersk betong.....	35
3.5.4 Laboratorieforsøk: Herdet betong.....	39
3.6 Metodekritikk.....	40
3.6.1 Reliabilitet.....	40
3.6.2 Generaliserbarhet.....	40
4 Resultater.....	41
4.1 Resultater fra sikteanalyse.....	41
Sikteprøve 1- Lørenskog ubehandlet.....	42
Sikteprøve 2 – Lørenskog behandlet.....	42
Sikteprøve 3 – Gardermoen ubehandlet.....	43
Sikteprøve 4- Gardermoen behandlet.....	43
Sikteprøve 5 – Fetsund ubehandlet.....	44
Sikteprøve 6 Fetsund behandlet.....	44
Sikteprøve 7 – Lørenskog forhåndssiktet til 0/4.....	45
Sikteprøve 8 –Lørenskog ubehandlet.....	45
4.2 Resultater fra betongprøver.....	46
4.2.1 Reseptoversikt.....	46
4.2.2 Resultatoversikt prøving av fersk betong.....	47
4.2.3 Resultatoversikt 2 døgns trykkfasthet.....	48
4.2.4 Resultatoversikt 28 døgn trykkfasthet.....	49
4.3 Fuktmålinger i tilslag.....	50
5 Diskusjon.....	51

5.1 Betongslam som tilslag	51
5.1.1 Observert agglomerering av betongslam	52
5.1.2 Sammenligning av innlemmet betongslam	53
5.1.3 Betongslams kornform og egenskaper	54
5.1.4 Tørrvask som tilslag	55
5.2 Betongslams påvirkning på konsistens	56
5.2.1 Proporsjonering ved økt betongslaminnhold	56
5.2.2 Betongslams innvirkning på betongens vannbehov	57
5.2.3 Betongslams innvirkning på SP-stoff behov	58
5.2.4 Innvirkningen av betongslammets partikkelstørrelse på konsistens	58
5.2.5 Betongslams påvirkning av densitet	59
5.3 Betongslams påvirkning av trykkfasthet	60
5.3.1 Trendlinjeanalyse	62
5.3.2 Slampartiklers påvirkning på trykkfasthet	63
5.3.3 Ulikheter mellom test-klosser	64
5.3.4 Økt vannbehovs påvirkning på trykkfasthet	64
5.3.5 Fasthetsutvikling	64
5.4 Sirkulærøkonomi og miljø	66
6 Konklusjon	69
7 Videre arbeid	70
8 Kildeliste	71
9 Vedlegg	74

Definisjonsliste

Agglomerering: *Små faste partikler føyer seg sammen til større klumper.*

Aggregater: *Samlebetegnelse for mineralske partikler fra sand, grus, knust stein og lignende materialer brukt i byggebransjen.*

Betong: *Byggemateriale fremstillet av å blande sement, fraksjoner av tilslag, vann, og eventuelle tilsetningsstoffer og tilsetningsmaterialer.*

Betongavfall: *Herdete og uherdete rester fra produksjonen og fra tømning og vask av biler og produksjonsutstyr, samt betongslam [1].*

Betongbil: *En type lastebil som i stedet for lasteplan har en trommel for å kunne frakte betong fra fabrikk til byggeplass.*

Betongens komprimerbarhet: *Betongens evne til å bli komprimert under trykk og redusere luftporer i blandingen. En egenskap for å oppnå høyere tetthet og styrke betongkonstruksjoner.*

Betongens mobilitet: *Betongens evne til å flyte og spre seg når plassert. En viktig egenskap for å få enkel plassering, og kompaktering av betongen.*

Betongens stabilitet: *Betongens motstand mot segregasjon og blødning. Omhandler betongens evne til å opprettholde en homogen sammensetning gjennom hele betongmassen.*

Betongens støpbarhet: *Er betongens evne til å la seg støpe ut og legge seg rundt armeringer og i former, uten å skille seg. Valgt støpemetode bestemmer hvor flytende betongen må være.*

Betongens vannbehov: *Vann – og sementmengden nødvendig for at betongen skal oppnå ønsket synk og konsistens.*

Betongslam: *Avfall skapt i forbindelse med rengjøring av renseanlegg for prosessavløpsvann [1].*

Betongtørr-plass: *Et område hvor overskuddsbetong og restbetong blir samlet for videre å bli resirkulert eller sendt til deponi. Området er tiltenkt for å ha kontroll på avfallet, samt hindre utlekking til resipienter.*

Determinasjonskoeffisienten (R²-verdi): *Statistisk måling som viser hvor godt en trendlinje tilnærmer de faktiske datapunktene i et datasett.*

Diffuse utslipp: *Utslipp til luft som ikke er lokalisert fra ett utslippspunkt og utslipp av overvann, både det som ledes i rør og det som går rett til resipienten og som ikke føres ut sammen med prosessavløpsvannet, for eksempel støving og avrenning fra lagerområder og områder for lossing eller lasting [1].*

Fabrikkbetong/Ferdigbetong: *Betong som leveres i fersk tilstand av en person eller en organisasjon som ikke er brukeren [2].*

Fersk betong: *Betong i fasen der den er fullstendig blandet, men ikke herdet. I denne tilstanden er betongen i formbar tilstand.*

Flokkuleringsmiddel: *Kjemisk stoff som fremkaller flokkulering, en prosess der suspenderte partikler klumper seg sammen og gjør det enklere å separere fra væsken.*

Gjenvunnet knust tilslag: *Tilslag gjenvunnet ved å knuse herdnet betong som ikke tidligere har vært brukt i byggearbeider [2].*

Gjenvunnet vasket tilslag: *Tilslag gjenvunnet ved å vaske fersk betong [2].*

Herdet betong: *Betong i fast tilstand som har utviklet fasthet. Herdnet betong har gjennomgått hydratiseringsprosessen, og blitt en fast masse.*

Hulromsvolum: *Volumet av luftlommer, porer og hulrom i betongen. Det er et viktig aspekt for betongens egenskap til styrke, holdbarhet og permeabilitet.*

Hydratiseringsprosessen: *Den kjemiske reaksjonen som skjer mellom vann og sement, som gjør at betongblandingen går over til en fast masse fra fersk tilstand.*

Knust tilslag: *Tilslag som er mekanisk bearbeidet.*

Kornform i tilslag: *Formen på de individuelle partiklene i tilslaget, karakterisert som flisig, stengelig eller kubisk.*

Kornfraksjon: *Andel av steinmateriale der kornstørrelsene i sin helhet ligger innenfor to bestemte yttergrenser d/D , der d er nedre nominell kornstørrelse og D er øvre nominell kornstørrelse [3].*

Korngradering: *Prosentvis fordeling av kornstørrelsene som tilslaget inneholder.*

Masseforhold: *Forholdet mellom effektiv vannmengde (tilsatt vann, fukt i tilslag og vannandel i tilsetningsstoffer) og bindemiddel (sement og eventuelle tilsetningsmaterialer) [4].*

Matriksfasen: *Refererer til den kontinuerlige fasen der sementpastaen binder sammen betongens aggregater.*

Naturlig tilslag: *Tilslag som ikke er bearbeidet mekanisk.*

Normert herding: *Vannlagret ved $20 (\pm 2) ^\circ\text{C}$.*

Normert trykkfasthet: *Fasthet ved herding i vannbad med $20 (\pm 2) ^\circ\text{C}$.*

Overskuddsbetong: *Mengden betong som er produsert utover det som er nødvendig for et bestemt byggeprosjekt.*

Partikkelsprang: *Utrykk når et tilslag mangler en eller flere mellomliggende kornfraksjoner.*

Portland blandingssement CEM II: *Blandingssement med minst 65 % klinker [4].*

Profilbetong: *Er en formbar betong med lav synk for å kunne støpe konstruksjoner der lav flyteevne er ønskelig, f.eks. kantstein og veirekkverk.*

Prosessavløpsvann: *Alt vann som oppstår som følge av driften, som spylevann, vaskevann, avrenning fra slam, inkludert overvann som er forurenset med komponenter fra andre kilder, og som føres ut sammen med prosessavløpsvannet [5].*

Prøvingsalder: *Tid i antall døgn fra betongen blir fremstilt til prøvingen.*

Pukk: *Knust steinmateriale med sortering innenfor området 4/80 mm [3].*

Resipient: *Et mottagende økosystem som tar imot utslipp, avrenning eller avfall fra menneskelig*

aktivitet eller industrielle prosesser.

Resirkulert tilslag: Tilslag som kommer fra bearbeiding av uorganisk materiale som tidligere har vært brukt i byggearbeid [2].

Restbetong: Betong som blir til overs etter at betongblandingen er levert og anvendt i et byggeprosjekt.

Sand: Knust tilslag med dominerende (0,0063/2 mm) fraksjon.

Sedimentering: Også kallt «bunnfelling», skjer da partiklene fordelt i en væske har større tetthet enn væsken og synker til bunnen. Hastigheten på sedimenteringen er påvirket av partikkelstørrelsen og er mindre for små partikler [6].

Sement: Består av klinker finmalt sammen med gips. Sement er et hydraulisk bindemiddel, det vil si et uorganisk materiale som herdner ved kontakt med vann og er stabilt under vann [4].

Sementpasta: Produsert ved å blande sement og vann.

Siktekurve: En kurve som angir korngraderingen som en funksjon av kornstørrelse.

Suspendert stoff: Uoppløst materiale i vann.

Synkmål: Mål på hvor mange millimeter en betongprøve i en synk-kjegle siger sammen når den frigjøres fra en kjegle.

Tilsetningsmaterialer: Materialer som tilsettes for å fremme kjemiske reaksjoner for å bedre betongens egenskaper, som å bedre betongens motstand mot sulfatangrep eller bedre CO₂-avtrykk.

Tilsetningsstoffer: Kjemiske produkter som benyttes for å endre betongens egenskaper og for å oppnå bestemte egenskaper i fersk og herdnet fase [4].

Tilslag: En samlebetegnelse på sand og stein [4].

Tilslagsstørrelse: Diameteren på individuelle partikler i tilslag gitt i mm.

Trykkfasthet: Betongens fasthet mot trykkkrefter, altså største trykkraft per flateenhet den tåler før den bryter sammen. Trykkfastheten angis i MPa og regnes som bruddlast dividert med trykkflate.

Tungmetall: Er metaller som veier mer enn 5 gram per kubikkcentimeter og regnes for å være forurensende for miljø og helse [7].

Tørrvask: En prosess for å vaske betongbiler ved mindre bruk av prosessvann.

Utbredelsesmål: Mål på hvor mange millimeter en betongprøve har spredt seg på tvers etter den frigjøres fra en synk-kjegle.

Vann/sement-forhold (v/c-forhold, v/c-tall): Forholdet mellom vann og sement i en betongblanding.

Figurliste

Figur 2.1-1: Mellomlagring av Betongslam ved Betong Øst Lørenskog.....	6
Figur 2.1-2: Sedimenteringsprosess.....	7
Figur 2.1-3: Effekt ved tilsetning av flokkuleringsmiddel i prosessvann	9
Figur 2.3-1: Standard FA	14
Figur 2.7-1: Synkmål	19
Figur 2.7-2: Utbredelsesmål.....	20
Figur 3-1: Grafisk fremvisning av metode.....	24
Figur 3.4-1: Tomt sikteanalyseeskjema, brukt i labarbeid.....	28
Figur 3.4-2: Forklaring av cellefargens betydning i proporsjoneringseskjema	29
Figur 3.4-3: Tomt proporsjoneringseskjema benyttet i labarbeid.....	31
Figur 3.4-4: Tomt blandeskjema, frembrakt fra proporsjoneringseskjema	32
Figur 3.5-1 og 3.5-2: Synkmål og utbredelse av fersk betong [36].	37
Figur 4.1-1: Sikteprøve 1 Lørenskog	42
Figur 4.1-2: Sikteprøve 2 Lørenskog behandlet.....	42
Figur 4.1-3: Sikteprøve 3 Gardermoen ubehandlet.....	43
Figur 4.1-4: Sikteprøve 4 Gardermoen behandlet.....	43
Figur 4.1-5: Sikteprøve 5 Fetsund ubehandlet	44
Figur 4.1-6: Sikteprøve 6 Fetsund behandlet	44
Figur 4.1-7: Sikteprøve 7 Lørenskog behandlet, siktet 0-4mm, brukt i støp	45
Figur 4.1-8: Sikteprøve 8 Lørenskog ubehandlet, brukt i støp	45
Figur 5.1-1 og 5.1-2: Sammenligning av behandlet og ubehandlet slam.....	52
Figur 5.1-3: Sammenligning av innlemmet betongslam	53
Figur 5.1-4: Fremstilling av siktet slam	54
Figur 5.1-5: Sammenligning av våt – og tørrvask	55
Figur 5.2-1: Påvirkning av konsistens ved tilsetning av 5% slam	56
Figur 5.2-2: Synkmål for resepter med siktet slam	57
Figur 5.2-3: Utbredelsesmål for resepter med siktet slam	57
Figur 5.2-4: Slammets partikkelstørrelsers påvirkning på synk.....	59
Figur 5.2-5: Oversikt densitet	60
Figur 5.3-1: Prøveresultat av trykkfasthet.....	61
Figur 5.3-2: Slamprosentens påvirkning av 28 døgns trykkfasthet og trend	62
Figur 5.3-3: Visualisering av betongslampartiklers tetthet	63
Figur 5.3-4: Fasthetsutvikling.....	65

Tabelliste

Tabell 2.1-1: Grenseverdier for tungmetaller og suspendert stoff	8
Tabell 2.4-1: Diverse tilsetningsstoffer.....	16
Tabell 2.7-1: Prøvetaking av fersk betong	19
Tabell 2.8-1: Fasthetsklasser fra nasjonalt tillegg i NS-EN 206.....	22
Tabell 2.8-2: Tabell NA.11 Valg av bestandighetsklasse fra NS-EN 206.....	22
Tabell 4.2-1: Reseptoversikt	46
Tabell 4.2-2: Resultattabell fersk betong	47
Tabell 4.2-3: 2 døgn trykkfasthet.....	48
Tabell 4.2-4: 28 døgn trykkfasthet.....	49
Tabell 4.3-1: Fuktmålinger i tilslag.....	50
Tabell 5.4-1: CO ₂ utslipp bespart	67

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Betong er byggebransjens mest anvendte byggemateriale, kjent for sin styrke, holdbarhet og allsidighet i konstruksjonsindustrien. Det sterke materialet er en blanding av vann, sement, tilslagsmaterialer som sand, grus og knust stein, og tilsetningsstoffer. Betong kan anvendes til et bredt spekter av konstruksjonsprosjekter, alt fra store infrastrukturanlegg som broer og veier, til boligprosjekter og mindre konstruksjoner som hagemurer og støttemurer. Betongs evne til trykkfasthet og bestandighet gjør materialet ideelt for langvarige og pålitelige konstruksjoner. Til tross for byggematerialets gode egenskaper, anses betong å være en klimaversting. *«Betongindustrien står nemlig for hele 5-7 prosent av det totale CO₂-utslippet på verdensbasis»* [8].

«Betongslam, fra vasking av betongbil og annet blandestyr, har også lenge vært en utfordring for betongbransjen» [9]. For å adressere problemet kom Miljødirektoratet ut med et forslag om en ny forskrift til Norges betongprodusenter. De nye reguleringene ble formulert i det nye kapittel 33 i Forurensningsforskriften [10]. Reguleringene gitt er gjeldende for landets om lag 300 virksomheter som produserer fabrikkbetong, betongvarer og betongelementer. De nye reguleringene stiller blant annet krav til grenseverdier for utslipp av forurenset vann, håndtering av betongrester og -slam og diffuse utslipp [10].

Grunnet strengere miljøstandarder og et ønske om sirkulær drift, er det mye pågående forskning som omhandler gjenbruk av betongslam. Det er et ønske innad i industrien om å drifte mer bærekraftig, dette kommer av at de som bestiller ferdigbetong også ser fordelene ved bruken av mer miljøvennlige materialer i sine prosjekter. Et annet insentiv til gjenbruk av betong ligger i kostnadene som kommer ved å sende det på deponi. Våre samarbeidspartnere i Betong øst sender ca. 25 000 tonn betongslam til deponi hvert år. Sammenlignet med tidligere drift hvor normalen var å grave ned slammet i bakken, har strengere krav gjort at betongprodusenter må opptre mer sirkulært for å begrense utslipp. Med dette kommer utgifter for lagring, transport og deponiets avgift i regnestykket. I dag er denne prisen høy, hvor avgiften for å sende slam på deponi koster produsentene om lag 300kr pr tonn avfall. Dette er en pris i stadig endring, og det ser ut til å fortsette å stige i tiden fremover.

1.2 Formål

Oppgavens formål er todelt. Den første delen vil være å finne ut hva betongslam inneholder, og om det kan benyttes som en komponent i betongproduksjon. Den andre delen av oppgaven vil være å sjekke hvordan innlemmingen av betongslam påvirker betongens egenskaper i fersk og herdet tilstand. Dette gjøres for å undersøke om det er mulig å fremstille betong med innhold av betongslam, som er støpelig, anvendelig og miljøbesparende. Ved å sammenligne og teste løsninger med gjenvunnet betongslam, vil resultatene vise om det er mulig for produsenter å gjenbruke betongslam i produksjon av ny betong. Dette for å kunne gjøre det enklere for betongprodusenter å gjøre bærekraftige avgjørelser som både er økonomisk gavende og samtidig miljøsparende, ved at de får gjenbrukt det dem i dag kaller avfall. Betongprodusenter vil da kunne benytte betongslam som en resurs mer enn et avfall, og dermed bidra til å redusere produsentenes miljøavtrykk, og fremme bærekraftig utvikling i byggebransjen.

Betong Øst er en av Norges ledende ferdigbetongleverandører med 22 betongfabrikker som strekker seg fra Mysen til Trøndelag. Betong Øst beskriver sitt miljøfokus som en av bedriftens fundamentale pilarer. Behandling av betongavfall som restbetong og betongslam i miljøanlegg er en stor prioritering. Ambisjonen er at restbetong og overskuddsbetong gjenbrukes i nye produkter, eller blir behandlet i miljøanlegg for å skille ut gjenbruksbaserte materialer, slik unngår de unødig bruk av deponi og utslipp i naturen [11]. «*For Betong Øst er ferdigbetong mulighetenes materiale som gir miljøvennlig styrke og trygghet i varige konstruksjoner*» [11].

Prosjektgruppen har i samarbeid med Betong Øst, et ønske om å bidra til å senke betongproduksjonens miljøavtrykk ved å kartlegge hvordan betongslam kan gjenbrukes i betongproduksjonen. Ved å kartlegge betongslammets innhold, vil prosjektgruppen i samarbeid med betongteknologer fra Betong Øst, se på muligheter for å gjenbruke slammet i betongproduksjonen. Dette vil redusere betongavfall sendt til deponi og i tillegg redusere behov for nye råvarer, dermed redusere Betong Øst sitt miljøavtrykk.

1.3 Problemstilling

Er det et potensial for gjenbruk av betongslam i fremstillingen av betong, og hvordan vil innlemmingen av betongslammet påvirke betongens trykkfasthet og konsistens?

Delmål som kan ytterligere fremme besvarelsen av oppgaven:

- Er det mulig å få tilstrekkelig konsistens i en betongblanding som inneholder betongslam, og hvilke parametere påvirker konsistensen?
- Er det mulig å oppnå tilstrekkelig trykkfasthet ved innlemming av betongslam i ny betong?
- I hvilken grad kan innlemmingen av betongslam i produksjon av fabrikkbetong bidra til å fremme sirkulærøkonomi og redusere avfall?

1.4 Avgrensninger

For å sikre et prosjekt som er gjennomførbart og mulig å gjenskape, er det besluttet å avgrense studien til to sentrale aspekter. Første del omhandler å finne ut hvilke deler av tilslaget som kan erstattes med slam. Den andre delen ser hvilken påvirkning betongslam har på betongblandinger, og effekten det har på trykkfasthet og konsistens. Følgende punkter viser avgrensningene gjort for å gi en forståelse av forskningsområdet og metodene som blir anvendt.

- **Geografisk avgrensning:** Prosjektet tar utgangspunkt i innsamling av betongslam ved Betong Øst sine avdelinger i Lørenskog, Fetsund og Gardermoen. Andre materialer og utstyr benyttet i forsøkene er fra Betong Øst Hamar.
- **Slamkilder:** Slammet benyttet i forsøkene er valgt med praktiske hensyn. For sikteanalysene ble en godt blandet slammasse uthentet. Før laboratorieundersøkelsene på Hamar ble det utvinnet to slamtyper brukt i betongblandinger. En er tørket og siktet til 0/4mm og deretter tilsatt 30% fukt. Den andre er ubehandlet slam.
- **Tilgjengelige materialer:** Valg av materialer benyttet i laboratorieforsøkene, er avgrenset til tilgjengelige materialene hos Betong Øst Hamar. I betongblandingen brukes Standard FA sement, Vang 0/8 natur grus, 11/16 grovt knust tilslag, og Dynamon SR-N (SP-stoff).
- **Tilslagsfordeling:** Prosjektet bygger resepten B35 M45 D16 fra Betong Øst. Tilslaget i denne resepten består av 53% 0/8 natur grus og 47% 11/16 grovt knust tilslag. Blandingene med betongslam erstatter 0/8 natur grus sin prosentvise andel.
- **Mekaniske egenskaper:** Forsøkene fokuserer på betongslammets innvirkning på trykkfasthet og konsistens i betongen. Andre egenskaper som porestruktur, elastisitetsmodul, kryp, svinn, strekkfasthet, bøyefasthet og skjærfasthet er ikke undersøkt.
- **Herdeforhold:** Laboratorieherdingen benyttet i dette prosjektet følger standardmetoden for normert trykkfasthet ved Betong Øst Hamar. Innvirkningen av ulike herdeforhold på betongen blir ikke undersøkt i oppgaven.
- **Tidsbegrensning:** På grunn av begrenset tid blir trykkfastheten vurdert etter 2 og 28 dager, i samsvar med NS-EN 206. Lengre herdetider som 56 og 91 dager blir ikke inkludert i forsøkene.

2 Teori

I denne teoridelen er hensikten å bygge opp et tilstrekkelig faglig grunnlag rundt hva betongslam er, og hvordan det oppstår. Dette kapitlet vil også gå i dybden på betong, samt beskrive relevante parametere som påvirker betongens egenskaper. Videre belyses standardverket som danner grunnlaget for testing og analyse i dette prosjektet.

Formålet med teorikapitlet er å bygge et solid faglig fundament for leseren, slik at beslutningene tatt i dette prosjektet kan forstås og begrunnes. Dette bidrar også til å gi forståelse av resultater og diskusjonen senere i oppgaven.

2.1 Betongslam

Betongslam er definert av forurensningsforskriften [1] som: *avfall generert i forbindelse med rengjøring av renseanlegg for prosessavløpsvann*. Slammet stammer fra retur av ferdigbetong produsentene får tilbake i forbindelse med sine leveranser, ofte omtalt som returbetong. Returbetong kan være konsekvensen av overbestilling av betong, feilprodusert betong, glemt avbestilling av betong, samt andre grunner til at betongprodusenter blir sittende igjen med ferdigprodusert betong uten formål. Returbetongen må fjernes fra betongbilene for årsaker som at betongbillen skal fylles med en annen resept, eller unngå at betongen størkner i trommelen.

I følgende delkapitler vil det bli beskrevet hva betongslam inneholder, hvordan restbetong og betongslam håndteres, samt krav til gjenbruk.

2.1.1 Innhold av betongslam

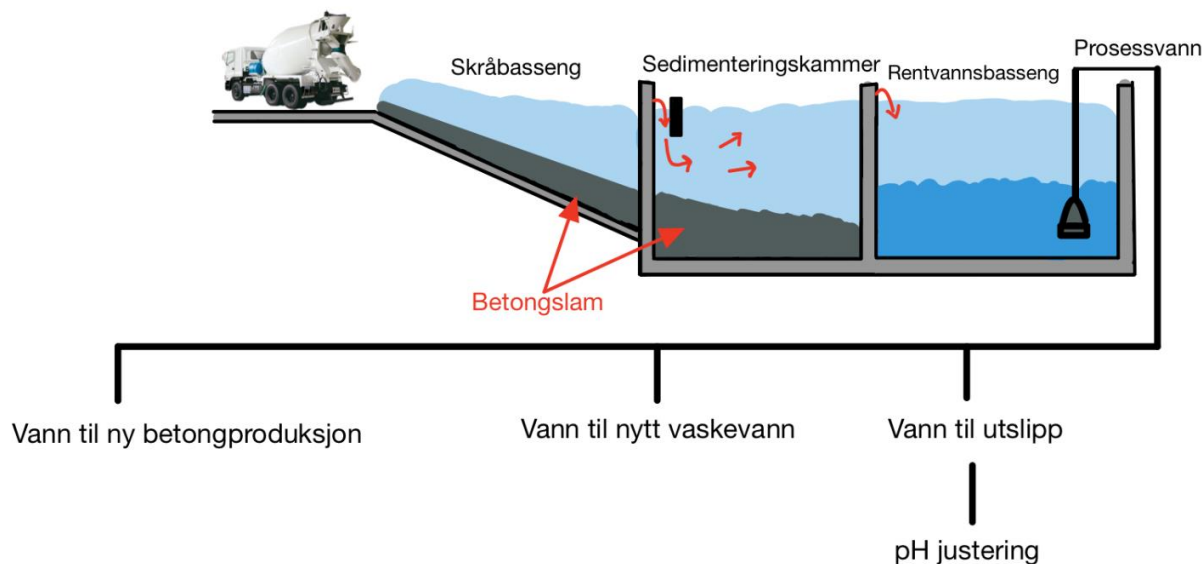
Betongslammet består av de faste partiklene som legger seg i bunnen av sedimenteringsanlegget, beskrevet videre i kapittel 2.1.2. Slammet består primært av vann, finpartikler fra sement, og større partikler fra sand og stein. De fine partiklene i slammet har en tendens til å klumpe seg sammen og dammer harde, men skjøre aggregater. Karakteristisk for betongslammet er dens høye pH-verdi, som skyldes kalkinnholdet i sementen. I tillegg inneholder betongslammet betydelige mengder tungmetaller, deriblant krom (VI), som kan medføre alvorlige helse - og miljøkonsekvenser. Dette understreker viktigheten av riktig håndtering og behandling av betongslam, for å redusere mulige konsekvenser ved utslipp til sårbare resipienter [12]. Figur 2.1-1 illustrerer hvordan betongslam mellomlagres før deponering.



Figur 2.1-1: Mellomlagring av Betongslam ved Betong Øst Lørenskog

2.1.2 Sedimenteringsprosessen

Forurensningsforskriften angir krav til utslipp av prosessvann: «Ved utslipp av prosessavløpsvann skal virksomheten måle pH, suspendert stoff og relevante utslippskomponenter jf. § 33-5 og § 33-6, og andre stoffer som kan ha miljømessig betydning» [1]. For å handle innenfor regelverket er betongprodusenter nødt til å behandle prosessvann før de har lov til å slippe dette ut som avløpsvann. Dette gjøres ved bruk av sedimenteringskamre.



Figur 2.1-2: Sedimenteringsprosess

Sedimenteringsprosessen er illustrert i figur 2.1-2. Sedimenteringskamrene fungerer i prinsipp ved at de tunge partiklene fra betongen synker til bunnen. Deretter vil vannet som ligger på toppen pumpes eller renne over i neste kammer, og på denne måten skille ut de partiklene som er tyngre enn vann. Denne prosessen gjøres vanligvis i 3 kamre for at vannet skal felle ut nok av de uønskede partiklene. Noen fabrikker har totalt 4 kamre for å gjøre denne prosessen enda bedre. Produktene som er skilt og ligger igjen etter sedimenteringen, er betongslam og prosessvann. Betongslammet fra skråbassenget blir gravet ut med hjullaster etter at det meste av vannet er tømt, mens partiklene funnet i kammer 2 og 3 vil være såpass små at det må pumpes ut. Skråbassenget blir tømt ofte, gjerne hver dag, mens kammer 2 blir pumpet tom for slam 2 ganger i året. Kammer 3 blir tømt for slam 1 gang i året ettersom det nesten er helt fritt for utfelling.

2.1.3 Prosessvann

Når prosessvannet kommer til rentvannsbassenget illustrert i figur 2.1-2, blir prosessvannet pumpet ut og kan resirkuleres og brukes på nytt. Det resirkulerte vannet kan benyttes til formål som rengjøring av betongbiler og blandevann i produksjon av ny betong. Hvis ikke kan vannet ledes ut i naturen som avløpsvann, men for dette er det nødvendig at prosessvannet følger kravene satt i avfallsforskriften. I underkapitlet beskrives hvilke regler produsentene må følge ved gjenbruk eller utslipp av prosessvannet.

Regler for utslipp av prosessvann

Ifølge den nye forskriften om forurensing fra produksjon av betong som tredde i kraft 2023, er det iverksatt krav om måling av både pH-verdi og tungmetaller før utslipp av prosessvann til resipient. Målingen må gjennomføres ved at det blir tatt ut en prøve fra utslippspunktet til resipienten, mens analysing av tungmetaller skal utføres på filtrerte prøver.

Kravene til utslipp av prosessvann er todelt:

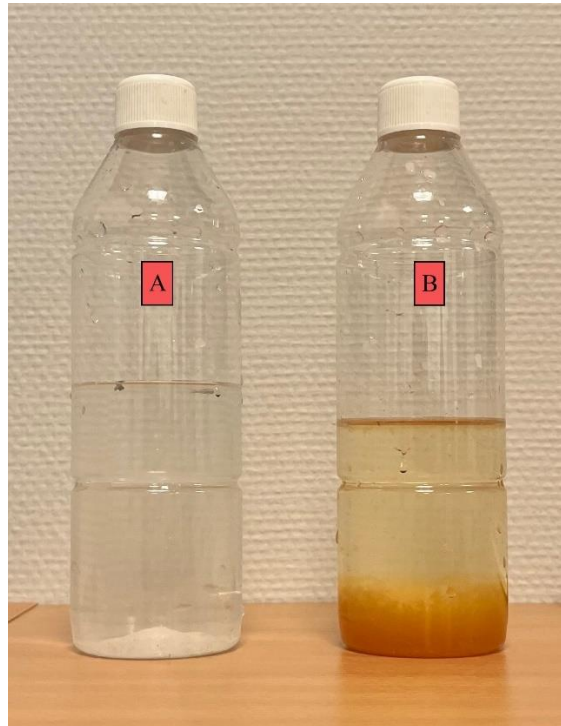
- Grenseverdi for tungmetaller ifølge § 33-5 skal ikke overstige følgende konsentrasjonsverdier ved utslipp til resipient vist i tabell 2.1-1 [1].

Tabell 2.1-1: Grenseverdier for tungmetaller og suspendert stoff

Komponenter	Måleparameter	Konsentrasjonsgrense (mg/l)
Bly	Pb	0,1
Kadmium	Cd	0,02
Kobber	Cu	0,2
Krom	Cr	0,1
Krom (VI)	Cr (VI)	0,03
Kvikksølv	Hg	0,005
Nikkel	Ni	0,5
Sink	Zn	0,5
Suspendert stoff	SS	30

- Grenseverdi for pH-verdien til prosessavløpsvannet ifølge § 33-6 skal ikke overstige 9,5 ved utslipp. I tilfeller til sårbar resipient senkes kravet ned til 8, [1].

Dersom prosessvannet overstiger krav til tungmetaller eller pH-verdier, finnes det produkter på markedet som kan tilsettes for å regulere dette. Under prosjektet ble gruppen introdusert med et flokkuleringsmiddel som kan tilsettes sedimenteringskamrene for å bedre skille ut suspenderte stoffer og regulere pH-verdien. Ved å bedre skille ut de suspenderte stoffene reduseres også innhold av krom (VI) og andre tungmetaller. Figur 2.1-3 viser forskjellen mellom prosessvann med og uten flokkuleringsmiddel. Flaske «A» inneholder prosessvann fra kammer 2, og flaske «B» inneholder samme prosessvann tilsatt flokkuleringsmiddel.



Figur 2.1-3: Effekt ved tilsetning av flokkuleringsmiddel i prosessvann

Gjenbruk i ny fabrikkbetong

Krav som gjelder gjenbruk av prosessvann fra betongindustrien, er beskrevet i NS-EN 1008: *Blandevann for betong* [13]. I NS-EN 206 står det at så lenge kravene i NS-EN 1008 er oppfylt, kan dette brukes til armert og uarmert betong, betong med innstøpt metall og forspent betong. NS-EN 1008: Tillegg A gir krav om det faste stoffet som er suspendert i prosessvannet. Det faste stoffet skal ikke utgjøre mer enn 1% av total tilslagsmasse, mengden av gjenvunnet vann skal være fordelt jevnt igjennom produksjonen, og effekten ved bruk av denne betongen skal tas hensyn til [2].

Prosessvann i rengjøringer av betongbiler

Dersom prosessvannet skal anvendes i rengjøringen av betongbiler, vil vannet på nytt gjennomgå sedimenteringsprosessen og skape et sirkulært system.

2.1.4 Bærekraftig håndtering av betongslam

Håndteringen av betongslammet er et problem ettersom lagringen av avfallet kan være til skade for miljøet. Utlekking av tungmetaller fra slammet er lav, og utgjør normalt ikke miljøfare dersom lagringen foregår jf. §33-12 i Forurensningsforskriften [14]. Prosedyren for betongprodusenter er å mellomlagre betongslammet på et tett dekke med drenering til renseanlegg, til det sendes til deponi. Deponering av betongslam er den minst ønskelige løsningen for betongprodusenter ettersom det medfører økte kostnader og negativ miljøpåvirkning. Slam som sendes til deponi bidrar til økt klimagassutslipp, forurensning, og kan skade nærliggende økosystemer.

«Returbetong regnes som næringsavfall. Næringsavfall skal enten leveres godkjent deponi eller gjenvinnes. Mellomlagring av fast eller flytende betong krever tillatelse, hvilket innebærer at man ikke uten videre kan deponere eller lagre overskuddsbetong på byggeplassen. Dette er nærmere beskrevet i Forurensningsloven §§ 11, 27, 29 og 32» [15].

En metode er å sende betongslam til gjenvinningsstasjon. Her kan betongslammet bli resirkulert og gjenbrukt i ny betongproduksjon og er regulert jf. §33-13 [14]. Dette bidrar til en sirkulær bruk av materialet, ved at det går fra en «bruk og kast»-strategi, til å benytte betongslammet igjen som en produksjonsnyttig resurs. «Teknologien gjør det enklere å håndtere massene, og reduserer farene ved deponilagring» [16]. Ved å sende betongslammet til en miljøstasjon blir det resirkulert og fraksjonert, og solgt på nytt som gjenvunnet vasket tilslag.

2.1.5 Krav ved gjenbruk av betongslam

Det stilles krav til kvaliteten av betong til ulike formål, under kan du lese om noen av de mest aktuelle kravene med tanke på gjenbrukt - og resirkulert tilslag fra betongindustrien.

Gjenvunnet tilslag

For krav som omhandler gjenvunnet tilslag, gjelder standardene NS-EN 12620: *Tilslag for betong* og NS-EN 206: *Betong Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar* [2, 17]. NS-EN 206 stiller overordnede krav til spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar til betongproduksjon. Definisjonen på gjenvunnet vasket - og knust tilslag er forklart i [definisjonslisten](#).

Gjenvunnet tilslag kan benyttes til inntil 5% av total tilslagsmasse uten flere krav. Om det brukes en større del enn dette må det tas hensyn til forskjellene mellom gjenvunnet vasket - og gjenvunnet knust tilslag. Om det er gjenvunnet vasket tilslag på over 5% total tilslagsmasse, må dette fraksjoneres i samsvar med NA.6 og NA.7 i NS-EN 12620 [17]. Om det er gjenvunnet knust tilslag skal dette behandles som resirkulert tilslag og følge Tillegg E i NS-EN 206 [2].

Resirkulert tilslag

Anbefalinger for grovt resirkulert tilslag er beskrevet i Tillegg E i NS-EN 206. Mengden resirkulert tilslag som er lovlig å bruke varierer med kvaliteten på det gjenvinnende tilslaget og eksponeringsklassen betongen er dimensjonert for. Kvaliteten er bestemt ut ifra verdier gitt i tabell E.1, E.2 og E.3 i N-EN 206 tillegg E [2].

2.1.6 Tørrvask av betongbiler

Tørrvasking er en måte å rengjøre betongbiler. Prosessen går ut på å bruke pukkk eller produkter som Re-Con Zero til å absorbere sementslammet som sitter fast på innsiden av betongbilenes trommel. Langtidsforsøk har vist at denne metoden tar opp ca. 80-90% av sementslammet som sitter igjen i en «møkkete» betongbil. Resterende 10-20% består hovedsakelig av sandpartikler som produsentene kan fjerne ved vanlig praksis, som er å vaske betongbilen med vann [18]. Vaskevannet fra denne prosessen inneholder ikke like mye sement som vanlig vask med vann, noe som gjør at pH-nivået i prosessvannet er lavere. Tørrvasking reduserer også tungmetall og andre suspenderte stoffer i vaskevannet, dette gjør at vannet fra sedimenteringskamrene lettere oppfyller krav jf. §33-5 [14].

2.2 Tilslag i betong

Tilslag i betong er en paraplybetegnelse som omfatter hovedbestanddelen som består av sand og steinmateriale. Tilslaget står ofte for 60-75% av betongblandingens volum, og er derfor av stor betydning for blandingens støpelighet og fasthet. Standarden NS-EN 12620 angir egenskapene for tilslag og fillere brukt i betongproduksjon. Standarden gjelder naturlig tilslag, industrielt fremstilte og resirkulerte materialer [17].

2.2.1 Geometriske krav til tilslag

Kapittel 4 i NS-EN 12620 [17] setter geometriske krav for tilslag brukt i betongproduksjon. De geometriske kravene til tilslaget spiller på tilslagets kornform og korngradering.

Korngradering

Tilslag består av en sammensetning av ulike kornstørrelser, delt inn i forskjellige fraksjoner. Fraksjonene angis av en nedre grense «d» og øvre grense «D» som representerer kornstørrelsene i hver fraksjon. Et eksempel på dette er Vang 0/8 hvor nedre grense er $d=0\text{mm}$ og øvre grense er $D=8\text{mm}$. For betongprodusenter er det ønskelig å oppnå en velgradert kornfordeling, som vil si at tilslaget inneholder en jevn mengde av alle fraksjoner mellom kornenes nedre og øvre grense. Et velgradert tilslag gir liten hullromsprosent, ettersom mindre korn fyller rommene mellom de større kornene. På denne måten blir betongen mer tettpakket, noe som gjør at blandingen krever mindre sementpasta og gir høyere trykkfasthet. For mye finstoff gjør at betongen blir seigere og krever et større vannbehov for å oppnå ønsket konsistens og støpbarhet. For stor mengde store partikler gjør at betongen skiller seg, at vann og sementpasta flyter ut mens steinene blir igjen.

Sikteanalyse

Korngraderingsfordelingen for tilslaget bestemmes i samsvar med NS-EN 933-1: *Prøvmingsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling Sikteanalyse* [19], og presenteres i form av en siktekurve. Siktekurven illustrerer i hvilken grad kornfordelingen er velgradert, ved å la tilslaget gå gjennom gitte siktestørrelser som møter ISO standarden 3310-1 og 3310-2 [20, 21]. Den akkumulerte vekten per sikt kalles sikterest, som er masse som holdes igjen på hver sikt, pluss massen på siktene over. Siktekurven presenteres som den prosentvise passerende testet materiale som går gjennom hver sikt. Fra siktekurven kan fraksjonsandel testet materiale regnes ut for å angi den prosentvise delen av en fraksjon er i korngraderingen.

Korngraderingsfordelingen til tilslaget påvirker betongens egenskaper. Dersom fordelingen ikke er velgradert, vil siktekurven vise et partikkelsprang. Dette resulterer til større hulromsvolum i betongblandingen og gjør at betongen krever mer sementpasta. Ideelt skal alle fraksjoner representeres jevnt i siktekurven, det er imidlertid ikke sikkert at en slik ideell siktekurve vil være gunstig for betongblandings bearbeidelighet. I praksis vil en rettlinjert eller «åpen» kurve oppnå god støpbarhet.

Kornform

Tilslagets kornform påvirker betongens støpelighet, porøsitetsgrad, bindemiddelbehov og hulromsprosent. Tilslag er enten klassifisert som naturlig eller knust, det kommer av tilslagets opprinnelse. Naturlig tilslag er utsatt for mekaniske, geologiske og kjemiske/fysiske nedbrytningskrefter som skuring av is og vann, som resulterer i at tilslaget får avrundede kanter og glatte overflater. Dette gjør at naturlig tilslag ofte har bedre pakningsevne og lavere hulromsprosent, og betongen oppnår høyere styrkeegenskaper. Knust tilslag er fremstilt ved maskinell produksjon, for eksempel maskinsand og pukk. Tilslaget får skarpere kanter og grove overflater som fører til redusert pakningsevne sammenlignet med naturlig tilslag. Både de naturlige og knuste tilslagskornene kommer

i formene definert som flisig, stenglig og kubisk. Kubiske tilslagskorn er ideelt med tanke på pakningsegenskaper, der flisig og stenglig vil ha større behov for pastavolum for å fylle mellomrom. Prøvemethodene for geometriske egenskaper for tilslaget kornform beskrives videre i NS-EN 933-3 til 933-7 [22].

2.2.2 Generelle krav tilslag

I tillegg til standarden for tilslag i betong NS 12620 [17], må tilslaget oppfylle generelle krav til mekaniske og fysiske egenskaper beskrevet i NS-EN 1097: *Prøvmethoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag* [23]. Kravene til tilslaget beskrevet i NS-EN 1097 omfatter en vurdering av korndensitet, porøsitet, innhold av slam og humus, og LA-verdi (Los Angeles-slitasje). Tilslagets korndensitet er viktig for at betongen oppnår ønsket styrke og korrekt fasthet. Porøsiteten til tilslaget påvirker betongens evne til håndtering av fukt og frostsikring. Slam- og humusinnhold i tilslaget kan påvirke betongens kvalitet og styrke negativt. Noe slam-innhold er ikke uvanlig, men om dette overskrider visse grenseverdier blir innholdet og blandingsforholdet til betongblandingen endret. LA-verdien måles for å vurdere tilslagets mekaniske motstandsevne mot slitasje, samt påvirkningen av vær og vind. De generelle kravene til tilslaget er nødvendig for å sikre riktig kvalitet i betongproduksjonen, og at produktene produsert nær identiske, slik at krav til styrke blir opprettholdt.

2.3 Reaksjon mellom vann og sement

Sement er et fint pulver vist ved figur 2.3-1, produsert ved å male klinker. Klinker er et produkt som kommer fra oppvarmingen av kalsiumsilikater og andre materialer i en sementovn. Sement fungerer som et hydraulisk bindemiddel i betongblandingen. Hydratiseringsprosessen er avgjørende i betongproduksjon for at blandingen skal oppnå ønskede egenskaper, og skjer ved den kjemiske reaksjonen som oppstår når vann kommer i kontakt med sement. Reaksjonsproduktet som kommer av prosessen kalles sementpasta, og fyller hulrommene mellom tilslaget i blandingen. Dette sørger for at betongens bestanddeler holder sammen og blir en homogen masse som kan oppnå stor styrke. Dersom masseforholdet mellom sement og totalt vanninnhold (V/C-tallet) i betongblandingen er under 0,4, vil ikke alt av sement kunne reagere. Lavere V/C tall gir høyere tetthet i betongen som følge av overskudd på sement. Dette skyldes mangel på fritt vann til å reagere etter at V/C-tallet har sunket under 0,4. Overflødig sement vil da opptre som en filler og tette hulrommet. Dette resulterer i økt fasthet og bestandighet.

Den vanligste typen sement i norske betongblandinger er portlandsement. Det finnes mange typer portlandsement, blant annet standard portlandsement, rapid portlandsement, sulfatbestandig sement og lavalkaliesement. Sementtypene gir betongen ulike egenskaper, avhengig av hvilke egenskaper produsenten ønsker at betongen skal ha. Sement brukt i denne oppgaven er vist i figur 2.3-1, som

faller under kategorien Portland blandingssement CEM II. Sementen tilfredsstillter kravene oppgitt i NS-EN 197-1: *Sement - Del 1: Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper.*

[24] til Portland blandingssement CEM II/B-M(V-L) 42,5 R vist i vedlegg A-1. Denne typen sement inneholder tilsetningsmaterialet flyveaske.



Figur 2.3-1: Standard FA

Tilsetningsmaterialer som flyveaske og silikastøv kalles pozzolaner og tilsettes for å fremme kjemiske reaksjoner og forbedre betongens egenskaper. Disse tilsetningsmaterialene brukes for å redusere betongens CO_2 -avtrykk ved å erstatte standard sement. Pozzolanreakasjon skjer når flyveasken kommer i kontakt med vann, og danner sementpasta. Da bindes fine og grove partikler i betongblandingen som skaper en jevn og holdbar masse. Flyveasken reagerer med kalsiumhydroksid dannet i hydratiseringsprosessen, og gjør at betongens egenskaper som styrke, støpbarhet og mostand mot sulfatangrep forbedres. Når pozzolaner tilsettes i betongen, vil kalsiumhydroksidet i løskrystallene reagere med silisiumsoksidet i pozzolanene, og danne kalsiumhydrat. Pozzolanreakasjonen går saktere enn hydratiseringsprosessen, hvor endelig fasthetsresultat måles etter minimum 28-dager.

2.4 Tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoffer er flytende kjemikalier som blandes inn i betongblandingen for å oppnå forskjellige ønskede egenskaper i fersk betong, herdningsprosessen og herdet betong. De aller fleste tilsetningsstoffene blir brukt for å påvirke egenskapene for fersk betong, samt fasthet/tetthet i herdet betong. Forbruket av tilsetningsstoffer har bare blitt større, og i dag ansees det som en like viktig del av betongsammensetningen som vann, sement og tilslag. Ettersom det ikke er blitt brukt annet enn superplastifiserende tilsetningsstoff (videre kalt SP-stoff) i dette prosjektet, blir andre tilsetningsstoffer forklart på et grunnleggende nivå i tabell 2.4-1. Se NS-EN 934-2: *Tilsetningsstoffer for betong, mørtel og injiseringsmasse*, for krav og klasseinndeling av tilsetningsstoffer [25].

2.4.1 Plastifiserende og superplastifiserende tilsetningsstoff

P - og SP-stoff kan prinsipielt utnyttes til to formål:

- Redusere betongens vannbehov, samtidig som at støpbarheten blir beholdt.
- Forbedre støpbarheten sammenlignet med andre betonger med likt V/C-tall. Dette vil gjøre betongen lettere å jobbe med.

P - og SP stoff fungerer på den måten at den bryter ned vannets overflatespenning, samt friksjonen mellom sementpartiklene. Dette gjør at sementkornene blir bedre fordelt i vannet og at hver av partiklene blir mindre vannkrevende. P - og SP-stoff forbedrer dermed betongens støpbarhet, og reduserer vannbehov. Plastifiserende og superplastifiserende tilsetningsstoffer burde tilsettes i mengder leverandøren anbefaler, ettersom for store mengder P - og SP-stoff øker faren for at betongblandingen separer og skiller seg. For store doseringer kan også virke retarderende og lave temperaturer forsterker denne effekten. P - og SP-stoff kan også påvirke effekten av andre tilsetningsstoffer, for eksempel ved tilsetningen av luftinnførende stoff. I produktdatabladet vil det av og til informeres om kompatible tilsetningsstoffer som er anbefalt å bli brukt om betongblandingen krever det.

2.4.2 Andre tilsetningsstoffer

I tabell 2.4-1 er noen av de mest anvendte tilsetningsstoffene brukt i betongproduksjonen.

Tabell 2.4-1: Diverse tilsetningsstoffer

Klasse tilsetningsstoff	Bruk	Beskrivelse av stoffets virkemåte
Luftinnførende	<ul style="list-style-type: none">- Økt frostmotstand i herdet fase.- Bedre støpelighet i fersk fase.	Luftinnførende stoff har en «skummende» virkning og tilsettes for å få et mer gunstig poresystem.
Størkningsakselererende	<ul style="list-style-type: none">- Redusere trykk i høye støpeformer.- Gjøre mulig å pusse overflater tidligere.- For å gi sprøytebetong bedre heft mot vegger og tak.	Virker mens betongen er plastisk, og starter hydratasjonsreaksjonene tidligere. Dette gjør at betongen størkner raskere og at fasthetsutviklingen for støpet starter tidligere.
Herdingsakselererende	<ul style="list-style-type: none">- Kunne fjerne forskalinger tidligere.- Kompensasjon for uønsket retardering- Motvirker effekten av lav fasthetsutvikling	Virker da betongen har størknet, deretter herder betongen raskere. Det vil si at hydratasjonsreaksjonene reagerer raskere.
Størkningsretarderende	<ul style="list-style-type: none">- For lengre transporter- For støp i varmt vær- Unngå støpeskjøter ved opphold i støp og større betongarbeider	Danner et vannløselig «belegg» rundt sementpartiklene som forsinker størkningsprosessen, tiden det tar før fasthetsutviklingen starter.

2.5 Betongresept

En betongresept er en oppskrift/mixdesign for betongen, og er den spesifikke kombinasjonen av materialer og proporsjoner som brukes til å produsere betong som står tilsvarende med ønskede egenskaper og ytelser. Etersom det er mange forskjellige bruksområder for betong er det naturlig at det er mange forskjellige egenskaper som kan ønskes ved bestilling, derfor har betongprodusentene mange allerede prøvde og godkjente resepter som kan velges etter behov. Betongens egenskaper som kan variere vil ofte handle om krav til fasthetsklasse, bestandighetsklasse, og miljøvennlighet.

Betongreseptens hovedkomponenter er sement, tilslag, vann og eventuelle tilsetningsstoffer. Betongresepten utformes ved å justere proporsjonene av disse komponentene i et proporsjoneringskjema vist i vedlegg F1-9, for å oppnå ønsket holdbarhet, styrke, støpbarhet og kostnadseffektivitet. Betongresepter varierer avhengig av prosjektets krav, materialtilgjengelighet og miljømessige forhold. Fremstillingen av riktig betongresepter gjøres i henhold til standarden NS-EN 206 [2], som sikrer at betongen har en sammensetning og produseres på en slik måte at ønskede egenskaper oppnås for både betongprodusenten og entreprenøren.

2.6 Egenskaper til fersk betong

En korrekt betongkvalitet har essensiell betydning for en konstruksjons levetid og integritet. Å oppnå betong med best mulig støpelighet er en nøkkelfaktor for å produsere betong som er anvendelig, med høy fasthet og god bestandighet. Betongblandinger med god støpelighet reduserer behov for etterarbeid som vibrering, glatting eller lignende. En god betongblanding som er lett støpt, og enkel å komprimere, bidrar til en homogen og sterk betongstruktur. Støpbarhet og konsistens omfatter krav til betongens mobilitet, stabilitet og komprimerbarhet. Betong er et allsidig og bredt anvendbart byggemateriale, og det er avgjørende å kartlegge ønskede egenskaper på en passende måte på hvert prosjekt. Dette sikrer at betongen oppfyller kravene og utfordringene spesifikt for hver unik konstruksjon.

2.6.1 Stabilitet

Betongens stabilitet refererer til dens evne til å beholde sin homogenitet og struktur. Dette er viktig for betongens ytelse og holdbarhet over tid. En stabil betongblanding innebærer at komponentene i betongen forblir en homogen masse, og ikke skiller seg fra hverandre under støp og herding. Seperasjon av betongens komponenter fører til ujevn fordeling av fasthet - og bestandighetskarakteristikker i det ferdig herdede produktet.

Ved seperasjon synker tunge partikler til bunn av betongblandingen, mens fine partikler og vann stiger. Selv ved en velgradert kornfordeling er det risiko for at ulike seperasjoner kan oppstå. SP-seperasjon, vannseperasjon og mørtelseperasjoner er ulike seperasjonstyper, og utløses av forskjellige faktorer. SP-seperasjon forekommer av overdosering av superplastifiserende tilsetningsstoffer som medfører vannutskillelse. Kombinasjonen av høy SP-stoff dosering, samt mye vanninnhold i forhold til tilslagsmengde, gjør at sementpastaen og blandingen blir flytende. Det kan føre til seperasjon ved at tilslaget bare faller gjennom, mens vannet flyter ut.

Blandinger med høyt masseforhold mellom vann og bindemidler, samt mye grovt tilslag og lav finstoffmengde, kan føre til vannseperasjon. I dette tilfellet vil tilslaget ligge igjen nederst i blandingen, hvor et vannlag vil legge seg på toppen og i vannlommer under tilslagskornene.

Dersom tilslagskurven har et partikkelsprang og kun inneholder grove partikler og finstoff, uten mellomstørrelser, vil det oppstå mørtelseperasjon. Under mørtelseperasjon vil de grove partiklene synke til bunnen uten hindringer mens sementpasta og finstoff flyter opp. Det kan gjøres ulike tiltak for å unngå at separasjon oppstår for eksempel ved: velgradert kornfordeling, økt finstoffmengde, redusert vanninnhold eller tilsette L-stoff.

Ved å øke betongens finstoffmengde vil en oppnå større totaloverflate sammenlignet med store partikler, og vil derfor binde opp mer vann slik at blandingen blir mindre flytende. Dette gir større flytespenning og viskositet i matriksfasen, som resulterer i at blandingen blir mer tykkflytende som hindrer store partikler i å synke. Mye av det samme kan oppnås ved vannreduksjon.

2.6.2 Komprimerbarhet

Ved komprimering av en fersk betongmasse blir massen pakket til et mer stabilt lag. Situasjoner der massen er for seig, kan den ha for stor friksjon til at den er komprimerbar. Friksjon i denne forstand menes motstanden betongmassen opplever ved forsøkt komprimering. Grunnen kan være lavt masseforhold eller høyt innhold av finstoff, som gjør at betongmassen sliter med å slippe ut luft. I konstruksjoner der dette er tilfellet, vil belastninger resultere i skadelige deformasjoner på konstruksjonen.

Ulike virkemidler som forbedrer komprimeringsevnen i en betongblanding som er for seig, inkluderer tiltak som økt vannmengde og økt mengde P - og SP-stoff. Et annet tiltak kan være å erstatte finstoffmengden og øke andelen grovt tilslag. Dette er med å gjøre betongblandingen bløtere og mindre seig, som gjør at den enklere kan slippe ut luft.

2.6.3 Mobilitet

Betongens mobilitet refererer til dens evne til å utbre seg selv, eller ved hjelp av vibrasjon under støping. Metoder for å positivt påvirke betongens mobilitet inkluderer økt andel av sementpasta volum, mens samtidig begrense andel tilslag. Dette gjør at partiklene kan bevege seg fritt i blandingen med lite motstand. Imidlertid vil en slik tilnærming være mindre hensiktsmessig økonomisk og miljømessig, ettersom økt pastavolum fører til høyere sementinnhold. En metode for å forbedre betongens mobilitet uten høyere utslipp er å tilsette tilsetningsstoffer i blandingen. Tilsetningen av SP/P-stoff vil redusere betongens flytmotstand i matriksfasen. En annen metode kan være å tilsette L-stoff i blandingen, som øker pastavolumet ved å øke betongens luftinnhold.

2.7 Prøving av fersk betong

Ved produksjon av ferdigbetong er det påkrevd å utføre prøvetaking og rapportering i samsvar med NS-EN 12350: *Prøving av fersk betong* [26]. I forbindelse med dette prosjektet er det valgt å se på prøvemethodene gitt i tabell 2.7-1.

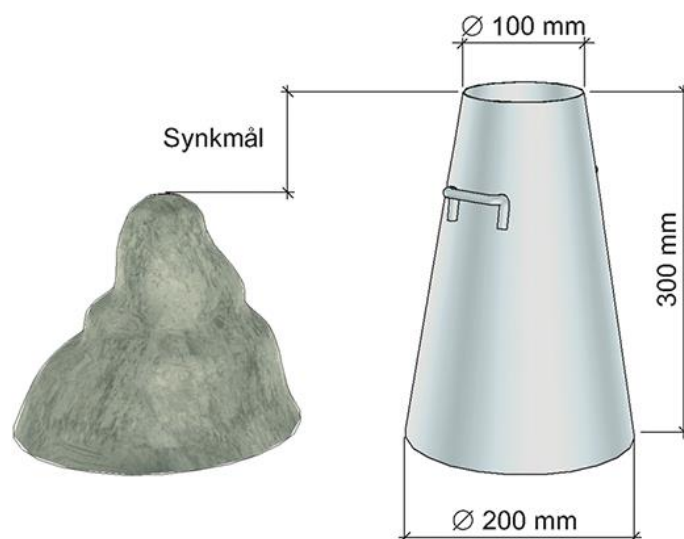
Tabell 2.7-1: Prøvetaking av fersk betong

Aktivitet/egenskap:	Standard:	Henvisning:
Prøvetaking	NS-EN 12350-1:2019	Del 1: Prøvetaking
Synkmål	NS-EN 12350-2:2019	Del 2: Synkmål
Utbredelsesmål	NS-EN 12350-5:2019	Del 5: Utbredelsesmål
Densitet	NS-EN 12350-6:2019	Del 6: Densitet

2.7.1 Synkmål

I henhold til NS-EN 12350-2: *Prøving av fersk betong - Del 2: Synkmål*. [27].

Synkmål er en enkel og praktisk metode som kan utføres både i lab og på byggeplass, og dermed den mest brukte metoden for å finne betongens konsistens. Synkmål måler hvor mange millimeter en betongprøve i en synk-kjegle siger sammen når den frigjøres fra kjeglen som vist i figur 2.7-1.



Figur 2.7-1: Synkmål

Stabilitet, komprimerbarhet og mobilitet er konsistensegenskaper som påvirker synk ulikt. Behov for varierende synkmål kommer frem fra kundens formål med betongen. Betong til vegger og gulv krever en synk fra 200-220 mm mens selvkomprimerende betong (SKB) er mye bløtere og har dermed høyere synk. Vanligvis krever prosjekter betong med en spesifikk konsistens og fasthet:

- **Vannmengde:** I en uendret betongblanding, vil økt vannmengde resultere i økende avstand mellom partiklene som da flyter friere. Dette resulterer i en bløtere betongblanding og dermed en økning i synkmål.
- **Kornstørrelse av tilslag:** I en uendret betongblanding vil økt kornstørrelse av tilslaget føre til betong med lavere overflateareal per volumenhet, og dermed trenge mindre mengde sementpasta for å fylle hulrommene mellom kornene. Dette fører til lavere vannbehov i en betongblanding ved oppretthold av synk.
- **Sementtype og sementmengde:** Generelt vil økt sementmengde resultere i et lavere v/c-tall om tilsatt vann beholdes likt. Blandingen vil ha redusert synkmål på grunn av mer sement som reagerer med vann og danner en seigere betong.
- **Tilsetningsstoff:** Ulike tilsetningsstoffer påvirker konsistensen på forskjellige måter. P - og SP-stoff bryter ned vannets overflatespenning, samt friksjonen mellom sementpartiklene, dette gjør at sementkornene blir bedre fordelt i vannet og at hver av partiklene blir mindre vannkrevende. P og SP stoff øker dermed støpbarheten og synkmålet.

2.7.2 Utbredelsesmål

I henhold til Norsk Standard NS-EN 12350-5: *Prøving av fersk betong - Del 5: Utbredelsesmål* [28].

Utbredelsesmål sier noe om konsistensen til fersk betong, og kan gjøres samtidig som synkmål. Prøven med utbredelsesmål er følsom for endringer i betongens konsistens, som tilsvarer synkmål på mellom 340 mm og 620 mm. Utenfor disse ytterverdiene kan synkmåling være uegnet, og andre metoder for å bestemme konsistensen bør vurderes. Selvkompimerende betong gjelder ikke i denne metoden og forholder seg til egen standard, NS-EN 12350-8 [29].



Figur 2.7-2: Utbredelsesmål

2.7.3 Densitet

I henhold til Norsk Standard NS-EN 12350-6 [30].

Omfatter metode for å bestemme densiteten til fersk betong, siden den varierer avhengig av sammensetningen av betongblandingen. Det er vanlig at densitet ligger mellom 2 000 kg/m³ og 2 600 kg/m³ [31], og en høyere tetthet vil indikere at det er mer materiale i betongblandingen per volumenheter.

I prinsipp måles densitet ved å fylle en beholder med kjent masse og volum, og deretter måle masse til beholder med betong. Densitet er deretter regnet ut etter formelen;

$$\rho = \frac{M_2 - M_1}{v} \quad \text{i kg/m}^3$$

Der:

ρ er densiteten av den ferske betongen, i kg/m³

M_1 er densitetsbeholderens masse, i kg;

M_2 er densitetsbeholderens masse med betong, i kg;

V er densitetsbeholderens volum, i m³.

2.8 Trykkfasthet – og bestandighetsklasser

Begrepet trykkfasthet refererer til betongens motstandskapasitet for trykkbelastning før brudd, og er angitt i enheten MPa (1 MPa = 1 N/mm²). Ved normert trykkfasthet som er en standardisert prøvemethode, testes betongblandingen støpt i 100x100 mm terninger. I henhold til NS-EN 206 testes endelig fasthet etter 28 døgn. For å få en indikasjon på endelig fasthet, undersøkes gjerne 2 døgns fasthet i tillegg, for å evaluere tidlig fasthetsutvikling. En generell «tommelfingerregel» er at 2 døgns trykkfasthet bør utgjøre omtrent 40% av den endelige fastheten. Ved beregning av en prøveserie sin karakteristiske trykkfasthet, gjøres dette ved å regne gjennomsnittlig fasthet fra to eller flere terninger.

2.8.1 Trykkfasthetsklasser

I henhold til NS-EN 206, er betongens endelige trykkfasthet klassifisert i fasthetsklasser, fremstilt i tabell 2.8-1 [2]. For normalbetong angis trykkfasthetsklassen ved å bruke «B» etterfulgt av verdien for betongens karakteristiske sylindrefasthet « $f_{ck,cyl}$ », gitt i MPa. Når betongens trykkfasthetsklasse bestemmes ved bruk av karakteristisk terningfasthet « $f_{ck,cube}$ », vil disse verdiene være 10 MPa høyere enn tilhørende trykkfasthetsklasse. For eksempel vil et prøvelegeme med gjennomsnittlig terningfasthet $f_{ck,cube} = 55$ MPa tilhøre trykkfasthetsklasse B45.

Tabell 2.8-1: Fasthetsklasser fra nasjonalt tillegg i NS-EN 206 [2]

Tabell NA.2 — Trykkfasthetsklasser for normalbetong og tungbetong

Nasjonal trykkfasthets-klasse	B10	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65	B75	B85	B95
Europeisk betegnelse		C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55	C55/67				
Karakteristisk sylinderfasthet $f_{ck,cyl}$	10	20	25	30	35	45	55	65	75	85	95
Karakteristisk terningfasthet $f_{ck,cube}^a$	12	25	30	37	45	55	67	80	90	100	110
a For trykkfasthetsklasse B55 og høyere kan andre verdier for karakteristisk terningfasthet benyttes hvis forholdet mellom disse og karakteristisk sylinderfasthet er etablert med tilstrekkelig nøyaktighet og dokumentert for den aktuelle betongsammensetningen.											

For at en prøving skal være gyldig, må den oppfylle NS-EN 206-1 pkt. 8.2.1.2 siste avsnitt : ”Der to eller flere prøvelegemer er framstilt av en prøve, og forskjellen mellom høyeste og laveste verdi er mer enn 15 % av gjennomsnittet, skal det ikke tas hensyn til resultatene med mindre en undersøkelse gir tilstrekkelig grunnlag til å forkaste en enkelt prøvingsverdi”[2].

2.8.2 Bestandighetsklasser

Bestandighetsklasse betegner betongens motstand mot nedbrytning. Eksponeringsklasser er en klassifisering over aggressiviteten av miljøet betongen blir prosjektert for, og gir ulike krav til betongens bestandighet. I tabell 2.8-2, er tabell hentet fra NS-EN 206 NA.11. Den gir en oversikt over hvilken bestandighetsklasse/ masseforhold betongen må ha for å kunne være egnet de ulike eksponeringsklassene.

Tabell 2.8-2: Tabell NA.11 Valg av bestandighetsklasse fra NS-EN 206 [2]

Tabell NA.11 – Valg av bestandighetsklasse etter tabell NA.9 i henhold til NS 3473 tabell 11

Eksponeringsklasse	Bestandighetsklasse					
	M90	M60	M45	MF45	M40	MF40
X0	X	X	X	X	X	X
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		X	X	X	X	X
XD1, XS1, XA1, XA2 ^{a)} , XA4 ^{b)}			X	X	X	X
XF2, XF3, XF4				X		X
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3 ^{a)}					X	X
XSA ^{a)}						X
^{a)} Om det i eksponeringsklassene XA2, XA3 eller XSA er mulighet for kontakt med sulfater i konsentrasjoner høyere enn grenseverdien for XA2, skal det i produksjonsgrunnlaget presiseres at det skal anvendes sulfatbestandig sement ^{b)} For konstruksjoner utsatt for husdyrgjødsel skal det i produksjonsgrunnlaget angis at det skal anvendes minst 4 % silikastøv						

M står for masseforholdet i betongen, og F står for frost, dvs. krav om luftinnførende tilsetningsstoff

2.9 Sirkulærøkonomiske og miljøvennlige aspekter

I dette delkapitlet beskrives noen relevante sirkulærøkonomiske og miljøvennlige aspekter knyttet til integreringen av betongslam i betongproduksjonen. Formålet betongprodusenter har med gjenbruken av betongslam er å redusere produksjonens miljøpåvirkning, samt unngå kostnader håndteringen og deponeringen av slammet medfører. Dette er ønskelig for å drifte mer bærekraftig og ressurseffektivt.

2.9.1 Formel for CO_2 utslipp ved produksjon av betong

Beregning av CO_2 -utslipp av betong er representert ved formelen;

$$CO_2 = GWP * Sement\ mengde * 1,1$$

Hvor;

GWP (Global Warming Potential) er oppgitt i EPD,

Og er hvor mange kilo CO_2 utslipp pr. Tonn sement.

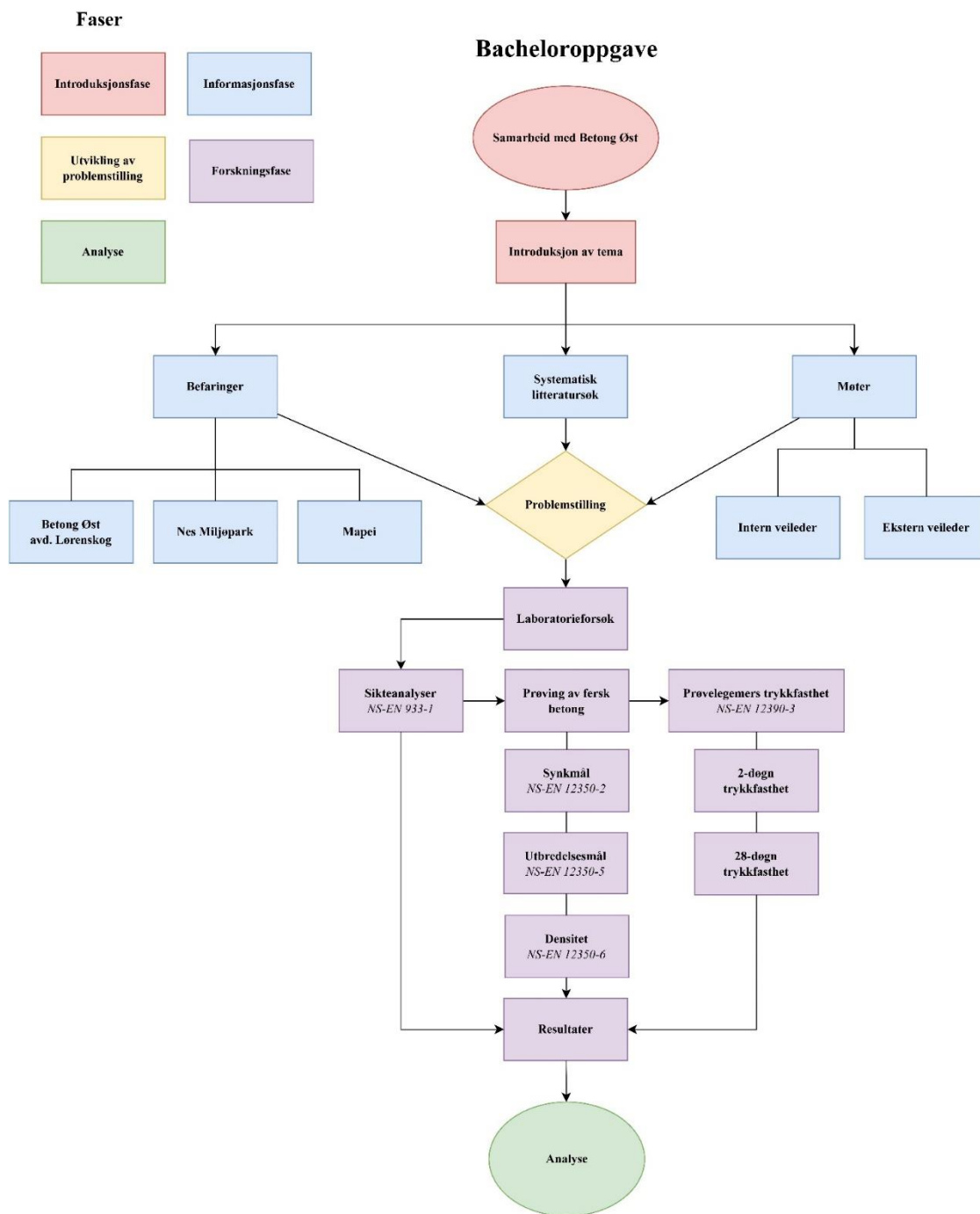
2.9.2 Sirkulærøkonomi og LCA

Sirkulær økonomi kan defineres som effektiv ressursutnyttelse og reduserte avfallsmengder gjennom nøkternt konsum, økt gjenbruk og bruk av sekundære råvarer i ny produksjon. Dette er en effektiv metode å spare økonomiske midler, samt spare transport og avfallskostnader. Sirkulærøkonomi hos produsenter av ferdigbetong vil bety at betongprodusentene kan ta betalt for samme betongen flere ganger, samt bruke mindre midler på avfallshåndtering.

Livssyklusvurdering (LCA) er en vurdering av miljøpåvirkninger knyttet til alle stadier av livssyklusen til et kommersielt produkt. Vurderingen tar til hensyn til produktets råvareutheiting, produksjon, transport, bruksfase og avhending, og er sentral for utvikling av bærekraftige produkter og tjenester[32]. Det finnes programvarer som tar for seg standarder som NS 3720, BREEAM NOR og LEED international, samt andre databaser for å utvikle LCA-vurderinger og klimagassberegning for et effektivt valg av klimavennlig produkter til prosjekter.

3 Metode

I det følgende kapitlet vil prosjektets metode beskrives, hvor hensikten er å vise prosjektets gang. Figur 3-1: *Grafisk fremvisning av metode* er en fremvisning av prosjektets progresjon. Figuren er et «flowchart» som skildrer trinnene i prosjektet i de distinkte fasene slik det er gjennomført.



Figur 3-1: Grafisk fremvisning av metode.

3.1 Valgt metode

Kvantitativ metode i form av laboratorieeksperiment er foreslått som metode for å gi målbar data og sammenligningsgrunnlag. Fordelen med laboratorieeksperimenter er at det foregår i kontrollerte forhold, hvor det er lettere å isolere og manipulere enkeltvariabler. Dette gjør det lettere å få nøyaktige og pålitelige resultater. I denne sammenhengen vil eksperimentene gå ut på å utforske til hvilken grad betongslam kan gjenbrukes i fremstilling av fabrikkbetong, og hvordan innlemmingen av slammet påvirker betongens fasthet og konsistens. Dette gjøres for å kunne sammenligne med standarder, for videre å vurdere om integreringen av betongslammet er gjennomførbart i produksjon av ferdigbetong. Valget av forskningsmetode er fokusert på en kvantitativ tilnærming, og er avgjørende for oppgaver basert på innsamling av empirisk data.

3.2 Drøfting av metode

Formålet bak metodevalget er å adressere [oppgavens problemstilling](#) på en nøyaktig og omfattende måte. Besvarelsen på en slik problemstilling er egnet en kvantitativ tilnærming i form av laboratoriarbeid, hvor målbar data innsamles for videre diskusjon. En mulig begrensning laboratorieeksperimenter setter er at de ikke alltid lar seg reprodusere, grunnet variasjon i praktiske forhold. Med andre ord kan det være forskjeller mellom laboratorietester og faktiske resultater i feltet, som kan påvirke om funnene er generaliserbare eller ikke. Laboratorieeksperimenter kan også være tid og resurskrevende, og kan begrense omfanget og bredden til forskningen.

Kvalitative metoder kan supplere oppgaven ved å gi en dypere forståelse av hvordan ulike faktorer påvirker betongens egenskaper i praksis, for å gi et bredere perspektiv på problemstillingen. Intervjuer av ingeniører med erfaring med gjenbruk av slam i betong ville tilført oppgaven nyttig innsikt over hvilke utfordringer Norges betongprodusenter sitter med. Dette kunne hjulpet med å få et mer nyansert bilde av hvordan innlemmingen av slam påvirker betongens egenskaper og potensial for gjenbruk i konstruksjon.

3.3 Materiell

Materiellet benyttet i sikteanalysen følger standard NS-EN 933-1 [19], der siktesatsene brukt har siktesats med ISO standard og maskeviddene: 0,063 - 0,125 - 0,250 - 0,500 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 31,5 mm, pluss bunn og lokk. Lab utstyr benyttet i sikteanalysene finnes i vedlegg kapittel B

Materiellet og utstyr brukt på betongreseptene er standardisert laboratorieutstyr, tilslag og tilsetningsstoffer Betong Øst har tilgjengelig på laboratoriet på avd. Hamar. Dette inkluderer utstyr for prøving av fersk betong i henhold til NS-EN 12350: *Prøving av fersk betong* [26], og trykktesting i henhold til standard NS-EN 12390: *Prøving av herdnet betong*. [33]. Lab utstyr benyttet i prøvingen av fersk og herdet betong finnes i vedlegg kapittel B.

3.3.1 Betongslam

I sikteanalysen er betongslamprøver uthentet fra Betong Øst sine avdelinger i Lørenskog, Fetsund og Gardermoen. Prøvene er hentet fra ulike omgivelser for å gjenspeile dagens variasjon.

Betongslammet benyttet i testene utført på Hamar er hentet fra slamhaug oppbevart tørt ved Betong Øst sin avdeling på Lørenskog. Av de åtte betongblandingene som inneholder slam, består fem av betongslam tørket etter retningslinjer i håndbok R210 [34], siktet til 0/4mm og tilsatt 30% fuktighet. Dette gjøres for å gjenskape det fine tilslaget Betong Øst sitter igjen med fra sedimenteringsprosessen. De tre siste prøvene er testet med uhåndtert betongslam, hentet direkte fra samme betongslamhaug på Lørenskog. Dette er utført for å reflektere det faktiske produktet betongprodusentene sitter med til rådighet. Det siktede slammet repliserer hva slammet er nedbrutt, nemlig et fuktig finstoff. Integreringen av det ubehandlede slammet viser hva produsentene faktisk sitter med, agglomerert betongslam.

3.3.2 Bindemiddel, tilsetningsstoff og tilslag

Opgavens resepter inneholder ulike andeler av de følgende materialene:

- Bindemidlet brukt i resepter er Standardsement FA, funnet i vedlegg A-1 og avbildet i vedlegg B-1.
- Tilslaget brukt i reseptene består av fraksjonene: Vang 0/8, betongslam, og 11/16 grovt tilslag. Ytelseserklæringene til tilslaget er tillagt i vedlegg A-2 og A-3, og avbildet i vedlegg B-2 og B-3.

Ettersom slammet skal erstatte Vang 0/8, var det en konstant mengde på 47% av 11/16 grovt tilslag i alle blandingene. Resterende 53% varierte avhengig av mengde slam brukt i resepten.

- Tilsetningsstoffet brukt i blandingene er det superplastifiserende middelet, Dynamon SR-N, et produkt fra Mapei. Tilsetningsstoffets ytelseserklæring ligger i vedlegg A-4 og datablad er lagt ved i vedlegg A-5.

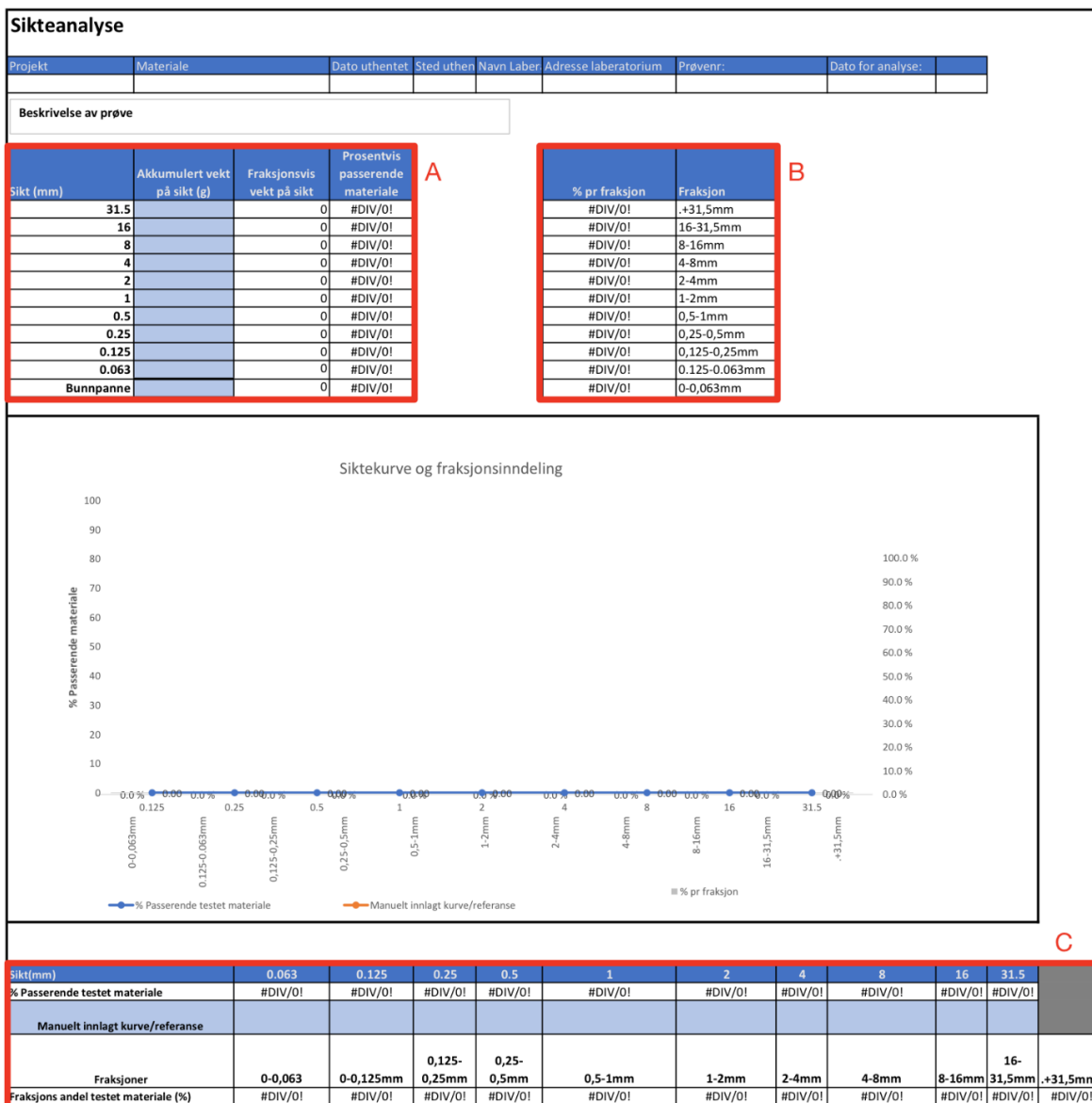
3.4 Programvare

Programvaren benyttet for gjennomføring av sikteanalysene er utarbeidet ved å tilpasse Mapeis Excel-baserte sikteanalysekjema. For utviklingen av de ulike betongreseptene er Betong Øst sitt egenutviklede proporsjonerings - og blandereseptskjema i Excel benyttet.

3.4.1 Sikteanalysekjema

Maskeviddene brukt i sikteanalysen er i henhold til ISO-standard beskrevet i NS-EN 933-1 [19]. Etter sikting av betongslammet trenger brukeren kun å føre inn den akkumulerte vekten i gram for hver sikt i rute 1 i figur 3.4-1. Resten av verdiene beregnes automatisk. Rute A viser prosentvis passerende materiale for siktesatsene, mens rute B viser hvor mye hver fraksjon utgjør i prosent.

Verdiene produsert i rute A og B blir videre ført til rute C, hvor prosentvis passerende materiale og prosentandelen av hver fraksjon vises. Grafene produsert fra rute C er en grafisk visualisering av graderingen av den analyserte prøven. Grafene viser siktekurve og prosentvis fraksjonsinndeling. Vedlegg kapittel D viser hvordan dette ble brukt til å fremstille sikteanalysene i oppgaven.



Figur 3.4-1: Tomt sikteanalyseeskjema, brukt i labarbeid

3.4.2 Proporsjonerings - og blandereseptskjema

Reseptutviklingen er utviklet ved hjelp av et automatisert proporsjonerings - og blandereseptskjema fra Betong Øst. Vedlegg kapittel F illustrerer hvordan skjemaet er anvendt under utarbeidingen av betongreseptene brukt i denne studien. Når proporsjoneringskjemaet benyttes, frembringes et ferdig blandereseptskjema som viser utregnede mengder av hver bestanddel i forhold til ønskede volum brukeren skal blande.

I proporsjonerings - og blandereseptskjemaet er grønne celler tiltenk for å endres av brukeren, mens de gule cellene inneholder beregning for doseringen. Cellefargens betydning i proporsjoneringskjema er illustrert i figur 3.4-2. Ved å fylle ut de grønne feltene i proporsjoneringskjemaet (Figur 3.4-3), vil verdiene i blandereseptskjemaet i (Figur 3.4-4) justeres automatisk. Blandereseptskjemaet gir en

oversikt over mengden av de ulike materialene betongblandingen skal inneholde for å produsere ønsket volum.

sluke celler	Endres fritt
sluke celler	Må ikke røres

Figur 3.4-2: Forklaring av cellefargens betydning i proporsjoneringskjema

De grønne cellene markert med punkt 1-5 illustrert i figur 3.4-3 representerer justerbare parametere, og er beskrevet nedenfor:

A- Informasjon om blanderesept

Reseptnummer

- For å skille mellom de produserte blandereseptene, og lettere identifisere hva hver prøve inneholder, er det opprettet et kodesystem der informasjon om sammensetningen av prøven er illustrert. Reseptkoden er utført slik at den først indikerer prosentvist innhold av slam, og hvilken type slam (Uhåndtert eller siktet til 0/4mm). Inkluderingen av prosentvis mengde SP-middel og antall liter vannbehov er også nødvendig for å skille testene, og lettere identifisere prøvene. Et eksempel vist i vedlegg F-2, er **5% SLAM 0/4, 1.12SP178V**, som er en prøve med 5% Slam siktet til 0/4, med 1.12% SP og 178 L i vannbehov.

Synk

- I denne cellen plasseres ønsket synk i mm, og indikerer den ønskede konsistensen på betongen før den støpes.

Dato og avdeling

- Skjemaet skal merkes med korrekt dato resepten er blandet for å lettere holde oversikt over korrekte avforming - og trykktest datoer. Avdelingskoden benyttet tilhører Betong Øst sin lab i Hamar.

B- Bestemte faktorer

Vannbehov

- Forholdet mellom reseptens vannbehov og V/C tall påvirker hvor mye bindemiddel det trengs i en betongblanding. Vannbehovet justerer mengden vann det kreves for å oppnå ønsket konsistens og arbeidsevne i betongen. Vannbehovet til referanse resepten (**B35 M45 D16**) er satt til 178L, mens en blanding med mye finstoff har behov for mer.

V/C forhold

- Ettersom det var ønskelig å sammenligne betongreseptene med referanseresepten (B35 M45 D16), ble det besluttet at alle reseptene skulle ha likt **V/C tall på 0.455**. Dette gjør det lettere å sammenligne virkningen av variablene det testes for, altså mengden betongslam.

C- Bindemiddel

De grønne cellene ved bindemiddel føres den ønskede prosentvise mengden av bindemiddel i betongblandingen. Fire hovedkategorier er delt inn på forhånd; An FA, Std FA, silika og flyge aske. Det er viktig at summen av de prosentvise mengdene tilsvarer 100%. I dette prosjektet er det ikke ønskelig å vurdere virkningen av de ulike bindemidlene som en variabel, og blir derfor kun benyttet 100% standard FA for å replisere referanseresept (B35 M45 D16).

D- Tilsetningsstoff

I punkt fire av proporsjoneringskjemaet plasseres de ønskede prosentvise andelene av tilsetningsstoff brukt i betongblandingen. Referanseresepten og slamreseptene inneholder ulik mengde superplastifiserende middel (SR-N).

E- Tilslag

De grønne cellene i proporsjoneringskjemaet markert med 5, skal ønsket mengde av hver fraksjon plasseres i prosent, der summen av disse skal være lik 100%.

Prøveblanding

Reseptnummer	A				Synk:	Dato:	Avd:			Bestemte faktorer	
Info om resept	An FA	Std FA	Silika	Flygeaske		Andel luft	Reseptstørrelse				
Bindemiddel:										Klinker-AnlFA	81
Densitet bindem.	3,02	3,00	2,20	2,30	C	2,00%	1000,00			Klinker-Std-FA	78
K-faktorer	1,00	1,00	2,00	1,00						FA-AnlFA	15
% mengde	0%	0%	0%	0%		0%				FA-StdFA	18
Dosering KG	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!						Vann	B
Kostnad	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!						V/C forhold	
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expancrete	Farge	SA	HA		Effektiv bindemiddel	#DIV/0!
Tørrstoff i %	16	26,5	19,5	0,5	100	100	50	27,5		Total bindemiddel	#DIV/0!
Densitet TSS	1,02	1,07	1,05	1	3	3	1	1		Total klinkermengde	#DIV/0!
Alkalier %	D	2,50%	2,00%				0,10%	7,00%		Total FA-andel (NS-EN206)	#DIV/0!
Klorider %		0,05%	0,05%				0,05%	0,05%		Total FA-andel iht SVV	#DIV/0!
Dosering i % av cem	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		Total kg alkalier	5,69
Dosering KG	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#####	#DIV/0!	#DIV/0!		Total kg klorider	0,086 %
Kostnad		#DIV/0!	#DIV/0!							Volum bindemiddel	#DIV/0!
Tilslag:	Vang 0-8	Betongslam	11.-16		SUM					Volum vann	0,00
Densitet tilslag	2,66	2,805	2,75	2,67	E					Volum luft	20
% mengde	0%	0%	0%	0%						Volum TSS	#DIV/0!
Dosering KG	0,00	0,00	0,00	0,00						Volum tilslag	0,00
										Volum resept	#DIV/0!

Figur 3.4-3: Tomt proporsjonerings skjema benyttet i labarbeid

De grønne cellene markert med punkt 6 og 7 illustrert i Figur 3.4-4, representerer justerbare parametere i blanderesepten, og er beskrevet nedenfor:

F- Volum

I dette eksperimentet er det anbefalt av lab veileder å ha blandingsvolum på 16 liter, for å sikre jevn blanding.

G- Fuktinhold i tilslag

For å oppnå ønsket V/C tall i betongreseptene, er det nødvendig å fuktmåle hvert parti med tilslag. Dette er viktig for at skjemaet skal beregne nøyaktig mengde vann blandingen trenger for å oppnå ønsket V/C tall. Fuktinholdet er regnet med formel:

$$\text{Fuktinnhold (\%)} = \frac{(\text{Våt tilslag} - \text{Tørr tilslag})}{\text{Våt tilslag}} * 100$$

Blanderesept								
Prøverblanding:	F	Liter				Medberegn vann i TSS		
Sement:	An FA	Std FA	Silika	Flygeaske		Vann i TSS		0,06
Dosere Kg	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		Vann i TILS.		#DIV/0!
Vann:	Kaldt vann					TRUE	Effektiv V/C	#DIV/0!
Dosere Kg	#DIV/0!							
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expancrete	Farge	SA	HA
Dosering:	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Dosere Gram:	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#####	#DIV/0!	#DIV/0!
Tilslag:	Vang 0-8	Betongslam	11.-16	0				
Kg	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
Dosere Kg	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				
Total Fukt:	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				
Absorbert:	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				
Sum:	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				
Fritt Vann i kg:	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				

Figur 3.4-4: Tomt blandeskjema, frembrakt fra proporsjoneringskjema

3.5 Prosedyre og gjennomføring

Hensikten med laboratorieforsøkene er å observere sammensetningen av betongslam, og se hvordan bruken av slam påvirker betongens egenskaper i fersk og herdet tilstand. I samarbeid med betongteknologer fra Betong Øst er det satt opp en serie på åtte betongresepter med innhold av varierende mengder slam. Fem av prøvene inneholder slam siktet til 4mm og tilsatt 30% fukt for å etterligne sammensetningen av slammet prosessert. De tre resterende prøvene er gjennomført med uhåndtert, ferskt slam fra Lørenskog. Slammengden i prøvene varierer mellom 5%, 10% og 30%.

I følgende underkapitler presenteres beskrivelser av laboratorieforsøkene utført under prosjektet. For å undersøke sammensetningen av betongslammet er det utført sikteanalyser av materialet. Laboratorieeksperimentene utført på betongblandningene med innlemmet slam inkluderer måling av synkmål, utbredelsesmål, densitet og trykkfasthet.

3.5.1 Laboratorieforsøk: Sikteanalyse

For sikteanalysen er det utviklet en laboratoriebeskrivelse som følger håndbok R210, og baseres på standardisert testing etter NS-EN 933-1: *Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling - Sikteanalyse* [19], der blant annet fremgangsmåte og hensikt blir beskrevet.

Hensikt

Formålet med sikteanalysen er å kartlegge graderingen til slam-prøvene for å vite hva betongslammet kan erstatte i betongblandinger.

Utstyr

- Bøtter og Bakker.
- Siktemaskin.
- Siktesats med ISO standard og maskeviddene: 0,063 - 0,125 - 0,250 - 0,500 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 31,5 mm, pluss bunn og lokk.
- Tørkeskap.
- Vaskeutstyr.
- Vekt (Vekt må være kalibrert og ha en nøyaktighet på $\pm 0,1$ % av innveid prøve).

Fremgangsmåte

Viser til retningslinjer i håndbok R210: *131 Sikteanalyse (tørresikting av vasket materiale)* [34].

- Bland innholdet i hver av de fire bøttene med prøver 1-4 grundig og sørg for at prøvene ikke inneholder fiberarmering (prøve fra Gardermoen).
- Ta ut en prøve på 1,5 kg fra hvert av slamprøvene og legg dem i separate bakker, og navngi dem 1 for prøve 1, 2 for prøve 2, osv.
- Tørk prøven(e) i et tørkeskap i minst 24 timer i $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Veie prøven(e) igjen etter tørking.
- Plasser en prøve i ISO-standard siktesats og sett satsen i siktemaskinen og rist i 10 minutter.
- Summasjons-veie materialet som er igjen på siktene og registrere resultatene i et resultatskjema.
- Vask siktesatsene og gjenta prosessen til alle sikteprøvene er fullført

Feilkilde

I sikteanalyser gjort ved Oslomet universitetslaboratorium, manglet ett sikt i ISO-standard for maskevidde, slik at analysen ble gjort ved bruk av to siktemaskiner. Dette kan ha resultert i mistet materiale, når prøvene overføres mellom siktemaskinene.

3.5.2 Fuktmåling av tilslag

Fuktmålinger er gjort på hvert parti med tilslag i forkant av blanding av fersk betong, slik at proporsjonering av reseptenes vanninnhold stemmer. Fuktmålinger er fulgt fra retningslinjer i håndbok R210: *121 Vanninnhold (tilslag)* [34] og iht. NS-EN 1097-5: *Bestemmelse av vanninnhold ved tørking i ventilert tørkeskap* [35].

Hensikt

Hensikten med fuktmålingene er å få ønsket totalt vanninnhold i blanderesepten.

Utstyr

- Bakker.
- Elektrisk Stekepanne/ steketakke.
- Spatel.
- Vekt.

Fremgangsmåte

Viser til retningslinjer i håndbok R210: *121 Vanninnhold (tilslag)* [34].

- Plasser bakk/skål og nullstill vekten.
- Vei opp ca. 1 kg av fuktig prøven og merk massen M1.
- Hell opp i stekepannen og rør om til det blir overflatetørr.
- Vei prøven etter tørking og merk M2.
- Regn ut fuktinnhold ved formelen:

$$W = \frac{M1-M2}{M1} * 100$$

Merk: Forsøket skal gjentas for alle partier med tilslag og vått slam.

Avvik fra Standard

Ifølge håndbok R210, skal tørkeskap benyttes med temperatur på $(110 \pm 5) ^\circ$ for 24 timer. I dette prosjektet er det brukt stekepanne til tilslaget er overflatetørr av tidsmessige grunner.

3.5.3 Laboratorieforsøk: Fersk betong

Forsøkene gjort med fersk betongviser til Håndbok R210: *Fremstilling av Betong i laboratoriet*, og følger NS-EN 12350: *Prøving av fersk betong* [26, 34]. Forsøkene gjort i dette prosjektet inkluderer:

- Blanding av betong.
- Konsistensmåling (synkmål og utbredelsesmål).
- Måling av densitet og temperatur.
- Støpning av prøvestykker.

3.5.3.1 Blanding av betong

Det er blandet totalt 9 betongblandinger inkludert referanseblandingen. I vedlegg F er samtlige proporsjoneringskjema. Blandingene følger retningslinjer gitt i håndbok R210: *411 Fremstilling av betong i laboratoriet* og iht. NS-EN 12350-1, *Prøvetaking og vanlig utstyr* [26, 34].

Hensikt

Metodebeskrivelsen omfatter fremstilling av betong i laboratorium for å undersøke hvilke egenskaper en betong med gitt sammensetning har.

Utstyr

- Bakker.
- Blandemaskin, tvangsblender med lokk.
- Flyndreskje.
- Ingredienser til resepten.
- Vekt.

Fremgangsmåte

Viser til retningslinjer om blanding i håndbok R210: *411 Fremstilling av betong i laboratoriet* [34].

- Vei opp ingrediensene til resepten og hell det opp i bakker.
- Materialene fylles i blanderen i rekkefølgen sand, stein og pulver.
- Tørr bland materialene i 30 sekunder før tilsetning av væske.
- 50% av vann tilsettes og blandes i 30 sek før resten av vann og tilsetningsstoff blandes inn ytterligere 30 sek.
- Når maskinen stoppes, skal eventuelle ublandede ingredienser i bunn av trommelen løftes opp med flyndreskje for å blandes med resten av ingrediensene.
- Materialene våt blandes i 90 sekunder. Temperatur og Konsistens er målt umiddelbart eller senest 5 minutter etter avsluttet blanding.

Avvik fra standard

Angitt blandetid ble ikke fulgt i henhold til håndbok 210: *Fremstilling av Betong i Laboratoriet* [34]. Ulik blandetid kan føre til ujevne blandinger, og kan medføre variasjoner i luftinnhold.

3.5.3.2 Konsistensmåling

Konsistensmåling innebærer synk - og utbredelsesmål, og metodebeskrivelsen viser til håndbok R210: *412 Konsistens; synkmål*, iht. NS-EN 12350-2: *Synkmål* og NS-EN 12350-5: *Utbredelsesmål* [27, 28, 34].

Hensikt

Evaluerer betongens støpbarhet og flyteevne til en gitt blanding av betong.

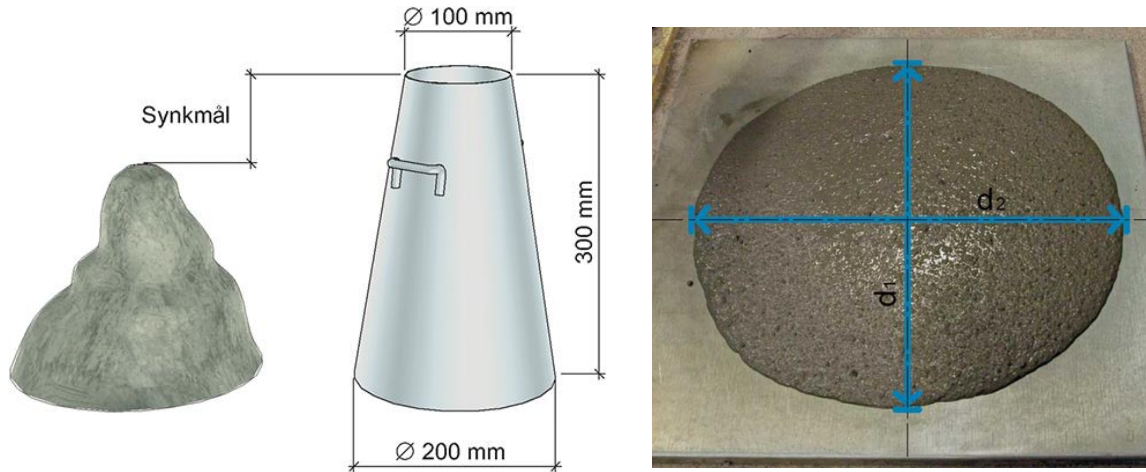
Utstyr

- Bøtte(r).
- Glatt, ikke absorberende underlag.
- Metermål.
- Skuffe.
- Stålstang (lengde 600 mm, Ø 16 mm, og med avrundede ender).
- Synk kjegle.

Fremgangsmåte

Viser til håndbok R210: *412 Konsistens; synkmål*», som følger NS-EN 12350-2: *Synkmål* og NS-EN 12350-5: *Utbredelsesmål* [27, 28, 34].

- Stålkjeglens innside fuktes og plasseres på et jevnt, horisontalt og ikke vannsugende underlag.
- Kjeglen fylles lagvis i tre lag.
- Hvert lag gjennomstikkes 25 ganger med stålstangen og til slutt strykes toppen av.
- Kjeglen løftes forsiktig rett opp og plasseres ved siden av den sammensunkne betongkjeglen.
- Synk måles fra toppen av kjeglen ned til betongens høyeste punkt og er vist i figuren nedenfor. Synkmålet angis til nærmeste 10 mm.
- Mål også diameteren på utbredelsen av slumpet og angi resultat i mm.



Figur 3.5-1 og 3.5-2: Synkmål og utbredelse av fersk betong [36].

3.5.3.3 Densitet og temperatur

Viser til håndbok R210:414 *Densitet av fersk betong*, iht. NS-EN 12350-6: *Densitet* [30].

Hensikt

Måle densitet og temperatur av betongblandingen.

Utstyr

- Beholder med kjent volum (1L).
- Skuffe.
- Stålstang, lengde 600 mm, Ø 16 mm.
- Termometer.
- Vekt med 0,1 % nøyaktighet.

Fremgangsmåte

Viser til retningslinjer om blanding i Håndbok R210 og NS-EN 12350-6: *Densitet* [30, 34].

- Nullstill vekten og vei opp massen til beholderen og navngi denne M1.
- Fyll beholderen med betong i omtrent 3 tykke lag.
- Stomp hvert lag med stålstangen 25 ganger. Stålstangen skal ikke støtes hardt ned i bunnen av beholder eller vesentlig ned i underliggende lag.
- all overskytende masse strykes av beholderen.
- Vei opp massen av beholderen + betong og navngi denne M2.
- Regn opp densiteten ved formelen;

$$\rho = \frac{M_2 - M_1}{v} \quad \text{i kg/m}^3$$

- Sett termometeret i betongblandingen og mål opp temperaturen. Resultatet føres inn i skjema.

3.5.3.4 Støping av prøvestykker

Viser til håndbok R210: *416 Støping av prøvestykker* og utstyr iht. NS-EN 12350-1: *Prøvetaking og vanlig utstyr* [26, 34].

Hensikt

Metode for støping og lagring av prøvestykker av betong.

Utstyr

- Flyndreskje skuffe.
- Former i henhold til NS-EN 12390-1 (terning, sylinder eller bjelke) [26].
- Plast for tildekking av prøvestykkene etter utstøping.
- Stålstang, lengde 600 mm, Ø 16 mm med avrundede ender.
- Tusj.
- Vibrerende bord.

Fremgangsmåte

Viser til retningslinjer gitt i Håndbok R210: *416 Støping av prøvestykker* [34].

- Utstøping skal skje snarest mulig etter blanding. Stålfornene skal ha temperatur høyere enn +10 °C.
- Bland godt. Terningerne som utgjør en prøve lages samtidig.
- Formene skal fylles og komprimeres lagvis, maksimal lagtykkelse er 100 mm.
- Fyll formene med betong og etterarbeid med flyndreskje eller stålstang.
- Betong over formens overflate fjernes, og overflaten jevnes ved å bruke flyndreskje eller pussebrett.
- Ved bruk av vibrerende bord skal lagene vibreres så mye at store tilslagskorn dekkes med et tynt lag med sementmørtel og store luftbobler ikke lenger frigjøres fra betongen.
- Tildekk med plast slik de er beskyttet mot uttørking.
- Terningene lagres i romtemperatur i minst 16 timer og avformes senest 72 timer etter utstøping og deretter settes i vannbad.

Avvik fra standard

Betong brukt for måling av konsistens og temperatur blir brukt om igjen for støping av terninger. Ifølge standard skal dette ikke foretas.

3.5.4 Laboratorieforsøk: Herdet betong

I dette prosjektet er det utført trykktester for 2 - og 28-døgns fasthet. 2 døgns fasthet gjøres for å se tidlig fasthetsutvikling, mens 28-døgns trykkfasthet er for endelig fasthet iht. NS-EN 12390-3: *Prøvelegemers trykkfasthet* [33].

Hensikt

Hensikten ved denne prøvemethoden er å bestemme trykkfasthet i betong, og er gjort iht. NS-EN 12390-3: *Prøving av betong* og håndbok R210: *421 Trykkfasthet, terninger og sylindre* [33, 34].

Utstyr

- Kost.
- Trykkprøvingsmaskin.
- Vekt.
- Vinkelhake.

Fremgangsmåte

Viser til håndbok R210 *421 Trykkfasthet, terninger og sylindre* iht. NS-EN 12390-3: *Prøving av betong* [33, 34].

- Prøvestykkene tas opp fra vannbad og fritt vann på overflaten lufttørkes i ca. 30 minutter før testing.
- Vei opp terningen og noter ned.
- Prøvestykket plasseres sentrisk ved hjelp av vinkelhake i trykkprøvingsmaskinen, der de glatte trykkflatene skal være på toppen og bunnen av terningen.
- Deretter trykkes prøvestykket til brudd. Bruddlasten i MPa avleses fra trykkprøvingsmaskin og noteres.
- Endelige bruddlasten er gjennomsnittet til de to/tre prøvestykkene fra lik batch.
- Maskinen rengjøres for betongrester og gjort klart for neste terning.

3.6 Metodekritikk

3.6.1 Reliabilitet

Betong Øst er blant Norges ledende leverandører av ferdig-betong, og har vært i drift i over 20 år. Forsøk av fersk og herdet betong er gjennomført i Betong Øst sitt laboratorium i Hamar, og er sertifisert i samsvar med standard NS-EN 206 [2], for produksjon av alle typer ferdig betong (vedlegg C-1). I tillegg er utstyr og materiale brukt i forsøket sertifisert av kontrollrådet (vedlegg C-2) og kalibreringsbevis for trykkmaskin og vekt av Servi Group (vedlegg C3 og C4). Servi group er Norges største leverandør av prøveutstyr til byggebransjen [37], dette styrker troverdigheten og påliteligheten av resultater og konklusjoner fra gjennomførte forsøk. Det er likevel faktorer som svekker påliteligheten til resultatene, ettersom alt arbeid utført av mennesker kan ha en form for feil eller unøyaktighet. Mangel på erfaring fra labarbeid spesielt i tidlig faser kan føre til avvik i fremgangsmåte og påvirke resultater negativt.

3.6.2 Generaliserbarhet

Metodene brukt i dette prosjektet ansees å være gjenskaplige, ettersom det ikke er brukt spesielt utstyr, og prosedyre vil være mulig å gjennomføre for andre betongprodusenter. Oppgaven er utført i samarbeid med Betong Øst, hvor slam er hentet fra deres avdelinger i Lørenskog, Gardermoen og Fetsund. Resultatene ansees å være generaliserbare for andre produsenter, dersom det benyttes tilsvarende materiell og betongslam brukt i dette prosjektet.

4 Resultater

Dette kapitlet presenterer resultatene av laboratoriearbeidet og er i tillegg vedlagt i vedlegg H. Resultatene inkluderer sikteanalyser og tester av betong i fersk og herdet tilstand. Resultatene fra sikteanalysen er presentert i form av figurer 4.1-1 til 4.1-8. Reseptoversikten er gitt i tabell 4.2-1. Resultater for fersk og herdet betong er gitt i tabeller 4.2-2 og 4.2-3. Resultatene presentert i dette kapitlet danner grunnlag for videre diskusjon.

4.1 Resultater fra sikteanalyse

Håndtering av betongslam kan variere fra produsent til produsent og kan avhenge av størrelsen på produksjonsanlegget, lokale forskrifter og økonomisk gunstige løsninger til produsenten. Dette fører til variasjoner i sammensetningen av slammet fra sted til sted. For et godt beslutningsgrunnlag og likhet i resultatene, vil å teste prøver fra ulike steder gi et mer nøyaktig og pålitelig resultat av sikteanalysen.

Førsøket har tatt utgangspunkt i 4 slamprøver fra Betong Øst sine avdelinger i Lørenskog, Gardermoen og Fetsund. Det er valgt å utføre sikteprøvene med slammet i to ulike tilstander, her referert som «behandlet» og «ubehandlet». Det ubehandlede betongslammet er slammet i naturlig form, som har agglomerert seg til flak. Det behandlede slammet er et forsøk på å dekonstruere slammet til dets grunnleggende form. Resultatene fra disse sikteanalysene er presentert i 4.1-1 til 4.1-6.

Sikteanalysene vist i figur 4.1-7 og 4.1-8 er sikteanalysene gjort med slammet og brukes videre som en komponent i ulike betongblandinger. Slammet i figur 4.1-7 er forhåndssiktet manuelt over 4mm siktet, mens slammet i figur 4.1-8 er ubehandlet. Resultater med fulle sikteanalyseeskjemaer til alt av betongslam kan finnes i vedlegg kapittel D.

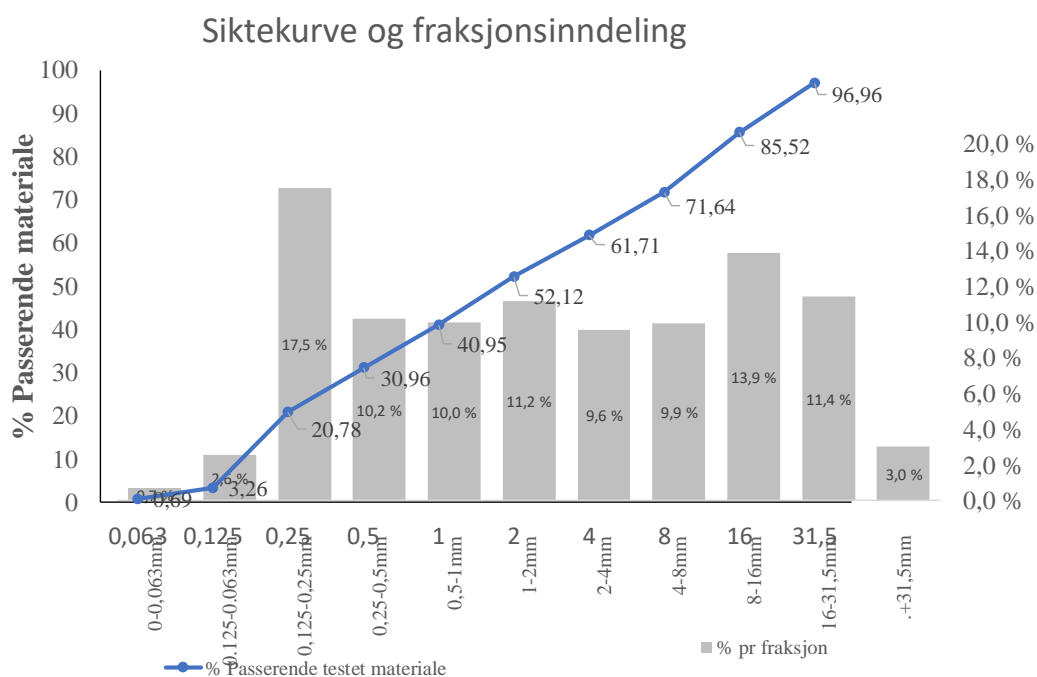
Sikteprøve 1- Lørenskog ubehandlet



Figur 4.1-1: Sikteprøve 1 Lørenskog

Siktekurven viser en jevnt fordelt fraksjon, mengden store partikler er høy og største partiklene er over 31,5mm.

Sikteprøve 2 – Lørenskog behandlet



Figur 4.1-2: Sikteprøve 2 Lørenskog behandlet

Siktekurven er en jevn fraksjon, hvor størst masse i fraksjon er i 0,125 – 0,25mm siktet. Denne prøven inneholdt en stor mengde partikler større enn 8mm og noen korn større enn 31,5mm.

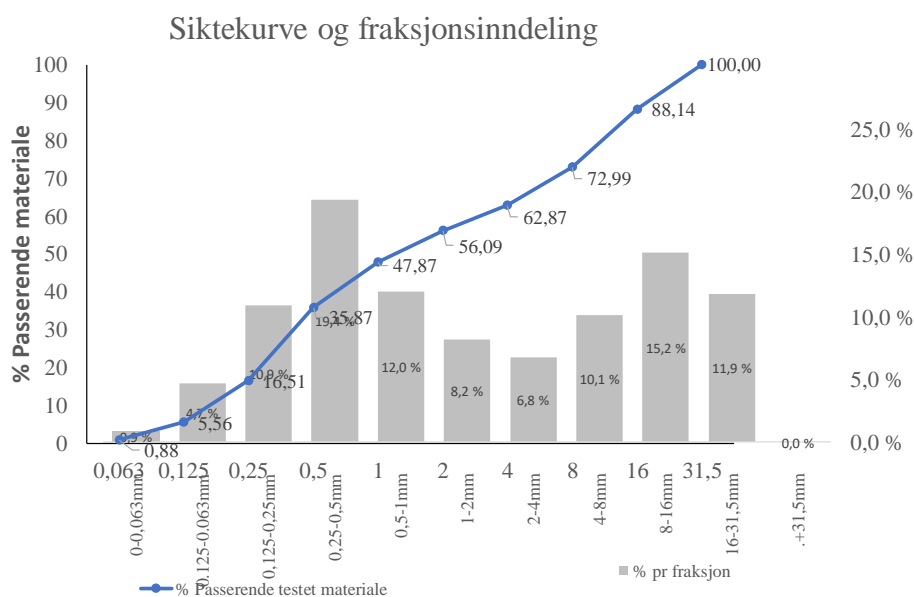
Sikteprøve 3 – Gardermoen ubehandlet



Figur 4.1-3: Sikteprøve 3 Gardermoen ubehandlet

Denne grafen viser en veldig ujevn fraksjonering med en veldig stor mengde partikler større enn 31,5mm. Sikteprøven viser også en stor mengde partikler i fraksjonen 0,25 – 0,5mm.

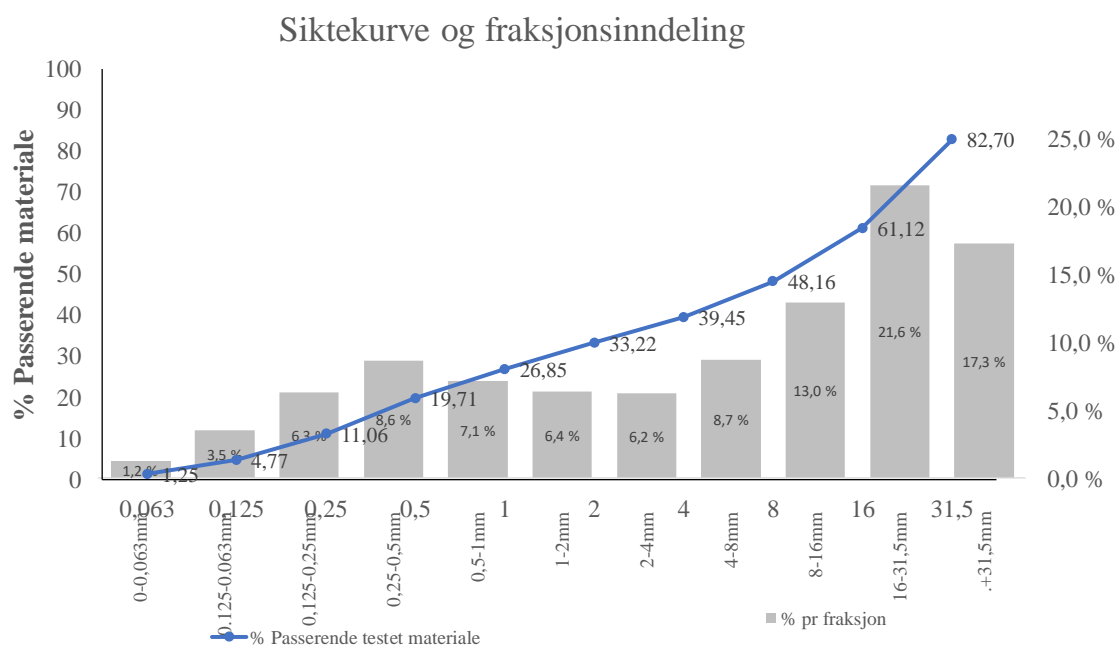
Sikteprøve 4- Gardermoen behandlet



Figur 4.1-4: Sikteprøve 4 Gardermoen behandlet

Denne siktekurven viser en stor mengde rundt 0,125 – 1mm, ingen partikler større enn 31,5mm.

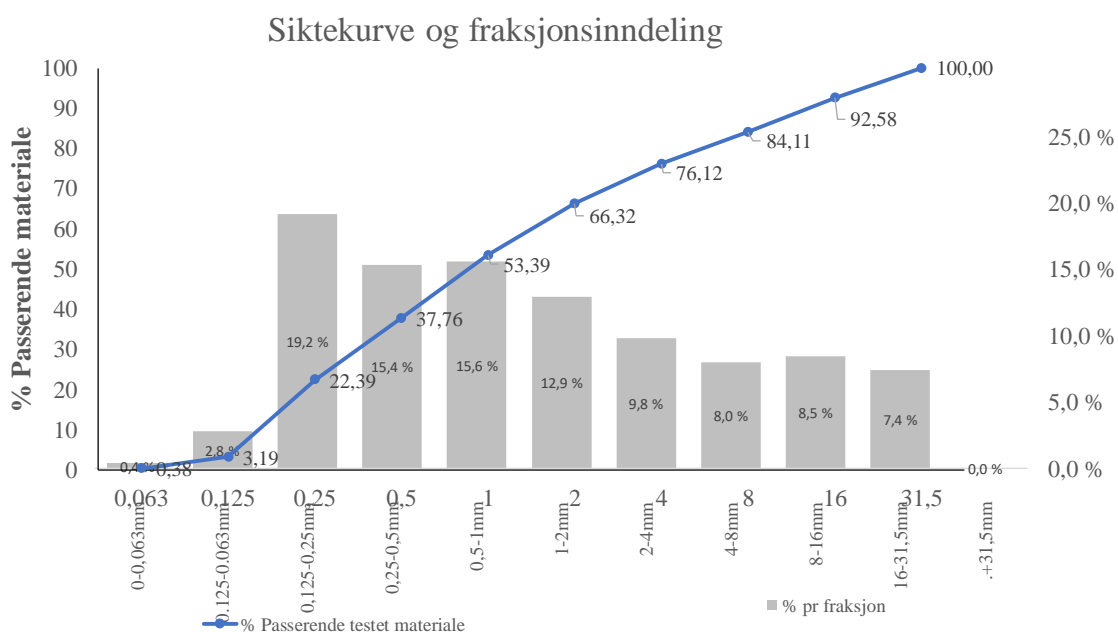
Sikteprøve 5 – Fetsund ubehandlet



Figur 4.1-5: Sikteprøve 5 Fetsund ubehandlet

Grafen viser store mengder partikler større enn 8mm, og en stor mengde partikler på 16-31,5mm – sjiktet. Prøven viser også en stor mengde partikler større enn 31,5mm.

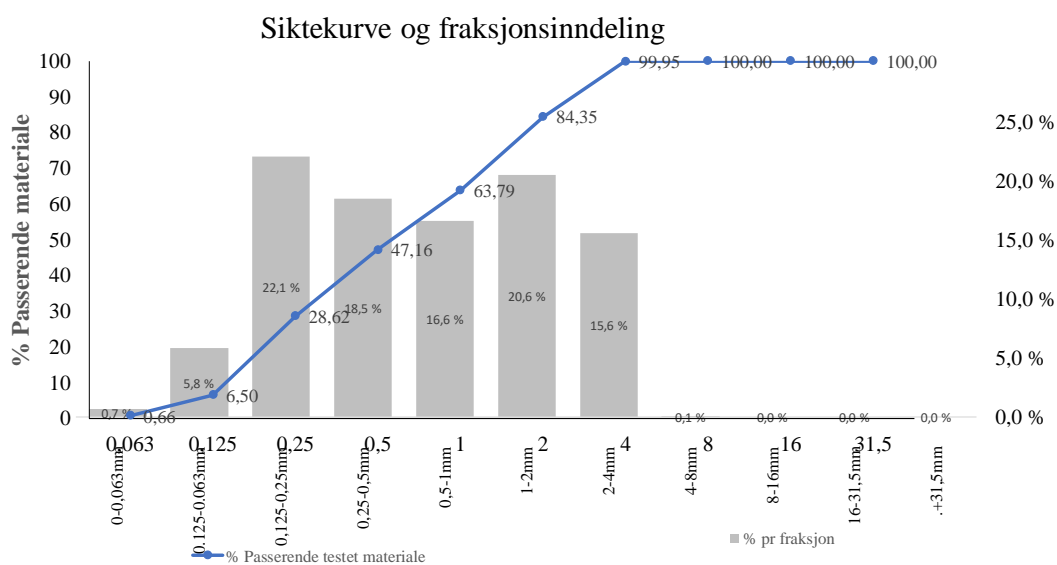
Sikteprøve 6 Fetsund behandlet



Figur 4.1-6: Sikteprøve 6 Fetsund behandlet

Denne prøven ble behandlet og grafen viser en stor mengde av slammet ligger mellom 0,125 og 4mm, og ingen partikler større enn 31,5mm. Mengde slam i bunnpotten er lav.

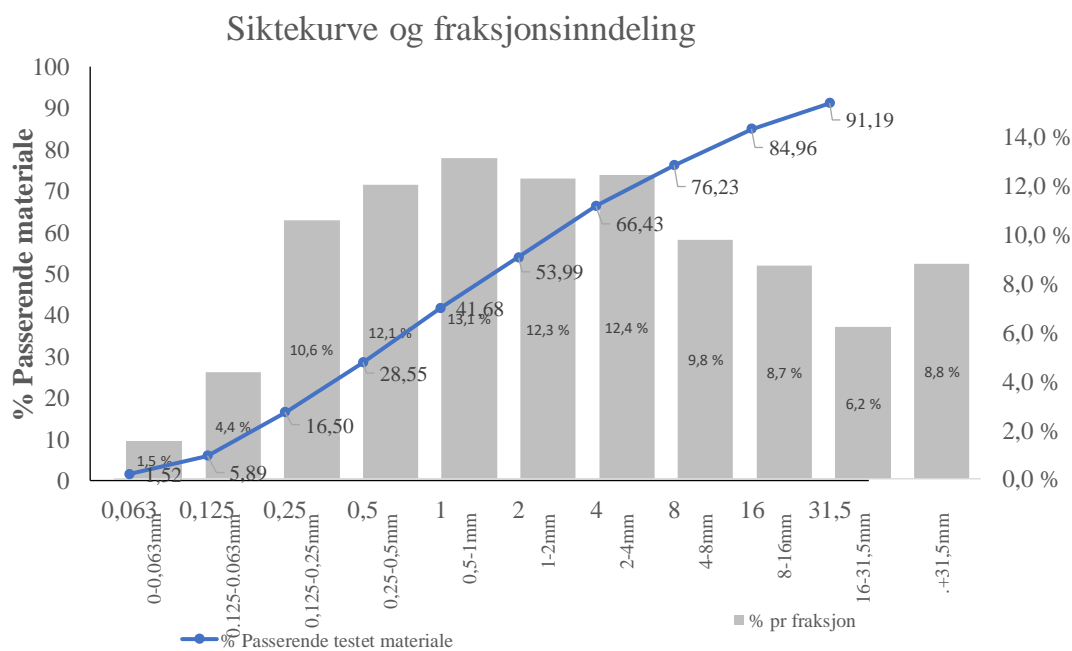
Sikteprøve 7 – Lørenskog forhåndssiktet til 0/4



Figur 4.1-7: Sikteprøve 7 Lørenskog behandlet, siktet 0-4mm, brukt i støp

Denne sikteprøven viser jevne fraksjoner med en lav mengde partikler i bunnpannen.

Sikteprøve 8 –Lørenskog ubehandlet



Figur 4.1-8: Sikteprøve 8 Lørenskog ubehandlet, brukt i støp

Sikteprøven viser en jevnt fordelt prøve med de aller fleste partikler mellom 0,125 og 16mm. Prøven viser også partikler større enn 31,5mm.

4.2 Resultater fra betongprøver

I dette delkapitlet vil resultater fra laboratoriearbeidet bli presentert. Tabell 4.2-1 gir en oversikt over sammensetningene av de ulike prøveblandingene. Resultater fra prøveblandingenes ferske egenskaper inkluderer målinger av synk- og utbredelsesmål, densitet og temperatur er fremstilt i Tabell 4.2-2. Resultatene fra prøveblandingenes trykkfasthet etter 2 døgn er angitt i Tabell 4.2-3, og endelig trykkfasthet etter 28 døgn presenteres i Tabell 4.2-4.

4.2.1 Reseptoversikt

I tabell 4.2-1 presenteres oversikten over de åtte reseptene utviklet med betongslam, samt referanseresepten som har blitt testet i laboratoriearbeidet. Tabellen viser også til de aktuelle proporsjonerings – og blandeskjemaene reseptene er utviklet i, og er inkludert i vedlegg F-1 til F-9.

Tabell 4.2-1: Reseptoversikt

Resept	Dato støpt	Vedlegg	SLAM 0/4 mm	SLAM uhåndtert	Vang 0/8	11/16	V/C-tall	Std FA	Vannbehov	SR-N
B35 M45 D16	20/3/23	F-1	0%	0%	53%	47%	0.445	400	178 L	1.12%
5% SLAM 0/4, 1.12SP178V	20/3/23	F-2	5%	0%	48%	47%	0.445	400	178 L	1.12%
5% SLAM 0/4, 1.75SP178V	20/3/23	F-3	5%	0%	48%	47%	0.445	400	178 L	1.75%
10% SLAM 0/4, 1.5SP190V	20/3/23	F-4	10%	0%	43%	47%	0.445	426.97	190 L	1.50%
10% SLAM 0/4, 2SP190V	20/3/23	F-5	10%	0%	43%	47%	0.445	426.97	190 L	2.00%
30% SLAM 0/4, 2SP230V	22/3/23	F-6	30%	0%	23%	47%	0.445	471.91	230 L	2.00%
5% SLAM Uhåndtert, 1.75SP178V	22/3/23	F-7	0%	5%	48%	47%	0.445	400	178L	1.75%
10% SLAM Uhåndtert, 2SP190V	22/3/23	F-8	0%	10%	43%	47%	0.445	426.97	190L	2,00%
30% SLAM Uhåndtert, 1.75SP210V	22/3/23	F-9	0%	30%	23%	47%	0.445	471.91	210 L	1.75%

4.2.2 Resultatoversikt prøving av fersk betong

I dette kapittelet blir resultater fra prøvetakningen av betongreseptenes ferske egenskaper presentert. Resultatene inkluderer synkmål, utbredelsesmål, temperatur og densitet. Målingene er utført gjennom laboratoriarbeid og er systematisk organisert i tabell 4.2-2, inndelt i henhold til reseptkodene vist i tabell 4.2.1 *Reseptoversikt*. Videre inneholder tabellen referanser til proporsjonering og blandeforholdskjemaene utviklet for hver resept, i vedlegg F-1 til F-9.

Tabell 4.2-2: Resultattabell fersk betong

Resept	Vedlegg	Synkmål (mm)	Utbredelsesmål (mm)	Densitet (kg/m³)	Temperatur (°C)
B35 M45 D16	F-1	215.0	400.0	2442.5	17.1
5% SLAM 0/4, 1.12SP178V	F-2	66.0	225.0	2369.6	16.9
5% SLAM 0/4, 1.75SP178V	F-3	228.0	410.0	2405.2	19.1
10% SLAM 0/4, 1.5SP190V	F-4	125.0	244.0	2388.7	17.7
10% SLAM 0/4, 2SP190V	F-5	219.0	427.0	2448.9	16.4
30% SLAM 0/4, 2SP230V	F-6	40.0	210.0	2221.1	21.2
5% SLAM Uhåndtert, 1.75SP178V	F-7	245.0	422.0	2429.0	17.3
10% SLAM Uhåndtert, 2SP190V	F-8	244.0	510.0	2366.1	17.3
30% SLAM Uhåndtert, 1.75SP210V	F-9	26.0	213.0	2214.7	19.3

4.2.3 Resultatoversikt 2 døgns trykkfasthet

I dette underkapittelet blir resultatene fra 2 døgnsfasthet presentert. Målingene er utført ved metode forklart i kapittel 3.5.3 og 3.5.4.

Tabell 4.2-3: 2 døgn trykkfasthet

Resept	Vedlegg	Alder (døgn)	Vekt av terning (g)	Trykkfasthet (Mpa)	Snitt trykkfasthet (Mpa)
B35 M45 D16	F-1	2	2483.0	38.60	38.60
			2497.0	38.60	
5% SLAM 0/4, 1.12SP178V	F-2	2	2453.9	34.40	34.65
			2476.5	34.90	
5% SLAM 0/4, 1.75SP178V	F-3	2	2424.5	33.38	33.07
			2448.6	32.76	
10% SLAM 0/4, 1.5SP190V	F-4	2	2391.2	30.70	30.38
			2378.1	30.05	
10% SLAM 0/4, 2SP190V	F-5	2	2402.9	31.77	31.81
			2384.4	31.84	
30% SLAM 0/4, 2SP230V	F-6	2	2335.3	29.99	30.40
			2326.0	30.80	
5% SLAM Uhåndtert, 1.75SP178V	F-7	2	2498.3	39.50	39.35
			2393.8	39.20	
10% SLAM Uhåndtert, 2SP190V	F-8	2	2413.3	35.69	35.74
			2417.2	35.78	
30% SLAM Uhåndtert, 1.75SP210V	F-9	2	2284.7	27.60	26.88
			2299.1	26.16	

4.2.4 Resultatoversikt 28 døgn trykkfasthet

Resultatoverikten i tabell 4.2-4 viser endelig trykkfasthet for betongreseptene testet i dette prosjektet. Metoden brukt i denne testen er forklart i kapittel 3.5.3 og 3.5.4. Fasthetsklasse kan bestemmes etter tabell 2.8-1.

Tabell 4.2-4: 28 døgn trykkfasthet

Resept	Vedlegg	Alder (døgn)	Vekt av terning (g)	Trykkfasthet (Mpa)	Snitt trykkfasthet (Mpa)
B35 M45 D16	F-1	28	2502.5	64.95	66.15
			2474.6	67.34	
5% SLAM 0/4, 1.12SP178V	F-2	28	2441.0	57.92	58.69
			2441.3	59.45	
5% SLAM 0/4, 1.75SP178V	F-3	28	2470.8	59.26	59.32
			2469.9	59.37	
10% SLAM 0/4, 1.5SP190V	F-4	28	2428.9	55.01	54.34
			2430.9	53.67	
10% SLAM 0/4, 2SP190V	F-5	28	2401.5	55.73	55.22
			2396.7	54.70	
30% SLAM 0/4, 2SP230V	F-6	28	2300.2	48.15	48.06
			2309.2	47.96	
5% SLAM Uhåndtert, 1.75SP178V	F-7	28	2492.2	62.71	64.64
			2484.9	66.56	
10% SLAM Uhåndtert, 2SP190V	F-8	28	2436.9	62.81	60.71
			2414.3	58.60	
30% SLAM Uhåndtert, 1.75SP210V	F-9	28	2352.7	43.43	43.86
			2327.5	44.29	

4.3 Fuktmålinger i tilslag

I tabell 4.3-1 fremstilles resultatene for målinger av fuktinnholdet i tilslaget brukt i hver resept. Fuktighetsberegninger ble utført for hvert parti med tilslag. Fuktighetsverdiene ble deretter ført inn i proporsjoneringskjemaene funnet i vedlegg F-1 til F-9, for å sikre korrekt vanninnhold og V/C-tall i hver blanding.

Tabell 4.3-1: Fuktmålinger i tilslag

Dato	Resept	Fuktinnhold i tilslag (%)			
		Slam 0/4mm	Slam Uhåndtert	Vang 0/8	11/16
22.03.2023	B35 M45 D16	-	-	6.20%	1.50%
22.03.2023	5% SLAM 0/4, 1.12SP178V	34.90%	-	6.10%	1.50%
22.03.2023	5% SLAM 0/4, 1.75SP178V	34.90%	-	6.20%	1.50%
22.03.2023	10% SLAM 0/4, 1.5SP190V	34.90%	-	6.70%	1.02%
22.03.2023	10% SLAM 0/4, 2SP190V	34.90%	-	6.70%	1.02%
24.03.2023	30% SLAM 0/4, 2SP230V	32.00%	-	5.80%	0.75%
24.03.2023	5% SLAM Uhåndtert, 1.75SP178V	-	27.92%	6.94%	0.83%
24.03.2023	10% SLAM Uhåndtert, 2SP190V	-	27.92%	6.94%	0.83%
24.03.2023	30% SLAM Uhåndtert, 1.75SP210V	-	27.92%	6.94%	0.83%

5 Diskusjon

I diskusjonsdelen av dette prosjektet utforskes og vurderes resultatene fra sikteanalysene og prøvingen av betongblandinger med innlemmet betongslam. Potensialet for betongslam som tilslag blir undersøkt gjennom evalueringen av dets egenskaper, basert på siktekurver og fraksjonsinnhold.

Påvirkningen betongslam har på betongens trykkfasthet og konsistens vil også bli diskutert i dette kapitlet. Dette inkluderer en vurdering på hvordan innlemming av betongslam påvirker betongens vannbehov og mengde SP-stoff. Betongblandingene undersøkt i dette studiet blir sammenlignet med en referanseresept og hverandre, slik at det er lettere å oppnå et nyansert bilde på hvordan betongslam påvirker betongens egenskaper i fersk og herdet tilstand.

Betongblandingsens egenskaper blir vurdert mot Norsk standard, samtidig om det er praktisk gjennomførbart. Dette gjør det mulig å vurdere betongblandingenes praktiske anvendelighet, og mulige begrensninger i produksjonen. Til slutt vil det drøftes rundt miljø – og økonomiske aspekter ved gjenbruk av betongslam.

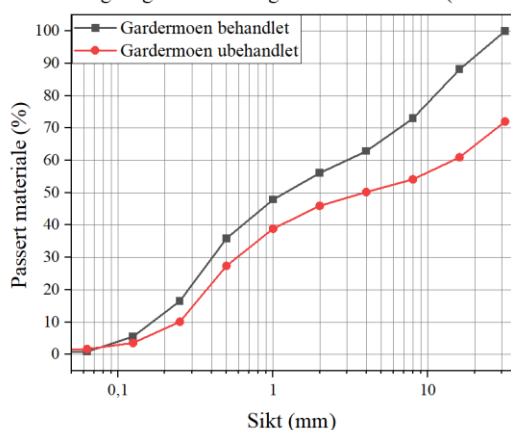
5.1 Betongslam som tilslag

Betongslam er ikke deklarerert som et godkjent tilslag gjennom standarden NS-EN 206 [2] og NS-EN 12620 [17]. Ettersom betongslam uthentet fra sedimenteringsbassenget både inneholder tilslag og rester av ferdigreagert sement, er ikke dette definert som gjenvunnet vasket tilslag i NS-EN 206. Jf. Forurensingsforskriften §33-13 kan slammet gjenbrukes ved at det erstatter andre materialer som hadde blitt brukt i ny betong. Betongen vil da ikke følge kravene gitt for tilslag i standardverket, noe betongprodusentene må spesifisere ved salg og kan skape restriksjoner til bruk.

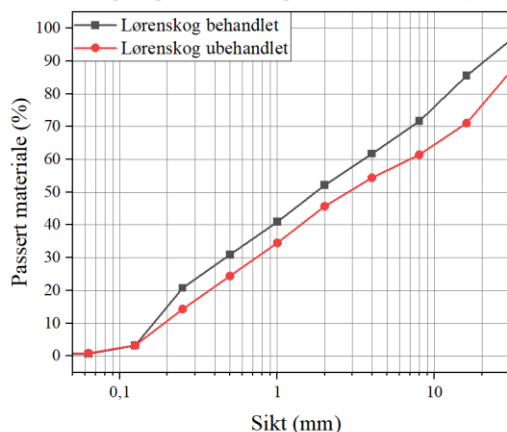
Dersom betongslam skal gjenbrukes er det viktig å vite hva slammet består av, for å vite hva det skal erstatte. I denne delen av diskusjonen blir resultatene sammenlignet med hverandre og danner grunnlaget til videre diskusjon i de kommende underkapitlene.

5.1.1 Observert agglomerering av betongslam

Sammenligning behandlet og ubehandlet slam (Gardermoen)



Sammenligning behandlet og ubehandlet slam (Lørenskog)

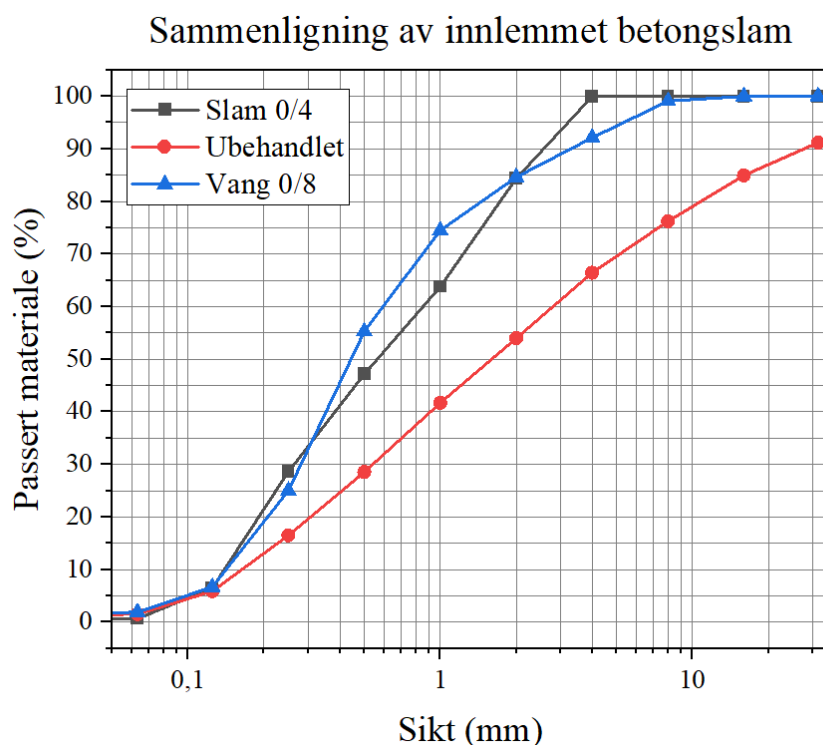


Figur 5.1-1 og 5.1-2: Sammenligning av behandlet og ubehandlet slam

Figurene 5.1-1 og 5.1-2 illustrerer sammenligningen av sikteanalysene fra figurer 4.1-1 til 4.1-4. Sikteanalysene viser forskjellen til partikkelstørrelsene i to slam prøver, der den ene tilsvarer det ubehandlede slammet, mens det behandlede er forsøkt brutt ned. Disse testene er utført i tidlig fase av prosjektet, hvor det var usikkerhet til hvilken grad slammet skulle brytes ned før sikting.

Siktekurvene indikerer at betongslammet er agglomerert til store partikler, hvor mild knusing fører til endring i partikkelstørrelser. Imidlertid observeres ingen endring i mengde finstoff, det vil si partikler under 63 μm . Det kan skyldes utilstrekkelig nedbrytning, ved at redskap kun bryter ned de største partiklene. Resultatene kan også være en indikasjon på at de mindre slampartiklene har høyere fasthet og derfor ikke lar seg knuse like lett.

5.1.2 Sammenligning av innlemmet betongslam



Figur 5.1-3: Sammenligning av innlemmet betongslam

Figur 5.1-3: *Sammenligning av innlemmet betongslam*, viser siktekurvene til betongslam brukt i blanderesepter. Figuren viser siktekurvene sammenlignet med Vang 0/8, et naturlig gradert tilslag med partikkelstørrelser mindre enn 8mm. I sikteanalysen kan det observeres større andel fint tilslag i slammet siktet til 0/4mm. Det forhåndssiktete slammet inneholder 99.95% partikler mindre enn 4mm, i kontrast med det ubehandlede slammet hvor mengden er 66.4%. Dette kommer av at partiklene i det ubehandlede slammet er agglomererte partikler, noe som vil si at slammet brutt ned vil ha en tilnærmet lik kurve som det siktete dersom brutt ned korrekt.

Videre er det relevant å vurdere mengden partikler som har passert 63 μm , ettersom partikler under denne størrelsen er mer vannkrevende. Under prosjektet ble det antatt at slammet inneholdt større andel partikler av denne størrelsen. Imidlertid observeres det i sikteanalysen at verken det ubehandlede slammet eller slammet brutt ned og siktet til 0/4mm inneholder større mengde av dette. Slammet siktet til 0/4mm inneholder 0.66%, mens det ubehandlede inneholder 1.5%. Dette resultatet kan virke uventet, gitt antagelsen om at nedbrutt slam skulle inneholde større mengde finstoff. Sammenligningen av slamprøvene med Vang 0/8 indikerer at finstoffmengden er mindre enn forventet. Figur 4.1-3: *Sikteprøve 3 Gardermoen ubehandlet*, er sikteprøven gjort av slam med høyest prosentvis mengde av partikler under 63 μm med 1.7%. Dette betyr at alle testede slamprøver har lavere andel partikler under 63 μm enn Vang 0/8. At det er mindre partikler under 63 μm i slamprøvene kan også være en indikasjon på ikke tilstrekkelig knusing av slammet.

5.1.3 Betongslams kornform og egenskaper

Illustrert i figur 5.1-3, inneholder betongslammet i prosjektet lavere mengde finstoff enn forventet. Imidlertid kan dette være et resultat av feil nedbrytningsmetode benyttet på det siktede slammet. Partikler under 63 μm er vanskelige å nedbryte uten maskinell knusing. Selv om siktekurven indikerer mindre finstoff sammenlignet med Vang 0/8 natur grus, kan dette skyldes at de agglomererte partiklene ikke har blitt tilstrekkelig nedbrutt. Denne situasjonen kan resultere i at betongblandingen med høyere mengder betongslam har et større vannbehov og krever større pastavolum. Dette er observert i resultatene for fersk betong i kapittel 4.2.2, hvor påvirkningene av dette blir videre diskutert i kapittel 5.2.

I kapittel 2.2.1 *Geometriske krav til tilslag*, påpekes det at den ideelle kornformen for god pakningsevne er kubiske korn. I fremstillingen av det siktede slammet har nedbrytningsmetoden vært slag med hammer, vist i figur 5.1-4. I motsetning til fremstilling av kubiske korn der det benyttes maskinell knusing, antas det at knusing med hammer danner meget flisige korn. Denne kornformen vil kreve større pastavolum for å fylle hulrommene mellom kornene, dette gjør at betongblandingen vil ha et større vannbehov.

Vist i resultatfigur 4.2.2, observeres det et økt vannbehov for betongblandinger med høyere mengder slam, og vil bli ytterligere diskutert i kapittel 5.2. Hovedårsakene til det økte vannbehovet og kravet til større pastavolum stammer tilbake til slammet som er innlemmet. De tre hovedårsakene til dette antas å være:

- Finstoff som ikke har blitt tilstrekkelig nedbrutt.
- Kornformen etter nedbrytning er flisig.
- Slampartiklene har større sugeevne enn natur grus.

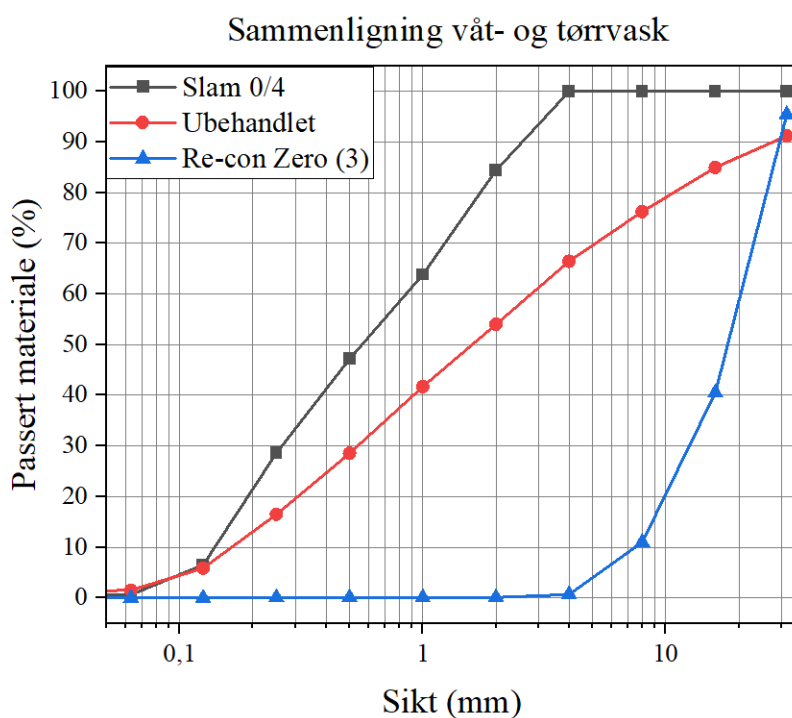


Figur 5.1-4: Fremstilling av siktet slam

5.1.4 Tørrvask som tilslag

Under prosjektets løp ble gruppen introdusert for Mapeis Re-Con Zero, et produkt utformet for prosessen «tørrvasking» av betongbiler, nærmere beskrevet i kapittel 2.1.6. Vedlegg kapittel E: *Sikteanalyseskjemaer tørrvask Mapei*, viser sikteanalyser gjort av Mapei, der denne prosessen er brukt til å vaske fire betongbiler. Disse sikteanalysene viser hvordan de fine partiklene binder seg til større partikler gjennom fire vaskesykluser. Prosessen danner større partikler sammenlignet med konvensjonell vasking, og reduserer mengden prosessvann for vask.

I figur 5.1-5: *Sammenligning av våt – og tørrvask*, observeres forskjellen i partikkelstørrelser fått ved ubehandlet slam, slam siktet til 0/4mm og partiklene dannet etter tre tørrvaskrunder. Sammenligningen viser lavere mengder finstoff sammenlignet med slammet. Dette kan muliggjøre produksjon av betong hvor større partikler i blandingen erstattes med tørrvasket slam. Imidlertid er det ikke gjort noen tester med dette i prosjektet.

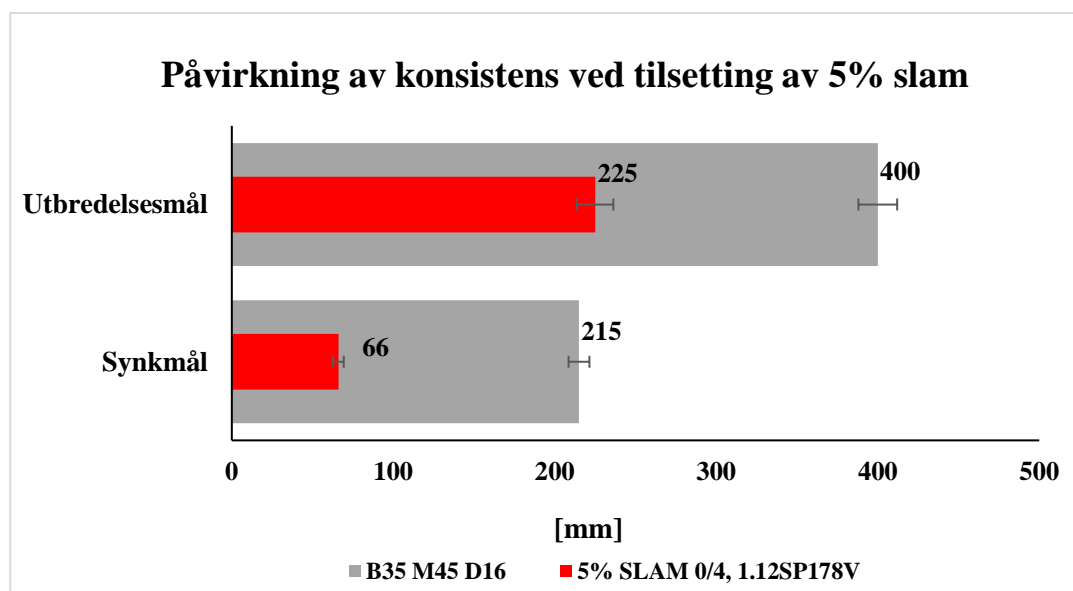


Figur 5.1-5: Sammenligning av våt – og tørrvask

5.2 Betongslams påvirkning på konsistens

Betongblandingene med innhold av betongslam, har et større vannbehov sammenlignet med referanseresepten. Årsakene til dette kan være mange, beskrevet i kapittel 5.1.3. Dette fører til at blandingene krever mer sementpasta for å opprettholde sine støpeegenskaper.

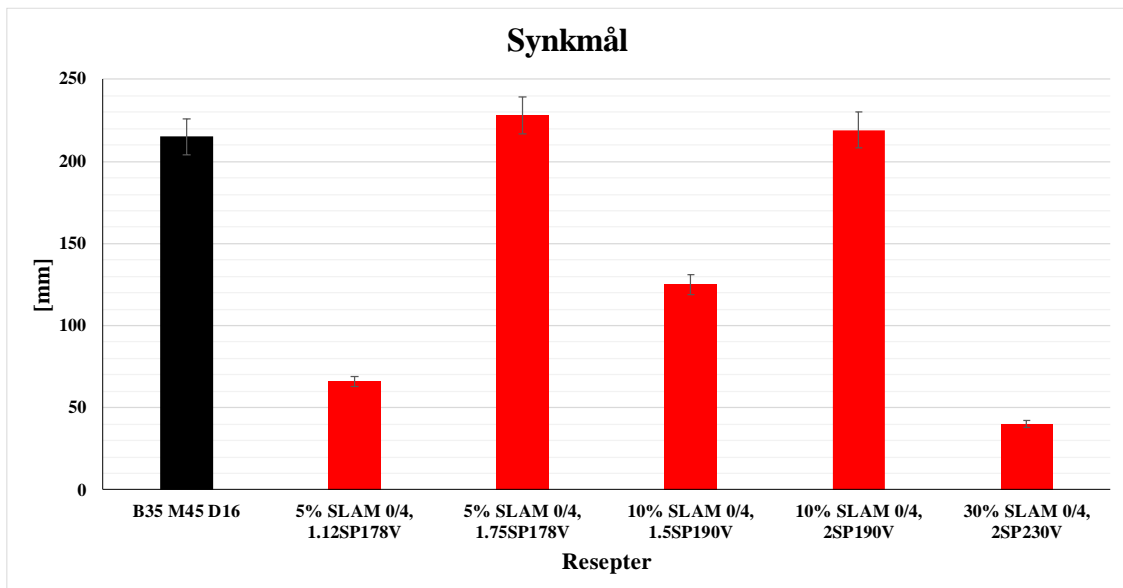
Figur 5.2-1 viser hvilken påvirkning 5% siktet betongslam har på referansereseptens konsistens. Det observeres reduksjon i både synk – og utbredelsesmål sammenlignet med referanseresepten. Synkmålet reduseres fra 215 mm til 66 mm, og utbredelsesmålet minker fra 400 mm til 225 mm. Dette er eneste testen utført med likt forhold mellom vannbehov og Sp-stoff i blandingene. Allerede her er det tydelig at blandingene med større mengder betongslam, krever økt tilførsel av Sp-stoff og vannbehov for å oppnå ønskede støpelighetsegenskaper.



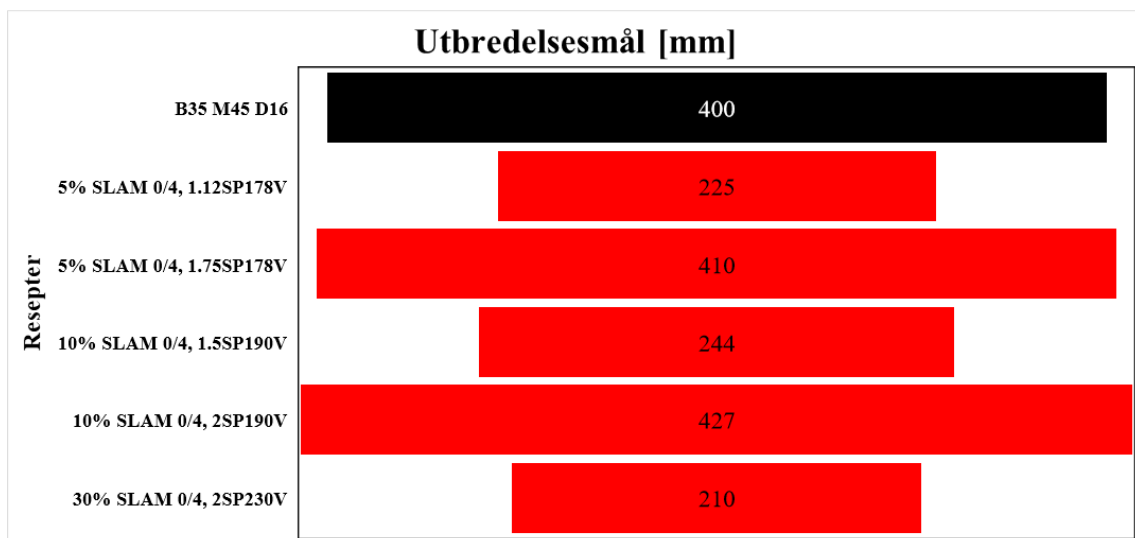
Figur 5.2-1: Påvirkning av konsistens ved tilsetning av 5% slam

5.2.1 Proporsjonering ved økt betongslaminnhold

Ved sammenligningen av resultatene i synktesten, illustrert i Figur 5.2-1, antydte det et behov for omproporsjonering av reseptene med høyere andeler betongslam. Dette er gjort for å oppnå tilnærmet lik konsistens som referanseresepten og innebærer en økning i vannbehov og mengde SP-stoff. Figur 5.2-2 og 5.2-3 viser denne tendensen. Dersom blandingene med 10% og 30% slam hadde blitt produsert med samme vannbehov og mengde SP-stoff sammenlignet med referanseresepten, ville de ikke ha oppnådd ønskelige støpelighetsegenskaper.



Figur 5.2-2: Synkmål for resepter med siktet slam



Figur 5.2-3: Utbredelsesmål for resepter med siktet slam

5.2.2 Betongslams innvirkning på betongens vannbehov

Blandingene gjort med høyere andel betongslam krevde et større vannbehov for å oppnå ønskelig konsistens vist i figur 5.2-2. Betongblandingenes økte vannbehov kommer av at innlemmet betongslam binder opp mer vann. Det er flere mulige forklaringer på hvorfor betongblandingene med slam er mer vannkrevende. Betongslammets agglomererte partikler består av finere kornstørrelser sammenlignet med naturgrusen og kan bidra til det økte vannbehovet ettersom dette gir større totaloverflate.

I ytelseserklæringen til Vang 0/8 natur grus i vedlegg A-2 står det at dette tilslaget har vannabsorpsjon på 0,2%. Dette er en lav verdi og det kan forventes at slammet har en høyere vannabsorpsjon.

Til tross for at konsistensen med lavere vannbehov og høyere slaminnhold er betydelig seigere, kan denne typen betong også ha en rekke bruksområder. Betong med lav flyteevne og selvutjevningsegenskaper har begrenset bruk i konstruksjoner hvor dette er nødvendig. De kan ha mulige bruksområder i konstruksjoner der det ikke kreves spesielle flyteegenskaper, for eksempel gangstier, fortau, betonglodd eller mindre fundamenter. Andre av anvendelser slik betong er fyllmasse for grøfter, bakfylling av støttemurer og fylling av hulrom i konstruksjoner.

5.2.3 Betongslams innvirkning på SP-stoff behov

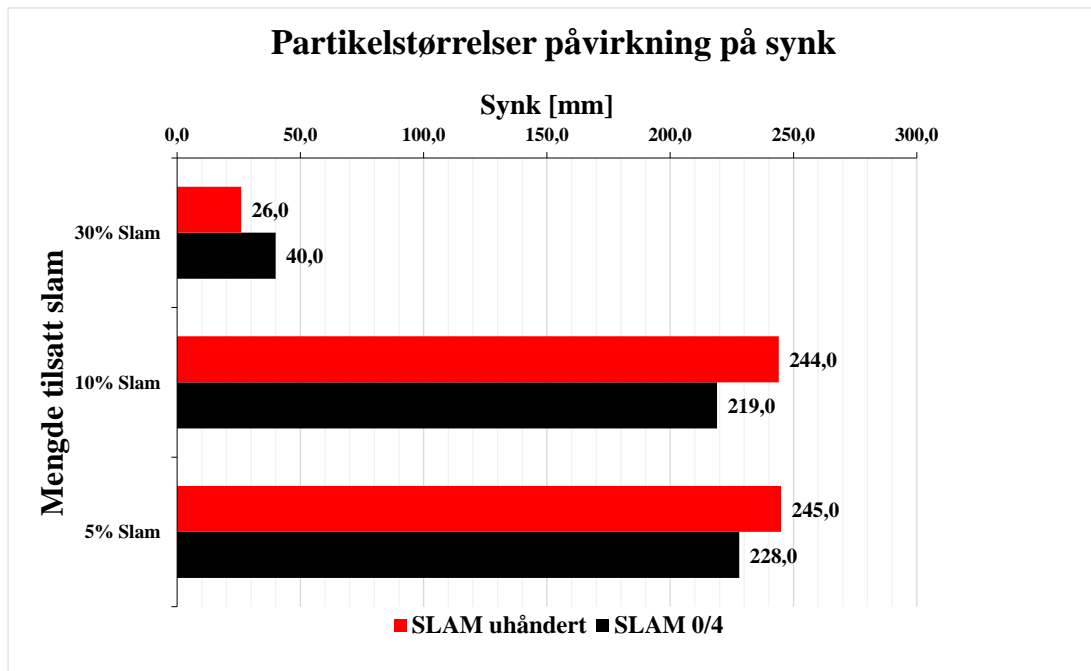
Vist i figur 5.2-1, resulterte innlemmingen av kun 5% betongslam i dårlige konsistens – og spredningsegenskaper sammenlignet med referanseresepten. I resepten 5% SLAM 0/4, 1.75SP178V er blandingen gjort lik 5% SLAM 0/4, 1.12SP178V, men proporsjonert med et tillegg på 0.63% mer SP-stoff. Resultatene i figur 5.2-2 og 5.2-3 viser at ønskelig konsistens ble oppnådd med denne justeringen. Dette indikerer at slammet krever et større vannbehov for ønsket konsistens, men ved tilsetningen av mer SP-stoff vil blandingen oppnå en mer flytende konsistens.

For å gjenskape konsistensen til referanseblandingen, er det forsøkt å tilpasse vannbehov og mengde SP-stoff i blandingene som inneholder større mengde betongslam. Resepten med 10% SLAM 0/4 ble først proporsjonert med 1.5% SP og 190L vannbehov. Grunnlaget for at 1.5% SP-mengde er valgt, er at det er den øvrige anbefalte grensen Mapei angir i datablad [38]. Synk – og utbredelsesmålet for denne blandingen ble henholdsvis 125mm og 244mm, noe som gir en for seig betong. For å oppnå ønskelig konsistens med innlemmingen av 10% betongslam måtte det tilsettes ytterligere 0,5% SP-stoff. Imidlertid kan overdreven bruk av SP-stoff virke mot sin hensikt, da det kan forårsake en reduksjon i betongens fasthetsutvikling og holdbarhetsegenskaper.

5.2.4 Innvirkningen av betongslammets partikkelstørrelse på konsistens

I dette prosjektet er det benyttet to varianter av betongslam for å etterligne både betongprodusentenes håndteringssituasjon og sammensetningen av materialet. Totalt er det utført 8 betongblandinger, derav fem inneholder ulike mengder slam, tørket og siktet til en fraksjon mellom 0 og 4 mm, deretter tilsatt 30% fuktighet. Dette er gjort for å representere betongslammets egenskaper når det er brutt ned til sin «grunnleggende form», nemlig fuktig finstoff med tilslag fra produksjon.

I figur 5.2-4 er det illustrert kontrastene som oppstår ved bruk av det siktede slammet, sammenlignet med bruken av ubehandlet slam. Ved å observere forskjellene mellom de ulike reseptene, hvor den eneste distinksjonen er forskjellen på behandlingen av slammet, er det tydelig at reseptene med ubehandlet slam oppnår høyere synkverdier enn siktet. Dette er forventet ettersom disse inneholder større partikler, og støttes ved sammenligningen av partikkelinnholdet i figur 5.1-3.



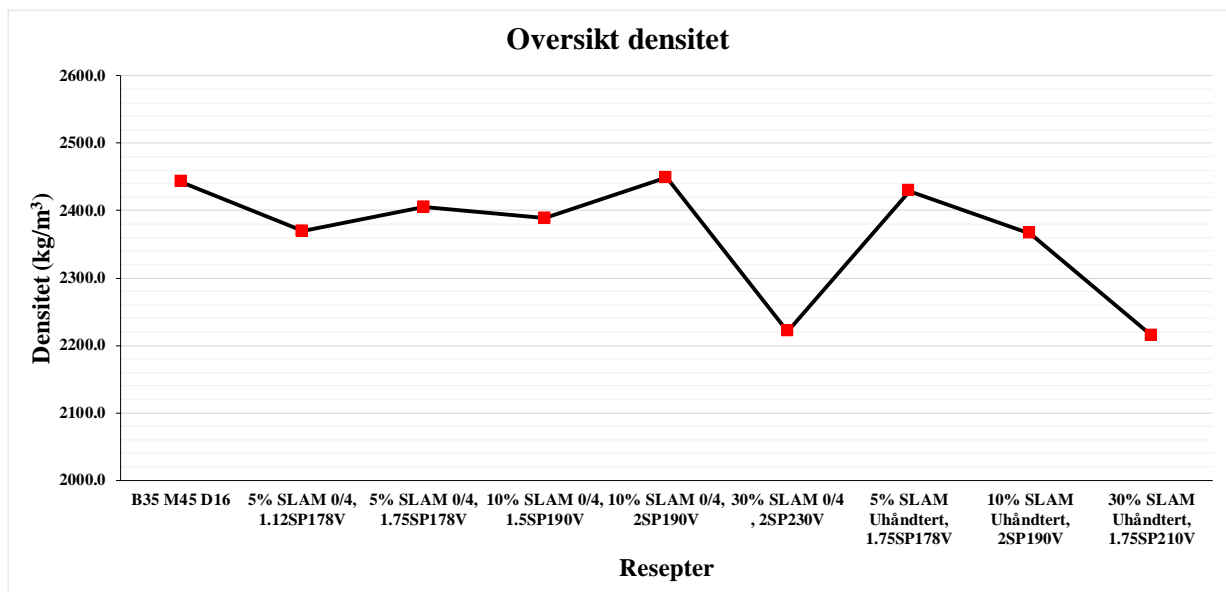
Figur 5.2-4: Slammets partikkelstørrelses påvirkning på synk

Synkmålet for 5% SLAM 0/4 er 6.94% lavere enn 5% SLAM uhåndtert, der eneste forskjell i disse reseptene er at den uhåndterte inneholder større slampartikler. Synkmålet for 10% SLAM 0/4 er 10.25% lavere enn 10% SLAM uhåndtert, som inneholder et større antall store slampartikler. Den prosentvise endringen i synk er større der innholdet av slam er større.

Figuren viser og forskjellen mellom reseptene som inneholdt 30% slam. I resepten med 30% SLAM 0/4, 2SP230V ble synkmålet 40mm, mens 30% SLAM uhåndtert, 1.75SP210V har 26mm i synk. Selv om synkmålet i den ubehandlede varianten er lavere enn den med siktet 0/4 mm, skyldes dette det økte vannbehovet og SP-mengden. Dersom disse reseptene hadde hatt like verdier for vannbehov og SP-mengde, ville den sannsynligvis vært den mest markante forskjellen i synk.

5.2.5 Betongslams påvirkning av densitet

Ved produksjonen av normalbetong ligger betongens densitet typisk i spranget mellom 2000 kg/m³ og 2600 kg/m³ [31]. Alle betongblandingene hvor betongslam er innlemmet befinner seg i dette området, illustrert i Figur 5.2-5. Prøvereseptene med 30% betongslam har noe lavere densitet, Dette kan skyldes det økte vannbehovet for disse reseptene. Det kan forklares ved at blandinger med høyere vannbehov har lavere densitet, ettersom vannets densitet er betydelig lavere enn tilslaget.

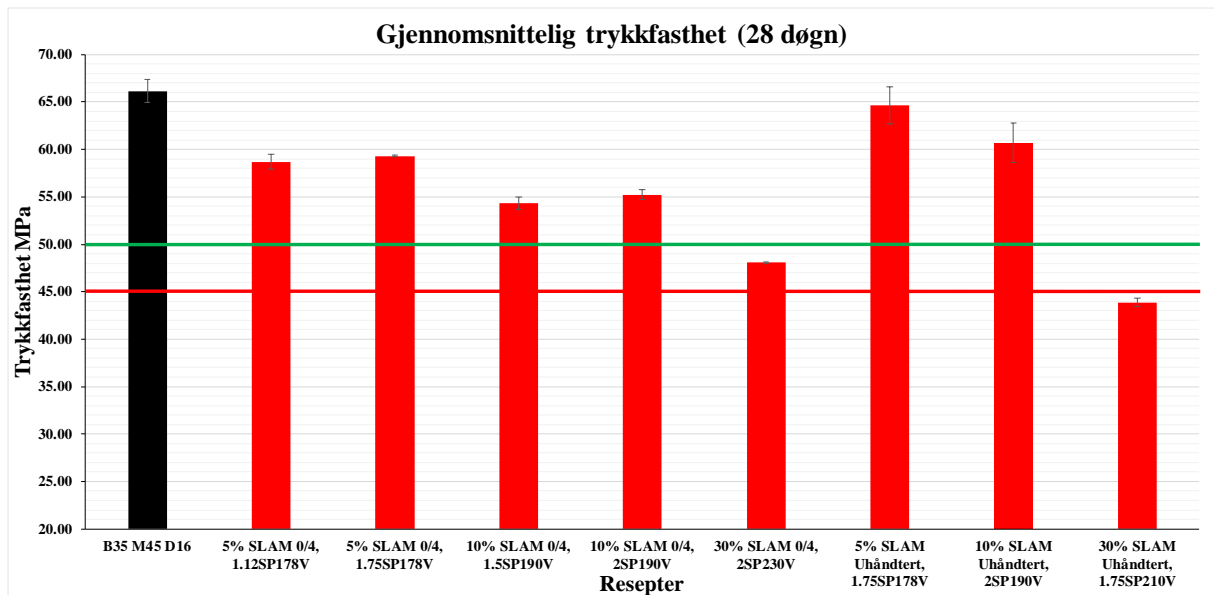


Figur 5.2-5: Oversikt densitet

5.3 Betongslams påvirkning av trykkfasthet

I kapittel 4.2: *Resultater fra betongprøver*, presenteres betongblandingenes trykkfasthet etter 2 og 28 døgn. I det følgende diskusjonssegmentet vil en nærmere analyse av de observerte forskjellene i trykkfasthet bli gjennomført. Ytterligere vil denne diskusjonen adressere faktorene som har påvirket betongblandingenes trykkfasthet.

Tidligere vist i avsnitt 2.8: *Trykkfasthet – og bestandighetsklasser*, benyttes tabell 2.8-1 hentet fra NA.2 i NS-EN-206 for å kategorisere trykkfasthetsklassene til betong. I henhold til denne tabellen skal referanseresepten (B35 M45 D16) ha en terningfasthet $f_{ck,cube} \geq 45$ MPa etter 28-døgn. I tabellen nedenfor presenteres en grafisk fremstilling av endelig trykkfasthet. Den horisontale røde linjen indikerer minimumstrykkfastheten som kreves for en B35 betong, mens den grønne horisontale linjen representerer sikkerhetsmarginen på 5 MPa. Sikkerhetsmarginen er definert i NS-EN 206-kapittel 8, og er for at produksjonen av mange tonn betong skal stå til krav, selv med uforutsette feil i blandingen.

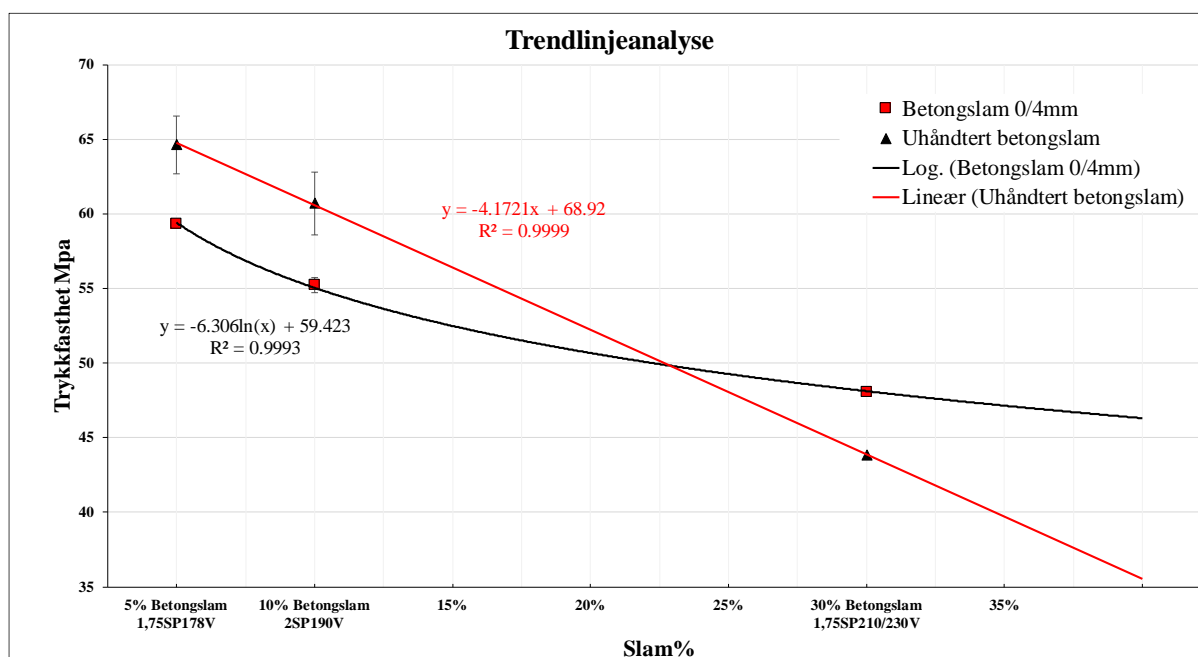


Figur 5.3-1: Prøveresultat av trykkfasthet

I tabellen over observeres det at referanseresepten har gitt en trykkfasthet langt over krav og sikkerhetstillegg. Andre verdier å merke seg er 5% slam uhåndtert, 1.75SP178V, denne har oppnådd en gjennomsnittlig trykkfasthet på 64,64 MPa. Dette er den høyeste trykkfastheten oppnådd i testene med innlemmet betongslam. Trendene i trykkfasthet ved bruk av slam, er at fastheten synker ved økning i slamprosent. Alle betongblandningene utført med 5 – og 10% slam har oppnådd terningfasthet $f_{ck,cube} \geq 50$ MPa, og overstiger sikkerhetsmarginen til trykkfasthet. Dette indikerer at ved innlemmingen av slam rundt disse mengder kan være produksjonsdyktig.

Det siktede slammet har lavere fasthet ved mindre mengder tilsatt slam, enn det ubehandlede slammet. Fastheten ved økende mengder slam synker raskere ved bruk av det ubehandlede slammet. Derav finnes det et punkt hvor bruken av siktet slam er mer fordelaktig å bruke sammenlignet med ubehandlet slam illustrert ved trendlinjeanalysen kapittel 5.3.1. I figur 5.3-1 er det lagt inn feilfelt, der verdiene tilsvarer de to terningene som er støpt pr. blanding. I figuren observeres det største feilfeltet ved de ubehandlede prøvene. Dette kan skyldes at store mengder agglomererte slampartikler er inkludert i terning-støpningen. Dette kan bidra til usikkerhet i testingen, ved at slampartiklene kan ha påvirket slamprosenten i blandingen, videre forklart i 5.3.3: *Ulikheter mellom testklosser*.

5.3.1 Trendlinjeanalyse



Figur 5.3-2: Slamprosentens påvirkning av 28 døgns trykkfasthet og trend

Figur 5.3-2 viser gjennomsnittlig trykkfasthet basert på terninger ved innlemming av 5%, 10% og 30% ubehandlet og siktet slam. Reseptene med lik prosentandel av slam er tilnærmet like, hvor forskjellen er hvilken slamtype som er innlemmet. Figuren viser en trendlinje for hver av de to slamtypene testet i dette prosjektet. Trendlinjene er tilpasset de resultatene det siktede og uhåndterte slammet gir. Det er brukt en lineær trendlinje for resultatene fra det uhåndterte slammet, ettersom resultatene indikerer at reduksjonen i trykkfasthet beveger seg lineært ved økning i mengde slam. Det siktede slammet er representert ved en logaritmisk trendlinje, ettersom dette er mer nøyaktig for trendlinjer der verdiene synker kraftigere i starten sammenlignet med slutten. Determinasjonskoeffisient på nærme 1 betyr at trendlinjen er en god estimering, noe begge trendlinjene indikerer.

Det er ikke testet nok blandinger med ulike mengder slam for å kunne anslå den maksimale slammengden som kan tilsettes og fortsatt oppnå tilstrekkelig trykkfasthet ($f_{ck,cube} \geq 45$ MPa). Figur 5.3-2 gir likevel en antagelse over hvordan ulike mengder siktet og uhåndtert slam påvirker trykkfasthet. Denne antagelsen er gjort med forutsetning at konsistensutviklingen ikke er tatt til betraktning. Figuren sier også noe om hvilken grad de ulike typene slam har evnen til å gjenskape jevne resultater i flere betongblandinger. Det kan observeres i figuren at det ubehandlede slammet synker kraftigere enn det siktede slammet ved høyere mengde slam. Dette indikerer at ujevnheter i det uhåndterte slammet vil ha en større påvirkning på betongens fasthet enn det siktede slammet.

Ved å bruke funksjonene til trendlinjene kan det anslås at bruken av 20% uhåndtert eller siktet slam, vil kunne følge kravene satt for trykkfasthet til en B35 betong. Her er det tatt hensyn til produsentenes sikkerhetsmargin på 5 MPa. For tilstrekkelig proporsjonerte blandinger kan det anslås at det vil være mulig å fremstille betongblandinger med omtrent 27% ubehandlet slam, som fortsatt har terningfasthet $f_{ck,cube} \geq 45$ MPa. For tilstrekkelig proporsjonerte blandinger med siktet slam indikerer figuren at det kan innlemmes over 40% siktet slam, der terningfasthet over 45 MPa er bevart. Det er viktig å presisere at dette ikke nødvendigvis lar seg gjøre i praksis med tanke på proporsjonering, bestandighet og støpelighet. Resultatene kan være en indikasjon på at betongslam som en erstatter for tilslag, kan bevare betongblandingsens trykkfasthet til en viss grad.

5.3.2 Slampartiklers påvirkning på trykkfasthet

Til tross for at det ikke er utført noen form for mineraltrykktesting, eller evaluering av slammets forhold til trykkbelastning, er det tydelige forskjeller på trykkfasthet mellom referanseresepten og blandinger med stor prosentvis mengde slam. Det er også tydelige observasjoner gjort i Figur 5.1-1 og 5.1-2 hvor kun lett knusing med hammer påvirker slampartiklene. Det kan derfor antas at innlemmingen av betongslammet er ansvarlig for reduksjonen i trykkfasthet. Ved vibrering av prøvestykker med større slampartikler er det og blitt bemerket at slampartiklene flyter opp på grunn av deres lavere massetetthet sammenlignet med resten av tilslaget. Dette er illustrert i Figur 5.3-3. Ved trykktesting av denne klossen løsnet betongslam delen før bruddlasten ble oppnådd, noe som indikerer at dette området er terningens svakeste punkt. Observasjonen er lettest gjort ved store slampartikler, men antas også å forekomme i blandinger med siktet slam. Gjennomsnittlig har prøvestykkene med siktet slam lavere trykkfasthet enn de ubehandlede prøvene. Dette kan skyldes den fastheten partiklene som har agglomerert har skapt.



Figur 5.3-3: Visualisering av betongslampartiklers tetthet

5.3.3 Ulikheter mellom test-klosser

Figurene 5.3-1 og 5.3-2 viser trykkfasthet for betongreseptene, i disse grafene er det også lagt inn et feilfelt i hvert resultat. Disse feilfeltene viser standardavviket mellom to testede klosser i hver resept. I Figur 5.3-1: *Prøveresultat av trykkfasthet* observeres en større forskjell i standardavviket mellom prøvene gjort med ubehandlet – og siktet slam. Dette oppstår mest sannsynlig på grunn av ulik mengde store slampartikler i de støpte klossene med ubehandlet slam. De store slampartiklene har ulik styrke funnet ved knusingen av slammet før sikteanalyse, her ble det funnet at noen slampartikler var hardere å knuse enn andre. Dette kan stamme fra ureagert sement i betongslammet, som fører til at reseptene med lavere andeler ubehandlet slam oppnår høyere gjennomsnittlig fasthet, sammenlignet med reseptene med lave mengder siktet slam.

Terningene med 30% ubehandlet slam har et lavt standard avvik på +/- 0,43 MPa. Dette indikerer at begge klossene har større mengde store slampartikler, noe som tilsier at begge blandingene mest sannsynlig inneholder den mengden slam de skal. For lavere doseringer med ubehandlet slam kan forskjellen mellom klossene være større, ettersom store agglomererte slampartikler øker slam% for den enkelte terningen. Feilkildene blant de lavere doserte blandingene med ubehandlet slam kan skyldes at den ene terningen unngår store slampartikler, mens den andre terningen får flere av disse, til tross for tiltenkt lik slamprosent. Det vil derfor være vanskeligere å kontrollere nøyaktig slaminnhold i hver av terningene. I praksis vil en slik blanding ha svake punkter der de agglomererte partiklene forekommer, vist i figur 5.3-3.

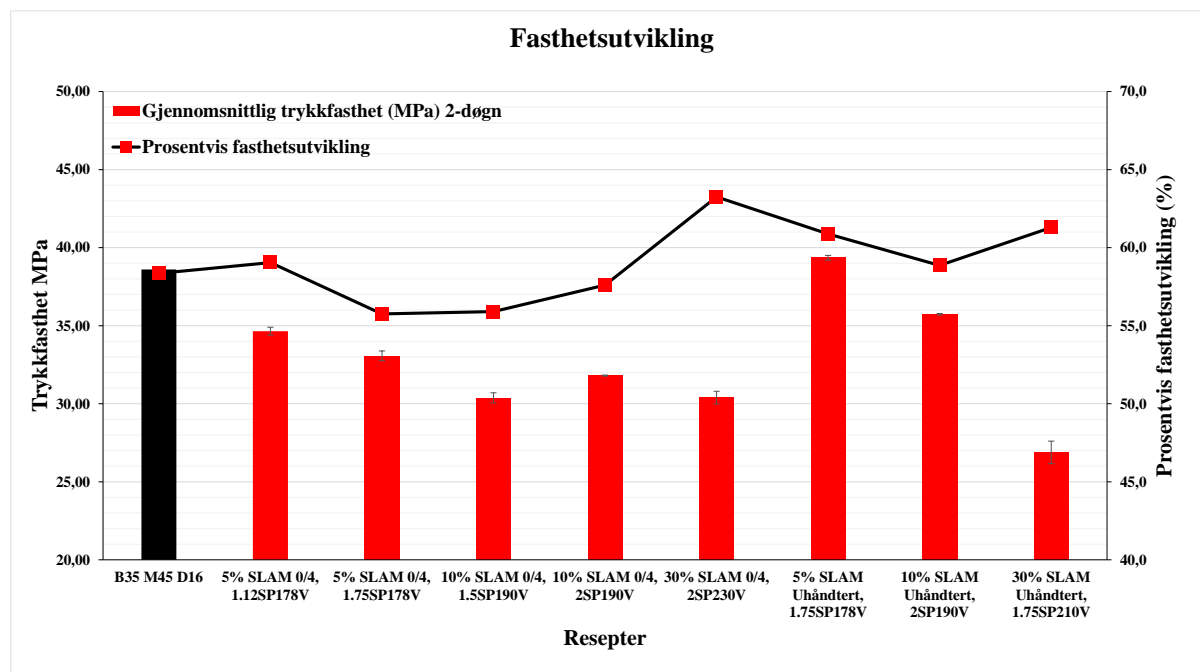
5.3.2 Økt vannbehovs påvirkning på trykkfasthet

Forklart i kapittel 5.2, hadde betongblandingene som inneholder betongslam et større vannbehov enn referanseresepten. I resultatene observeres det at blandingene som krevde et høyere vannbehov hadde lavere trykkfasthet sammenlignet med hverandre. I prosjektet ble det ikke utført to like tester der eneste forskjellen var økt vannbehov, men det kan observeres at kombinasjonen med økt slam-innhold og da økt vannbehov skaper dårligere trykkfasthet.

5.3.5 Fasthetsutvikling

Tommelfingerregelen for trykkfasthet ved normert herding etter 2 døgn, er 40% av endelig fasthet [39]. For en tilstrekkelig trykkfasthet etter 28 døgn, er det da ønskelig med en 2 døgns fasthet over 20,0 MPa for en endelig fasthet på 50 MPa.

Figur 5.3-4 viser et kombinert diagram hvor stolpene indikerer to døgns trykkfasthet, mens linjen viser blandingenes prosentvise fasthetsutvikling etter to døgn. Den prosentvise fasthetsutviklingen er økningen i betongens trykkfasthet etter 2 døgn, uttrykt som en prosentandel av betongblandingens endelige trykkfasthet. For eksempel observeres det at referanseresepten har en to døgns trykkfasthet på 38,6 MPa, og at dette tilsvarer 58,4% av dens endelige trykkfasthet.



Figur 5.3-4: Fasthetsutvikling

Ved å sammenligne 2 døgns trykkfasthet med endelig trykkfasthet, observeres det at prøvene som inneholder store mengder betongslam har høy prosentvis fasthetsutvikling etter to døgn. I figuren kan det observeres at reseptene med 30% betongslam, har hatt fasthetsutvikling på over 60% av endelig trykkfasthet. At en resept har lavere tidlig fasthet og høyere prosentvis utvikling er et dårlig tegn, dette indikerer at den endelige trykkfastheten er dårlig.

Tidlig prosentvis fasthetsutvikling for resepter med store mengder slam, kan tilskrives at slampartiklene inneholder ureagerte sementpartikler. Når disse partiklene kommer i kontakt med vann, vil hydratiseringsprosessen inneholde mer sement enn opprinnelig proporsjonert. Dette fører til en akselerert hydratiseringsprosess. Noe av fasthetsutviklingen kan også skyldes tidspunkt klossene er støpt, da blandingene er støpt på ulike tidspunkter og trykktestet på samme tid.

5.4 Sirkulærøkonomi og miljø

Innlemmingen av betongslam i ny betongproduksjon kan bidra til å fremme den sirkulære økonomien til en bedrift. Gjenbruk av slam i betongproduksjonen kan bidra til å redusere miljøbelastningen fra avfall. Slam som tidligere ble levert til deponi, har muligheten til å bli en ressurs i betongproduksjonen. Dette kan bidra til å redusere utslippene av klimagasser fra avfallsdeponier, samt risiko for utlekking av naturskadelige stoffer til nærliggende områder. I tillegg vil gjenbruken bidra til å bevare naturressurser ved å redusere behovet for å utvinne nye råvarer, for eksempel naturgrus som er en ikke-fornybar ressurs.

Videre kan innlemmingen av slam i betongproduksjon føre til kostnadsbesparelser og økt lønnsomhet for en bedrift. Årlig sender Betong Øst omtrent 25,000 tonn med slam til deponi rundt om i landet. Deponeringen koster ca. 300kr per tonn som tilsvarer 7,5 MNOK, dette er utenom behandling – og transportkostnader. Ved å inkludere slam som en erstatter for tilslag, kan bedriften redusere kostnader forbundet med deponering av slam og innkjøp av nytt tilslag.

Redusert behov for utvinning av nye råvarer for betongproduksjonen er en fordel ved innlemmingen av slam. Betongproduksjon krever store mengder sand og grus, som hentes fra naturlige forekomster gjennom utvinningsprosesser. Disse er ressursintensive og fører til utslipp av klimagasser. Gjennom innlemming av slam som en erstatning for deler av tilslaget, kan behovet for utvinning av naturressurser minke.

Gjenvinning av slam kan være et miljøvennlig tiltak for å redusere betongprodusenters CO_2 avtrykk. Utvinning og transport av tilslag gir store utslipp av CO_2 , og reduseringen fører til et lavere CO_2 -avtrykk. CO_2 -utslipp fra transport til deponi blir også bespart. Gjennomsnittsavstanden til deponi er gitt av LCA og er 85 km. Ett lass slam kan maks være 30 tonn og utslippet fra denne transporten pluss selve deponeringen ligger på $0.02596 \frac{kg CO_2}{kg Slam}$.

Innlemming av betongslam på mer enn 5% av total tilslagsmengde, øker mengden vannbehov og derav mengden sement. Sement er miljøversten med tanke på betongproduksjon og i utregningen under vises et eksempel fra en resept med 10% slam. I tabell 5.4-1 presenteres mengden utslipp til betongblandingen med slam, i $\frac{kg CO_2}{m^3}$, sammenlignet med referanseresept.

Formelen for utregning av CO₂:

$$CO_2 = GWP * sement\ mengde * 1,1$$

For 1m³ betongblanding med 10% slam og vanninnhold på 190 L: Utregnet for ekstra sement proporsjonert fra referanse.

$$Ekstra\ CO_2 = 0,568 \frac{kg\ CO_2}{kg\ sement} * 26,97 \frac{kg\ sement}{m^3\ betong} = 15,32 \frac{kg\ CO_2}{m^3\ betong}$$

For å finne ut hvor mye CO₂ som blir bespart ved slippe transport og utslipp til deponi, brukes en konstant lik $0,02596 \frac{kg\ CO_2}{kg\ slam}$. Denne konstanten er beregnet fra verdier gitt for CO₂- utslipp til transport og deponi, utgitt på LCA.no. Avstanden som brukes for transporten i denne utregningen 85 km, og er snittverdien alle betongprodusenter må følge. Kilogram CO₂ spart for resepten med 10% slam kan da regnes ut:

$$Bespart\ utslipp = 186,4 \frac{kg\ slam}{m^3\ betong} * 0,02596 \frac{kg\ CO_2}{kg\ slam} = 4,8379 \frac{kg\ CO_2}{m^3\ betong}$$

Beregningen på differansen mellom utslipp av CO₂ fra referanseresepten og resepten med 10% slam, gir en forskjell på $15,32 \frac{kg\ CO_2}{m^3\ betong}$. Når det trekkes fra CO₂ bespart, ligger resultatet på +10,48 $\frac{kg\ CO_2}{m^3\ betong}$. Det vil si at denne blandingen har et høyere utslipp av CO₂, og slipper ut 10,48 kg mer CO₂ for hver kubikk betong produsert sammenlignet referanseresepten. Samme utregning er gjort for alle resepter brukt i dette prosjektet gitt i kolonne CO₂ differanse. Kolonnen *Unngått avfall* viser mengden bespart avfall med slam, i kg, for hver m³ betong produsert av de respektive reseptene.

Tabell 5.4-1: CO₂ utslipp bespart

Resepter	CO ₂ differanse ($\frac{kg\ CO_2}{m^3}$)	Unngått avfall ($\frac{kg}{m^3}$)
B35 M45 D16	0	0
5% SLAM 0/4, 1.12SP178V	-2.42	93.18
5% SLAM 0/4, 1.75SP178V	-2.42	93.18
10% SLAM 0/4, 1.5SP190V	10.48	186.36
10% SLAM 0/4, 2SP190V	10.48	186.36
30% SLAM 0/4, 2SP230V	51.86	559.09
5% SLAM Uhåndtert, 1.75SP178V	-2.42	93.18
10% SLAM Uhåndtert, 2SP190V	10.48	186.36
30% SLAM Uhåndtert, 1.75SP210V	26.33	559.09

Tabell 5.4-1 indikerer at resepter med økt vannbehov gir større utslipp av CO_2 enn referansen. Tabellen viser også at reseptene med 5% slam gir lavere utslipp. Resultatene har kun tatt faktorene for sement, transport og deponering til betraktning. En helhetlig livsløpsanalyse er nødvendig for å kartlegge den faktiske effekten gjenbruk av betongslam skaper. Selv om noen av reseptene indikerer økt CO_2 -utslipp, bør det tas i betraktning at slammet som blir innlemmet ikke havner i naturen. Dersom Betong Øst produserer $1m^3$ med resepten med 10% slam, i stedet for referanseresepten, vil de slippe ut 10.48 kg mer CO_2 . Dette innebærer samtidig at de unngår utslipp av 186 kg slam til natur. For å sette resultatet i perspektiv, vil produksjonen av denne resepten innlemme slammengden Betong Øst genererer fra produksjon av $4m^3$ fabrikkbetong.

6 Konklusjon

Hovedfokuset i dette prosjektet er å undersøke om det finnes et potensial for gjenbruk av betongslam i fremstillingen av fabrikkbetong. Oppgaven setter søkelys på hvordan innlemmingen av betongslam påvirker betongens konsistens og trykkfasthet. Metodevalget i prosjektet bidrar til å danne en nyansert forståelse av oppgavens problemstilling, ved å produsere tilstrekkelig empirisk data. Dette styrker sammenligningsgrunnlaget ved analysing av resultater.

Sikteanalysene har bekreftet at betongslam ofte agglomereres til større slampartikler. I betongblandingene er det innlemmet to slamtyper, der en er siktet til 0/4mm og en er uhåndtert. Innlemming av betongslam fører til et økt vannbehov, der en del av behovet kan balanseres med økt dosering av SP-stoff. Økningen av vannbehovet er skapt av slam og skyldes tre nøkkelfaktorer: tilstedeværelsen av finstoff som ikke er nedbrutt, kornform etter nedbryting, og slammets høyere absorberingsevne. Ved proporsjonering av betongblandinger med betongslam kan ønskelig konsistens oppnås med økt vannbehov og dosering av SP-stoff. Betongblandinger med økt mengde betongslam er ideelle for konstruksjoner uten krav til flyteevne.

Resultatene indikerer at innlemmingen av betongslam påvirker betongens trykkfasthet negativt. Likevel har laboratorieforsøkene vist at det er mulig å fremstille betongblandinger med relativt høye mengder betongslam, med akseptabel trykkfasthet iht. NS-EN 206. Trenden ved innlemming av større mengder betongslam indikerer at trykkfastheten synker ved økning i mengde slam. Trendkurveanalysen tyder på at bruken av slam siktet til finere partikler gir en mer forutsigbar trykkfasthet, sammenlignet med større slampartikler som kan skape svake punkter. Store mengder slam svekker 2 døgns trykkfasthet, selv om fasthetsutviklingen er akselerert.

Gjenbruken av betongslam i ny betong bidrar til å fremme sirkulærøkonomi ved å gjeninnføre et restprodukt tilbake i ny produksjon. Ved proporsjonering av betong med slam kan en utfordring være det økte vann – og sementbehovet. Dette fører til økt utslipp av CO_2 , men reduser mengden avfall sendt til deponi. Ved lave doseringer slam kan betongens egenskaper bevares uten økning i vannbehov, og derav være en mer miljøvennlig blanding.

Prosjektet anser derfor at det eksisterer et gjenbrukspotensial for å benytte betongslam i fremstillingen av fabrikkbetong, til tross for at innlemmingen påvirker betongens trykkfasthet og konsistens negativt.

7 Videre arbeid

Tidsbegrensninger og resurstilgjengelighet har gjort det nødvendig å sette spesifikke avgrensninger for dette arbeidet. Gjennom opparbeidingen av kunnskap under prosjektets løp, har det dukket opp nye parametere som ennå ikke er testet, og gir grunnlag for videre forskning. For testing av slam som tilslag, har oppgaven kun gjort forsøk på partikkelstørrelser. Det er imidlertid et behov for en grundigere analyse av slam-partiklenes struktur og sammensetning. Dette vil være nyttig for å få en dypere forståelse av hvorfor innlemmingen av betongslammet påvirker betongen på den måten den gjør. Tester av betongslammets påvirkning på støpelighet og bestandighet vil være nødvendig før betongslam kan anvendes i produksjon av ferdigbetong. Herdede egenskaper som kryp, strekk, svinn og porestruktur er også noen av parameterne som må undersøkes videre. Utfordringene møtt under dette prosjektet, samt refleksjoner gjort i etterkant, kan være en verdifull læringsressurs for fremtidige prosjektgrupper som ønsker å se på muligheten for gjenbruk av betongslam.

For oppgavens samarbeidspartnere, samt andre aktører i betongbransjen, vil prosjektet presentere muligheten for gjenbruk av deres restprodukt tilbake i egen produksjon. Betongslam er pr. dags dato ikke inkludert i det norske standardverket for betongproduksjon. Prosjektets overordnede formål er å indikere om det eksisterer et potensiale for videre forskning på dette området. Gitt det, vil det være nødvendig med ytterligere arbeid dersom gjenbruk av betongslam skal realiseres i praksis. Dersom videre arbeid fører til gode nok resultater for betongprodusentene, og potensialet for reduksjon av avfall er til stede, vil det være nødvendig å engasjere en dialog med standardiseringsorganisasjoner og myndigheter for å kartlegge bruken av dette. Kartleggingen bør blant annet inkludere tydelige retningslinjer over tillat mengde slam, og en standard metode for fraksjonering av betongslammet. Dersom betongslam skal kunne bli benyttet i betongproduksjon, krever dette effektive og standardiserte løsninger for at det skal være attraktivt å ta i bruk for produsentene. Dette vil kreve samarbeid mellom bransjens forskere og myndigheter for å sikre gode standarder og krav, samtidig som innovasjonen står i sentrum.

8 Kildeliste

- [1] *Forskrift om endring i forskrift om forurensning (nytt kapittel om forurensning fra produksjon av betong)*, Lovdata, 2022. <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2022-12-20-2450>
- [2] *NS-EN 206, Betong Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar*, Standard-Norge,2022, <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1446689>
- [3] Sintef-Byggforsk, "Steinmaterialer. Sand, grus og pukk," 2004. [Online]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/3204/steinmaterialer_sand_grus_og_pukk.
- [4] Sintef-Byggforsk, "Sement. Typer, egenskaper og bruksområder," 2016. [Online]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/589/sement_typer_egenskaper_og_bruksomraader.
- [5] Miljødirektoratet. "Veileder til forurensningsforskriften kapittel 33 - Viktige definisjoner." <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/forurensning/industri/for-naringsliv/betongproduksjon/viktige-definisjoner/>
- [6] B. Pedersen, "Sedimentering," snl.no, 2023. [Online]. Available: <https://snl.no/sedimentering>
- [7] A. Hauge, "Tungmetaller," 2018. [Online]. Available: <https://sml.snl.no/tungmetaller>
- [8] Byggeindustrien, "Mapei - Slik skal utslippene fra betongindustrien reduseres," 2022. [Online]. Available: [https://www.bygg.no/annonsorinnhold/mapei/mapei-slik-skal-utslippene-fra-betongindustrien-reduseres/1496188!/.](https://www.bygg.no/annonsorinnhold/mapei/mapei-slik-skal-utslippene-fra-betongindustrien-reduseres/1496188!/)
- [9] Norsk-Betongforening, "Visste du dette om betong og miljø?," 2016. [Online]. Available: <https://betong.net/wp-content/uploads/17966-Visste-du-dette-om-betong-og-milj%C3%B8-WEB.pdf>.
- [10] *Forskrift om begrenning av forurensning: Kapittel 33. Forurensning fra produksjon av fabrikkbetong, betongvarer og betongelementer*, 2023. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_8-10#KAPITTEL_8-10
- [11] Betong-Øst. "Miljø." <https://betongost.no/miljo/>
- [12] Sintef-Byggforsk, "Veiledning for behandling av restmaterialer ved betongproduksjon," 2007. [Online]. Available: <https://www.statsforvalteren.no/siteassets/utgatt/fm-telemark/dokument-fmte/miljo-og-klima/forurensning/2015/tillatelser/alltid-betong-as/veileder-for-behandling-av-restmaterialer--ved-betongproduksjon.pdf>.
- [13] *NS-EN 1008, Blandevann for betong - Krav til prøvetaking, prøving og vurdering av vannets egnethet, medregnet gjenvunnet vann brukt i betongproduksjonsanlegg, som blandevann for betong*, Standard-Norge,2002, <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=135565>
- [14] *Forurensningsforskriften. Del 7. Krav til forebygging av forurensning fra visse virksomheter eller utslippskilder*, Lovdata, 2023. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_8-10#%C2%A733-1
- [15] *Lov om vern mot forurensninger og om avfall (forurensningsloven)*, Lovdata, 1983. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6>
- [16] AF-Gruppen. "Nes Miljøpark." <https://afgruppen.no/prosjekter/miljo/esval/>
- [17] *NS-EN 12620, Tilslag for betong*, Standard-Norge,2016, <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=866016>
- [18] Norsk-betongforening, "Sirkulærøkonomi for betong," *Norsk betongforening*, vol. Rapport nr. 10, 2022. [Online]. Available: <https://betong.net/wp-content/uploads/20221216-Rapport-10-formatert-08.03.pdf>.
- [19] *NS-EN 933-1, Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling - Sikteanalyse*, Standard-Norge,2012,

- <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=524953>
- [20] *ISO 3310-1*, Test sieves — Technical requirements and testing — Part 1: Test sieves of metal wire cloth, Standard-Norge,2016,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=827523>
- [21] *ISO 3310-2*, Test sieves — Technical requirements and testing — Part 2: Test sieves of perforated metal plate, Standard-Norge,2013,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=654027>
- [22] *NS-EN 933-3*, Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 3: Bestemmelse av kornform - Flisighetsindeks, Standard-Norge,2012,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=653832>
- [23] *NS-EN 1097-1*, Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 1: Bestemmelse av motstand mot slitasje (micro-Deval), Standard-Norge,2011,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=479403>
- [24] *NS-EN 197-1*, Sement - Del 1: Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper, Standard-Norge,2011,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=507733>
- [25] *NS-EN 934-2*, Tilsetningsstoffer for betong, mørtel og injiseringsmasse — Del 2: Tilsetningsstoffer for betong — Definisjoner, krav, samsvar, merking og etikettering, Standard-Norge,2012,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=587855>
- [26] *NS-EN 12350-1*, Prøving av fersk betong - Del 1: Prøvetaking og vanlig utstyr, Standard-Norge,2019,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1106510>
- [27] *NS-EN 12350-2*, Prøving av fersk betong - Del 2: Synkmål, Standard-Norge,2019,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1106511>
- [28] *NS-EN 12350-5*, Prøving av fersk betong - Del 5: Utbredelsesmål, Standard-Norge,2019,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1106514>
- [29] *NS-EN 12350-8*, Prøving av fersk betong - Del 8: Selvkomprimerende betong - Synkutbredelsesmetode, Standard-Norge,2019,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1104975>
- [30] *NS-EN 12350-6*, Prøving av fersk betong - Del 6: Densitet, Standard-Norge,2019,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1106515>
- [31] Kontrollrådet. "Betongens ABC." <https://kontrollbetong.no/aktuelt/betongens-abc/>
- [32] N. AS. "Om livsløpsvurdering – LCA (Life Cycle Assessment)." <https://norsus.no/om-livslopsvurdering/>
- [33] *NS-EN 12390-3*, Prøving av herdnet betong - Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet, Standard-Norge,2019,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1107001>

- [34] (2016). *Håndbok R210; Laboratorieundersøkelser*. [Online] Available: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-r210-laboratorieundersokelser-2016.pdf>
- [35] *NS-EN 1097-5*, Prøvmingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 5: Bestemmelse av vanninnhold ved tørking i ventilert tørkeskap, Standard-Norge, 2008, <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=337112>
- [36] *Kvalitetskontroll av fersk betong*, 2015. https://www.byggforsk.no/dokument/286/kvalitetskontroll_av_fersk_betong
- [37] Servi-Group. "SERVI AS - Totalleverandør av prøveutstyr til Bygg- og Anleggsbransjen." <https://proveutstyr.servi.no/>
- [38] Mapei, "Dynamon SR-N," 2020. [Online]. Available: https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider60/products-documents/1_06917_dynamon-sr-n_no_6b77cbd3bdc94572a34b1e020e658c96.pdf?sfvrsn=c3725999_0.
- [39] Ø. Betong. "God og sikker løsning for betongvegg." Ølen Betong. <https://www.olenbetong.no/produkter/ferdigbetong/bruksomrader/vegg>

9 Vedlegg

Vedlegg A – Produktdeklarasjoner.

Vedlegg B – Bilder av materialer og utstyr

Vedlegg C – Sertifikat og kalibreringsbevis

Vedlegg D – Sikteanalyseeskjemaer

Vedlegg E – Sikteanalyseeskjemaer Tørrvask Mapei

Vedlegg F – Proporsjonerings- og blandereseptskjema

Vedlegg G – Bilder av Laboratoriearbeid

Vedlegg H – Resultater

Vedlegg A – Produktdeklarasjoner

A-1 – STD FA

PRODUKTDATABLAD

STANDARDSEMENT FA

CEM II/B-M(V-L) 42,5 R

SIST REVIDERT MARS 2023

Sementen tilfredsstiller kravene i NS-EN 197-1:2011 til Portland blandingssement CEM II/B-M(V-L) 42,5 R.

Egenskap		Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1:2011
Finhet (Blaine m ² /kg)		450	
Spesifikk vekt (kg/dm ³)		3,00	
Volumbestandighet (mm)		1	≤10
Begynnende størkning (min)		150	≥60
Trykkfasthet (MPa)	1 døgn	19	
	2 døgn	29	≥20
	7 døgn	40	
	28 døgn	53	≥42,5 ≤62,5
Sulfat (% SO ₃)		≤4,0	≤4,0
Klorid (% Cl ⁻)		≤0,085 (B) / ≤0,05 (K)	≤0,10
Vannløselig krom (ppm Cr ⁶⁺)		≤2	≤2 ¹⁾
Alkalier (% Na ₂ O _{ekv})		1,4 (B) / 1,5 (K)	
Klinker (%)		76	65-79
Flygeaske (%)		18	21-35
Kalksteinsfiller (%)		6	

1) I henhold til EU-forordning REACH Vedlegg XVII punkt 47 krom VI-forbindelser

B = Brevik og K = Kjøpsvik



Heidelberg Materials Sement Norge AS,
Postboks 143, Lilleaker, NO-0216 Oslo
firmapost@heidelbergmaterials.com
www.sement.heidelbergmaterials.com

A-2– Vang 0/8



1111

**Hamar Pukk og Grus AS, avd Vang Grustak,
Bjørgedalsvegen 875, 2323 Ingeberg**

20

Nr. CPR-10-12620-2021-0/8-1

NS-EN 12620:2002 +A1:2008/NA:2016

Fint tilslag 0/8mm natur grus.

Tilslag for betong.

Opplysninger om produktets vesentlige egenskaper: Se vedlagte ytelseserklæring
og hjemmeside www.hamarpukkoggrus.no

YTELSESERKLÆRING NR. CPR-10-12620-2021-1

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | Identifikasjonskode for produkttypen | Naturlig gradert tilslag til bruk i betong |
| 2. | Type produkt | Tilslag 0/8mm NG |
| 3. | Bruksområde | Tilslag for betong |
| 4. | Produsent | Hamar Pukk og Grus AS,
Bjørgedalsvegen 875,
2323 Ingeberg |
| 5. | Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant) | Ikke relevant |
| 6. | Systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V | System 2+. |
| 7. | Ytelseserklæringen i hehold til Standard NS-EN 12620 | NS-EN 12620:2002 +
A1:2008+NA:2016
Sertifiseringsorganet
Kontrollrådet (1111) har
utstedt sertifikat for
produksjonskontrollen i
samsvar med system 2+
basert på revisjon av
produksjonsanlegget og
produksjonskontrollen. |
| 8. | Angitt ytelse | Se neste side |

9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8
Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.
Undertegnet for og på vegne av produsenten av:

Morten Torp, daglig leder

Hamar Pukk og Grus AS, Vang 31.01.22

Sted og utstedelsesdato


Underskrift

Harmonisert teknisk spesifikasjon: **NS-EN 12620:2002 +A1:2008+NA:2016**

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	0/8mm, NG
Gradering	GNG 90
Korndensitet	2,66 Mg/m ³
Vannabsorpsjon Toleranse i henhold til NA 13	0,20%, +/- 0,3
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	F1
Finstoffinnhold	f ₁₀
Kvalitet på finstoff	Godkjent
Alkali – silika - reaktivitet %, Sv	96
Klorider	0,00 %
Syreløselig sulfat	AS _{0,2}
Totalt innhold av svovel	0,03 %
Skjellinnhold i grovt tilslag %	0,00
Kalkstein, %	0,0
Bestanddelere som påvirker styrknings – og herdetiden.	Ingen
Farlige stoffer	Ikke påvist
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	Sandstein, gneis, granitt og kvartsitt
Motstand mot knusing	LA ₂₀
Volumstabilitet	Ikke bestemt
Sammensetning/innhold: <ul style="list-style-type: none"> Bestanddelere i grovt resirkulert tilslag Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag Innflytelse på begynnende styrkning av sement (resirkulert tilslag) Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong 	Ikke bestemt

A-3 – 11/16 Grovt tilslag



1111

**Hamar Pukk og Grus AS, avd Sørli,
Bjørgedalsvegen 875, 2323 Ingeberg**

08

Nr. CPR-4-12620-2020-3

NS-EN 12620:2002 +A1:2008+NA:2009

Grovt tilslag 8/16mm, 11/16mm og 16/22mm

Tilslag for betong.

Opplysninger om produktets vesentlige egenskaper

YTELSESERKLÆRING NR. CPR-4-12620-2020-3

1. Identifikasjonskode for produkttypen	Grovt, knust tilslag til bruk i betong	Grovt, knust tilslag til bruk i betong	Grovt, knust tilslag til bruk i betong
2. Type produkt	Grovt tilslag 8/16mm	Grovt tilslag 11/16 mm	Grovt tilslag 16/22 mm
3. Bruksområde	Tilslag for betong	Tilslag for betong	Tilslag for betong
4. Produsent	Hamar Pukk og Grus AS, Bjørgedalsvegen 875, 2323 Ingeberg	Hamar Pukk og Grus AS, Bjørgedalsvegen 875, 2323 Ingeberg	Hamar Pukk og Grus AS, Bjørgedalsvegen 875, 2323 Ingeberg
5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant)	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant
6. Systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V	System 2+.	System 2+.	System 2+.
7. Ytelseserklæringen i henhold til Standard NS-EN 12620	NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009 Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på revisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen.	NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009 Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på revisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen	NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009 Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på revisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen
8. Angitt ytelse	Se neste side	Se neste side	Se neste side

9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8
Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.
Undertegnet for og på vegne av produsenten av:

Morten Torp

Hamar Pukk og Grus AS, Sørli 21.02.2020

Sted og utstedelsesdato



Underskrift

Harmonisert teknisk spesifikasjon: NS-EN 12620:2002 +A1:2008+NA:2009

Vesentlige egenskaper	Ytelse	Ytelse	Ytelse
Tilslagsstørrelse	8/16	11/16	16/22
Gradering	G _C 85/20	G _C 85/20	G _C 85/20
Kornform for grovt tilslag	F ₁₅	F ₁₅	F ₁₀
Korndensitet	2,80(+/-0,03) Mg/m ³	2,80(+/-0,03) Mg/m ³	2,80(+/-0,03) Mg/m ³
Vannabsorpsjon	0,3(+/- 0,3) %	0,3(+/- 0,3) %	0,3(+/-0,3) %
Skjellinnhold i grovt tilslag	SC ₁₀	SC ₁₀	SC ₁₀
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	F ₁	F ₁	F ₁
Finstoffinnhold	f _{1,5}	f _{1,5}	f _{1,5}
Kvalitet på finstoff	MB _F 10(Finstoff<3%)	MB _F 10(Finstoff< 3%)	MB _F 10(Finstoff<3%)
Alkali – silika-reaktivitet	Sv 30	Sv 30	Sv 30
Klorider	0,000 %	0,000 %	0,000 %
Syreløselig sulfat	AS _{0,2}	AS _{0,2}	AS _{0,2}
Totalt innhold av svovel	0,05 %	0,05 %	0,05 %
Bestanddel som påvirker størknings – og herdetiden.	Ingen	Ingen	Ingen
Farlige stoffer	Ikke påvist	Ikke påvist	Ikke påvist
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	Gneis, granitt, kvarts, kvartsitt, feltspat, mørke mafiske bergarter	Gneis, granitt, kvarts, kvartsitt, feltspat, mørke mafiske bergarter	Gneis, granitt, kvarts, kvartsitt, feltspat, mørke mafiske bergarter
Motstand mot knusing	LA ₂₀	LA ₂₀	LA ₂₀
Motstand mot slitasje, MD	10	10	10
Volumstabilitet	Ikke bestemt		
Sammensetning/innhold: <ul style="list-style-type: none"> Bestanddel i grovt resirkulert tilslag Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag Innflytelse på begynnende størkning av sement (resirkulert tilslag) Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong 	Ikke bestemt		

YTELSESERKLÆRING: No. CPR-NO1/0291

1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen: **DYNAMON SR-N**
2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4:
SET RETARDING / HIGH RANGE WATER REDUCING / SUPERPLASTICIZING ADMIXTURES
3. Produsentens tilsiktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen:
Admixture for use in concrete according to EN 934-2:2009+A1:2012 (T 11.1-11.2)
4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5
MAPEI AS – Vallsetvegen 6, 2120 – Sagstua (Norge) www.mapei.no
5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2: **Not applicable**
6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V: **System 2+**
7. Dersom ytelseskleringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert standard:
The Notified body Vattenfall AB. No. 2605 performed the initial inspection of the manufacturing plant and of factory production control and the continuous surveillance, assessment and evaluation of factory production control under system 2+, and issued the certificate of conformity of the factory production control No. 2605-CPR-702.
8. Dersom ytelseskleringen gjelder en byggevare som det er utstedt en europeisk teknisk vurdering for: **Not applicable**
9. Angitt ytelse:

Vesentlige egenskaper	Ytelse	Harmonisert teknisk spesifikasjon
Total chlorine: Alkali content: Corrosion behaviour: Dangerous substances:	≤ 0,05 % by mass ≤ 2,0 % by mass Contains components only from EN 934-1:2008, Annex A.1 see SDS	EN 934-2:2009+A1:2012 (T 11.1 – 11.2)

10. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 9. Denne ytelseskleringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i nr. 4.

Undertegnet for og på vegne av produsenten av: **Trond Hagerud – Administrerende direktør**



(navn og stilling)



Sagstua, 01/04/2016
(sted og utstedelsesdato)

.....
(signatur)

CE MARKING according to CPR 305/2011 and EN 934-2:2009+A1:2012

 2605	 Vallsetvegen 6 – 2120 Sagstua (Norway) www.mapei.no
<p>04 CPR-NO1/0291 EN 934-2:2009+A1:2012 DYNAMON SR-N</p> <p><i>Set retarding/ High range water reducing/ superplasticizing admixtures EN 934-2, T 11.1 – 11.2</i></p>	
Total chlorine:	≤ 0,05 % by mass
Alkali content:	≤ 2,0 % by mass
Corrosion behaviour:	Contains components only from EN 934-1:2008, Annex A.1
Dangerous substances:	see SDS

Vedlegg B – Bilder av materialer og utstyr.

B-1 Standard FA



B-2 Vang 0/8



B-3 11/16 Grovt tilslag



B-4 SR-N



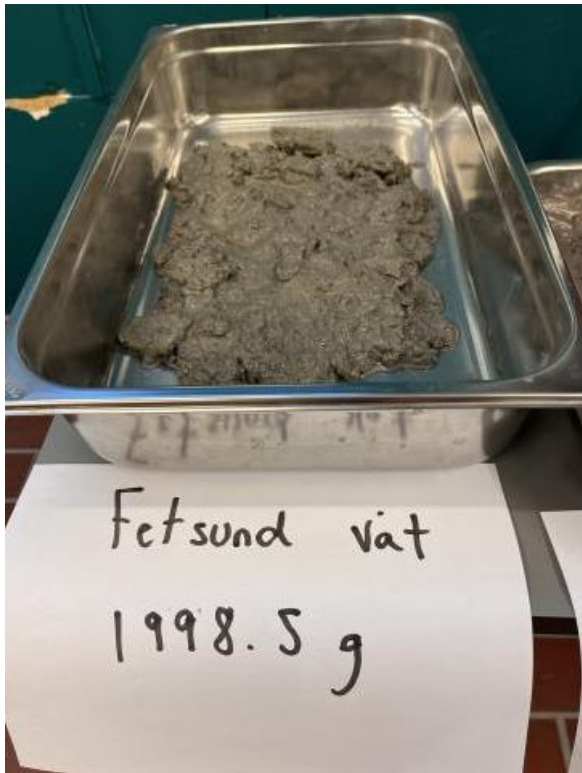
B-5 Betongslam tørket 0/4



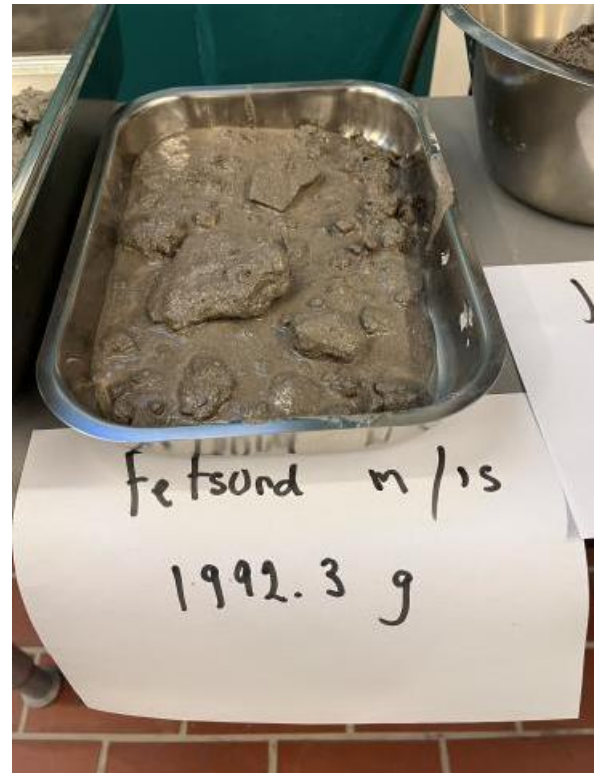
B-6 Betongslam ubehandlet



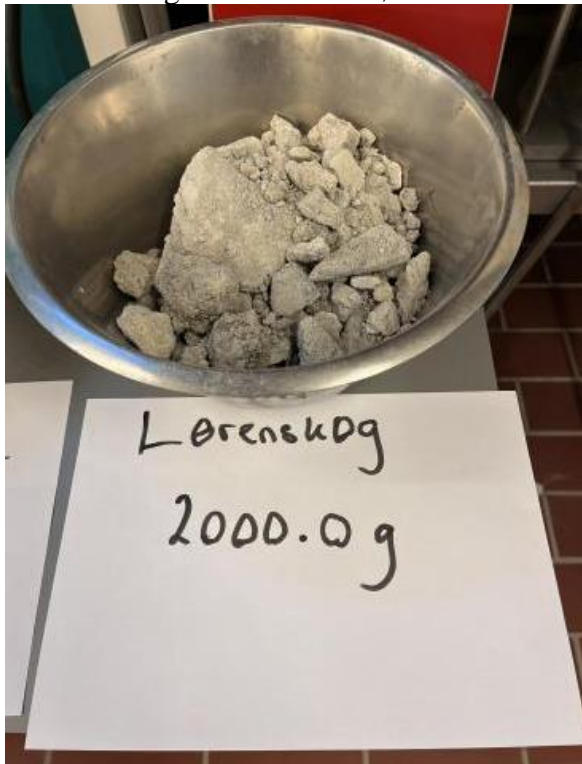
B-6-1 Betongslam Fetsund våt



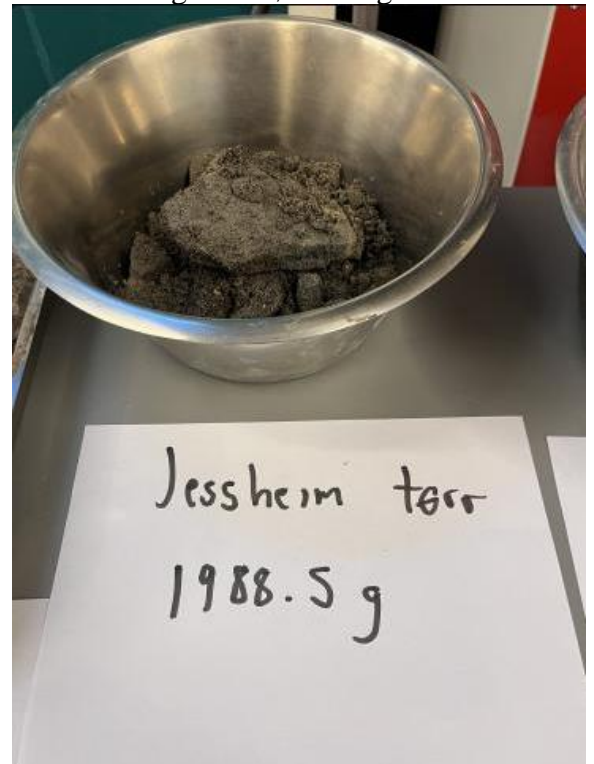
B-6-2 Betongslam Fetsund m/is



B-6-3 Betongslam Jessheim tørr



B-6-4 Betongslam Lørenskog



B-7 Vekt



B-8 Bakk



B-9 Siktemaskin



B-11 Stekepanne



B-10 Spatel



B-12 Blandemaskin



B-13 Flyndreskje



B-14 Metermål



B-15 Skuffe



B-16 Synk kjegle



B-17 Stålstang



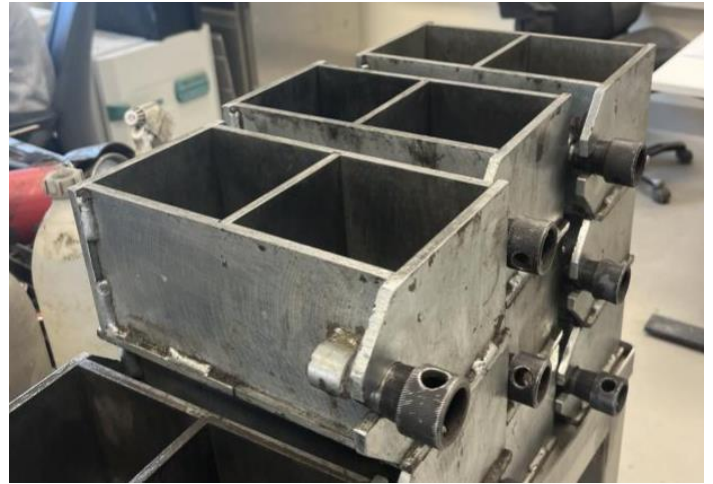
B-18 Beholder med kjent volum



B-19 Termometer



B-20 Former



B-21 Trykkprøvingsmaskin



B-22 Vinkelhake



Vedlegg C – Sertifikat og kalibreringsbevis

C-1-Sertifikat Produksjonskontrollsystem

SERTIFIKAT

PROD006-NS-032/03

I samsvar med Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK) §12 og system for vurdering og verifikasjon av byggevarers ytelser som beskrevet i Byggevareforordningens Vedlegg V, gjelder dette sertifikatet for følgende byggevare(r):

Alle typer fabrikkblandet betong i henhold til NS-EN 206:2013 + A1:2016 + NA:2017

Produsert av

Betong Øst AS

Hamar

Sertifikatet bekrefter at alle krav til vurdering, kontroll og krav til produksjonskontrollsystem (PKS) er oppfylt og i samsvar med kravene i følgende spesifikasjon(er):

NS-EN 206 Betong. Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar

Utløpsdato: **2024.01.31**
Utstedt første gang: 2005.03.29
Fornyhet, dato: 2021.01.22


Sertifiseringsleder



KONTROLLRÅDET

Postboks 441 Sentrum, 0103 Oslo
Rådhusgaten 4, 0151 Oslo
Telefon 46 44 60 98
www.kontrollbetong.no

SERTIFIKAT

Produksjonskontrollsystem

1111 – CPR – 0353

I overensstemmelse med Europaparlamentets Rådforordning nr. 305/2011/EU av 9. mars 2011 om fastsettelse av harmoniserte vilkår for markedsføring av byggevarer (Byggevareforordningen/CPR), gjelder dette sertifikatet for byggevaren(e)

Tilslag til betong : NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016
Tilslag til asfalt : NS-EN 13043:2002 + NA:2008
Tilslag til vei- og underbygging : NS-EN 13242:2002 + A1:2007 + NA:2009
Jernbaneballast : NS-EN 13450:2002 + NA:2009

Produsert av

Hamar Pukk og Grus AS
Bjørgedalsveien 875
2323 Ingeberg

og fremstilt ved produksjonsanlegget

Avd. Sorli

Dette sertifikatet bekrefter at alle krav som stilles knyttet til vurdering og kontroll av konstant ytelse angitt i Tillegg ZA i standarden(e)

EN 12620:2002+A1:2008, EN 13043:2002, EN 13242:2002+A1:2007 og EN 13450:2002
under system 2+ er oppfylt og at systemet for produksjonskontroll oppfyller alle krav angitt ovenfor.

Dette sertifikatet ble utstedt første gang 22.08.08 og er gyldig så lenge prøvingsmetoder, systemet for produksjonskontroll og kravene i den harmoniserte standarden benyttes for vurdering av deklarererte ytelser ikke endrer seg og at byggevaren og produksjonsbetingelsene ved anlegget ikke endrer seg vesentlig. Sertifikatet utløper dog senest 31.08.20.

Oslo, 28.08.17

KONTROLLRÅDET


Sertifiseringsleder

Kalibreringsbevis



Utstedelsesdato:	22.03.2022	Kalib. dato:	22.03.2022	ID nr.:	1177
------------------	------------	--------------	------------	---------	------

1. Kundeopplysninger:

Ordrenummer:			
Kundenr.:	30425		
Oppdragsgiver:	Betong øst Måreveien 14 2206 Kongsvinger	Kalibreringssted:	Betong øst, avd. Hamar Elvesletta 46 2323 Ingeberg
Deres ref.:	Stefan Skjæret	Kontaktperson:	Stefan Skjæret

2. Kalibreringsobjekt:

	Trykkprøvepresse for betong.		
Fabrikat:	Matest	Serienr.:	C089PN491-AA-001
Modell:	C089PN491 automatisk	Standard:	NS-EN 12390-4
Kraft Fn (kN):	2000	Årsmodell:	2011
Kraftindikator:	Digital avlesning	Trykk giver:	
Modell	C104 Servoplus	Modell	YIM2000kNFMT
Serienummer:	YIMC109NS-AA-0025	Serienummer:	YIM2000kn-FMT-AZ0046

3. Bestemmelse av oppløsningen r for digital skala iht. B.1.2.2:

Prøveområde kN	Minste tallenhet kN	Svingningsområde, minste kN	Oppløsningen r kN
2000	0,1	0,3	0,15

4. Bestemmelse av nedre tillatte grense for kalibrering Fv iht. B.1.4:

a1 bestemmes som følger:			
For maskiner i klasse 1	200	Prøveområde kN	a1
For maskiner i klasse 2	100	2000	200
For maskiner i klasse 3	66,6		
			Fv=a1 x r kN
			30

5. Målenormaler benyttet:

Kraftnormal:	KRM-007 3000kN	Linjal:	LRM-001	300 mm
Kalibreringssertifikat:	5231	Søkerblad	LRM-002	0,03 mm
Serienr. kraftgiver:	51737	Stoppeklokke:	STU-001	
Serienr. forsterker:	50938	Temperaturmåler:	TEM-004	
Kalibreringsmetode:	NS EN ISO 376			
Klassifisering:	Kl. 0,5: 0,3-3MN			
Sertifiseringsdato:	27.08.2019			

Kalibrering er utført av:

Kalibreringsansvarlig:

Martin Holst Johannesen

Jørn Johansen

Kalibreringsbevis



Utstedelsesdato: 22.03.2022 Kalib. dato: 22.03.2022 Bevis nr.: 1177

6. Kraftmålingsresultater: Prøveområde: 200 til 2000 kN

Maks. kapasitet F_N i kN:		2000						
Kalibreringsmetode:		NS-EN 12390-4 Tillegg B						
Avlest på presse: F_i (kN)	Avlest kraft F på kraftnormal			Beregning av resultater				
	Serie 1 kN	Serie 2 kN	Serie 3 kN	Middelverdi F (kN)	q %	b %	a %	
200	199,04	199,09	199,37	199,17	0,4	0,2	0,08	
300	300,54	301,36	300,50	300,80	-0,3	0,3	0,05	
400	401,17	400,46	401,27	400,97	-0,2	0,2	0,04	
600	601,83	601,24	601,21	601,43	-0,2	0,1	0,03	
800	800,50	800,35	800,40	800,42	-0,1	0,0	0,00	
1200	1201,07	1201,33	1201,37	1201,26	-0,1	0,0	0,01	
1600	1601,47	1603,08	1600,57	1601,71	-0,1	0,2	0,00	
2000	2002,03	2000,57	2001,51	2001,37	-0,1	0,1	0,00	
Restverdi F_{i0} 30-120s	0,3	0,2	0,2					
Rel. nullpunktsfeil f_0 %	0,02	0,01	0,01					
Temp. kraftnormal/rom	20	20	20					

Krafttoleranser i % iht NS EN 12390-4:				
Maskinklasse:	Relativ nøyaktighetsfeil q %	Relativ repeterbarhetsfeil b %	Relativ nullpunktsfeil f_0 %	Relativ oppløsning a %
Klasse 1	± 1,0	1,0	± 0,1	0,5
Klasse 2	± 2,0	2,0	± 0,2	1,0
Klasse 3	± 3,0	3,0	± 0,3	1,5

7. Kontroll av trykkplatenes og mellomleggsplatenes planhet:

Kontrollmetode: NS EN 12390-1 Resultat: Innenfor 0,03mm

8. Kontroll av reguleringen av hastigheten av kraftpåføringen:

Kontrollmetode: Ved bruk av stoppeklokke Resultat: Innenfor ± 10%

10. Konklusjon: Pressen tilfredsstillende til klasse 1 i kraftområdet 200 til 2000 kN.

Kalibreringsbevis



Utstedelsesdato:	23.03.2022	Kalib. dato:	23.03.2022	ID nr.:	1179
-------------------------	------------	---------------------	------------	----------------	------

Kundeopplysninger:

Ordrenummer:

Kundenr.: 30425

Oppdragsgiver: Betong øst
Måreveien 14
2206 Kongsvinger

Kalibreringssted: Betong øst
avd. Hamar
Elvesletta 46
2323 Ingeberg

Deres ref.: Stefan Skjæret

Kontaktperson: Stefan Skjæret

Kalibreringsobjekt:
Digital vekt

Fabrikat: Shinko
Modell: HJ-33 KCE
Serienr.: 135693001
Kapasitet: 33 kg
Inndeling: 0,1
Omgivelsestemp.: 20 °C

Benyttede normaler: (Bare avkrysset normal er brukt for kalibreringen)					
Kode:	Masse i g:	Sporbarhet:	Klasse:	(X)	Sist kalibrert:
KLO-012-04	100	Justervesenet	F1		05.07.2016
KLO-013-04	200	Justervesenet	F1	X	05.07.2016
KLO-014-04	200	Justervesenet	F1		05.07.2016
KLO-003-04	500	Justervesenet	F1	X	05.07.2016
KLO-004-04	500	Justervesenet	F1		05.07.2016
KLO-011-04	1000	Justervesenet	F1	X	05.07.2016
KLO-001-04	2000	Justervesenet	F1		05.07.2016
KLO-002-04	2000	Justervesenet	F1		05.07.2016
KLO-015-04	5000	Justervesenet	F1	X	05.07.2016
KLO-016-04	10000	Justervesenet	F1	X	05.07.2016
KLO-017-04	10000	Justervesenet	F1		05.07.2016

Kalibrering er utført av:

Martin Holst Johannesen

Kalibreringsansvarlig:

Jørn Johansen

Kalibreringsbevis



Utstedelsesdato: 23.03.2022 Kalib. dato: 23.03.2022 Bevis nr.: 1179

Test prosedyre:

Kalibreringen utføres ved at vekten belastes i minst 5 trinn.
For eksentrisitetskontroll brukes lodd med 1/3 av vektens kapasitet.

Resultater fra lastekontroll:

Nominell masse: g	Indikert masse før justering: g	Indikert masse etter justering: g
200	200,0	200,0
500	500,0	500,0
2000	2000,0	1000,0
5000	5000,0	5000,0
10000	10000,0	10000,0
30000	30000,0	20000,0
33000	33000,0	33000,0

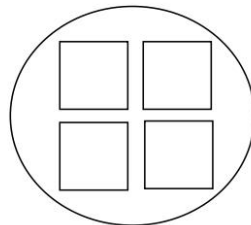
Eksentrisitetskontroll:

For eksentrisitetskontroll brukes lodd med 1/3 av vektens kapasitet.

Valgt masse: 5 kg

Avvik i g:

0	0
0	0



Konklusjon:

Iht. vektens spesifikasjoner

Vedlegg D – Sikteanalyseeskjemaer

D-1 – Siktekurve av ubehandlet slam fra Lørenskog

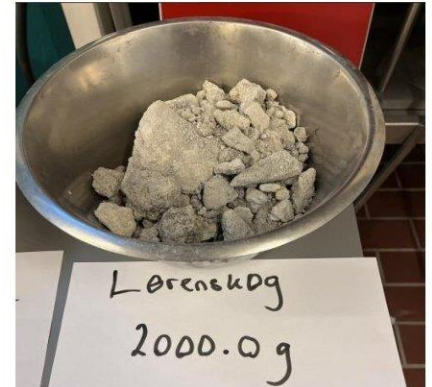
Siktekurve tørket betongslamprøve fra Betong Øst Lørenskog

Prosjekt	Materiale	Dato uthentet	Sted uthentet	Navn Laboratorium	Adresse labor	Prøvenr.	Dato for analyse
	Tørr betongslam	08.02.2023	Betong Øst Lørenskog	Oslomet Universitetslaboratorium	Elken Gledtsg 1		07.03.2023

Beskrivelse av prøve: Prøven er hentet fra innendørs tørket slamhaug Lørenskog, tørket etter

Sikt (mm)	Akkumulert vekt på sikt (g)	Fraksjonsvis vekt på sikt	Prosentvis passerende materiale
31.5	201.3	201.3	87.6%
16	471.3	270	71.0%
8	627.7	156.4	61.4%
4	741.8	114.1	54.4%
2	883.3	141.5	45.7%
1	1065.2	181.9	34.5%
0.5	1229.3	164.1	24.4%
0.25	1393.7	164.4	14.3%
0.125	1573.7	180	3.3%
0.063	1612.7	39	0.9%
Bunnpanne	1626.9	14.2	0.0%

% pr fraksjon	Fraksjon
12.4 %	+31,5mm
16.6 %	16-31,5mm
9.6 %	8-16mm
7.0 %	4-8mm
8.7 %	2-4mm
11.2 %	1-2mm
10.1 %	0.5-1mm
10.1 %	0.25-0.5mm
11.1 %	0.125-0.25mm
2.4 %	0.125-0.063mm
0.9 %	0-0.063mm



Sikt (mm)	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5
% Passerende testet materiale	0.9	3.27	14.33	24.44	34.53	45.71	54.40	61.42	71.03	87.63
Manuelt innlagt kurve/referanse										
Fraksjoner	0-0,063	0-0,125mm	0,125-0,25mm	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-8mm	8-16mm	16-+31,5mm
Fraksjons andel testet materiale (%)	0.9%	2.4%	11.1%	10.1%	10%	11%	9%	7%	10%	17%

Fukttinnhold

Startvekt (g)	Sluttvekt (g)	Fukt gått bort under tørking (g)	Fukttinnhold fersk prøve (%)
2000	1626.9	373.1	18.7%

D-2 – Siktekurve av behandlet slam fra Lørenskog

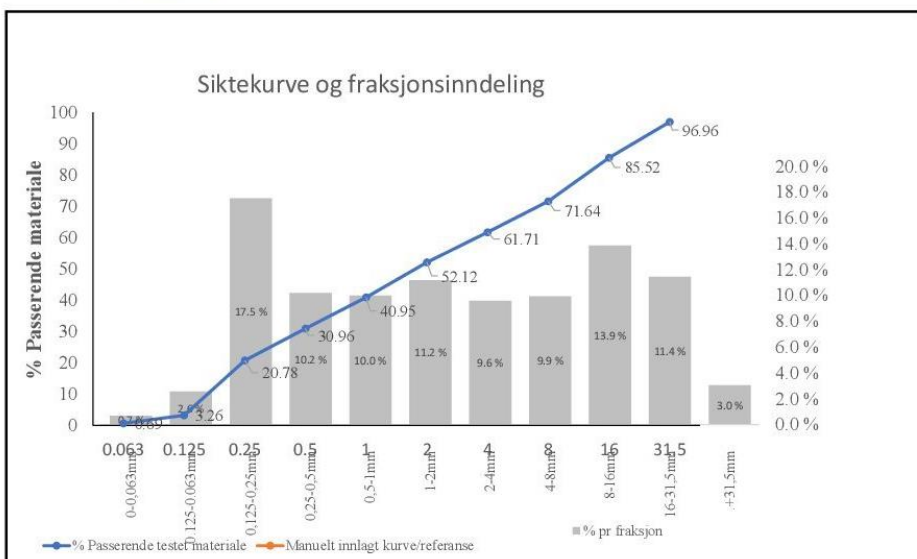
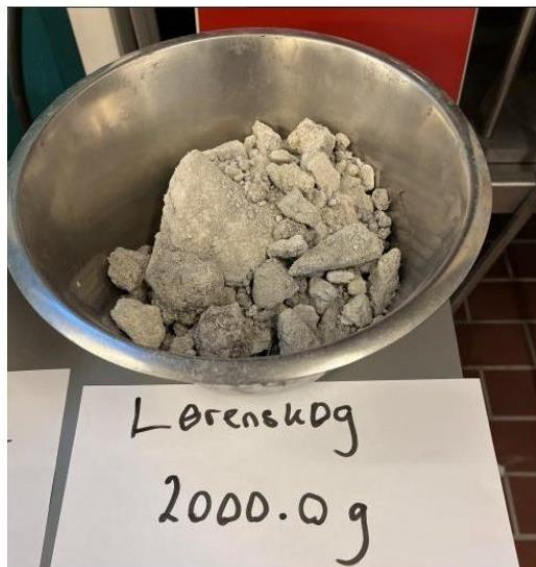
Siktekurve tørket betongslamprøve fra Betong Øst Lørenskog

Prosjekt	Materiale	Dato uthe	Sted uthe	Navn	Adresse lab	Prøvenr:	Dato for analyse:
	Tørr betongslam	08.02.2023	Betong Øst	Oslo	Ellen Gledis	1	07.03.2023

Beskrivelse av prøve: Prøven er hentet fra innendørs tørket slamhaug lørenskog, tørket etter standard, og behandlet før sikting (Brutt store)

Sikt (mm)	Akkumulert vekt på sikt (g)	Fraksjons vis vekt på sikt	Prosentvis passeren de materiale
31.5	49.8	49.8	97.0%
16	237	187.2	85.5%
8	464.2	227.2	71.6%
4	626.7	162.5	61.7%
2	783.7	157	52.1%
1	966.6	182.9	40.9%
0.5	1130.1	163.5	31.0%
0.25	1296.8	166.7	20.8%
0.125	1583.6	286.8	3.3%
0.063	1625.6	42	0.7%
Bunnpanne	1636.9	11.3	0.0%

% pr fraksjon	Fraksjon
3.0%	+31,5mm
11.4%	16-31,5mm
13.9%	8-16mm
9.9%	4-8mm
9.6%	2-4mm
11.2%	1-2mm
10.0%	0,5-1mm
10.2%	0,25-0,5mm
17.5%	0,125-0,25mm
2.6%	0,125-0,063mm
0.7%	0-0,063mm



Sikt(mm)	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5
% Passerende testet materiale	0.69	3.26	20.78	30.96	40.95	52.12	61.71	71.64	85.52	96.96
Manuelt innlagt kurve/referanse										
Fraksjoner	0-0,063	0,125mm	0,25mm	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-8mm	8-16mm	16-31,5mm
Fraksjons andel testet materiale (%)	0.7%	2.6%	17.5%	10.2%	10%	11%	10%	10%	14%	11%

Fukttinnhold (Merk endring av sluttvekt, mulig)

Startvekt (g)	Sluttvekt (g)	Fukt gått bort under tørking (g)	Fukttinnhold fersk prøve (%)	Veiefell (%) (skyldes veiefell)
2000	1636.9	363.1	18.2%	0.61%

Sluttvekt fra tørket Lørenskog

1627

D-3 – Siktekurve av ubehandlet slam fra Gardemoen

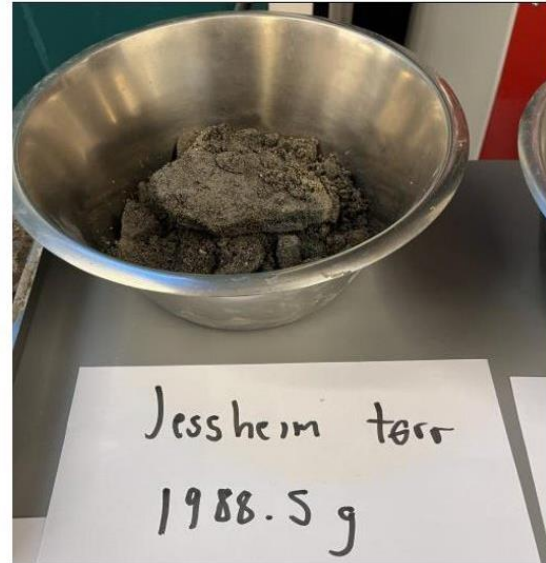
Siktekurve tørket betongslamprøve fra Betong Øst Gardemoen

Prosjekt	Materiale	Dato uthent	Sted utl	Navn Labert	Adresse	Prøvenr.	Dato for analyse:
Materiale	Tørr betongslam	08.02.2023	Betong	Oslomet Un	Ellen Gle	2	07.03.2023

Beskrivelse av prøve: Prøven er hentet fra slamhaug under tak utendørs, fjernet fiberarmering, tørket etter standard, ubehandlet ved sikting.

Sikt (mm)	Akkumulert vekt på sikt (g)	Fraksjonsvis vekt på sikt	Prosentvis passerende materiale
31.5	398	398	72.0%
16	554.9	156.9	61.0%
8	651.7	96.8	54.1%
4	707.7	56	50.2%
2	768	60.3	46.0%
1	868.6	100.6	38.9%
0.5	1031.9	163.3	27.4%
0.25	1277.3	245.4	10.1%
0.125	1370.1	92.8	3.6%
0.063	1397.1	27	1.7%
Bunnpanne	1421.3	24.2	0.0%

% pr fraksjon	Fraksjon
28.0%	+31.5mm
11.0%	16-31,5mm
6.8%	8-16mm
3.9%	4-8mm
4.2%	2-4mm
7.1%	1-2mm
11.5%	0.5-1mm
17.3%	0.25-0.5mm
6.5%	0.125-0.25mm
1.9%	0.125-0.063mm
1.7%	0-0.063mm



Sikt(mm)	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	
% Passerende testet materiale	1.70	3.60	10.13	27.40	38.89	45.96	50.21	54.15	60.96	72.00	
Manuelt innlagt kurve/referanse											
Fraksjoner	0-0,063	0,125mm	0,125-0,25mm	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-8mm	8-16mm	16-31,5mm	+31,5mm
Fraksjons andel testet materiale (%)	1.7%	1.9%	6.5%	17.3%	11%	7%	4%	4%	7%	11%	28%

Fuktinnhold

Startvekt (g)	Sluttvekt (g)	Fukt gått bort under tørking (g)	Fuktinnhold fersk prøve (%)
1988.5	1421.3	567.2	28.5%

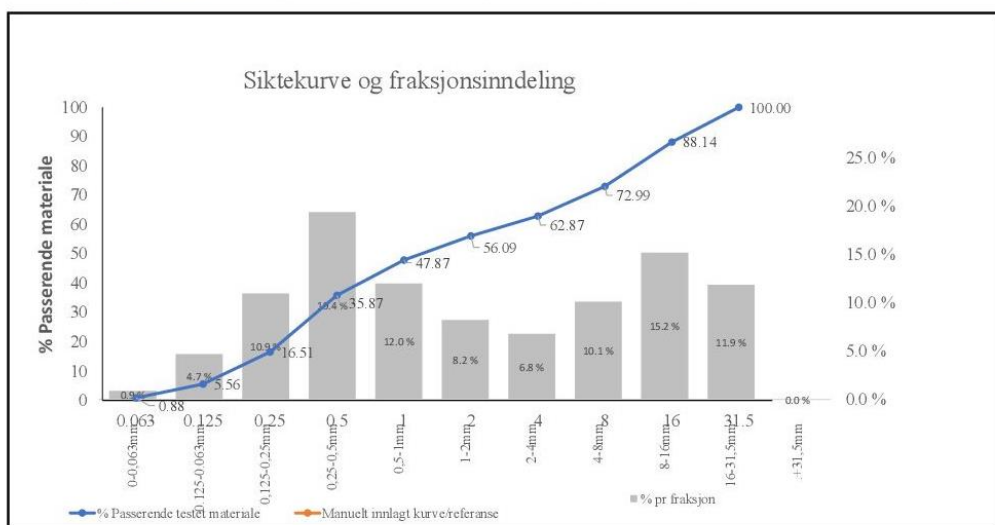
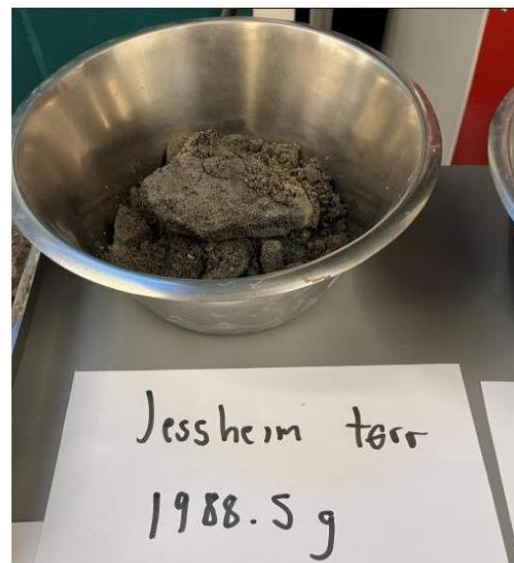
D-4 – Siktekurve av behandlet slam fra Gardemoen

Siktekurve tørket betongslamprøve fra Betong Øst Gardemoen

Prosjekt	Materiale	Dato uthent	Sted uthent	Navn Lab	Adresse laborat	Prøvenr:	Dato for analyse:
	Tørr betongslam	08.02.2023	Betong Øst	Oslo met U	Ellen Gleditschs	2	07.03.2023

Beskrivelse av prøve: Prøven er hentet fra slamhaug under tak utendørs, fjernet fiberarmering, tørket etter standard, behandlet før siktning (Brutt store)

Sikt (mm)	Akkumulert vekt på sikt (g)	Fraksjonsvis vekt på sikt	Prosentvis passerende materiale	% pr fraksjon	Fraksjon
31.5	0	0	100.0%	0.0%	+31,5mm
16	168.4	168.4	88.1%	11.9%	16-31,5mm
8	383.6	215.2	73.0%	15.2%	8-16mm
4	527.3	143.7	62.9%	10.1%	4-8mm
2	623.5	96.2	56.1%	6.8%	2-4mm
1	740.2	116.7	47.9%	8.2%	1-2mm
0.5	910.6	170.4	35.9%	12.0%	0,5-1mm
0.25	1185.6	275	16.5%	19.4%	0,25-0,5mm
0.125	1341	155.4	5.6%	10.9%	0,125-0,25mm
0.063	1407.5	66.5	0.9%	4.7%	0,125-0,063mm
Bunnpanne	1420	12.5	0.0%	0.9%	0-0,063mm



Sikt(mm)	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	
% Passerende testet materiale	0.88	5.56	16.51	35.87	47.87	56.09	62.87	72.99	88.14	100.00	
Manuelt innlagt kurve/referanse											
Fraksjoner	0-0,063	0-0,125mm	0,125-0,25mm	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-8mm	8-16mm	16-31,5mm	+31,5mm
Fraksjons andel testet materiale (%)	0.9%	4.7%	10.9%	19.4%	12%	8%	7%	10%	15%	12%	0%

Fukttinnhold (Merk endring av sluttvekt, mulig veiefeil)

Startvekt (g)	Sluttvekt (g)	Fukt gått bort under tørking (g)	Fukttinnhold forsk prøve (%)	Veiefeil (%) (skyldes tap ved knusing)
2000	1420	580	29.0%	-0.09%

Sluttvekt fra tørket Gardemoen
1421.3

D-5 – Siktekurve av ubehandlet slam med tilsatt pukk fra Fetsund

Siktekurve tørket betongslamprøve fra Betong Øst Fetsund

Prosjekt	Materiale	Dato uthentet	Sted uthent	Navn Lab	Adresse	Prøvenr.	Dato for analyse:
	Bløt betongslam	08.02.2023	Betong Øst	Oslomet	Ellen Gt 4		07.03.2023

Beskrivelse av prøve: Prøven er hentet fra slamhaug utendørs med tilsatt pukk, prøven inneholder is og

Sikt (mm)	Akkumulert vekt på sikt (g)	Fraksjonsvis vekt på sikt	Prosentvis passerende materiale
31.5	251.9	251.9	82.7%
16	566.2	314.3	61.1%
8	754.8	188.6	48.2%
4	881.7	126.9	39.4%
2	972.4	90.7	33.2%
1	1065.1	92.7	26.9%
0.5	1169.1	104	19.7%
0.25	1295	125.9	11.1%
0.125	1386.7	91.7	4.8%
0.063	1437.9	51.2	1.2%
Burnpanne	1456.1	18.2	0.0%

% pr fraksjo n	Fraksjon
17.3 %	+31,5mm
21.6 %	16-31,5mm
13.0 %	8-16mm
8.7 %	4-8mm
6.2 %	2-4mm
6.4 %	1-2mm
7.1 %	0,5-1mm
8.6 %	0,25-0,5mm
6.3 %	0,125-0,25mm
3.5 %	0,125-0,063mm
1.2 %	0-0,063mm



Sikt(mm)	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5
% Passerende testet materiale	1.25	4.77	11.06	19.71	26.85	33.22	39.45	48.16	61.12	82.70
Manuelt innlagt kurve/referanse										
Fraksjoner	0-0,063	0-0,125mm	0,125-0,25mm	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-8mm	8-16mm	16-31,5mm
Fraksjons andel testet materiale (%)	1.2%	3.5%	6.3%	8.6%	7%	6%	6%	9%	13%	22%

Fuktinnhold

Startvekt (g)	Sluttvekt (g)	Fukt gått bort under tørking (g)	Fuktinnhold fersk prøve (%)
1992.3	1456.1	536.2	26.9%

D-6 – Siktekurve av ubehandlet vått slam fra Fetsund

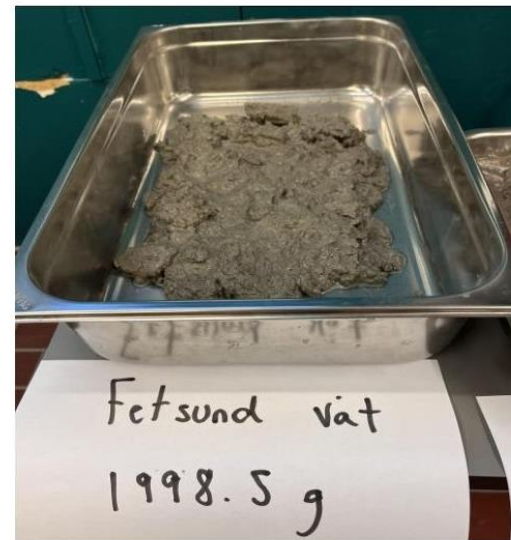
Siktekurve tørket betongslamprøve fra Betong Øst Fetsund

Prosjekt	Materiale	Dato uthentet	Sted uthentet	Navn Labor	Adresse labor	Prøvenr.	Dato for analyse
	Bliet betongslam	08.02.2023	Betong Øst Fetsund	Oslomet Urt	Ellen Gleditsc	4	07.03.2023

Beskrivelse av prøve: Prøven er hentet fra slamhaug utendørs, fortsatt fuktig etter vask. Tørket etter

Sikt (mm)	Akkumulert vekt på sikt (g)	Fraksjonsvis vekt på sikt	Prosentvis passerende materiale
31.5	0	0	100.0%
16	82.9	82.9	92.6%
8	177.4	94.5	84.1%
4	266.6	89.2	76.1%
2	376.1	109.5	66.3%
1	520.5	144.4	53.4%
0.5	695	174.5	37.8%
0.25	866.6	171.6	22.4%
0.125	1081	214.4	3.2%
0.063	1112.4	31.4	0.4%
Bunnpanne	1116.6	4.2	0.0%

% pr fraksjon	Fraksjon
0.0%	+31,5mm
7.4%	16-31,5mm
8.5%	8-16mm
8.0%	4-8mm
9.8%	2-4mm
12.9%	1-2mm
15.6%	0.5-1mm
15.4%	0.25-0.5mm
19.2%	0.125-0.25mm
2.8%	0.125-0.063mm
0.4%	0-0,063mm



Sikt (mm)	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	
% Passerende testet materiale	0.38	3.19	22.39	37.76	53.39	66.32	76.12	84.11	92.58	100.00	
Manuelt innlagt kurve/referanse											
Fraksjoner	0-0,063	0-0,125mm	0,125-0,25mm	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-8mm	8-16mm	16-31,5mm	+31,5mm
Fraksjons andel testet materiale (%)	0.4%	2.8%	19.2%	15.4%	16%	13%	10%	8%	8%	7%	0%

Fukttinnhold

Startvekt (g)	Sluttvekt (g)	Fukt gått bort under tørking (g)	Fukttinnhold fersk prøve (%)
1998.5	1112.4	886.1	44.3%

D-7 – Siktekurve av tørket og siktet slam mellom 0 og 4 mm fra Lørenskog

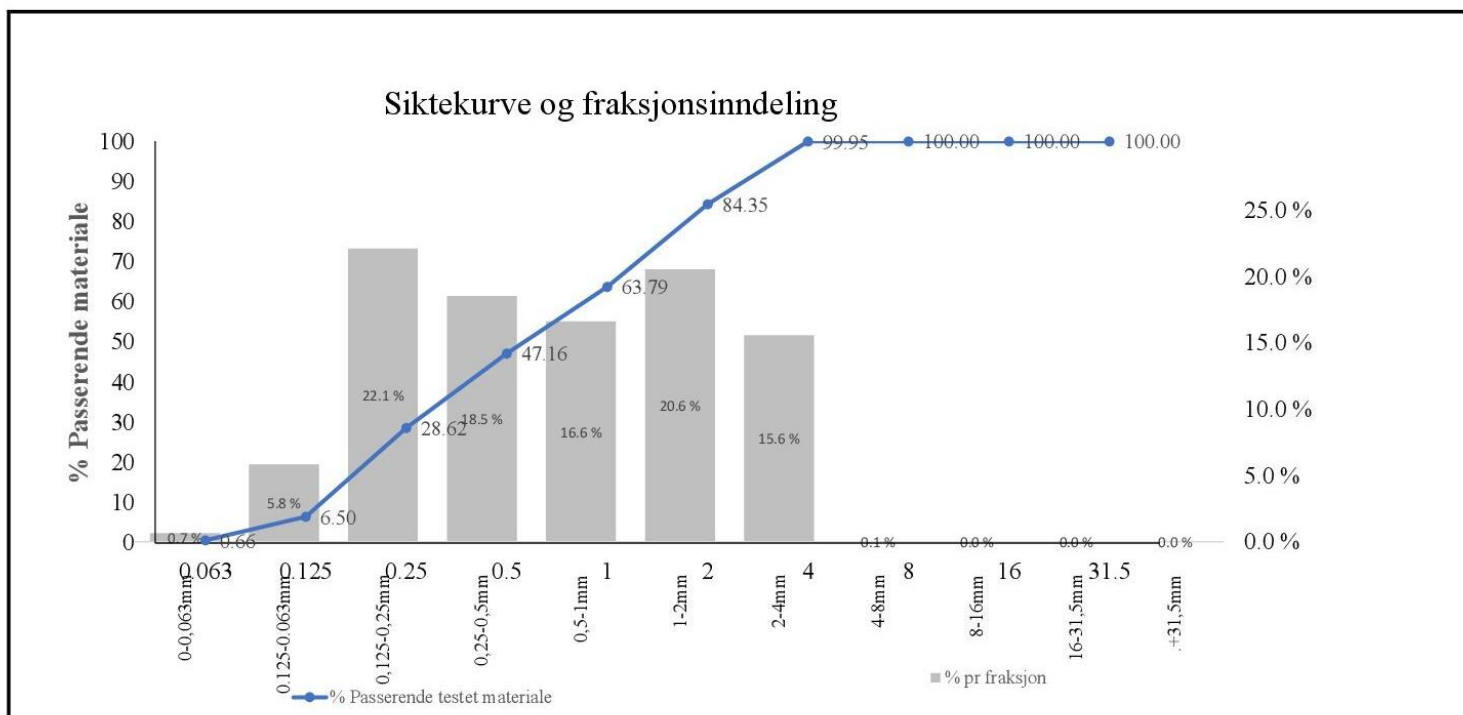
Siktekurve betongslamprøve 0/4mm

Prosjekt	Materiale	Dato uthentet	Sted uthentet	Navn Laboratorit	Adresse lab	Provenr	Dato for analyse
Materiale	Tørket betongslam	16.03.2023	Betong Øst Lør	Betong Øst Hamar			24.03.2024

Beskrivelse av prøve: Prøven er hentet fra innendørs tørket slamhaug lørenskog, tørket etter standard, ubehandlet før sikting

Sikt (mm)	Akkumulert vekt på sikt (g)	Fraksjonsvis vekt på sikt	Prosentvis passerende materiale
31.5	0	0	100.0%
16	0	0	100.0%
8	0	0	100.0%
4	1.1	1.1	99.9%
2	341.3	340.2	84.4%
1	789.8	448.5	63.8%
0.5	1152.3	362.5	47.2%
0.25	1556.8	404.5	28.6%
0.125	2039.1	482.3	6.5%
0.063	2166.5	127.4	0.7%
Bunnpanne	2180.9	14.4	0.0%

% pr fraksjon	Fraksjon
0.0 %	>+31,5mm
0.0 %	16-31,5mm
0.0 %	8-16mm
0.1 %	4-8mm
15.6 %	2-4mm
20.6 %	1-2mm
16.6 %	0,5-1mm
18.5 %	0,25-0,5mm
22.1 %	0,125-0,25mm
5.8 %	0.125-0.063mm
0.7 %	0-0,063mm



Sikt(mm)	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	
% Passerende testet materiale	0.66	6.50	28.62	47.16	63.79	84.35	99.95	100.00	100.00	100.00	
Manuelt innlagt kurve/referanse											
Fraksjoner	0-0,063	0-0,125mm	0,125-0,25mm	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-8mm	8-16mm	16-31,5mm	>+31,5mm
(%)	0.7%	5.8%	22.1%	18.5%	17%	21%	16%	0%	0%	0%	0%

D-8 – Siktekurve ubehandlet slam brukt

Siktekurve betongslamprøve Ubehandlet

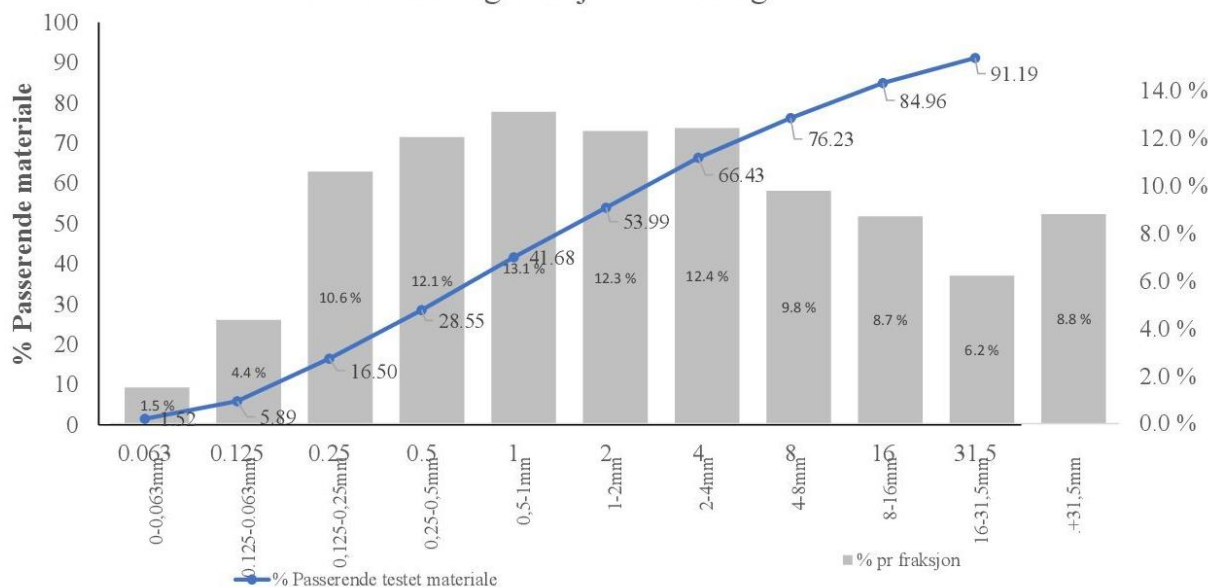
Prosjekt	Materiale	Dato uth	Sted ut	Navn Lab	Adresse laborator	Prøvenr:	Dato for analyse:
Materiale	Tørket betongslam	16.03.20	Betong	Betong	Øst Hamar		24.03.2024

Beskrivelse av prøve: Prøven er hentet fra innendørs tørket slamhaug lørenskog, tørket etter standard, ubehandlet før sikting

Sikt (mm)	Akkumulert vekt på sikt (g)	Fraksjonsvis vekt på sikt	Prosent vis passende materiale
31.5	211.9	211.9	91.2%
16	361.6	149.7	85.0%
8	571.4	209.8	76.2%
4	807.1	235.7	66.4%
2	1106.1	299	54.0%
1	1402.1	296	41.7%
0.5	1717.8	315.7	28.6%
0.25	2007.7	289.9	16.5%
0.125	2262.7	255	5.9%
0.063	2367.7	105	1.5%
Bunnpanne	2404.3	36.6	0.0%

% pr fraksjon	Fraksjon
8.8 %	.+31,5mm
6.2 %	16-31,5mm
8.7 %	8-16mm
9.8 %	4-8mm
12.4 %	2-4mm
12.3 %	1-2mm
13.1 %	0,5-1mm
12.1 %	0,25-0,5mm
10.6 %	0,125-0,25mm
4.4 %	0.125-0.063mm
1.5 %	0-0,063mm

Siktekurve og fraksjonsinndeling



Sikt(mm)	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	
% Passerende testet materiale	1.52	5.89	16.50	28.55	41.68	53.99	66.43	76.23	84.96	91.19	
Manuelt innlagt kurve/referanse											
Fraksjoner	0-0,063	0-0,125m	0,125-0,25m	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-8mm	8-16mm	16-31,5mm	.+31,5mm
Fraksjons andel testet materiale (%)	1.5%	4.4%	10.6%	12.1%	13%	12%	12%	10%	9%	6%	9%

Vedlegg E – Sikteanalysekjemaer Tørrvask Mapei

E-1 – Siktekurve av Re-con zero brukt til 1 vask

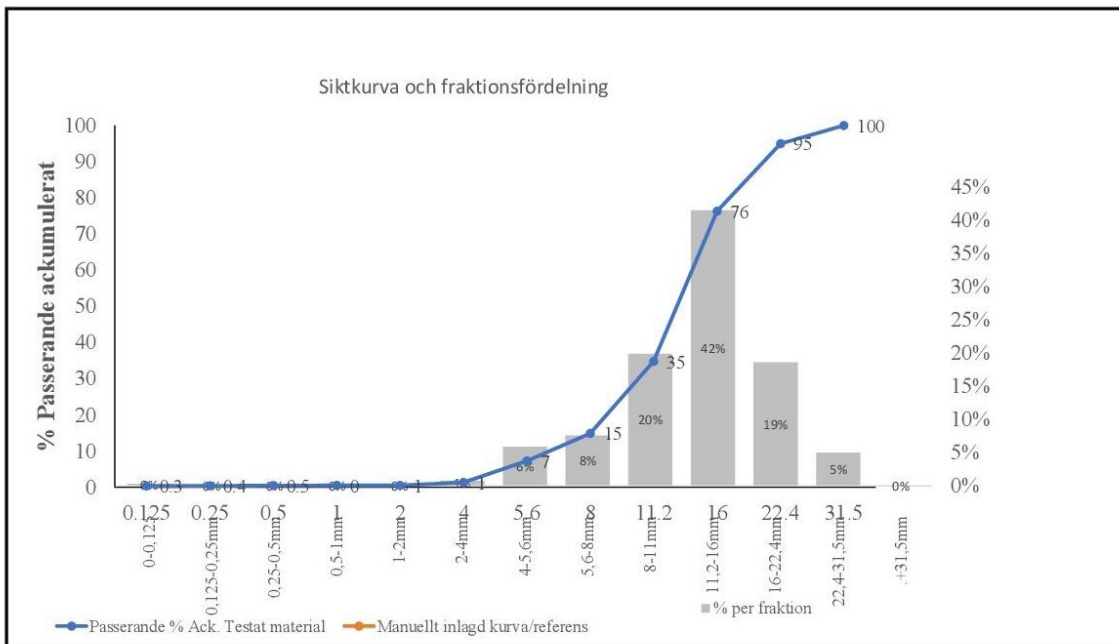


Siktkurva Re-con Zero ballast 0-22mm

Prosjekt/kund	Exmensarbeite Hampus
Material	Grundrecept innan torrt
Datum	11/06/2021

Siktmaska (mm)	Akkumulert vikt på sikt (g)	Vikt på sikt fraksjonsvis	Ack. % passerande
31.5	0	0	100.0%
22.4	70.6	70.6	95.0%
16	332.1	261.5	76.3%
11.2	914.9	582.8	34.8%
8	1194.6	279.7	14.9%
5.6	1301.1	106.5	7.3%
4	1384.4	83.3	1.3%
2	1395.9	11.5	0.5%
1	1396.3	0.4	0.5%
0.5	1396.8	0.5	0.5%
0.25	1397.5	0.7	0.4%
0.125	1398.5	1	0.3%
bottenpanna	1403.2	4.7	

% per fraksjon	Fraksjon
0%	+.31,5mm
5%	22,4-31,5mm
19%	16-22,4mm
42%	11,2-16mm
20%	8-11mm
8%	5,6-8mm
6%	4-5,6mm
1%	2-4mm
0%	1-2mm
0%	0,5-1mm
0%	0,25-0,5mm
0%	0,125-0,25mm
0%	0-0,125



Sikt(mm)	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5
Passerande % Ack. Testat material	0.3	0.4	0.5	0	1	1	7	15	35	76	95	100
Manuelt inlagd kurva/referens												
Fraksjoner	0-0,125mm	0,125-0,25mm	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-5,6mm	5,6-8mm	8-11mm	11-16mm	16-22mm	22-31,5mm
Fraksjonsandeler testat material (%)	0.0%	0.1%	0.0%	0%	0%	1%	6%	8%	20%	42%	19%	5%

E-2 – Siktekurve av Re-con zero brukt til 2 vasker

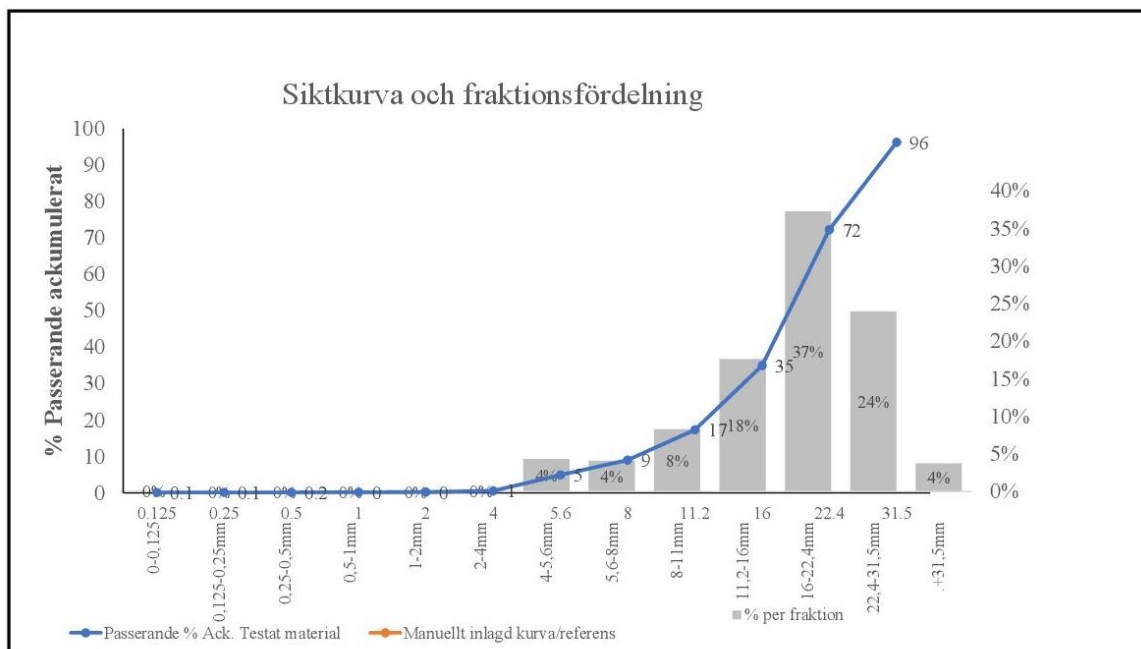


Siktkurva Re-con Zero ballast 0-22mm

Prosjekt/kund	Exmensarbete Hampus Svenss
Material	Efter torrtvätt omgång 2
Datum	17/08/2021

Siktmaska (mm)	Akkumulerad vikt på sikt (g)	Vikt på sikt fraktionsvis	Ack. % passerande
31.5	46.6	46.6	96.2%
22.4	343.9	297.3	72.3%
16	806.1	462.2	35.0%
11.2	1024.7	218.6	17.3%
8	1127.7	103	9.0%
5.6	1178.8	51.1	4.9%
4	1232.8	54	0.6%
2	1236.8	4	0.2%
1	1237.4	0.6	0.2%
0.5	1237.7	0.3	0.2%
0.25	1238.1	0.4	0.1%
0.125	1238.5	0.4	0.1%
bottenpanna	1239.7	1.2	

% per fraktion	Fraktion
4%	+.31,5mm
24%	22,4-31,5mm
37%	16-22,4mm
18%	11,2-16mm
8%	8-11mm
4%	5,6-8mm
4%	4-5,6mm
0%	2-4mm
0%	1-2mm
0%	0,5-1mm
0%	0,25-0,5mm
0%	0,125-0,25mm
0%	0-0,125



Sikt(mm)	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5	
Passerande % Ack. Testat material	0.1	0.1	0.2	0	0	1	5	9	17	35	72	96	
Manuellt inlagd kurva/referens													
Fraktioner	0-0,125mm	0,125-0,25mm	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-5,6mm	5,6-8mm	8-11mm	11-16mm	16-22mm	22-31,5mm	+.31,5mm
(%)	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	0%	4%	4%	8%	18%	37%	24%	4%

E-3 – Siktekurve av Re-con zero brukt til 3 vasker

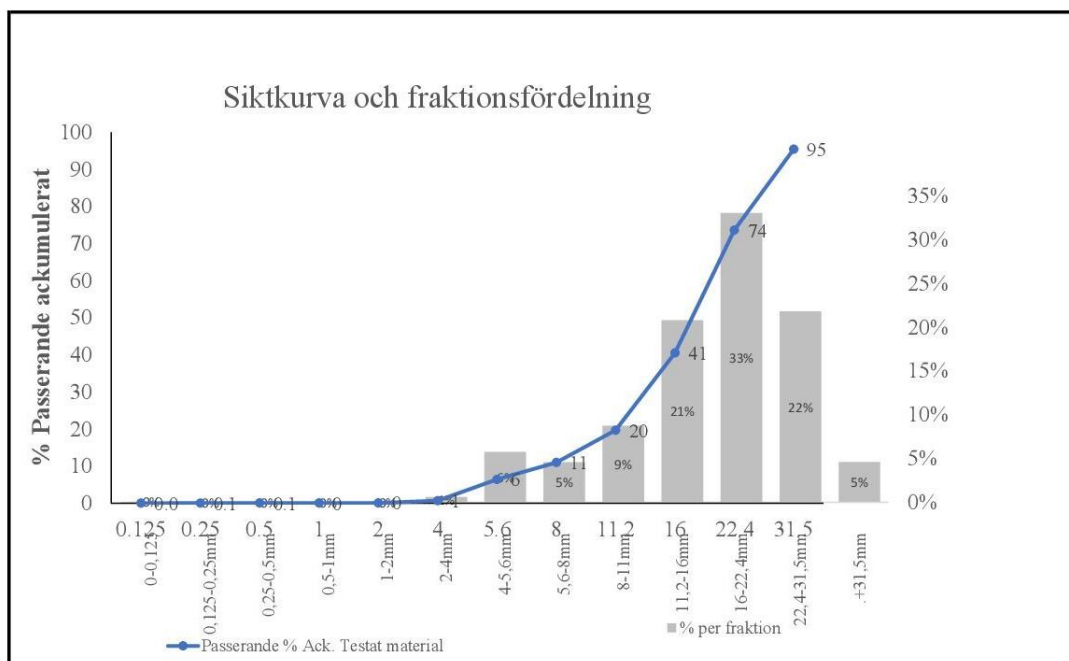


Siktekurva Re-con Zero ballast 0-22mm

Prosjekt/K	Exmensarbeite Hampus Sv
Material	Efter torrvtvätt omgång 3
Datum	17/08/2021

Siktmaska (mm)	Akkumulert vikt på sikt (g)	Vikt på sikt fraksjonsvis	Ack. % passerande
31.5	55.9	55.9	95.4%
22.4	320.3	264.4	73.6%
16	721	400.7	40.5%
11.2	973.1	252.1	19.7%
8	1078.9	105.8	11.0%
5.6	1134.1	55.2	6.5%
4	1203.5	69.4	0.7%
2	1210.7	7.2	0.1%
1	1211.1	0.4	0.1%
0.5	1211.3	0.2	0.1%
0.25	1211.5	0.2	0.1%
0.125	1211.7	0.2	0.0%
bottenpanna	1212.3	0.6	

% per fraksjon	Fraksjon
5%	.+31,5mm
22%	22,4-31,5mm
33%	16-22,4mm
21%	11,2-16mm
9%	8-11mm
5%	5,6-8mm
6%	4-5,6mm
1%	2-4mm
0%	1-2mm
0%	0,5-1mm
0%	0,25-0,5mm
0%	0,125-0,25mm
0%	0-0,125



Sikt(mm)	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5	
Passerande % Ack. Testat material	0.0	0.1	0.1	0	0	1	6	11	20	41	74	95	
Manuelt innlagd kurva/referens													
Fraksjoner	0-0,125mm	0,125-0,25mm	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-5,6mm	5,6-8mm	8-11mm	11-16mm	16-22mm	22-31,5mm	.+31,5mm
material (%)	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0%	1%	6%	5%	9%	21%	33%	22%	5%

E-4 – Siktekurve av Re-con zero brukt til 4 vasker

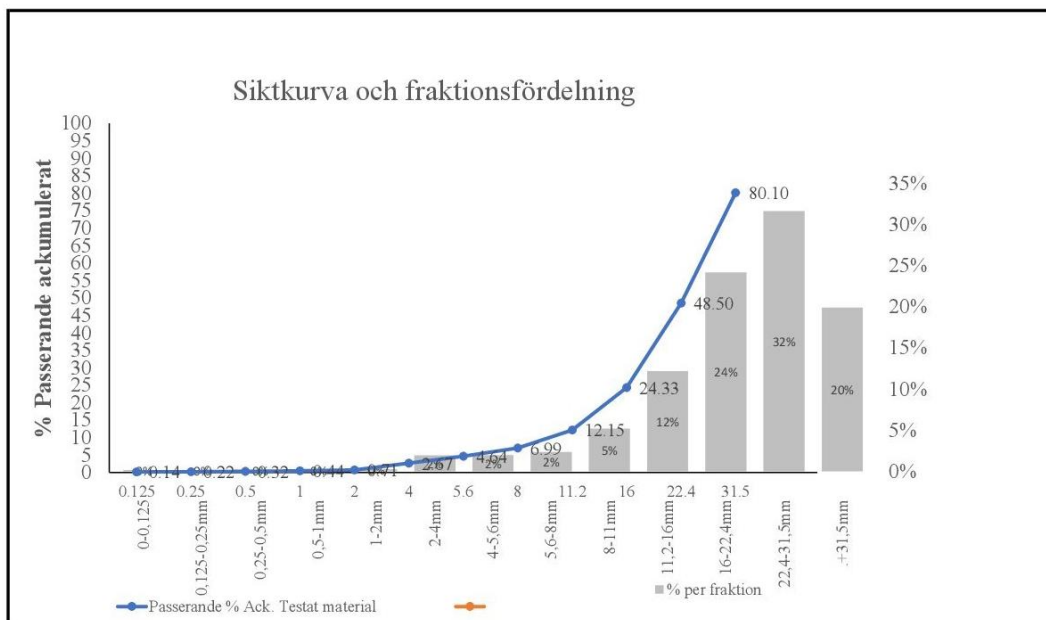


Siktkurva Re-con Zero ballast 0-22mm

Prosjekt/kund	Exmensarbeite Hampus
Material	Efter torrkvätt omgång
Datum	17/08/2021

Siktmaska (mm)	Akkumulerad vikt på sikt (g)	Vikt på sikt fraktionsvis	Ack. % passerande
31.5	179.1	179.1	80.1%
22.4	463.6	284.5	48.5%
16	681.2	217.6	24.3%
11.2	790.8	109.6	12.2%
8	837.3	46.5	7.0%
5.6	858.4	21.1	4.6%
4	876.2	17.8	2.7%
2	893.8	17.6	0.7%
1	896.2	2.4	0.4%
0.5	897.3	1.1	0.3%
0.25	898.2	0.9	0.2%
0.125	898.9	0.7	0.1%
bottenpanna	900.2	1.3	

% per fraktion	Fraktion
20%	+31,5mm
32%	22,4-31,5mm
24%	16-22,4mm
12%	11,2-16mm
5%	8-11mm
2%	5,6-8mm
2%	4-5,6mm
2%	2-4mm
0%	1-2mm
0%	0,5-1mm
0%	0,25-0,5mm
0%	0,125-0,25mm
0%	0-0,125



Sikt(mm)	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5	
Passerande % Ack. Testat material	#REF!	0.14	0.22	0.32	0.44	0.71	2.67	4.64	6.99	12.15	24.33	48.50	80.10	
Fraktioner	0-0,063	0-0,125mm	0,125-0,25mm	0,25-0,5mm	0,5-1mm	1-2mm	2-4mm	4-5,6mm	5,6-8mm	8-11mm	11-16mm	16-22mm	22-31,5mm	+31,5mm
Fraktionsandelar testat material (%)	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0%	0%	2%	2%	2%	5%	12%	24%	32%	20%

Vedlegg F – Proporsjonerings- og blandereseptskjema

F-1 – Blandeskjema for B35 M45 D16

DØNN®										DØNN®													
Prøveblanding										Prøveresultat													
Resepnummer Info om resept		30% SLAM UHånd, 1,75P210V		Synk:		220		Dato:		22/03/2023		Avd:		315		Bestemte faktorer		Silika celler		Endres fritt			
Bindemiddel:		An FA		Std FA		Silika		Flygeaske		Andel luft		Reseptstørrelse		Klinker-AnFA		Klinker-Std-FA		FA-AnFA		FA-StdFA		Vann	
Densitet bindem.		1.00		1.00		2.00		1.00		2.00%		1000.00											
K-faktorer		1.00		1.00		2.00		1.00															
% mengde		0%		100%		0%		0%		100%													
Dosering KG		0.00		471.91		0.00		0.00															
Kostnad		kr -		kr 457.75		kr -		kr -															
Tilsetningsstoff:		SCC-10		U-100		SR-N		SRA-N		Expancrete		Farge		SA		HA		Effektiv bindemiddel		471.91		471.91	
Tørrestoff 1%		16		26.5		19.5		0.5		100		100		50		27.5		Total bindemiddel		471.91		471.91	
Densitet TSS		1.02		1.07		1.05												Total klinkermengde		78%		78%	
Alkalier %				0.05%		0.05%												Total FA-andel (NS-EN206)		18.0%		18.0%	
Klorider %				0.05%		0.05%												Total FA-andel iht SVV		14%		14%	
Dosering 1% av cem		0.00%		0.00%		1.75%		0.00%		0.00%		0.00%		0.00%		0.00%		Total kg alkalier		5.69		5.69	
Dosering KG		0.00		0.00		8.26		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		Total kg klorider		0.086%		0.086%	
Kostnad		kr -		kr 67.72		kr -		kr -										Volum bindemiddel		157.30		157.30	
Tilslag:		Vang 0-8		Betongslam		11.-16				SUM								Volum vann		210.00		210.00	
Densitet tilslag		2.66		2.805		2.75				2.67								Volum luft		.20		.20	
% mengde		23%		30%		47%		0%		100%								Volum TSS		7.87		7.87	
Dosering KG		406.48		559.09		858.74		0.00		1824.31								Volum tilslag		664.40		664.40	
Kostnad		kr 40.24		kr 71.56		kr 144.27		kr -										Volum resept		1059.57		1059.57	
																		Kostnad resept		kr 781.55		781.55	
Klima utslipp										Prøving av fersk betong													
Hammar		GWP		ODP		POCP		AP		EP		ADPM		ADPE		Synkmål		26mm					
		CO2-Utslipp		Oson nedbrytelse		fotokjemisk oksydasjon		Forsuring		Eurofloriering		Ikke fosilt brennstoff		Fosilt brennstoff									
		CO2 eqv./m3		CFC-11 eqv./m3		Ethylene eqv./m3		SO2 eqv./m3		PO4 eqv./m3		KG Sb eqv.		MJ									
		3.13E+02		8.61E-06		4.57E-02		3.73E-01		3.24E-01		3.87E+04		2.01E+03									
Blanderesept										Synkutbredelse													
Prøverblanding:		16.00		Liter																			
Sement:		An FA		Std FA		Silika		Flygeaske				Medberegnet vann i TSS		Vann i TSS		0.06							
Dosere Kg		0.00		7.13		0.00		0.00				Vann i TSS		2.75									
Vann:		Kaldt vann										SANN		Effektiv V/C		0.197							
Dosere Kg		0.36																					
Tilsetningsstoff:		SCC-10		U-100		SR-N		SRA-N		Expancrete		Farge		SA		HA		Temperatur		19.3°C		19.3°C	
Dosering		0.00%		0.00%		1.75%		0.00%		0.00%		0.00%		0.00%		0.00%							
Dosere Gram:		0.00		0.00		124.71		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00							
Tilslag:		Vang 0-8		Betongslam		11.-16																	
Kg		6.14		8.44		12.97		0.00															
Dosere Kg		6.53		10.77		13.00		0.00															
Total Fukt:		6.94%		27.92%		0.83%		0.00%															
Absorbent:		0.50%		0.40%		0.60%		0.30%															
Sum:		6.44%		27.52%		0.23%		-0.30%															
Fritt Vann i kg:		0.40		2.32		0.03		0.00															
Trykkfasthet:										Dato:													
Kommentarer til fasthets prøver:										Døgn:													
										Vekt:													
										Trykkfasthet (mpa)													
										24 timer													
										24 timer													
										24.03.2023													
										2													
										2284.7g													
										26.16mpa													
										24.03.2023													
										2													
										2299.1g													
										43.43MPa													
										19-Apr													
										28													
										2352.7g													
										44.29MPa													
										19-Apr													
										28													
										2327.5g													
										56													
										56													
										91													

F-2 – Blandeskjema for 5% SLAM 0/4, 1.12SP178V



Prøveblanding

Prøveresultat

Reseptnummer Info om resept	10% SLAM Uhand, 2SP190V	Synk:	220	Dato:	22/03/2023	Avd:	315	Bestemte faktorer	silke celler silke celler	Endres fritt Må ikke røres
Bindemiddel:	An FA	Std FA	Silika	Flygeaske	Andel luft	Reseptstørrelse		Klinker-AniFA		Kommentarer til fersk betong
Densitet bindem.	3.02	3.00	2.20	2.30	2.00%	3000.00		Klinker-Std-FA		
K-faktor	1.00	1.00	2.00	1.00				FA-AniFA		
% mengde	0%	100%	0%	0%	100%			FA-StdFA		
Dosering KG	0.00	426.97	0.00	0.00				Vann	190	
Kostnad	kr -	kr 414.16	kr -	kr -				V/C forhold	0.445	
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expaccrete	Farge	SA	HA	Effektiv bindemiddel	426.97
Tørrestoff i %	16	26.5	19.5	0.5	100	100	50	27.5	Total bindemiddel	426.97
Densitet TSS	1.02	1.07	1.05	1	3	3	1	1	Total klinkermengde	78%
Alkalier %		2.50%	2.00%				0.10%	7.00%	Total FA-andel (NS-EN206)	18.0 %
Klorider %		0.05%	0.05%				0.05%	0.05%	Total FA-andel iht SVV	14%
Dosering i % av cem	0.00%	0.00%	2.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	Total kg alkalier	5.69
Dosering KG	0.00	0.00	8.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Total kg klorider	0.086 %
Kostnad	kr -	kr -	kr 70.02						Volum bindemiddel	142.32
Tilslag:	Vang 0-8	Betongslam	11.-16		SUM				Volum vann	190.00
Densitet tilslag	2.66	2.895	2.75	2.67					Volum luft	20
% mengde	43%	10%	47%	0%	100%				Volum TSS	8.13
Dosering KG	759.94	186.36	858.74	0.00	1805.04				Volum tilslag	664.40
Kostnad	kr 75.23	kr 23.85	kr 144.27	kr -					Volum resept	1024.85
		GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPM	ADPE	Prøving av fersk betong	
Klima utslipp	Hamar	CO2-Utslipp	Oson nedbrytelse	fotokjemisk oksydasjon	Forsuring	Eutrofiering	Ikke fosilt brennstoff	Fosilt brennstoff	Synkmdl	244mm
		CO2 eqv./m3	CFC-11 eqv/m3	Ethylene eqv/m3	SO2 eqv/m3	PO4 eqv/m3	KG Sb eqv.	MJ		
		2.83E+02	8.21E-06	4.23E-02	3.53E-01	4.78E-01	3.60E-04	1.88E+03		
Blanderesept										
Prøveblanding:	16.00	Liter					Medberegn vann i TSS		Synkutbredelse	510mm
Sement:	An FA	Std FA	Silika	Flygeaske			Vann i TSS	0.06		
Dosere Kg	0.00	6.67	0.00	0.00			Vann i TIS.	1.60		
Vann:	Kaldt vann						SANN	Effektiv V/C	0.352	Densitet
Dosere Kg	1.31									2366.1 kg/m^3
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expaccrete	Farge	SA	HA		
Dosering:	0.00%	0.00%	2.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		Temperatur
Dosere Gram:	0.00	0.00	133.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		17.3°C
Tilslag:	Vang 0-8	Betongslam	11.-16		0					Luftinnhold
Kg	11.86	2.91	13.41	0.00						
Dosere Kg	12.63	3.71	13.44	0.00						
Total Fukt:	6.94%	27.92%	0.83%	0.00%						Verifisering v/c tall(Micro):
Absorbent:	0.50%	0.40%	0.60%	0.30%						Kommentarer
Sum:	6.44%	27.52%	0.23%	-0.30%						
Fritt Vann i kg:	0.76	0.80	0.03	0.00						
					Trykkfasthet:		Dato:	Døgn	Vekt:	Trykkfasthet (mpa)
Kommentarer til fasthets prøver:								24 timer		
								24 timer		
						24.03.2023	2	2413.3g	35.69mpa	
						24.03.2023	2	2417.2g	35.78mpa	
						19-Apr	28	2436.9g	62.81MPa	
						19-Apr	28	2414.3g	58.6MPa	
							56			
							56			
							91			

F-4 – Blandeskjema for 10% SLAM 0/4, 1.5SP190V



Prøveblanding



Prøveresultat

Reseptnummer Info om resept	30% SLAM 0/4 , 2SP230V		Synk:	220	Dato:	22/03/2023	Avd:	315	Bestemte faktorer	slike celler	Endres fritt	Må ikke røres
Bindemiddel:	An FA	Std FA	Silika	Flygeaske	Andel luft	Reseptstørrelse			Klinker-AniFA	#1		
Densitet bindem.	2.02	2.02	2.20	2.20	2.00%	1000.00			Klinker-Std-FA	#2		
K-faktor	1.00	1.00	2.00	1.00					FA-AniFA	#5		
% mengde	0%	100%	0%	0%	100%				FA-StdFA	#8		
Dosering KG	0.00	516.85	0.00	0.00					Vann	230		
Kostnad	kr	501.35	kr	-	kr				V/C forhold	0.445		
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expaccrete	Farge	SA	HA	Effektiv bindemiddel	516.85		
Tørrestoff i %	36	26.5	29.5	29.5	100	100	50	27.5	Total bindemiddel	516.85		
Densitet TSS	1.02	1.02	1.05	1	3	3	1	1	Total klinkermengde	78%		
Alkaler %	2.50%	2.00%	2.00%				0.10%	7.00%	Total FA-andel (NS-EN206)	18.0 %		
Klorider %	0.00%	0.05%	0.05%				0.05%	0.05%	Total FA-andel iht SVV	1.4%		
Dosering i % av cem	0.00%	0.00%	2.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	Total kg alkaler	5.69		
Dosering KG	0.00	0.00	10.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Total kg klorider	0.086 %		
Kostnad	kr	-	kr	84.76					Volum bindemiddel	172.28		
Tilslag:	Vang 0-8	Betongslam	11.-16		SUM				Volum vann	230.00		
Densitet tilslag	2.66	2.805	2.75	2.62					Volum luft	20		
% mengde	23%	30%	47%	0%	100%				Volum TSS	9.84		
Dosering KG	406.48	559.09	858.74	0.00	1824.31				Volum tilslag	664.80		
Kostnad	kr	40.24	kr	71.56	kr	144.27	kr	-	Volum resept	1096.53		
									Kostnad resept	kr	842.19	

Kommentarer til fersk betong
Ble gjort synk i forkant med 1.5% Sr og 210 vannbehov; 0,5mm som resultat. Deretter ble det gjort

Prøving av fersk betong										Synkmål	40mm
Klima utslipp	Harna	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPM	ADPE			
		CO2-Utslipp	Ozon nedbrytelse	fotochemisk oksydasjon	forsuring	Eutrofiering	ikke fosilt brennstoff	Fosilt brennstoff			
		CO2 eqv/m3	CFC-11 eqv/m3	Ethylene eqv/m3	SO2 eqv/m3	PO4 eqv/m3	KG Sb eqv.	MJ			
		3.41E+05	8.91E+02	4.87E+02	3.88E+01	1.01E+01	4.14E+04	2.26E+01			
Blanderesept										Synkutbredelse	210mm
Prøveblanding:	18.00	Liter									
Sement:	An FA	Std FA	Silika	Flygeaske			Vann i TSS	0.06			
Dosere Kg	0.00	8.48	0.00	0.00			Vann i TIS.	3.27			
Vann:	Kaldt vann						SANN	Effektiv V/C	0.174	Densitet	2221.6 kg/m^3
Dosere Kg	0.44										
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expaccrete	Farge	SA	HA		Temperatur	21.2°C
Dosering:	0.00%	0.00%	2.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%			
Dosere Gram:	0.00	0.00	169.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Tilslag:	Vang 0-8	Betongslam	11.-16		0					Luftinnhold	
Kg	6.67	9.18	14.10	0.00							
Dosere Kg	7.03	12.08	14.12	0.00							
Total Fukt:	5.80%	32.00%	0.75%	0.00%						Verifisering v/c tall (Micro):	
Absorbent:	0.50%	0.40%	0.60%	0.30%						Kommentarer	
Sum:	5.30%	31.60%	0.15%	-0.30%							
Fritt Vann i kg:	0.35	2.90	0.02	0.00							

Trykkfasthet:	Dato:	Døgn	Vekt:	Trykkfasthet (mpa)
		24 timer		
		24 timer		
	24.03.2023	2	2335.3g	29.99mpa
	24.03.2023	2	2326g	30.80mpa
	19-Apr	28	2300.2g	48.15MPa
	19-Apr	28	2309.2g	47.96Mpa
		56		
		56		
		91		

Kommentarer til fasthets prøver:

F-5 – Blandeskjema for 10% SLAM 0/4, 2SP190V



Reseptnummer Info om resept		10% SLAM 0/4, 2SP190V		Synk:		220		Dato:		20/03/2023		Avd:		315		Bestemte faktorer		slike celler		Endres fritt		
Bindemiddel:		An FA	Std FA	Silika	Flygeaske			Andel luft	Resepttørrelse			Klinker-AnFA	0.1	slike celler		Må ikke røres		Kommentarer til fersk betong				
Densitet bindem.	2.02	2.00	2.00	2.00	2.00			2.00%	1000.00			Klinker-StdFA	2.8									
K-faktor	1.00	1.00	2.00	1.00							FA-AnFA	1.5										
% mengde	0%	100%	0%	0%	100%						FA-StdFA	1.8										
Dosering KG	0.00	426.97	0.00	0.00							Vann	190										
Kostnad	kr -	kr 414.16	kr -	kr -							V/C forhold	0.445										
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expacrete	Farge	SA	HA			Effektiv bindemiddel	426.97										
Tærstoff1%	16	26.5	19.5	0.5	100	100	50	27.5			Total bindemiddel	426.97										
Densitet TSS	1.02	1.07	1.05	1	3	3	1	1			Total klinker mengde	7.8%										
Alkalier %		2.50%	2.00%					0.10%	7.00%			Total FA-andel (NS-EN206)	18.0%									
Klorider %		0.05%	0.05%					0.05%	0.05%			Total FA-andel iht SVV	14%									
Dosering 1% av cem	0.00%	0.00%	2.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%			Total kg alkalier	5.69									
Dosering KG	0.00	0.00	8.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			Total kg klorider	0.086%									
Kostnad	kr -	kr -	kr 70.02	kr -	kr -	kr -	kr -	kr -	kr -			Volum bindemiddel	142.32									
Tilslag:	Vang 0-8	Betongslam	11.-16		SUM							Volum vann	190.00									
Densitet tilslag	2.66	2.805	2.75	2.67							Volum luft	20										
% mengde	43%	10%	47%	0%	100%							Volum TSS	8.13									
Dosering KG	759.94	186.36	858.74	0.00	1805.04							Volum tilslag	664.40									
Kostnad	kr 75.23	kr 23.85	kr 144.27	kr -	kr -							Volum resept	1024.85									
		GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPM	ADPE														
Klima utslipp	Hamar	CO2-Utslipp	Oson nedbrytelse	fotokjemisk oksydasjon	Forsuring	Eutrofiering	Ikke fosilt brennstoff	Fosilt brennstoff														
		CO2 eqv./m3	CFC-11 eqv./m3	Ethylene eqv./m3	SO2 eqv./m3	PO4 eqv./m3	KG Sb eqv.	MJ														
		2.85E+02	8.21E-06	4.23E-02	3.53E-01	4.78E-01	3.60E-04	1.88E+03														
Blanderesept																						
Prøveblanding:	16.00	Liter																				
Sement:	An FA	Std FA	Silika	Flygeaske			F	Vann i TSS	0.06													
Dosere Kg	0.00	6.67	0.00	0.00			SANN	Vann i TIS.	1.80													
Vann:	Kaldt vann							Effektiv V/C	0.322													
Dosere Kg	1.11																					
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expacrete	Farge	SA	HA														
Dosering:	0.00%	0.00%	2.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%														
Dosere Gram:	0.00	0.00	133.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00														
Tilslag:	Vang 0-8	Betongslam	11.-16		0																	
Kg	11.86	2.91	13.41	0.00																		
Dosere Kg	12.60	3.91	13.46	0.00																		
Total Fukt:	6.70%	34.90%	1.02%	0.00%																		
Absorbent:	0.50%	0.40%	0.60%	0.30%																		
Sum:	6.20%	34.50%	0.42%	-0.30%																		
Fritt Vann i kg:	0.74	1.00	0.06	0.00																		
Trykkfasthet:																						
Kommentarer til fasthets prøver:										Dato:		Døgn		Vekt:		Trykkfasthet (mpa)						
												24 timer										
												24 timer										
										22.03.2023		2		2402.9g		31.77mpa						
										22.03.2023		2		2384.4g		31.84mpa						
										17.04.2023		28		2401.5g		55.73mpa						
										17.04.2023		28		2396.7g		54.70mpa						
												56										
												56										
												91										

F-6 – Blandeskjema for 30% SLAM 0/4, 2SP230V



Prøveblanding


Prøveresultat

Reseptnummer	10% SLAM 0/4, 1.5SP190V				Synk:	220				Dato:	20/03/2023		Avd:	315		Bestemte faktorer	sluke celler	Endres fritt			
Info om resept																	sluke celler	Må ikke røres			
Bindemiddel:	An FA	Std FA	Silika	Flygeaske					Andel luft	Reseptstørrelse				Klinker-AnFA	Kommentarer til fersk betong						
Densitet bindem.	3.02	3.00	2.20	2.30					2.00%	1000.00				Klinker-StdFA							
K-faktorer	1.00	1.00	2.00	1.00										FA-AnFA							
% mengde	0%	100%	0%	0%	100%									FA-StdFA							
Dosering KG	0.00	426.97	0.00	0.00										Vann	190						
Kostnad	kr	kr	414.16	kr	kr									V/C forhold	0.445						
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expancrete	Farge	SA	HA	Effektiv bindemiddel										426.97		
Tørrestoff i %	16	26.5	19.5	0.5	100	100		50	27.5	Total bindemiddel										426.97	
Densitet TSS	1.02	1.07	1.05							Total klinkermengde										78%	
Alkalier %		2.50%	2.00%					0.10%	7.00%	Total FA-andel (NS-EN206)										18.0 %	
Klorider %		0.05%	0.05%					0.05%	0.05%	Total FA-andel iht SVV										14%	
Dosering i % av cem	0.00%	0.00%	1.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	Total kg alkalier										5.69	
Dosering KG	0.00	0.00	6.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Total kg klorider										0.086 %	
Kostnad	kr	kr	52.52											Volum bindemiddel	142.32						
Tilslag:	Vang 0-8	Betongslam	11.-16					SUM											Volum vann	190.00	
Densitet tilslag	2.66	2.895	2.75					2.67											Volum luft	20	
% mengde	43%	10%	47%	0%				100%											Volum TSS	6.10	
Dosering KG	759.94	186.36	858.74	0.00				1805.04											Volum tilslag	664.40	
Kostnad	kr	75.23	kr	23.85	kr	144.27	kr	-											Volum resept	1022.82	
																			Kostnad resept	kr	710.03
																			Prøving av fersk betong		
Klima utslipp	Hamar	GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPM	ADPE											Synkmål	125mm	
		CO2-Utslipp	Oson nedbrytelse	fotochemisk oksydasjon	Forsuring	Eutrofiering	ikke fosilt brennstoff	Fosilt brennstoff													
		CO2 eqv./m3	CFC-11 eqv./m3	Ethylene eqv./m3	SO2 eqv./m3	PO4 eqv./m3	KG Sb eqv.	MJ													
		2.84E+02	8.21E-06	4.17E-02	3.49E-01	4.76E-01	3.58E-04	1.82E+03													
Blanderesept																					
Prøveblanding:	16.00	Liter															Synkutbredelse	244mm			
Serment:	An FA	Std FA	Silika	Flygeaske					F	Vann i TSS							0.06				
Dosere Kg	0.00	6.68	0.00	0.00						Vann i TIIS.							1.80				
Vann:	Kaldt vann															SANN	Effektiv V/C	0.322			
Dosere Kg	1.12																				
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expancrete	Farge	SA	HA									Temperatur	17.7°C			
Dosering:	0.00%	0.00%	1.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%													
Dosere Gram:	0.00	0.00	100.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00													
Tilslag:	Vang 0-8	Betongslam	11.-16					0									Luftinnhold				
Kg	11.89	2.92	13.43					0.00													
Dosere Kg	12.62	3.92	13.49					0.00													
Total Fuktt:	6.70%	34.90%	1.02%	0.00%												Verifisering v/c tall(Micro):					
Absorbent:	0.50%	0.40%	0.60%	0.30%												Kommentarer					
Sum:	6.20%	34.50%	0.42%	-0.30%																	
Eritt Vann i kg:	0.74	1.01	0.06	0.00																	
									Trykkfasthet:	Dato:	Døgn	Vekt:	Trykkfasthet (mpa)								
Kommentarer til fasthets prøver:											24 timer										
											24 timer										
										22.03.2023	2	2391.2g	30.70mpa								
										22.03.2023	2	2378.1g	30.05mpa								
										17.04.2023	28	2428.9g	55.01mpa								
										17.04.2023	28	2430.9g	53.67mpa								
											56										
											56										
											91										

F-8 – Blandeskjema for 10% SLAM Uhandtert, 2SP190V

DØNN®										DØNN®																			
Prøveblanding										Prøveresultat																			
Reseptnummer		5% SLAM 0/4 , 1.125P178V		Synk:		220		Dato:		20/03/2023		Avd:		315		Bestemte faktorer		slike celler		Endres fritt									
Info om resept																		slike celler		Må ikke røres									
Bindemiddel:		An FA		Std FA		Silika		Flygeaske		Andel luft		Reseptstørrelse		Klinker-AnFA		Klinker-StdFA		FA-AnFA		FA-StdFA									
Densitet bindem.		2.02		2.00		2.20		2.30		2.00%		1000.00		81		78		45		48									
K-faktorer		1.00		1.00		2.00		1.00						178		0.445													
% mengde		0%		100%		0%		0%		100%																			
Dosering KG		0.00		400.00		0.00		0.00																					
Kostnad		kr -		kr 388.00		kr -		kr -																					
Tilsetningsstoff:		SCC-10		U-100		SR-N		SRA-N		Expancrete		Farge		SA		HA		Effektivt binde middel		400.00									
Tørrestoff i %		16		26.5		19.5		0.5		100		100		50		27.5		Total bindemiddel		400.00									
Densitet TSS		1.02		1.07		1.05												Total klinkermengde		78%									
Alkalier %				2.50%		2.00%						0.10%		7.00%				Total FA-andel (NS-EN206)		18.0%									
Klorider %				0.05%		0.05%						0.05%		0.05%				Total FA-andel iht SVV		14%									
Dosering i % av cem		0.00%		0.00%		1.12%		0.00%		0.00%		0.00%		0.00%		0.00%		Total kg alkalier		5.69									
Dosering KG		0.00		0.00		4.48		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		Total kg klorider		0.086%									
Kostnad		kr -		kr -		kr 36.74												Volum bindemiddel		133.33									
Tilslag:		Vang 0-8		Betongslam		11.-16				SUM								Volum vann		178.00									
Densitet tilslag		2.66		2.805		2.75		2.67										Volum luft		20									
% mengde		48%		5%		47%		0%		100%								Volum TSS		4.27									
Dosering KG		848.31		93.18		858.74		0.00		1800.23								Volum tilslag		664.40									
Kostnad		kr 83.98		kr 11.93		kr 144.27		kr -										Volum resept		1000.00									
																		Kostnad resept		kr 664.91									
										Prøving av fersk betong																			
Klima utslipp		GWP		ODP		POCP		AP		EP		ADPM		ADPE		CO2-Utslipp		Oson nedbrytelse		Fotokjemisk oksydasjon		Forsuring		Eutrofiering		Ikke fossilt brennstoff		Fossilt brennstoff	
Hamar		CO2 eqv./m3		CFC-11 eqv./m3		Ethylene eqv./m3		SO2 eqv./m3		PD4 eqv./m3		KG Sb eqv.		MJ		2.65E+02		7.99E+06		3.90E+02		3.32E+01		4.46E+01		1.40E+04		1.09E+03	
										Blanderesept																			
Prøveblanding:		16.00		Liter																									
Sement:		An FA		Std FA		Silika		Flygeaske				Medberegn vann i TSS		Vann i TSS		0.06													
Dosere Kg		0.00		6.40		0.00		0.00						Vann i TSS		1.40													
Vann:		Kaldt vann										SANN		Effektivt V/C		0.379													
Dosere Kg		1.39																											
Tilsetningsstoff:		SCC-10		U-100		SR-N		SRA-N		Expancrete		Farge		SA		HA													
Dosering:		0.00%		0.00%		1.12%		0.00%		0.00%		0.00%		0.00%		0.00%													
Dosere Gram:		0.00		0.00		71.68		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00													
Tilslag:		Vang 0-8		Betongslam		11.-16				0																			
Kg		13.57		1.49		13.74		0.00																					
Dosere Kg		14.33		2.01		13.86		0.00																					
Total Fukt:		6.10%		34.90%		1.50%		0.00%																					
Absorbent:		0.50%		0.40%		0.60%		0.30%																					
Sum:		5.60%		34.50%		0.90%		-0.30%																					
Fritt Vann i kg:		0.76		0.51		0.12		0.00																					
										Trykkfasthet:																			
										Dato:																			
										Døgn																			
										Vekt (g):																			
										Trykkfasthet (mpa)																			
Kommentarer til fasthets prøver:										24 timer																			
										24 timer																			
										22.03.2023																			
										2																			
										2453.9g																			
										34.4mpa																			
										22.03.2023																			
										2																			
										2476.5g																			
										34.9mpa																			
										17.04.2023																			
										28																			
										2441.0g																			
										57.92mpa																			
										17.04.2023																			
										28																			
										2441.3g																			
										59.45mpa																			
										56																			
										56																			
										91																			

F-9 – Blandeskjema for 30% SLAM UHåndtert, 1.75SP210V

										<h2 style="text-align: center;">Prøveblanding</h2>			
Reseptnummer	B35 M45 D16			Synk:	220	Dato:	20/03/2023	Avd:	315	Bestemte faktorer		slike celler	Endres fritt
Info om resept												slike celler	Må ikke røres
Bindemiddel:	An FA	Std FA	Silika	Flygeaske		Andel luft	Reseptstørrelse			Klinker-AniFA	81	nmentarer til fersk betong	
Densitet bindem.	3.02	3.00	2.20	2.30		2.00%	1000.00			Klinker-Std FA	78		
K-faktorer	1.00	1.00	2.00	1.00						FA-AniFA	15		
% mengde	0%	100%	0%	0%	100%					FA-StdFA	18		
Dosering KG	0.00	400.00	0.00	0.00						Vann	178		
Kostnad	kr -	kr 388.00	kr -	kr -						V/C forhold	0.445		
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expancrete	Farge	SA	HA	Effektiv bindemidd		400.00		
Tørstoff i %	16	26.5	19.5	0.5	100	100	50	27.5	Total bindemiddel		400.00		
Densitet TSS	1.02	1.07	1.05	1	3	3	1	1	Total klinkermengd		78%		
Alkalier %		2.50%	2.00%				0.10%	7.00%	Total FA-andel (NS-		18.0 %		
Klorider %		0.05%	0.05%				0.05%	0.05%	Total FA-andel iht S		14%		
Dosering i % av cem	0.00%	0.00%	1.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	Total kg alkalier		5.69		
Dosering KG	0.00	0.00	4.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Total kg klorider		0.086 %		
Kostnad	kr -		kr 36.74						Volum bindemidde		133.33		
Tilslag:	Vang 0-8	Betongslam	11.-16		SUM					Volum vann	178.00		
Densitet tilslag	2.66	2.805	2.75	2.67						Volum luft	20		
% mengde	53%	0%	47%	0%	100%					Volum TSS	4.27		
Dosering KG	936.67	0.00	858.74	0.00	1795.41					Volum tilslag	664.40		
Kostnad	kr 92.73	kr -	kr 144.27	kr -						Volum resept	1000.00		
		GWP	ODP	POCP	AP	EP	ADPM	ADPE	Prøving av fersk betong				
Klima utslipp	Hamar	CO2-Utslipp	on nedbryte	emisk oksy	Forsuring	Eutrofiering	Ikke fosilt bre	Fossilt brennstoff	Synkmål	215mm			
		2.66E+02	7.97E-06	3.90E-02	3.32E-01	4.46E-01	3.39E-04	1.69E+03					
		CO2 eqv./m3	FC-11 eqv/m3	ylene eqv/m3	SO2 eqv/m3	O4 eqv/m3	KG Sb eqv.	MJ					
		2.66E+02	7.97E-06	3.90E-02	3.32E-01	4.46E-01	3.39E-04	1.69E+03					
Blanderresept													
Prøveblanding:	16.00	Liter							Medberegn vann i TSS	Synkutbredelse	400mm		
Sement:	An FA	Std FA	Silika	Flygeaske					Vann i TSS	0.06			
Dosere Kg	0.00	6.40	0.00	0.00					Vann i TilS.	0.98			
Vann:	Kaldt vann								SANN	Effektiv V/C	0.445	Densitet	
Dosere Kg	1.81												2442.5 kg/m^3
Tilsetningsstoff:	SCC-10	U-100	SR-N	SRA-N	Expancrete	Farge	SA	HA	Temperatur		17.1°C		
Dosering:	0.00%	0.00%	1.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%					
Dosere Gram:	0.00	0.00	71.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Tilslag:	Vang 0-8	Betongsl	11.-16	0					Luftinnhold				
Kg	14.99	0.00	13.74	0.00									
Dosere Kg	15.84	0.00	13.86	0.00									
Total Fukt:	6.20%	30.00%	1.50%	0.00%					Verifisering v/c tall(Micro):				
Absorbent:	0.50%	0.40%	0.60%	0.30%					Kommentarer				
Sum:	5.70%	29.60%	0.90%	-0.30%									
Fritt Vann i kg:	0.85	0.00	0.12	0.00									
						Trykkfasthet:			Dato:	Døgn	Vekt:	Trykkfasthet (mpa)	
Kommentarer til fasthets prøver:													
									22.03.2023	24 timer			
										24 timer			
									22.03.2023	2	2483g	38.6mpa	
									22.03.2023	2	2497g	38.6mpa	
									17.04.2023	28	2502.5g	64.95mpa	
									17.04.2023	28	2474.6g	67.34mpa	
										56			
										56			
										91			

Vedlegg G – Bilder av Laboratoriearbeid

G-1 Dumping av vasket betong i skråbasseng.



G-2 Ferdig sedimentert slam



G-3 Prøvetaking av slam i bakker



G-4 Slamprøver i tørkeskap



G-5 Tørket og knust slam



G-5 Siktet slam 0/4 med 30% fukt



G-6 Uhåndtert slam



G-7 Veing av materialer for blanding



G-8 Blanding av materialer



G-9 Ferdig blandet resept



G-11 Utbredelsesmål



G-10 Måling av Slump



G-11 Støping av former



G-12 Støping og vibrering av former



Vedlegg H – Resultater

H-1 – Reseptoversikt

Kode	Dato Støpt	Vedlegg	SLAM 0-4 mm	SLAM uhåndtert	Vang 0/8	11/16	V/C-tall	Std FA	Vannbehov	SR-N
B35 M45 D16	20/3/23	F-1	0%	0%	53%	47%	0.445	400	178 L	1.12%
5% SLAM 0/4, 1.12SP178V	20/3/23	F-2	5%	0%	48%	47%	0.445	400	178 L	1.12%
5% SLAM 0/4, 1.75SP178V	20/3/23	F-3	5%	0%	48%	47%	0.445	400	178 L	1.75%
10% SLAM 0/4, 1.5SP190V	20/3/23	F-4	10%	0%	43%	47%	0.445	426.97	190 L	1.50%
10% SLAM 0/4, 2SP190V	20/3/23	F-5	10%	0%	43%	47%	0.445	426.97	190 L	2.00%
30% SLAM 0/4, 2SP230V	22/3/23	F-6	30%	0%	23%	47%	0.445	471.91	230 L	2.00%
5% SLAM Uhåndtert, 1.75SP178V	22/3/23	F-7	0%	5%	48%	47%	0.445	400	178L	1.75%
10% SLAM Uhåndtert, 2SP190V	22/3/23	F-8	0%	10%	43%	47%	0.445	426.97	190L	2,00%
30% SLAM Uhåndtert, 1.75SP210V	22/3/23	F-9	0%	30%	23%	47%	0.445	471.91	210 L	1.75%

H-2 – Resultatoversikt fersk betong

Kode	Vedlegg	Synkmål (mm)	Utbredelsesmål (mm)	Densitet (kg/m ³)	Temperatur (°C)
B35 M45 D16	F-1	215.0	400.0	2442.5	17.1
5% SLAM 0/4, 1.12SP178V	F-2	66.0	225.0	2369.6	16.9
5% SLAM 0/4, 1.75SP178V	F-3	228.0	410.0	2405.2	19.1
10% SLAM 0/4, 1.5SP190V	F-4	125.0	244.0	2388.7	17.7
10% SLAM 0/4, 2SP190V	F-5	219.0	427.0	2448.9	16.4
30% SLAM 0/4, 2SP230V	F-6	40.0	210.0	2221.1	21.2
5% SLAM Uhåndtert, 1.75SP178V	F-7	245.0	422.0	2429.0	17.3
10% SLAM Uhåndtert, 2SP190V	F-8	244.0	510.0	2366.1	17.3
30% SLAM Uhåndtert, 1.75SP210V	F-9	26.0	213.0	2214.7	19.3

H-3 – Resultatoversikt 2-døgn trykkfasthet

Kode	Vedlegg	Alder (døgn)	Vekt av terning (g)	Trykkfasthet (MPa)	Snitt trykkfasthet (MPa)
B35 M45 D16	F-1	2	2483.0	38.60	38.60
			2497.0	38.60	
5% SLAM 0/4, 1.12SP178V	F-2	2	2453.9	34.40	34.65
			2476.5	34.90	
5% SLAM 0/4, 1.75SP178V	F-3	2	2424.5	33.38	33.07
			2448.6	32.76	
10% SLAM 0/4, 1.5SP190V	F-4	2	2391.2	30.70	30.38
			2378.1	30.05	
10% SLAM 0/4, 2SP190V	F-5	2	2402.9	31.77	31.81
			2384.4	31.84	
30% SLAM 0/4, 2SP230V	F-6	2	2335.3	29.99	30.40
			2326.0	30.80	
5% SLAM Uhåndtert, 1.75SP178V	F-7	2	2498.3	39.50	39.35
			2393.8	39.20	
10% SLAM Uhåndtert, 2SP190V	F-8	2	2413.3	35.69	35.74
			2417.2	35.78	
30% SLAM Uhåndtert, 1.75SP210V	F-9	2	2284.7	27.60	26.88
			2299.1	26.16	

H-4 – Resultatoversikt 28-døgn trykkfasthet

Kode	Vedlegg	Alder (døgn)	Vekt av terning (g)	Trykkfasthet (MPa)	Snitt trykkfasthet (MPa)
B35 M45 D16	F-1	28	2502.5	64.95	66.15
			2474.6	67.34	
5% SLAM 0/4, 1.12SP178V	F-2	28	2441.0	57.92	58.69
			2441.3	59.45	
5% SLAM 0/4, 1.75SP178V	F-3	28	2470.8	59.26	59.32
			2469.9	59.37	
10% SLAM 0/4, 1.5SP190V	F-4	28	2428.9	55.01	54.34
			2430.9	53.67	
10% SLAM 0/4, 2SP190V	F-5	28	2401.5	55.73	55.22
			2396.7	54.70	
30% SLAM 0/4, 2SP230V	F-6	28	2300.2	48.15	48.06
			2309.2	47.96	
5% SLAM Uhåndtert, 1.75SP178V	F-7	28	2492.2	62.71	64.64
			2484.9	66.56	
10% SLAM Uhåndtert, 2SP190V	F-8	28	2436.9	62.81	60.71
			2414.3	58.60	
30% SLAM Uhåndtert, 1.75SP210V	F-9	28	2352.7	43.43	43.86
			2327.5	44.29	

H-5- Fuktmålinger i tilslag

Dato	Kode	Fuktinnhold i tilslag (%)			
		Slam 0/4mm	Slam uhåndtert	Vang 0/8	11/16
22.03.2023	B35 M45 D16	-	-	6.20%	1.50%
22.03.2023	5% SLAM 0/4, 1.12SP178V	34.90%	-	6.10%	1.50%
22.03.2023	5% SLAM 0/4, 1.75SP178V	34.90%	-	6.20%	1.50%
22.03.2023	10% SLAM 0/4, 1.5SP190V	34.90%	-	6.70%	1.02%
22.03.2023	10% SLAM 0/4, 2SP190V	34.90%	-	6.70%	1.02%
24.03.2023	30% SLAM 0/4, 2SP230V	32.00%	-	5.80%	0.75%
24.03.2023	5% SLAM Uhåndtert, 1.75SP178V	-	27.92%	6.94%	0.83%
24.03.2023	10% SLAM Uhåndtert, 2SP190V	-	27.92%	6.94%	0.83%
24.03.2023	30% SLAM Uhåndtert, 1.75SP210V	-	27.92%	6.94%	0.83%

H-6- 28-døgn trykkfasthet terninger



