



Universitetet  
i Stavanger

**DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET**

## **MASTEROPPGAVE**

Studieprogram/spesialisering:  Konstruksjoner og materialer Master i teknologi/siv.nig.	Vårsemesteret, 2017  <u>Åpen</u> / <del>Konfidensiell</del>
Forfatter: Eivind Venås Årbu	..... (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså Veileder(e): Kenneth Hatlestad og Sjur Elling Hana	
Tittel på masteroppgaven: Kostnads- og egenskapsfordeler ved bruk av lettbetong i betongelementer Engelsk tittel: Cost and property advantages with the use of lightweight concrete in concrete elements	
Studiepoeng: 30	
Emneord:  Lettbetong Kostnadsfordeler Egenskapsfordeler Betongelementer	Sidetall: 111  + vedlegg/annet: 65  Stavanger, 13.06.2017



# **Masteroppgave**

**(KONMAT)**

**Forside**

---

## **Kostnads- og egenskapsfordeler ved bruk av lettbetong i betongelementer**



---

Universitetet  
i Stavanger

---

Eivind Venås Årbu

Universitetet i Stavanger

13. juni 2017

## Sammendrag

Betongens verden er stor, komplisert og spennende. Oppgaven tar for seg de vanligste egenskapene som betong innehar, og om lettbetong kan utfordre disse egenskapene. Egenskapene som kartlegges, testes og sammenlignes er i korte trekk betongens reologiske egenskaper, varmeledningsevne, fasthet, elastisitet, densitet og kostnadsfordeler. Kostnadsfordelen er trolig den viktigste egenskapen av de alle. Om et byggemateriale har en kostnad som ikke kan forsvares gjennom de andre egenskapene vil materiale aldri bli benyttet i konvensjonelle prosjekter. Dette fordi alt til slutt handler om det totale kostnadsbildet.

Lettbetong er en betong hvor deler eller alt av tilslagsmateriale er byttet ut med lettere tilslagsmaterialer som kalles lettilslag. For at en betong skal gå inn under kategorien lettbetong må betongen ha en densitet som er lavere enn  $2000 \text{ kg/m}^3$ . (Maage, 2008, 1-22) Lettilslag kan være laget av mange ulike materialer men felles for alle lettilslagene er at de reduserer densiteten til betong. Ved å redusere betongens densitet vil noen eller alle betongens egenskaper endre seg. Endringer i egenskaper og den økte kostnaden ved å benytte seg av lettilslag istedenfor vanlige tilslag kartlegges gjennom oppgaven. Basert på dette vil det diskuteres om betongelementer lagd med lettilslag har noe for seg.

Ved å redusere betongens densitet vil alle kostnader forbundet med håndtering og transport også reduseres. Om denne kostnadsbesparelsen vil rettferdiggjøre den økte produksjonskostnaden har undertegnede prøvd å svare på i oppgaven. Endring i egenskapene til betongen har også en stor innvirkning på om det er fornuftig å benytte seg av lettbetong. En lettbetong har for eksempel en forbedret varmemotstand sett opp mot vanlig konstruksjonsbetong, men en lavere elastisitetsmodul som gjør at betongen blir sprøere som gjør at ved lavt armerte elementer vil bruddet skje raskt når elementet først går til brudd, og sprekkdannelse i forkant av bruddet vil være vanskeligere å oppdage enn for vanlig konstruksjonsbetong. Dette er eksempler på fordeler og ulemper som vil bli avgjørende med tanke på betongvalg i betongelementer.

I byggebransjen som alle andre bransjer er det sluttsummen som er bestemmende. Vil kostnaden ved å produsere lettbetong kunne tas igjen ved andre kostnadsposter slik at den totale kostnaden ved å benytte lettbetong i betongelementer kan rettferdiggjøres?



## Abstract

The world of concrete is large, complicated and intriguing. This thesis will mainly focus on the most common characteristics of concrete properties, and if lightweight concrete can challenge these properties in any way. The properties that will be discussed are the concrete's rheological properties, thermal conductivity, elasticity, density and cost advantages. Cost advantages is most likely the property that will have the largest influence. If the cost of the material cannot be justified through the other properties, the material will never be used in conventional projects. This is because everything is based on the total cost.

Lightweight concrete is a type of concrete where all or parts of the aggregates are switched with lighter aggregates. In order to call concrete a lightweight concrete, the concrete has to have a density lower than  $2000 \text{ kg/m}^3$  (Maage, 2008, 1-22). Lightweight aggregates can be made out of several different materials, but they all have in common that they reduce the weight of the concrete. Changes of concrete properties and the cost due to use of lightweight concrete will be thoroughly discussed in this thesis. Based on this there will be discussed if lightweight concrete can replace normal construction concrete in any areas.

By reducing the density of the concrete, the costs of transporting and handling will also be reduced. The main goal of this thesis is to work out whether the increased cost of making the lightweight concrete can be justified by lowering other costs. The change in properties when using lightweight aggregates can also justify the use of lightweight concrete. For example a lightweight concrete will have a better thermal conductivity than a normal construction concrete, but a lower elasticity module. A lower elasticity module will lead to a more brittle concrete than normal concrete, and for low reinforced elements this will lead to brittle fractures. This is two of many examples on pro and cons for concrete elements made out of lightweight concrete.

In the construction industry like all other industries the determining factor is the total cost of the project. Will the cost of producing lightweight concrete be too high compared to what is saved by using lightweight concrete in concrete elements?

## **Forord**

Denne masteroppgaver slutfører undertegnede mastergrad innen konstruksjoner og materialer med fordypning i byggkonstruksjoner ved Universitetet i Stavanger, Norge. Oppgavens innhold er et produkt av tillært kunnskap fra ulike kurs ved Universitetet i Stavanger, samtaler og informasjonsutveksling med veileder ved Universitetet i Stavanger, Kjell Tore Fosså og veiledere fra Backe, Kenneth Hatlestad og Sjur Hana. Veileder ved Universitetet i Stavanger har stor kunnskap innenfor fagfeltet betong og har vært til stor hjelp ved betongrelaterte problemstillinger. Kenneth og Sjur har mange kontakter innenfor byggenæringen, og har vært svært behjelpelige med å sette undertegnede i kontakt med mange aktører som har bidratt til å forme denne oppgaven. Ønsker å takke alle veilederne som har vært til stor hjelp under hele oppgaven. Vil takke Block Berge for den private omvisningen undertegnede fikk på betongelementfabrikken på Bryne. Bilder og informasjon som ble innhentet i forbindelse med omvisningen har blitt anvendt i mange deler av oppgaven. Vil også takke senior ingeniør Samdar Kakay for veiledning og opplæring i forbindelse med lab forsøkene undertegnede har utført i forbindelse med denne masteroppgaven.

Eivind Venås Årbu

Stavanger, 13.06.2017

## Innholdsfortegnelse

Forside .....	I
Sammendrag .....	II
Abstract .....	III
Forord .....	IV
Innholdsfortegnelse .....	V
Bildetekstliste .....	X
Tabelliste .....	XII
Formelliste .....	XIV
1. Oppgavebeskrivelse .....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Målsetning .....	2
2 Betongteori .....	3
2.1 Sement (bindemiddel) .....	4
2.1.1 Tilsetningsmaterialer .....	5
2.1.2 Tilslagsmaterialer .....	5
2.1.3 Tilsetningsstoffer .....	6
2.1.4 Reologiske egenskaper .....	8
2.1.5 Bestandighet .....	8
2.2 Betongelementer .....	11
2.3 Lettbetong .....	12
2.3.1 Lette tilslagsmaterialer .....	12
2.3.2 Fersk lettbetong .....	13
2.3.3. Fasthet lettbetong .....	14
2.3.4 Elastisitetsmodul lettbetong .....	16
2.3.5 Bestandighet lettbetong .....	16
2.3.6 Armering .....	17
2.3.7 U-verdi (Isolasjonsevne) .....	17
2.3.8 Varmeledningsevne .....	18
2.4 Transport fra elementfabrikk til byggeplass .....	18
2.5 Håndtering på byggeplass .....	18
2.6 Opparbeiding av tomt .....	19
	V

2.7 Testmetoder .....	19
2.7.1 Fasthet .....	19
2.7.2 Elastisitet modul .....	19
2.7.3 Bøyestrekfasthet .....	19
2.7.4 Spaltestrekfasthet .....	20
3 Metoder .....	21
3.1 Kvalitativ metode .....	21
3.2 Kvantitativ metode .....	21
3.3 Valg av forskningsmetoder .....	21
3.4 Litteratursøk .....	22
3.5 Validitet og reliabilitet .....	22
3.6 Betongproporsjonering .....	22
3.6.1 Modellens bestanddeler .....	23
3.6.2 Matriksfasens egenskaper .....	23
3.6.3 Partikkelfasens egenskaper .....	24
3.6.4 Partikkel og matriks dominans .....	24
3.6.5 Betongresept .....	25
3.6.6 Fremgangsmåte for å lage sikkurve .....	28
3.7 Fersk betong .....	29
3.7.1 Blanding av betong .....	29
3.7.2 Synkmål .....	30
3.7.3 Komprimering av betong .....	30
3.7.4 Måling av luftinnhold .....	31
3.7.5 Herding av prøvelegemer .....	31
3.7.6 Måling av densitet .....	31
3.8 Testmetoder .....	32
3.8.1 Måling av fuktinnhold .....	32
3.8.2 Måling av varmeledningsevne .....	33
3.8.3 Test av prøvelegemets spaltestrekfasthet (sylinder) .....	35
3.8.4 Testing av elastisitet modul .....	36
3.8.5 Trykktesting av betongterninger .....	38
3.8.6 Test av prøvelegemets bøyestrekfasthet .....	39
4. Kostnader .....	40

4.1	Produksjonskalkyle .....	44
4.1.1	Kostnad versus egenskaper for ulike letttilslag .....	47
4.2	Kostnader ved bruk av lettbetong .....	47
4.2.1	Produksjonskostnader .....	48
4.3	Armeringsbehov-kostnad .....	49
4.4	Transportkostnads-kalkyle .....	50
4.5	Håndtering- og byggeplasskostnader .....	50
4.6	Kostnadsbesparelser ved en lavere u-verdi .....	51
5.	Prosjekt oversikt .....	52
5.1	Resultater av fuktinnhold i tilslaget .....	52
5.2	Referansebetong .....	52
5.3	Test av ulike betongsammensetninger .....	52
5.3.1	Hensikt .....	53
5.4	Siktkurve .....	53
5.5	Proporsjonering .....	53
5.6	Resultater for referansebetonger .....	58
5.6.1	Synkmål .....	58
5.6.2	Luftinnhold .....	58
5.6.3	Fasthetsklasse .....	58
5.6.4	Elastisitetens modul .....	59
5.6.5	Varmeledningsevne .....	60
5.6.6	Spaltestrekkfasthet .....	62
5.6.7	Bøyestrekfasthet .....	66
5.6.8	Pris for betong .....	67
5.6.9	Densitet .....	67
5.7	Testresultater for lettbetong (liten støp) .....	68
5.7.1	Fasthet .....	68
5.7.2	Densitet .....	71
5.7.3	Stabilitet .....	73
5.8	Resultater for lettbetong .....	76
5.8.1	Synkmål .....	77
5.8.2	Luftinnhold .....	77
5.8.3	Fasthetsklasse .....	77
5.8.4	Elastisitetens modul .....	77

5.8.5	Varmeledningsevne .....	79
5.8.6	Spaltestrekkfasthet .....	80
5.8.7	Bøyestrekfasthet .....	82
5.8.8	Pris for lettbetong .....	82
5.8.9	Densitet.....	82
5.8.10	Problematikk ved bruk av lettilslag.....	83
6.	Sammenligning.....	84
6.1	Bestandighet .....	84
6.2	Varmeledningsevne .....	84
6.3	Densitet.....	85
6.4	Testede egenskaper .....	86
6.5	Reologiske egenskaper .....	86
6.6	Kostnad.....	87
7.	Konklusjon .....	89
8.	Kilder.....	90
9.	Vedlegg .....	94
	Vedlegg A1: Fasthet referansebetong M45.....	94
	Vedlegg A2: Elastisitetsmodul referansebetong M45.....	95
	Vedlegg A3: Bøyestrekfasthet referansebetong M45 .....	96
	Vedlegg A4: Spaltestrekkfasthet referansebetong M45.....	97
	Vedlegg B1: Fasthet referansebetong M65 .....	98
	Vedlegg B2: Elastisitetsmodul referansebetong M65.....	99
	Vedlegg B3: Bøyestrekfasthet referansebetong M65.....	101
	Vedlegg B4: Spaltestrekkfasthet referansebetong M65 .....	102
	Vedlegg C1: Fasthetstest lettbetong .....	103
	Vedlegg C2: Elastisitetsmodul lettbetong .....	104
	Vedlegg C3: Bøyestrekfasthet lettbetong.....	105
	Vedlegg C4: Spaltestrekkfasthet lettbetong .....	106
	Vedlegg D: Fasthet referansebetong med ulikt v/c-tall.....	107
	Vedlegg E: Testresultater for lettbetong med absorbert fukt på 25% .....	108
	Vedlegg F: Testresultater for lettbetong med absorbert fukt på 10% .....	109
	Vedlegg G: Konstanter for lettbetong .....	110
	Vedlegg H: Filtralite 3-6mm, produktbeskrivelse.....	111

Vedlegg I1: Konstruksjonsbetong M45 .....	112
Vedlegg I2: Konstruksjonsbetong M50 .....	114
Vedlegg I3: Konstruksjonsbetong M55 .....	116
Vedlegg I4: Konstruksjonsbetong M60 .....	118
Vedlegg I5: konstruksjonsbetong M65 .....	120
Vedlegg J1: Lettbetong med teoretisk densitet på 1850 kg/m <sup>3</sup> 10% absorbert fukt .....	122
Vedlegg J2: Lettbetong med teoretisk densitet på 1750 kg/m <sup>3</sup> 10% absorbert fukt .....	124
Vedlegg J3: Lettbetong med teoretisk densitet på 1600 kg/m <sup>3</sup> 10% absorbert fukt.....	126
Vedlegg J4: Lettbetong med teoretisk densitet på 1400 kg/m <sup>3</sup> 10% absorbert fukt.....	128
Vedlegg J5: Lettbetong med teoretisk densitet på 1150 kg/m <sup>3</sup> 10% absorbert fukt.....	130
Vedlegg K1: Lettbetong med teoretisk densitet på 1850 kg/m <sup>3</sup> 25% absorbert fukt .....	132
Vedlegg K2: Lettbetong med teoretisk densitet på 1750 kg/m <sup>3</sup> 25% absorbert fukt .....	133
Vedlegg K3: Lettbetong med teoretisk densitet på 1600 kg/m <sup>3</sup> 25% absorbert fukt .....	134
Vedlegg K4: Lettbetong med teoretisk densitet på 1400 kg/m <sup>3</sup> 25% absorbert fukt .....	135
Vedlegg K5: Lettbetong med teoretisk densitet på 1150 kg/m <sup>3</sup> 25% absorbert fukt .....	136
Vedlegg L: Krantabell.....	137
Vedlegg M: Miljøklassifisering av betong.....	138
Vedlegg N1: Temperaturutvikling referansebetong M65 .....	140
Vedlegg N2: Temperaturutvikling lettbetong LB40 .....	147
Vedlegg O1: Tabeller, fraksjonstabell og siktcurve for filtralite 3-6mm .....	154
Vedlegg O2: Tabeller, fraksjonstabell og siktcurve for filtralite 3-6mm .....	156
Vedlegg P1: Siktcurve for referansebetong (M45) og lettbetong 1600 kg/m <sup>3</sup> .....	158

## Bildetekstliste

Figur 1: Betongelementer, Block Berge Bygg Elementfabrikk .....	2
Figur 2: Superplasticizer, 2017 .....	6
Figur 3: Alexander, S., Vinje, L., Knustad, R., & Andersen, T.R., 2007 (Bind D11, s.64) ....	14
Figur 4: Spenningsbilde i betong og lettbetong .....	15
Figur 5: U-verdi, 1998.....	17
Figur 6: Partikkel- og matriksfasen .....	22
Figur 7: Partikkel-matriksmodellen .....	23
Figur 8: Flytmotstand baser på Gjerp, [et al.], 2007, s.62.....	24
Figur 9: Smeplass, 2004, s.4-8 .....	25
Figur 10: Siktcurver for ulike tilslag.....	26
Figur 11: Sammensatt siktcurve for B45 .....	27
Figur 13: Blandemaskin, Block Berge Bygg Elementfabrikk.....	29
Figur 14: Måleapparat for luftinnhold.....	31
Figur 16: Speedy Moisture Tester av Velde 0/8mm .....	33
Figur 15: Måleapparat for fukt .....	33
Figur 16: Måling av varmeledningsevne.....	34
Figur 18: Spaltestrekk brudd .....	36
Figur 19: Spaltestrekk .....	36
Figur 19: Elastisitetstesting .....	37
Figur 20: Lastsyklus, Elastisitet modul .....	38
Figur 22: Bøyestrekkefasthet, Standard Norge, 2009, NS-EN 12390-5:2001, s.7 .....	39
Figur 22: HMS, tid og kostnad.....	40
Figur 28: Produksjonslinje, Block Berge Bygg Elementfabrikk.....	48
Figur 24: Armering av betongelement, Block Berge Bygg Elementfabrikk.....	49
Figur 30: Håndtering av elementer på fabrikk, Block Berge Bygg Elementfabrikk.....	51
Figur 31: Blandeskjema for referansebetong M45.....	55
Figur 32: Luftinnhold i referansebetong .....	58
Figur 28: Temperaturutvikling for referansebetong M65 .....	61
Figur 34: Snittflate av referansebetong M65.....	65
Figur 35: Kutting av lettbetong .....	73
Figur 36: Snittflate av lettbetong 1150 kg/m <sup>3</sup> .....	73
Figur 37: Kutting av lettbetong 1150 kg/m <sup>3</sup> .....	73
Figur 38: Snittflate av betong 1400 kg/m <sup>3</sup> .....	74
Figur 39: Kutting av lettbetong 1400 kg/m <sup>3</sup> .....	74
Figur 40: Snittflate av lettbetong 1600 kg/m <sup>3</sup> .....	75
Figur 41: Kutting av lettbetong 1600 kg/m <sup>3</sup> .....	75
Figur 42: Snittflate av lettbetong 1750 kg/m <sup>3</sup> .....	75
Figur 38: Kutting av lettbetong 1750 kg/m <sup>3</sup> .....	75
Figur 44: Snittflate av lettbetong 1850 kg/m <sup>3</sup> .....	76
Figur 45: Kutting av lettbetong 1850 kg/m <sup>3</sup> .....	76
Figur 41: Sprekkdannelse e-modultest .....	78
Figur 42: Temperaturutvikling for lettbetong LB40 .....	80
Figur 43: Snittflate av lettbetong LB40 sett fra siden .....	81



Figur 49: Snittflate av lettbetong LB40 sett ovenfra.....	81
Figur 45: Sammenligning av temperaturutvikling .....	85
Figur 51: Produksjon av hulldekker, Block Berge Bygg Elementfabrikk .....	87
Figur 52: Krankapasitet, 2017, mobilkran 50 tonn .....	88

## Tabelliste

Tabell 1: Bestandighetsklasser (Betongelementforeningen, 2017).....	10
Tabell 2: Massetethetsklasser (Eurocode 2: Design of concrete structures, 2004, s.186) .....	13
Tabell 3: Fasthetsklasse - v/c-tall, Gjerp, P., Opsahl, M., & Smeplass, S. (2007), s.101 .....	14
Tabell 4: Fasthetsklasse - v/c-tall, Gjerp, P., Opsahl, M., & Smeplass, S. (2007), s.101 .....	14
Tabell 5: Fasthetsklasse - v/c-tall, Gjerp, P., Opsahl, M., & Smeplass, S. (2007), s.101 .....	15
Tabell 6: Fasthetsklasse - v/c-tall, Gjerp, P., Opsahl, M., & Smeplass, S. (2007), s.101 .....	15
Tabell 7: Fasthetsklasse - v/c-tall, Gjerp, P., Opsahl, M., & Smeplass, S. (2007), s.101 .....	15
Tabell 8: Andel av tilslag .....	27
Tabell 9: Rijia produktbeskrivelse, 2017 .....	41
Tabell 10: Rijia produktbeskrivelse 4-10mm, 2017 .....	42
Tabell 11: Ning Shu Produktbeskrivelse, 2017.....	43
Tabell 12: Stalite produktbeskrivelse, 2015 .....	44
Tabell 13: Priser på tilslag basert på proporsjoneringsark (Smeplass) .....	44
Tabell 14: Pris på letttilslag basert på nettpriiser .....	45
Tabell 17: Pris på lettbetong med letttilslag fra Ning Shu .....	46
Tabell 15: Pris på lettbetong med letttilslag fra Stalite .....	46
Tabell 16: Pris på lettbetong med letttilslag fra Rijia.....	46
Tabell 18: Prisliste for ulike betonger .....	47
Tabell 19: Transportkostnader fra Idar T. Heskestad, Spennbetong.....	50
Tabell 20: Prisliste fra Nordic Crane Vest AS .....	50
Tabell 21: Prisliste for Nordic Crane Midt-Norge AS .....	51
Tabell 22: Fukttinnhold målt med Speedy Moisture Tester.....	52
Tabell 23: Fasthet, referansebetong med ulikt v/c-tall.....	56
Tabell 24: Fasthetsklasser etter 28 dager for referansebetonger med ulikt v/c-tall.....	56
Tabell 25: Blandeskjema for referansebetong M65 .....	57
Tabell 26: Referansebetong, M45, fasthetstest .....	59
Tabell 27: Referansebetong, M65, fasthetstest .....	59
Tabell 28: Elastisitetens modul, referansebetong.....	60
Tabell 29: Prøveforsøk, isolasjonsevne, referansebetong, M45.....	60
Tabell 30: Kanstad et al., 2001, s.227 .....	63
Tabell 31: Kanstad et al., 2001, s.228 .....	63
Tabell 32: Spaltestrekkfasthet referansebetonger.....	64
Tabell 33: Bøyestrekfasthet referansebetong .....	66
Tabell 34: Priskalkyle for referanse betong M45.....	67
Tabell 35: Priskalkyle for referansebetong M65.....	67
Tabell 36: Densitet for referansebetong M45, våtdensitet .....	68
Tabell 37: Densitet for referansebetong M65, tørrdensitet .....	68
Tabell 38: Lettbetong, absorbert fukt 25%, fasthet 7 og 28 døgn.....	70
Tabell 39: Test av lettbetonger 10% absorbert fukt, 7 og 28 dagers fasthet .....	71
Tabell 40: Densitet lettbetong .....	72
Tabell 41: Fasthetsklasse lettbetong.....	77
Tabell 42: E-modul lettbetong.....	77
Tabell 43: Basic properties, 2016.....	79

Tabell 44: Spaltestrekkfasthet, lettbetong .....	80
Tabell 45: Bøyestrekfasthet, lettbetong.....	82
Tabell 46: Pris for lettbetonger.....	82
Tabell 47: Densitet lettbetong, stor test.....	82
Tabell 48: E-modul for alle betongene.....	86
Tabell 49: Spaltestrekkfasthet .....	86
Tabell 50: Bøyestrekfasthet.....	86
Tabell 51: Produksjonskostnad for ulike betonger.....	87
Tabell 52: Densitetsdifferanse for referansebetong og lettbetong .....	87

## Formelliste

Formel 1: Formel for masseforhold .....	9
Formel 2: Utregning av E-modul for lettbetong.....	16
Formel 3: Utregning av forhåndstall for E-modul .....	16
Formel 4: Utregning av U-verdi .....	17
Formel 5: Utregning av varmemotstand.....	18
Formel 6: Hooks lov .....	19
Formel 7: Utregning av densitet.....	32
Formel 8: Utregning av heftsonefaktor .....	49
Formel 9: Hooks lov .....	59
Formel 10: Hooks lov, omskrevet .....	60
Formel 11: Spaltestrekkfasthet 7-dager.....	62
Formel 12: Spaltestrekkfasthet 28-dager.....	62
Formel 13: Bøyestrekfasthet .....	66
Formel 14: E-modul koeffisient .....	78





## 1. Oppgavebeskrivelse

I dette kapitlet vil bakgrunnen for oppgaven og oppgavens målsetninger presenteres.

### 1.1 Bakgrunn

Bygging ved bruk av elementer har lenge vært en utbredt måte å bygge på. Bruk av betongelementer kan spores helt tilbake til antikkens Roma. I den moderne verden ble betongelementer som vi kjenner i dag videreutviklet i Liverpool av John Alexander Brodie i 1905. Dette førte til store tidsbesparelser og kostnadsbesparelser ved oppføring av hus. Disse bygningene hadde en høy kvalitet, og mange av bygningene som ble bygd med disse betongelementene står den dag i dag. Denne måten å bygge på spredde seg videre i Europa, og da særlig i Øst-Europa. (Del Zotto, 2014, 07.23). Betongelementer har vært en utbredt byggemetode i Norge siden ca. 1970. (Jan Vincent Thue, 2009, 14.02)

Betongelementer med bruk av vanlig konstruksjonsbetong har som nevnt over blitt en vanlig byggemetode i Norge og resten av Europa. Det er mange fordeler ved det å benytte seg av betongelementer kontra det å benytte seg av konvensjonelle byggemetoder hvor alt arbeid blir utført på byggeplass. (Jan Vincent Thue, 2009, 14.02)

Betongelementer blir produsert i fabrikk, noe som fører til at kvaliteten på arbeidet blir bedre, de totale kostnadene blir redusert og helse-, miljø- og sikkerhetskravene er lettere å kontrollere og innfri. (Jan Vincent Thue, 2009, 14.02)

Betongelementer har i all hovedsak blitt produsert med vanlig konstruksjonsbetong. Denne oppgaven tar for seg bruk av lettbetong fremfor bruk vanlig konstruksjonsbetong i betongelementer. I oppgaven vil det bli fokusert på egenskapene til de ulike betongene, og om økt bruk av lettbetong i betongelementer er fordelaktig.

## 1.2 Målsetning

Målet med oppgaven er å undersøke om det er kostnadsbesparende å benytte seg av lettbetong istedenfor vanlig konstruksjonsbetong i betongelementer. Produksjonskostnadene ved å benytte seg av lettbetong i betongelementene vil bli høyere, men egenskapsfordeler, transport- og håndteringskostnader vil virke positivt inn på de totale kostnadene. Målet med oppgaven er å se på om elementer av lettbetong kan gi en gevinst, og være mer kostnadseffektive.

Betongene vil bli vurdert opp mot hverandre basert på:

- Produksjonskostnader
- Bestandighet og bestandighetsklasser
- Transportkostnader
- Styrkeforhold
- Varmeledningsevne
- Transportkostnader på byggeplass (krankostnad og montasje)
- Egenvekt

For å kartlegge de ulike egenskapene og kostnadene forbundet med de ulike betongtypene har det blitt gjennomført ulike labforsøk. I labforsøkene ble det gjennomført forsøk med bruk av ulike typer og mengder lettilslag for å optimalisere lettbetongen med tanke på egenvekt, kostnad og fasthetsklasse. Fasthetsklassen for betongen som brukes skal helst ikke underskride B45. Valg av fasthetsklasse ble utarbeidet sammen med veileder ved Universitetet i Stavanger.



*Figur 1: Betongelementer, Block Berge Bygg Elementfabrikk*



## 2 Betongteori

Betong er en miks av grus, sand, sement, vann, tilsetningsstoffer og mineraltilsetningsstoffer som for eksempel pozzolaner. Fine og knuste aggregater utgjør cirka 70% av det totale volumet, og sementpasta utgjør cirka 30% av det totale volumet. Sementpasta er sement blandet med vann. (Maage, 2008, s.1-3, 1-4)

Betongen får så sine egenskaper basert på mengdene av de ulike materialene som tilsettes. Sement og vann reagerer gjennom hydratiseringsprosessen som fører til at sementen stivner sammen med resten av tilslagsmaterialene (grovstoff og finstoff). Betongen får sin karakteristiske fasthet og stabilitet etter at hydratiseringsprosessen er utført. (Juliebø, 2005, 07.01.)

Tidsperioden hvor betongen ble oppfunnet avhenger av hva som defineres som betong. Den første betonglignende strukturen som ble bygd, ble bygd i Syria og nordlige deler av Jordan cirka år 6500 f.Kr. Forløperen til betong som vi kjenner den i dag sies å blitt oppfunnet av arbeidere i Midtøsten cirka år 1300 f.Kr. (Gromicko & Shepard, 2017, s.1)

De tidligste sement sammensetningene som ble brukt i betong var brent og knust kalk og gips. Når vann og sand ble blandet med sementen, ble det en blanding som ble kalt mørtel, som var en gips-lignende materiale som ble brukt for å feste steiner til hverandre. Igjennom mange tusener av år har disse materialene blitt forbedret til det vi i dag kjenner som betong. (Gromicko & Shepard, 2017, s.1)

Gjennombruddet til dagens betong kom i 1824 da en engelskmann ved navn Joseph Aspdin oppfant Portland sement ved å brenne finmalt kalk og leire i en ovn til karbonoksidet ble fjernet. Aspdin raffinerte denne prosessen slik at proporsjonene av kalkstein og leire ble nøye oppmålt for så å lage et fint pulver av kalken og gipsen. Deretter ble miksen brent til klinker som igjen ble knust til et fint pulver som fikk navnet Portland sement. Navnet Portland kommer av at sementen hadde en høy kvalitet som minnet om den høye kvaliteten til stein funnet i Portland, England. Før Portland sementen ble oppfunnet ble det benyttet naturlig sement, som var produsert ved å brenne naturlig forekommende blandinger av kalk og leire. Fordi ingrediensene av naturlig sement er blandet av naturen vil egenskapene til sementen variere mye. Denne usikkerheten ble borte ved bruk av Portland sement. (Gromicko & Shepard, 2017, s.8)

## 2.1 Sement (bindemiddel)

Sement er et hydraulisk bindemiddel som er knust til pulverform. Et hydraulisk bindemiddel som sement kjennetegnes ved at det reagerer med vann og danner en hard masse som er bestandig mot vann. Sement består i hovedsak av klinkermaterialer og tilsetningsmaterialer. Når sement og vann blandes vil det oppstå en hydraulisk reaksjon, kalt hydratisering, som fører til avbinding og herding av betongen. (AB Svensk Byggtjänst, 1997, s.33)

Mengden og type sement som benyttes i betongen har stor innvirkning på betongens egenskaper i tidligfasen og slutfasen. Egenskapene som i hovedsak blir påvirket av mengde og type sement er:

- Vannabsorpsjon
- Varmeutvikling
- Tidligfasthet
- Sluttfasthet

Sement er sammensatt av ulike klinkermaterialer som er blandet sammen for å få de ønskede egenskapene. Portlandsement som er den vanligste sementen består av fire ulike klinkermaterialer: trikalsiumsilikat(C3S), dikalsiumsilikat(C2S), trikalsiumaluminat(C3A) og tetrakalsiumaluminatferitt(C4AF). De fire ulike klinkermaterialene har ulike fasthetsutviklinger, sluttfastheter og bestandigheter. (Kjellsen, 2008, s.5-6, 5-7)

- C3S har en hurtig fasthetsutvikling, høy sluttfasthet og er sulfatbestandig. Varmeutviklinger er hurtig, cirka 500 kJ/kg.
- C2S har en høy sluttfasthet, men en langsommere varmeutvikling og fasthetsutvikling. Varmeutviklingen er cirka 260 kJ/kg.
- C3A har en meget hurtig fasthetsutvikling, men et lavt bidrag til sementens sluttfasthet og er ikke sulfatbestandig. Varmeutviklingen er cirka 900 kJ/kg. Det brukes ofte tilsetning av gips i sementer med mye C3A for å få en retarderende størkningprosess.
- C4AF bidrar i liten grad til sementens egenskaper. Sluttfastheten er lav og varmeutviklinger er langsom, cirka 300 kJ/kg. C4AF inneholder jern som gir sementen er gråfarge. C3S, C2S og C3A har alle en hvitfarge.

Sementen som blir brukt for å lage de ulike lettbetongene er Norcem standardsement FA. Standardsement FA er en Portland-flyveaske betong som er utviklet for vanlige konstruksjoner med bestandighetsklasse M90 eller M60 og vanlig styrke. Den kan også benyttes til andre bestandighetsklasser så lenge fasthetsklassen er høy. Standardsement FA inneholder 20% flyveaske, og sementen kan brukes sammen med alkalireaktive tilslag ifølge norske retningslinjer for produksjon av betong med alkalireaktive tilslag. Norcem Standardsement FA har gode reologiske egenskaper (se kapittel 2.1.4 Reologiske egenskaper), spesielt for betong med en liten matriksfase. (Kjellsen, 2008, s.5-13)

### 2.1.1 Tilsetningsmaterialer

Tilsetningsmaterialer er finfordelt materialer som endrer egenskapene til betongen. Tilsetningsmaterialene deles inn i to grupper:

- Type I:
  - Tilnærmet inerte tilsetningsmaterialer. Det vil si tilsetningsmaterialer som ikke inngår i en kjemisk reaksjon. Her tilhører mineralske fillere som har en partikkelstørrelse på under 0.063 mm og pigmenter. (Gjerp, Opsahl, & Smeplass, 2007, 2007, s.41)
- Type II:
  - Pozzolaner eller latent hydrauliske tilsetningsmaterialer. Latent hydraulisk vil si at det trenger å bli aktivert av kalk eller sulfater. Denne typen tilsetningsmaterialer består av:
    - Silikastøv
    - Flyveaske
    - Slagg

I denne oppgaven vil det kun bli brukt flyveaske som et tilsetningsmateriale, for utfyllende informasjon for tilsetningsmaterialer utover flyveaske se Sellevold, 2008, kapittel 7.

Som nevnt i kapittel 2.1 Sement (bindemiddel), vil det i denne oppgaven bli brukt standardsement FA fra Norcem som inneholder 20% flyveaske. Flyveaske er et biprodukt fra kullkraftverk. Flyveaske forbedrer støpeligheten til betongen i den ferske fasen, og for herdet betong vil bruk av flyveaske føre til en forbedret permeabilitet. (Sellevold, 2008, s.7-13, 7-14)

### 2.1.2 Tilslagsmaterialer

Betongtilslag er en samlebetegnelse på sand- og steinmaterialer som blir brukt i produksjon av betong. Vanligvis utgjør tilslaget mellom 65-75% av betongens volum. For norsk betong er det vanligst å dele opp tilslagene i fraksjoner hvor sand har graderingen 0-8mm, og de ulike stein fraksjonen er vanligvis 8-16mm og 16-22mm. I dag er det også mange produsenter som lager tilslag med kortere fraksjoner som for eksempel 4-8mm og 8-12mm. Dette for å gjøre det mulig å lage betongen med bedre siktkurver. (Lindgård & Haugen, 2005, s.9-3)

Siden tilslaget utgjør en så stor del av betongen er det viktig at tilslaget har gode egenskaper. Tilslagsparametre som påvirker betongens egenskaper:

- Gradering (spesielt for sand tilslag)
- Partikkelform/rundhet (støpelighet, krav til vann og stabilitet)
- Glimmerinnhold
- Silt/finstoff
- Vannabsorpsjon

Tilslagets parametere har stort innvirkning på den totale kostnaden for betongblandingen. Ved å bruke tilslag som krever lite vann og har god støpelighet kan mengden sement reduseres uten at fastheten reduseres. Tilslag som er kubiske og avrundede har et lavt vannopptak og fører til en god støpelighet, mens en høy andel av flakete partikler vil føre til et høyt vannbehov og en dårlig støpelighet. Ved å benytte seg av tilslag som har noe høyere pris og bedre egenskaper vil mengden av dyr sement kunne reduseres. Dette gjør at betongen blir mer kostnadseffektiv. Ved å benytte seg av et dyrere tilslag vil en også få en betong som har mindre variasjoner i egenskapene til betongen. (Lindgård & Haugen, 2005, s.9-7, 9-9)

### 2.1.3 Tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoffer er stoffer som tilsettes betongblandingen for å modifisere egenskapene i de ulike hardefasene til betongen. For å danne en lettbetong som har samme fasthetsegenskaper som vanlig betong er det nødvendig å benytte seg av ulike tilsetningsstoffer for å få ønskede egenskaper. De vanligste tilsetningsstoffene er: (Alexander, S., Vinje, L., Knustad, R., & Andersen, T.R., 2007 2017, Bind D11, s.64-65)

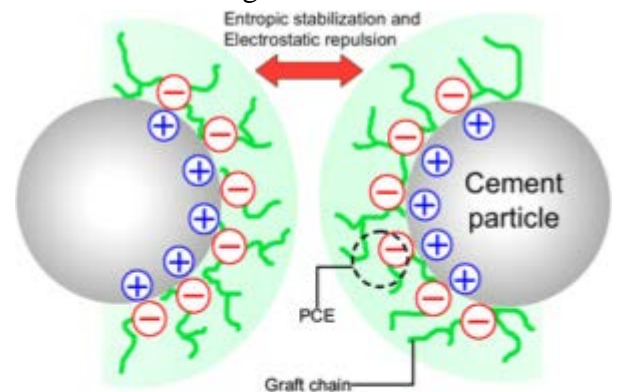
- Plastiske tilsetningsstoff (vannreducerende)
- Superplastiserende tilsetningsstoff (vannreducerende)
- Luftinnførende tilsetningsstoff
- Størknings-akselerende tilsetningsstoffer
- Retarderende tilsetningsstoffer
- Herde-akselerende tilsetningsstoffer
- Viskositetsmodifiserende tilsetningsstoff (stabilisator)

I kapittel 2.1.3.1 Superplastiserende tilsetningsstoffer, 2.1.3.2 Herdeakselerende tilsetningsstoffer og 2.1.3.3 Lufttilførende tilsetningsstoffer forklares tilsetningsstoffene som er relevante for oppgaven.

#### 2.1.3.1 Superplastiserende tilsetningsstoffer

Av de tilsetningsstoffene som er nevnt over er superplastiserende tilsetningsstoffer stoffene som er mest interessant, og mest sannsynlig at blir brukt i produksjonen av betongelementer.

De finnes i hovedsak tre superplastiserende stoffer; Naphtalene, Melamine og polycarboxylat. I Norge er det i hovedsak polycarboxylate som blir benyttet (96% av superplastiserende tilsetningsstoff som ble brukt i Norge i 2006 var polycarboxylate). Grunnet størst bruk av polycarboxylat tilsetningsstoff vil dette kapittelet ta for seg egenskapene til dette tilsetningsstoffet. (Myrdal, 2008, s.10-5)



Figur 2: Superplasticizer, 2017

Polycarboxylater har stor effekt på betongens støpelighet (reologiske egenskaper). Forbedret støpelighet skjer på grunn av en kjemisk effekt som heter sterisk hindring effekt. Sterisk hindring er at nærliggende atomers elektroner frastøter hverandre. Det skjer frastøtinger når atomer eller atomgrupper kommer nærme hverandre (se Figur 2: *Superplasticizer*, 2017).

Fordeler ved bruk av superplastiserende tilsetningsstoffer:

- Konstant styrke og vanninnhold

Ved å tilsette en superplastiserer kan støpeligheten til betongen bli forbedret, samtidig som styrke og v/c-tallet forblir uendret.

- Konstant støpelighet og sementinnhold

Ved å tilsette en superplastiserer kan støpeligheten opprettholdes på samme nivå, mens mengden av vann kan reduseres. Resultatet er redusert v/c-tall og økt styrke.

- Konstant støpelighet og styrke

Ved å tilsette en superplastiserer kan støpeligheten og styrke opprettholdes på samme nivå, og både vann og sement innholdet kan reduseres. Dette resulterer i en betongblanding som har en lavere kostnad.

- Økt støpelighet

Ved å tilsette en superplastiserer kan støpeligheten og flyten til betongen forbedres uten å påvirke styrken til betongen.

### 2.1.3.2 Herdeakselerende tilsetningsstoffer

Den kjemiske reaksjonen mellom klinkermaterialer i sementen og vann kalles hydratiseringsreaksjon (som forklart i kapittel 2.1 *Sement (bindemiddel)*). Hydratiseringsreaksjonene kan endres ved å tilsette små mengder av kjemiske tilsetningsstoffer til betongblandingen. Tilsetningsstoffer som endrer hastigheten på hydratiseringsreaksjonene kalles herdeakselerende tilsetningsstoffer. Herdeakselerende tilsetningsstoffer tilsettes betongblandingen for å redusere størkningtid og/eller for at betongen skal få en tidlig styrkeutvikling. Fordelene ved å benytte seg av herdeakselerende tilsetningsstoffer er at overflaten blir forttere ferdig, redusert hydraulisk trykk på formene (forskalingene), mer effektiv tetting av lekkasjer skapt av hydraulisk trykk og mulighet til å spraye betong på vertikale flater og tak. (Myrdal, 2008, s.10-13,10-14)

Ved bruk av betong til støping av betongelementer er herdeprosessen svært viktig. For at betongelementfabrikken skal bli så produktiv og kostnadseffektiv som mulig er det viktig at betongelementene størkner så fort og riktig som mulig. For en raskere herdeprosess kan det være en idé å benytte seg av herdeakselerende tilsetningsstoffer. Det blir ofte benyttet industri sement når det stilles strenge krav til en rask herdetid. Industri sement er tilsatt herdeakselerende tilsetningsstoffer. I samtale med Block Berge, gikk det frem at de i hovedsak benyttet seg av industri sement når de støpte betongelementer.

### 2.1.3.3 Lufttilførende tilsetningsstoffer

Lufttilførende tilsetningsstoffer oppfører seg som «såper» som danner skum i kontakt med vann, men vanlig såpe vil ikke gi den ønskede størrelse på skumpartiklene når betongen er ferdig blandet. Lufttilførende tilsetningsstoffer gir svært små luftbobler som er jevnt fordelt i betongen. Effekten fra lufttilførende tilsetningsstoffer blir vanligvis brukt for å forbedre frostmotstanden, men kan også brukes til å redusere densiteten til betongen ved å øke luftinnholdet med få prosent (1-2%). Ved å øke luftinnholdet i betongen til 4% og opp til 8% vil frostbestandigheten øke drastisk, men fastheten til betongen vil reduseres med 5% per prosent økning i luftinnhold over 4/5%.

For å forsikre seg om at betongen er frostbestandig er det viktig å lage en betong med de «riktige type luftbobler». Det er ikke antall luftbobler som gjør at betongen blir frostbestandig men størrelsen og fordelingen av luftboblene. Størrelse og fordeling av luftbobler blir påvirket av mange faktorer: type sement, tilsetningsstoffer, tilslagsmaterialer, produksjons prosedyre og mengde lufttilførende tilsetningsstoffer. (Myrdal, 2008, s.10-10,10-11,10-12)

### 2.1.4 Reologiske egenskaper

Reologi er definert som «*læren om flyte- og deformasjonsegenskaper, spesielt hos seige væsker, dispersjoner og plastiske masser og materialer.*» (Aage Stori, 2009, 15.02)

De reologiske egenskapene til betongen er viktig i utstøpingsarbeidet, hvor dårlige reologiske egenskaper kan før til separasjon, lav stabilitet og dårlig utfylling av forskalingen. Reologien til betongen beskriver hvor støpelig betongen er. Ved støping av betongelementer er det spesielt viktig at støpeligheten er god. Støpeligheten beskriver betongens:

- Mobilitet – hvor lett betongen glir ut i støpeformen uten bruk av vibrator
- Komprimerbarhet – hvor lett det er å komprimere betongblandingen, få fullstendig utfylling og tette overflater
- Stabilitet – hvor betongblandingen henger sammen og tåler hardhendt behandling uten separasjon

### 2.1.5 Bestandighet

Bestandighet er definert som betongens evne til å motstå miljøets nedbrytende påvirkninger. (Juliebø, 2005, 07.01. s.1) Bestandigheten er helt avgjørende for levetiden til betongen. Bestandighet beskrives ofte ved hjelp av eksponeringsklasser og bestandighetsklasser. Eksponeringsklassene beskriver hva slags miljø betongen kommer til å bli utsatt for og bestandighetsklassene beskriver hvilke eksponeringsklasser betongen kan utsettes for.

Eksponeringsklassene deles inn i 8 grupper: (Maage, 2010, s.2-13)

1. X0 – Ingen fare for korrosjon eller angrep (en klasse)
2. XC – Korrosjon forårsaket av karbonatisering (fire klasser basert på grad av metning og fukt)

3. XD – Korrosjon forårsaket av klorider fra andre kilder enn vann (tre klasser basert på grad av metning og fukt)
4. XS – Korrosjon forårsaket av klorider fra sjøvann (tre klasser basert på grad av metning og fukt)
5. XF – Frost-/tineangrep (fire klasser basert på grad av metning og med/uten salt)
6. XA – Kjemiske angrep (tre klasser basert på grad av aggressivitet fra jordsmonn og grunnvann)
7. XA4 – Kjemiske påvirkning fra gjødsel (en klasse)
8. XSA – Spesielt aggressive miljøer (en klasse)

Detaljert beskrivelse av de ulike eksponeringsklassene ligger som Vedlegg M: Miljøklassifisering av betong.

Bestandighetsklassene (M90, M60, M45, MF45, M40 og MF40) er et mål på hvor mye vann det er i forhold til sement. Et høyt vann/sement+bindemiddel-forhold (v/b-tall) fører til en dårlig bestandighet, og et lavt v/b-tall fører til en høy bestandighet. Bestandighetsklassen tilsvarer masseforholdet mellom vann og bindemiddel som regnes ut med denne formelen: (Gjerp [et al.], 2007, s.69) Videre i teksten er v/b-tallet beskrevet som v/c-tall da det ikke er brukt ulike bindemidler i de videre betongblandingene.

*Formel 1: Formel for masseforhold*

$$m = \frac{v}{b} = \frac{v}{(c + \sum k * p)}$$

m – masseforhold

v – vann

b - bindemiddel

c – sement

k – effektiviteten av tilsetningsstoffene (påvirkning pozzolanen har på masseforholdet)

p – pozzolan

Bestandighetsklassene (M) tilsvarer masseforholdet ganget med hundre. For de bestandighetsklassene hvor det står MF er betongen frostbestandig. Den beste «kvaliteten» heter MF40 og den dårligste «kvaliteten» heter M90. MF vil da si at betongen har et masseforhold på 0,4 og er frostsikker. I Tabell 1: *Bestandighetsklasser (Betongelementforeningen, 2017)* er det en oversikt over bestandighetsklassene og hvilke eksponeringsklasser de ulike bestandighetsklassene tilsvarer.



Tabell 1: Bestandighetsklasser (Betongelementforeningen, 2017)

Tabell D 14.5. Betongens materialsammensetning ved ulike miljøpåkjenninger og bestandighetsklasser.

Materialkrav		Bestandighetsklasse					
		M90	M60	M45	MF45	M40	MF40
Største masseforhold $m = v / (c + \Sigma kp)$		0,90	0,60	0,45	0,45	0,40	0,40
Minste luftinnhold i fersk betong		–	–	–	4 %	–	4 %
Minste effektive bindemiddelmengde $c + \Sigma kp$ (kg/m <sup>3</sup> )		225	250	300	300	330	330
Enkel beskrivelse av miljø	Eksponeringsklasse						
Meget tørt	X0	X	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Karbonatisering, regn og frost på vertikalflater	XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		X	(X)	(X)	(X)	(X)
Klorider, moderat fuktighet, moderat kjemisk påvirkning, husdyrgjødsel	XD1, XS1, XA1, XA2 <sup>a)</sup> , XA4 <sup>b)</sup>			X	(X)	(X)	(X)
Fryse-/tineangrep med og uten avisingsmiddel	XF2, XF3, XF4				X	(X)	(X)
Klorider, vått, deler av marine konstruksjoner, sterk kjemisk påvirkn.	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3 <sup>a)</sup>					X	X <sup>c)</sup>
Særlig aggressivt miljø	XSA <sup>a)</sup>	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstille kravene til M40.					

- a) Om det i eksponeringsklasse XA2, XA3 eller XSA er mulighet for kontakt med sulfater i konsentrasjoner høyere enn grenseverdien for XA2, skal det i produksjonsunderlaget presiseres at det skal anvendes sulfatbestandig sement.
- b) For konstruksjoner utsatt for husdyrgjødsel skal det i produksjonsunderlaget angis at det skal anvendes minst 4 % silikastøv.
- c) MF40 hvis konstruksjonen også plasseres i XF2, XF3, XF4.

### 2.1.5.1 Frostbestandighet

Nedbrytning grunnet frost oppstår i hovedsak hvor salt er tilstede, enten som en ytre faktor eller salter i betongen. Maksimal skade skjer når betongen er i direkte kontakt med væsker, og da spesielt i kontakt med væsker med høyt saltinnhold. Frostskader på betongen hvor salt ikke er tilstede er svært sjeldent. (Sellevold, 1996, s.15-3)

Når vann skifter fase fra flytende til fast (væske til is) utvider vannet seg med 9%, det er denne økningen i volum som fører til strekkspenninger, og kan føre til oppsprekking og avskalling.

For å sørge for at betongen er frostbestandig økes luftinnholdet i betongen til 4-6%. De økte luftporene bør ha en diameter på 0,03-0,3 millimeter for best mulig å beskytte betongen mot nedbrytning på grunn av frost. Vanlig konstruksjonsbetong har ofte et luftinnhold som ligger på rundt 2%, så luftinnholdet i vanlig betong som er utsatt for frostsykluser økes ved hjelp av lufttilførendetilsetningsstoffer. Lettbetong har vanligvis et luftinnhold som er høyere enn vanlig konstruksjonsbetong, dette medfører at lettbetong har en bedre frostbestandighet enn vanlig konstruksjonsbetong uten lufttilførendetilsetningsstoffer. (Sellevold, 1996, s.15-4)



## 2.2 Betongelementer

Historien til betongelementer kan spores tilbake helt til den gamle romerske æra. Romerne var på utkikk etter måter å forsterke infrastrukturen i hele imperiet, og brukte da et betong lignende materiale for å styrke infrastrukturen. Romerne begynte å utvikle former i forskjellige størrelser og former slik at de kunne støpe betongelementer. Mye av den romerske infrastrukturen, som for eksempel akvedukter, kulverter og tunneler ble bygd ved hjelp av betongelementer. (GPS Precast Concrete, 2011)

Betongelementer som vi kjenner dem i dag ble designet og utviklet i London, England, av ingeniøren John Alexander Brodie i 1924. Brodie var den første som designet og perfektionerte bruken av betongelementer slik at betongelementene kunne brukes til moderne arkitektoniske design. (GPS Precast Concrete, 2011)

Produksjon av betongelementer startet i Norge tidlig på 50-tallet. Motivasjonen for å bruke betongelementer var for å effektivisere gjennombyggingen av Norge etter den andre verdenskrig. Det ble i hovedsak laget vanlig armerte betongelementer, men i slutten av 50-årene ble det tatt i bruk forspente-betongelementer. I dag går om lag 15% av all betong som produseres i Norge til å produsere betongelementer. (Maage, 2008, s.1-10)

Bruksområdene til betongelementer er nesten uendelige når det kommer til oppføring av konstruksjoner. Under omvisningen hos Block Berge betongelementfabrikk fikk undertegnede et innblikk i ulike elementer som ble laget ved fabrikk. Det ble i hovedsak støpt veggelementer og hulldekker. Hulldekkene ble støpt rundt kabler som var spent opp. Slike elementer heter forspente-betongelementer, og har meget stor kapasitet på grunn av de innstøpte forspente kablene. Dette er en av mange teknikker som er mulige å benytte seg av når det betongelementer støpes på fabrikk.

Støping av betongelementer gjøres oftest i fabrikk der klima kan kontrolleres. Dette fører til at fukt, regn og temperaturvariasjoner ikke påvirker elementene. Dette gjør at hele støpeprosessen er mye lettere å kontrollere, og variasjon for de ulike betongblandingen som benyttes for hvert betongelement vil bli minimal. Ved å støpe i en fabrikk er det også lettere å sørge for at produksjonen skjer så effektivt som mulig, og det er mulig å holde produksjonen gående døgnet rundt. Ved store støp og store bestillinger var det kontinuerlig drift hos Block Berge sin elementfabrikk.

Betongelementer er oftest produsert med en høyfast betong, og en høy tidlig fasthet som gjør at betongen kan tas ut av forskalingene tidlig slik at disse kan brukes for nye elementer etter kort tid. Høy tidlig fasthet er spesielt viktig for forspente-betongelementer med tanke på heft mellom armering og betong, og her igjen for å benytte formene til støping av nye forspente-elementer. En tidlig fasthet gjøres ved å benytte seg av herdeakselerende tilsetningsstoffer og/eller industrisement som fører til en høy tidlig fasthet. (Maage, 2008, s.1-10)

## 2.3 Lettbetong

Lettbetong og konstruksjonsbetong er begge sammensatt av bindemiddel, tilslag, vann og tilsetningsstoffer. Det som skiller lettbetong fra konstruksjonsbetong er hva slags mengde tilslagsmateriale som blir benyttet. Lettbetong er alle typer av betong som har en massetetthet lavere enn 2000 kg/m<sup>3</sup>. (Maage, 2008, 1-22) Lettbetong har vanligvis en massetetthet på 900 til 1900 kg/m<sup>3</sup> (notater betongteknologi 2, s.3) mot vanlig herdet betong som har en masse på 2200 til 2500 kg/m<sup>3</sup>. (Jan Vincent Thue, 2016, 2.12) Forskjeller mellom lettbetong og konstruksjonsbetong er blant annet egenskaper ved miksefasen, støping- og herdefasen, duktilitet og e-modulus, (Sveindottir, [et al.], 1998, s.12) men de viktigste egenskapene for lettbetong som benyttes i betongelementer er vektreduksjon og en bedret isolasjonsevne (lavere u-verdi).

Lette tilslagsmaterialer og lettbetong er ikke nye materialer. Lettvekts betong har vært kjent helt siden starten av det romerske imperiet. Både det romerske Colosseum og Pantheon (tempel) var delvis konstruert med materialer som kan karakteriseres som lette tilslagsmaterialer og lettvektsbetong. Det ble benyttet tilslag av knust lava, knust murstein og pimpstein. «*Pimpstein er et sterkt blæret, skumaktig vulkansk glass, dannet ved at gasser har unnveket under størkningen av sure (rhyolittiske) lavaer*» (Rune S. Selbekk, 2015, 3.11). I USA ble det bygd over 100 krigsskip i lettbetong under andre verdenskrig. Skipene hadde kapasitet fra 3000 til 14000 tonn, og skipenes suksess førte til en økt bruk av lettbetong og letttilslag i bygninger og broer under andre verdenskrig. (Sveindottir, [et al.], 2000(1), s.5)

### 2.3.1 Lette tilslagsmaterialer

Lettbetong lages ved å benytte lettere tilslagsmateriale for å redusere vektene på betongen. Ved bruk av letttilslag vil betongen endre både støpelighetsegenskaper og mekaniske egenskaper. Endringene av egenskapene må kartlegges godt for å forsikre seg om at den ferdige betongen når opp til de krav som stilles.

Det finnes to ulike grupper letttilslag. Naturlige letttilslag og produserte letttilslag. Mesteparten av naturlig letttilslag er vulkanskstein. Når vulkaner har utbrudd blir det dannet magma, og når denne magmaen størkner blir det dannet vulkanskstein. Produsert letttilslag kan deles inn i tre undergrupper:

- Naturlige materialer
  - Perlite
  - Leire
  - Leirskifer
  - Skifer
- Industriprodukter
  - Glass
  - Flyveaske

- Biprodukter fra industrien
  - Ekspandert slag
  - Slagg
  - Pulverisert brennstoffaske

Kjennetegnet til de produserte lettilslagene er at de har gjennomgått en varmeprosess for å få dannet sluttproduktet. En vanlig måte å produsere lettilslag er ved bruk av en roterende ovn. Ved høye temperaturer blir leire, leirskifer eller skifer (som er de vanligste lettilslagene) ekspandert. (Sveindottir, [et al.], 1998, s.18-19)

Lettilslag deles inn i 5 ulike klasser basert på tilslagenes massetetthet. Massetetthetsklassene blir brukt til å kartlegge lettbetongens elastiske deformasjon, armeringsbehov og styrkeforhold.

Tabell 2: Massetetthetsklasser (Eurocode 2: Design of concrete structures, 2004, s.186)

Massetetthetsklasse		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Massetetthet (kg/m <sup>3</sup> )		801-1000	1001-1200	1201-1400	1401-1600	1601-1800	1801-2000
Massetetthet (kg/m <sup>3</sup> )	Uarmert betong	1050	1250	1450	1650	1850	2050
	Armert betong	1150	1350	1550	1750	1950	2150

For alle typer lettilslag reduseres styrken til betongen i samsvar med densiteten til tilslaget. Så ved bruk av mye veldig lette lettilslag vil styrken til betongen reduseres mye. Det å finne en balanse mellom en lett og sterk betong vil da i hovedsak bli basert på kvaliteten til lettilslaget. (Sveindottir, [et al.], 2000(2), s.44)

### 2.3.2 Fersk lettbetong

Lettilslagene som brukes for å produsere lettbetong har som regel en høyere vannabsorberende evne enn vanlige tilslag. Dette skyldes at de lette tilslagsmaterialene har en høyere porøsitet. Vannabsorpsjon til lettilslag varierer normal mellom 5 og 20 vekt-%, mens vanlige tilslag har vannabsorpsjon på under 2 vekt-%. Egenskapene til lettilslagene vil føre til konsistensforandringer kontra bruk av vanlige tilslag. (Betongteknologi 2, s.12, hefte)

Tilslagene som blir brukt for å støpe de ulike lettbetongene som blir testet i oppgaven har en vannabsorpsjonsevne på 10% etter en dag. Se Vedlegg H: Filtralite 3-6mm, produktbeskrivelse, for utfyllende informasjon om vannabsorpsjonsevnene.

Den økte absorpsjonsevnen til lettilslagene kompenseres ved å benytte et høyere vanninnhold i lettbetongblandinger. De reologiske egenskapene til den ferske lettbetongen vil av denne grunn endres i forhold til betong uten lettilslag eller tilslag med høy absorpsjonsevne. Dette vil bli diskutert i kapittel 5.8.10 *Problematikk ved bruk av lettilslag*.

### 2.3.3. Fasthet lettbetong

Lettbetong produseres normalt med en trykkfasthet på mellom LB12 og LB75 hvor LB står for lettbetong og tallet representerer trykkfastheten i MPa. Lettbetong har som nevnt en massetetthet på 900 til 1900 kg/m<sup>3</sup>. Lettbetong deles inn i fasthetsklassene LB12, LB20, LB25, LB30, LB35, LB45, LB55, LB65 og LB75. I denne oppgaven vil fasthetsklassen LB45 bli lagt vekt på.

Spenningsbilde for en lettbetong kjennetegnes ved at hovedspenningene befinner seg rundt tilslagsmaterialene, altså spenningene går ikke igjennom lettilslagene. Dette skyldes de lette tilslagenes lavere fasthet, som igjen fører til redusert stivhet. Den lave fastheten til tilslaget gjør at det er fastheten av matriksen som er med på bestemme fastheten til lettbetongen. (Sveindottir, [et al.], 1998, s.56) For normalbetong er det tilslagsmaterialet som har høyest fasthet og hovedspenningene vil derfor være i tilslagsmaterialet.

For lettbetong er det tilslaget som avgjør fastheten til den herdede betong. (Betongteknologi 2, s 13) Se Figur 4: *Spenningsbilde i betong og lettbetong.*

Bestandig- hetsklasse	Masse- forhold	Fasthetsklasse				
		B20	B30	B35	B45	B55
M90	0,90	■				
M60	0,60		■			
M45	0,45			■		
M40	0,40				■	

Figur 3: Alexander, S., Vinje, L., Knustad, R., & Andersen, T.R., 2007 (Bind D11, s.64)

Figur 3: Alexander, S., Vinje, L., Knustad, R., & Andersen, T.R., 2007 (Bind D11, s.64), viser et generelt bilde på fasthetsklassen til betongen basert på v/c-tallet. Tabellene under viser fasthetsklassene versus v/c-tall basert på hva slags type sement som er benyttet for å lage betongen.

Tabell 3: Fasthetsklasse - v/c-tall, Gjerp, P., Opsahl, M., & Smepllass, S. (2007), s.101

Norcem Standardsement				
Fasthetsklasse	B20	B30	B35	B45
Maksimalt v/c-tall	0,76	0,62	0,50	0,41

Tabell 4: Fasthetsklasse - v/c-tall, Gjerp, P., Opsahl, M., & Smepllass, S. (2007), s.101

Norcem Standardsement FA				
Fasthetsklasse	B20	B30	B35	B45
Maksimalt v/c-tall	0,73	0,60	0,50	0,42

Tabell 5: Fasthetsklasse - v/c-tall, Gjerp, P., Opsahl, M., & Smeplass, S. (2007), s.101

Norcem Industrisement				
Fasthetsklasse	B20	B30	B35	B45
Maksimalt v/c-tall	0,82	0,68	0,57	0,48

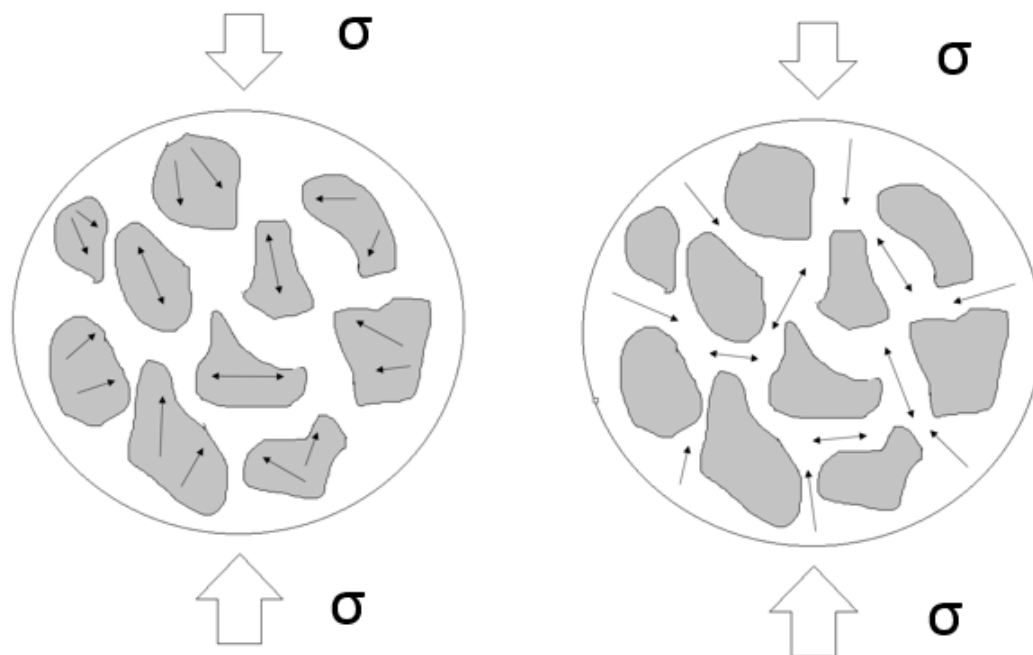
Tabell 6: Fasthetsklasse - v/c-tall, Gjerp, P., Opsahl, M., & Smeplass, S. (2007), s.101

Norcem Anleggsement					
Fasthetsklasse	B30	B35	B45	B55	B65
Maksimalt v/c-tall	0,71	0,60	0,52	0,43	0,35

Tabell 7: Fasthetsklasse - v/c-tall, Gjerp, P., Opsahl, M., & Smeplass, S. (2007), s.101

Norcem SR-sement				
Fasthetsklasse	B20	B30	B35	B45
Maksimalt v/c-tall	0,74	0,63	0,54	0,47

Tilsvarende de verdiene som er presentert i tabellene over er lagt inn i proporsjoneringsarket av Smeplass. Som nevnt tidligere er det Norcem Standardsement FA som er benyttet for å proporsjonere de ulike referansebetongene og lettbetongene.



Figur 4: Spenningsbilde i betong og lettbetong

Som beskrevet i 2.3.1 *Lette tilslagsmaterialer*, er det i hovedsak letttilslaget som bestemmer betongen fasthetsklasse. Men det er mulig å benytte lufttilførende stoffer for å redusere vekten til betongen uten at fastheten blir nevneverdig redusert. Et økt luftinnhold på 4% reduserer densiteten med 70 kg/m<sup>3</sup> for en betong som før luft økningen hadde en densitet på 1800 kg/m<sup>3</sup>. En liten økning i luftinnholdet (1-2%) har svært liten effekt på betongens fasthet (Sveindottir, [et al.], 2000(2), s.48).

### 2.3.4 Elastisitetsmodul lettbetong

Elastisitetsmodulen (E-modulen) er definert som «*forholdet mellom normalspenning og stukning ved sentrisk trykk*». (Juliebø, 2005, 07.01. s.3) eller «*forholdstallet mellom en strekk- eller trykkspenning og en relativ elastisk deformasjon (forlengelse eller forkortelse) som spenningen forårsaker i vedkommende materiale*». (Ormestad, 2009, 14.02)

Fordi lettbetongen har en mer homogen mikrostruktur er lettbetongen mindre duktil, eller sprøere enn vanlig konstruksjonsbetong. (Sveindottir, [et al.], 1998, s.90) Den økte sprøheten må vurderes når det benyttes lettbetong i betongelementer. Den lave duktiliteten fører til at betongelementet har en svært liten plastisk fase, noe som gjør at det er vanskeligere å sørge for en sikker struktur. (Øverli & Jensen, 2012, s.1)

For utregning av elastisitetsmodulen brukes følgende formel:

*Formel 2: Utregning av E-modul for lettbetong*

$$E_L = E * \eta_E$$

*Formel 3: Utregning av forhåndstall for E-modul*

$$\eta_E = \left(\frac{\rho}{2200}\right)^2$$

$\rho$  = øvre densitetsgrense for den relevante betongklassen.

$\eta_E$  = forhåndstall for e-modul basert på densiteten til betongklassen

E = e-modulen for vanlig konstruksjonsbetong

$E_L$  = e-modul for lettbetongen

Formler er hentet fra NS-EN 1992-1-1:2004, se Vedlegg G: Konstanter for lettbetong.

### 2.3.5 Bestandighet lettbetong

Som beskrevet i kapittel 2.1.6 er bestandighet et mål på vanninnholdet i betongen. Bestandigheten for lettbetong deles inn i samme klasser som for vanlig konstruksjonsbetong, M90, M60, M45, MF45, M40 og MF40. En viktig parameter når betongenes bestandighet skal bestemmes er permeabilitet. Betong med letttilslag har oftest en permeabilitet som er noe lavere enn normalbetong, altså en betong som er tettere. Grunnen til at lettbetong ofte har en lavere permeabilitet enn normalbetong er på grunn av at heftsonen mellom matriksen og tilslagskorn

i lettbetongen er bedre enn i normalbetong. Dette skyldes en kjemisk reaksjon mellom letttilslagene og sementpastaen som fører til en sterkere heftzone. Denne sonen er oftest det svakeste leddet i betongen. Se kilde for mer detaljert forklaring. (Betongteknologi 2, s. 15)

### 2.3.6 Armering

Armering er svært vesentlig når det produseres betongelementer. Betongens mest ettertraktede egenskap er at den er svært sterk i trykkfasthet, men betongen har en rekke svake egenskaper som må kompenseres. Dette gjøres vanligvis ved bruk av armeringsjern som plasseres inni betongelementene. Armeringsjern er svært motstandsdyktig mot strekk.

Lettbetong har normalt en lavere heft mellom armering og betong som fører til et større armeringsbehov. Økt armeringsbehov vil øke den totale kostnaden for betongelementene som produseres.

### 2.3.7 U-verdi (Isolasjonsevne)

Definisjonen av U-verdi (varmegjennomgangskoeffisient) er et standardisert mål som beskriver hvor stor varmegjennomgang det er i et element eller en bygningsdel. U-verdi måles i  $W/m^2$ , hvor mye varme per tidsenhet (W) som strømmer igjennom ett areal på en kvadratmeter ( $m^2$ ) når temperaturforskjellen mellom kald og varm side av elementet/bygningsdelen har en konstant temperaturforskjell på en kelvin (samme som en grad). Har et element eller en bygningsdel en lav u-verdi vil dette føre til en god isolasjonsevne. Ulike materialer har ulike varmemotstander. Det er varmemotstanden og tykkelsen på elementet/bygningsdelen som gir total u-verdi. U-verdi er gitt ut fra formelen:

Formel 4: Utregning av U-verdi

$$U = \frac{1}{R_T} + \Delta U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} + \Delta U \quad (W/(m^2))$$

$R_T$  er total varmemotstand ( $m^2K/W$ )

$\Delta U$  er tillegges u-verdi for varmetap grunnet kuldebrorer, luftlekkasjer, ventilasjon og avløpsvann.

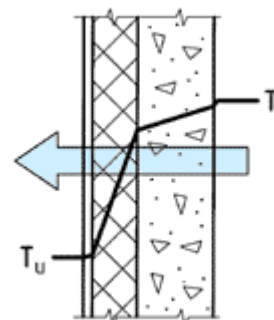
$R_{si}$  = innvendig overgangsmotstand ( $m^2K/W$ )

$R$  = varmemotstanden for konstruksjonen ( $m^2K/W$ )

$R_{se}$  = utvendig overgangsmotstand ( $m^2K/W$ )

(Edwardsen & Ramstad, 2010, s.78)

I vårt tilfelle vil det være et homogent materialsjiktet, og formelen for den totale varmemotstanden vil derfor se slik ut: (Werner, K. 2008, s.25)



Figur 5: U-verdi, 1998



Formel 5: Utregning av varmemotstand

$$R_T = \frac{d}{\lambda}$$

$d$  = tykkelsen på sjiktet

$\lambda$  = materialsjiktets varmekonduktivitet, det vil si materialets varmeledningsevne (W/mK)

Lettbetong har oftest noe lavere permeabilitet og høyere luftinnhold i forhold til normal konstruksjonsbetong (se kapittel 2.3.5 *Bestandighet lettbetong*) som vil føre til en lavere  $u$ -verdi. Hvor stor denne verdien er og hva den har å si for kostnadsaspektet vil bli diskutert i kapittel 4.6 *Kostnadsbesparelser ved en lavere  $u$ -verdi*.

### 2.3.8 Varmeledningsevne

Varmeledningsevne er diskutert i kapittel 6, der brannmostanden i vanlig konstruksjonsbetongkonstruksjoner sammenlignes mot lettbetongkonstruksjoner.

Varmeledningsevne vil bli testet for referansebetongen og for alle de ulike lettbetongblandingene, dette vil gi en indikasjon på hvor god varmeledningsevne de ulike betongene har sammenlignet med vanlig konstruksjonsbetong. Varmeledningsevnen kan knyttes opp mot isolasjonsevnene, og varmeledningsevnen vil gi et godt bilde på hvor gode de ulike isolasjonsevnene er for de ulike betongene.

## 2.4 Transport fra elementfabrikk til byggeplass

Bruk av lettbetong i betongelementene vil kunne redusere egenvekten til betongelementene med over 50 % sammenlignet med vanlig herdede betongelementer som vanligvis har en masse på 2200 til 2500 kg/m<sup>3</sup>. (Jan Vincent Thue, 2016, 2.12) Problemet med å redusere vekten til betongelementene er at de endrer egenskaper som fasthet,  $e$ -modul, spaltestrekfasthet og bøyestrekfasthet.

En reduksjon i egenvekt fører til at det kan lastes flere og større elementer på lastebilene som kjører betongelementene fra elementfabrikker til byggeplasser. Flere og større betongelementer per lastebil vil føre til en lavere transportkostnad per elementenhet. En lavere transportkostnad er med på å fremme bruken av lettbetong i betongelementer.

## 2.5 Håndtering på byggeplass

Vektreduksjonen av betongelementene medfører en lavere kostnad med tanke på håndtering av betongelementer på byggeplass. Størrelsen og makskapasitet til kranene som blir benyttet til å håndtere betongelementene på byggeplassen kan reduseres, noe som vil senke krankostnadene.

Ved bygg av råbygg er det som regel betongelementer, betongsøyler og betongdekker som er de tyngste byggematerialene som kranene skal håndtere. Hvis de tyngste elementene kan



reduseres i vekt vil kostnadene ved håndtering på byggeplass kunne reduseres med mange prosent. Utrengninger og mulige kostnadsbesparelser ved bruk av mindre kraner og maskiner for håndtering på byggeplass vil bli diskutert i kapittel 4.5 *Håndtering- og byggeplass*.

## 2.6 Opparbeiding av tomt

Bruken av lettbetongelementer vil føre til at den totale vekten av konstruksjonen blir kraftig redusert. Dette gjør at kostnadene for opparbeiding av tomtearealet vil bli redusert fordi kravene til grunnforholdene vil bli redusert i samsvar med konstruksjonens totalvekt. Kostnadsbesparelsene ved å benytte lettere betongelementer vil betydning på tomter hvor det er dårlige grunnforhold og vanskelig å opparbeide en tomt som kan bære vanlige betongelementer.

## 2.7 Testmetoder

### 2.7.1 Fasthet

Fastheten til betongen er den mest brukte måten å måle betongen styrkeegenskaper. Fastheten måles ved hjelp av en trykktester, som beskrevet i kapittel 3.8.5 *Trykktesting av betongterninger*. Fastheten til betongen er et mål på hvor mye sammentrykkingskraft betongen klarer å motstå før den går til brudd. Fastheten uttrykkes i Mega Pascal (MPa). 1 MPa tilsvarer det samme som 1 Newton per mm<sup>2</sup> som er cirka det samme som 0,1 kilo per mm<sup>2</sup>. (Gjerp, [et al.], 2007, s.99)

$$1 \text{ MPa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{cirka } 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

### 2.7.2 Elastisitet modul

Som nevnt i kapittel 2.3.4 *Elastisitetsmodul lettbetong*, er elastisitetsmodulen (E-modulen) definert som «forholdet mellom normalspenning og stukning ved sentrisk trykk». (Juliebø, 2005, 07.01. s.3)

Hooks lov fremstiller dette forhold ved hjelp av denne formelen:

*Formel 6: Hooks lov*

$$\sigma = E * \varepsilon$$

### 2.7.3 Bøyestrekkefasthet

Er definert som «egenskap hos sprø uarmerte materialer med lavere bruddgrense for strekk enn for trykk, til å motstå bøyende moment.» (Juliebø, 2005, 07.01. s.2)

«Prismeformede prøvelegemer utsettes for et bøyemoment ved påføring av en last via øvre og nedre ruller. Den største lasten som prøvelegemet motstår registreres, og prøvelegemets bøyestrekkefasthet beregnes.» (Standard Norge, 2001, NS-EN 12390-5:2001, s.4)

Ved test av bøyestrekkefasthet testes momentkapasiteten til prøvelegemet. På oversiden av bjelken vil det bli trykkrefter, mens på undersiden av bjelken vil det bli strekkrefter. Betong er som forklart i kapittel 2.3.6 *Armering*, sterk i fasthet (trykk) men dårlig til å ta imot strekkrefter. Dette medfører at bjelken sprekker opp i underkant og etter nok tilført kraft vil bjelken knekke. I og med at betongprismene som testes ikke er armert vil bøyestrekkefastheten til prøvelegemene bli lavt.

Utrekning av bøyestrekkefasthet blir gjort i kapittel 5.6.7 *Bøyestrekkefasthet* og i kapittel 5.8.7 *Bøyestrekkefasthet*.

#### 2.7.4 Spaltestrekkefasthet

«Et sylinderformet prøvestykke utsettes for en trykkraft som påføres langs et smalt område i lengderetningen. Den resulterende strekkraften vinkelrett på trykkretning fører til strekkbrudd i prøvelegemet.» (Standard Norge, 2001, NS-EN 12390-6:2001, s.5)

Spaltestrekkefastheten viser strekkreftene prøvelegemet kan bli utsatt for før det går til brudd. Utrekning av spaltestrekkefasthet blir gjort i kapittel 5.6.6 *Spaltestrekkefasthet* og i kapittel 5.8.6 *Spaltestrekkefasthet*.

### 3 Metoder

I dette kapitlet vil de ulike metodeformene bli diskutert, samt metoder som er benyttet for forsøkene som gjennomført i forbindelse med denne oppgaven.

#### 3.1 Kvalitativ metode

*«Kvalitativ metode bygger på teorier om fortolkning (hermeneutikk) og menneskelig erfaring (fenomenologi). Metodene omfatter ulike former for systematisk innsamling, bearbeiding og analyse av materiale fra samtale, observasjon eller skriftlig tekst. Målet er å utforske meningsinnholdet i sosiale fenomener, slik det oppleves for de involverte selv. Kvalitative forskningsmetoder kan brukes til systematisering av og gi innsikt i menneskelige uttrykk, enten språklige ytringer (i skrift eller tale) eller handling (atferd).» (De nasjonale for forskningsetiske komiteene, 2010, 15.01.)*

#### 3.2 Kvantitativ metode

*«Kvantitative metoder omfatter formaliserte prinsipper som legger grunnlaget for en stringent forskningsprosess fra problemformuleringer, forskningsdesign, datavalg og dataanalyse til tolkninger og konklusjoner. Data vil være forankret til spesifikke variabler, og det anvendes standardiserte metoder for datainnsamling (for eksempel ved ekspertvurderinger, observasjon, intervju eller formell testing). Variablene kan dermed uttrykkes i tallverdier, og datamaterialet kan beskrives med tabeller, grafiske figurer eller statistiske mål som gjennomsnitt, variasjon og korrelasjon, og analyseres ved hjelp av f. eks varians-, faktor- eller regresjonsanalyse» (Befring, 2015, s.131-160)*

#### 3.3 Valg av forskningsmetoder

Forskningsmetodene som er benyttet i denne oppgaven er en kombinasjon av kvalitative og kvantitative metoder. Tolkning av den kvalitative dataen og fortolkningens grenser er svært viktig når det gjelder innhenting av informasjon fra ulike kildene.

*«Uansett hva slags tolkningsnivå man velger, er det viktig at man leser selvkritisk gjennom sine egne tolkninger, og søker å la det gå klart frem i teksten hva som er forskerens egne tolkninger og hva som er deltagerens tolkninger av sine handlinger, samt hva som er deltagerens utsagn og hva som er forskerens tolkninger av disse.» (De nasjonale for forskningsetiske komiteene, 2010, 15.01.)*

Store deler av oppgaven bygger opp og rundt forskning og forsøk som er gjort ved betonglabben ved Universitetet i Stavanger.

### 3.4 Litteratursøk

Ved bruk av litterære kilder er forfattere og institusjoner grundig gjennomgått for å forsikre seg om at informasjonen som er hentet ut er korrekt. Ved bruk av kilder som har virket litt usikre er det blitt kryssjekket opp mot andre kilder for å verifisere kildene som har blitt brukt.

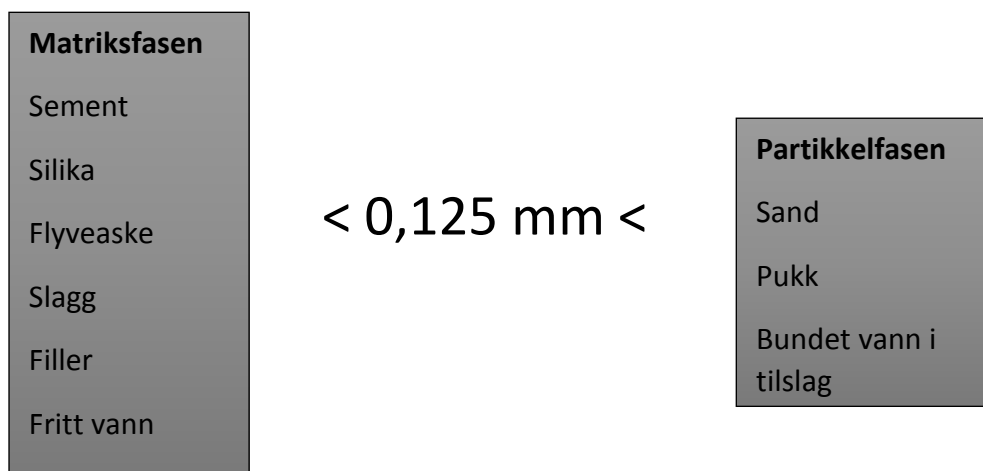
Litteratur som er benyttet i oppgaven er i hovedsak hentet fra rapporter som undertegnede har fått av veileder ved Universitetet i Stavanger, bøker som har vært pensum gjennom tidligere gjennomført utdanning og litteratur fra internett. Litteraturen som er hentet fra internett har i hovedsak vært definisjoner og informasjon som har blitt verifisert av flere nettsteder.

### 3.5 Validitet og reliabilitet

Det er svært vanskelig å forsikre seg om validiteten og reliabiliteten til kildene som er oppgitt og henvist til i oppgaven er helt sikre. Oppgavens forfatter har forsøkt å lese seg opp på de ulike kildene for å forsikre seg om at validiteten og reliabiliteten er så god som mulig. Kildene som er brukt for sensitive temaer er hentet og sammenlignet opp mot flere forskjellige kilder for at reliabiliteten skal bli så god som mulig.

### 3.6 Betongproporsjonering

Det vil i denne oppgaven bli gjennomført labforsøk for å finne optimal sammensetning for å få en best mulig lettbetong med tanke på kostnadsbesparelse og egenskaper. I dette kapitlet vil det bli gitt en innføring i partikkel-matriksmodellen som er den moderne proporsjoneringsmetoden som blir benyttet for å finne riktige blandeforhold. Utdypning i betongproporsjonering utover kapittel 3.6 *Betongproporsjonering*, se Gjerp [et al.], 2007, kapittel 4 og Smeplass, 2004, kapittel 4.



Figur 6: Partikkel- og matriksfasen

### 3.6.1 Modellens bestanddeler

Modellens mål er å skape et klarere bilde av egenskapene til de ulike delmaterialene. Delmaterialene, som oftest utgjør 7/8 betongen av betongen, blir delt inn i to ulike faser, matriksfasen og partikkelfasen. Som vist i Figur 6: Partikkel- og matriksfasen, består matriksfasen av alle materialer som har en partikkelstørrelse på under 0,125 mm og partikkelfasen er alle materialer som har en partikkelstørrelse på over 0,125 mm. Matriksfasen blir beskrevet som den tungtflytende komponenten som fyller alle hulrommene og omslutter den faste partikkelfasen.

Figur 7: *Partikkel-matriksmodellen*, forklarer at det er volumforholdet mellom matriksfasen og partikkelfasen som er den styrende parameteren for å bestemme betongens konsistens. Dette etter at egenskapene til partikkel- og matriksfasen er bestem. (Gjerp [et al.], 2007, s.61-62)



Figur 7: *Partikkel-matriksmodellen*

### 3.6.2 Matriksfasens egenskaper

Som nevnt i kapittel

3.6.1 *Modellens* bestanddeler, er matriksfasen karakterisert som en tungtflytende væske. Matriksfasen kan måles ved hjelp av et FlowCyl apparat. «FlowCyl er et kort rør som er avsluttet i en kon med trang åpning i den ene enden. Måleprinsippet går ut på å sette røret i vertikal stilling, fylle røret med matriksmateriale, og kontinuerlig måle strømmen gjennom åpningen ved hjelp av en elektronisk vekt koblet til en datamaskin» (Gjerp, [et al.], 2007, s.62)

Ut i fra disse måledataene finner en egenskapene til matriksfasen og kan videre bestemme volummengden av partikkelfasen. Egenskapene til partikler under en viss størrelse (mindre enn 0.125mm) vil bli bestemt av overflateegenskaper, og ikke vekt og form for partiklene. (Smeplass, 2004, s.4-3)

Materiale	$\lambda_Q$
Vann	0,10
Matriks i M60-betong (v/b=0,60)	0,30-0,40
Matriks i M45-betong (v/b=0,45)	0,50-0,60
Matriks i selkomprimerende betong	0,55-0,75

Figur 8: Flytmotstand baser på Gjerp, [et al.], 2007, s.62

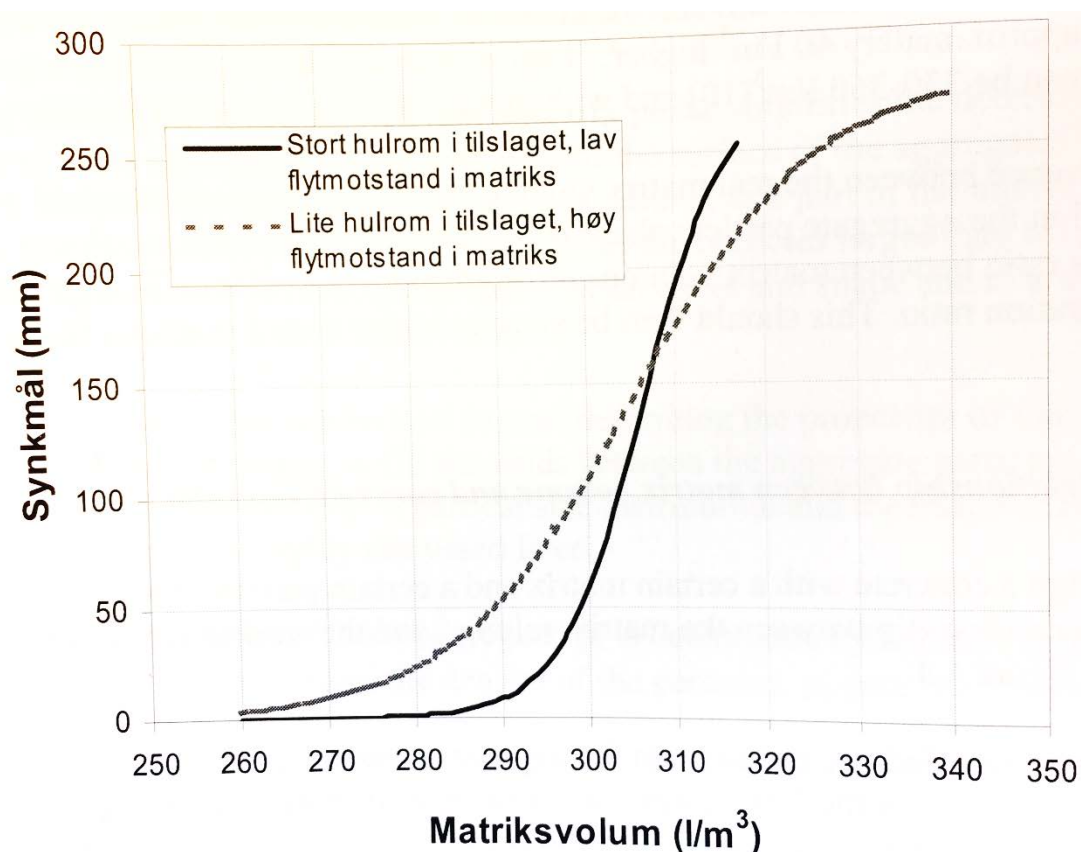
### 3.6.3 Partikkelfasens egenskaper

*«I partikkel-matriksmodellen er det naturlig å beskrive partikkelfasens egenskaper ved å ta utgangspunkt i matriksens primære oppgave som er å fylle hulrommene mellom tilslagspartiklene. Størrelsen på dette hulrommet er i første rekke en funksjon av partiklenes størrelsesfordelingen og partiklenes kornform.»* (Gjerp, [et al.], 2007, s.63)

Partikkelfasen er den resterende delen av tilslaget som har en størrelse på over 0,125 mm, og vannet som er absorbert i tilslaget. Egenskapene til partikkelfasen er styrt av friksjon mellom partiklene, og egenskapene vil varieres med vekt, størrelse og form på de ulike partiklene.

### 3.6.4 Partikkel og matriks dominans

For synkmål verdier over 150 mm vil betongen gradvis endre seg fra å være partikkel dominert til matriks dominert. Matriks dominans betyr at matriks volumet er stort nok til å øke avstanden mellom tilslags partiklene slik at friksjonen mellom tilslags partiklene reduseres. Dette vil føre til at vekt, størrelse og form på tilslaget ikke vil påvirke betongens reologiske egenskaper like mye som før. For synkmål verdier på under 150 mm vil betongen endre seg til å bli partikkeldominant. Ved små mengder matriks vil synkmålet reduseres drastisk og betongens reologiske egenskaper blir svekket. (Smeplass, 2004, s.4-8)



Figur 9: Smeplass, 2004, s.4-8

I Figur 9: Smeplass, 2004, s.4-8, blir forholdet mellom matriksvolumet og synkmålet for betong med to forskjellige matriks og tilslags sammensetninger beskrevet. (Smeplass, 2004, s-4-8)

### 3.6.5 Betongresept

Betongresepten er lagd med «Proporsjonering av betong» som er et Excel-ark som er utarbeidet av Smeplass. Se kapittel

5.5 Proporsjonering, om hvordan proporsjoneringsarket er benyttet. «Proporsjonering av betong» er basert på partikkel-matriksfasen. Arbeidsgangen i utarbeidelse av betongresepten er: (Gjerp, [et al.], 2007, s.69)

#### 1. Tilslagets sammensetning

Sammensetningsforholdet mellom sand (fine tilslaget) og stein (grovt tilslag) blir bestemt.

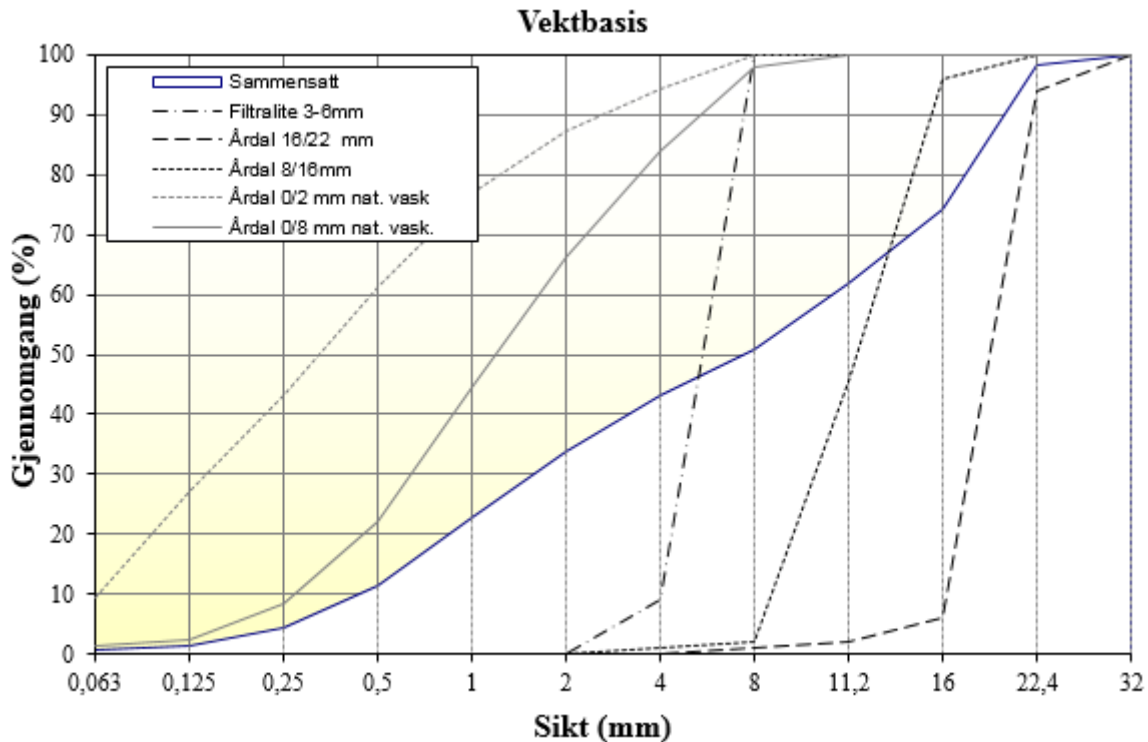
#### 2. Bindemiddelsammensetning og tilsetningsstoffer

Mengde og type bindemiddel og tilsetningsstoffer blir valgt.

#### 3. Matriksvolum

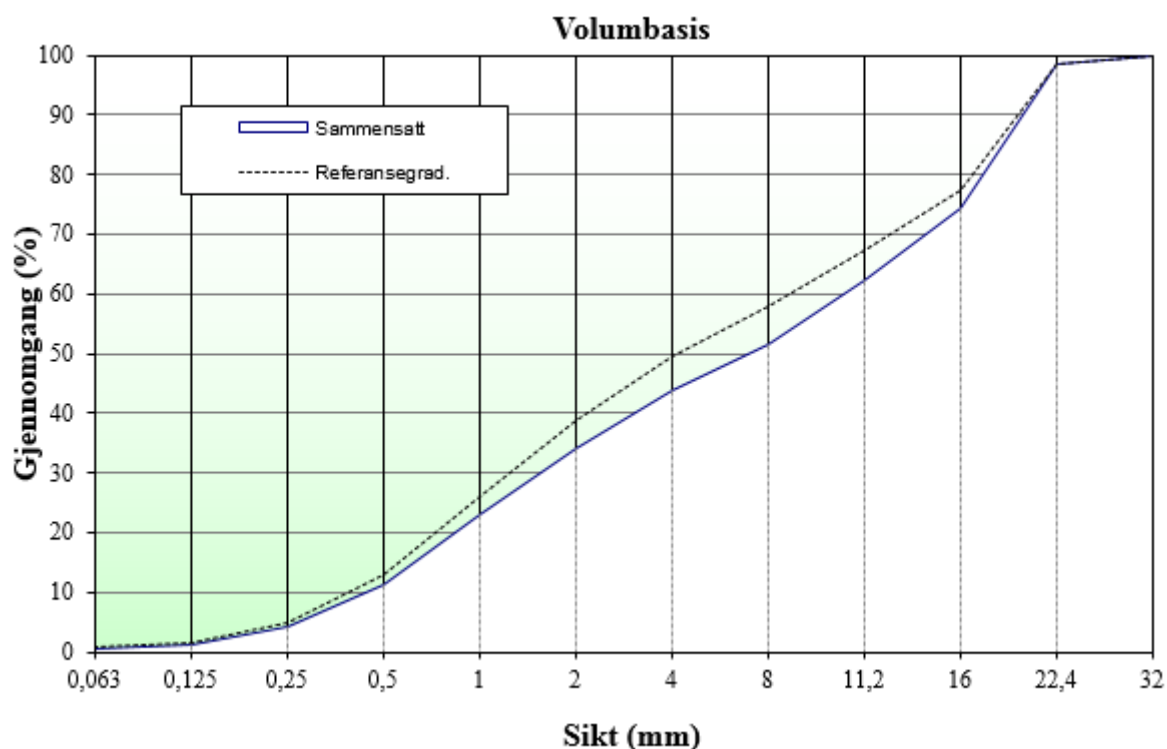
Etter at punkt 1 og 2 er valgt vil matriksvolumet gi seg selv.

De ulike tilslagene blir siktet i laboratorium for å få siktkurver for de ulike tilslagene. Siktkurvene settes sammen for å danne et sammensetningsforhold som gir en god og stabil betong. I Figur 10: Siktkurver for ulike tilslag vises siktkurver for de ulike tilslagene som blir benyttet for å lage lettbetong. I Figur 11: *Sammensatt siktkurve for B45*, er de ulike tilslagene proporsjonert opp for å danne en sammensatt siktkurve som ligger så nærme referansegraden som mulig. Dette for å få en betong med så gode egenskaper som mulig. I Tabell 8: *Andel av tilslag*, vises andelen av de ulike tilslagene som ble brukt for å få en sammensatt siktkurve som var så nær referansegraden som mulig.



Figur 10: Siktkurver for ulike tilslag





Figur 11: S sammensatt siktkurve for B45

Tabell 8: Andel av tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,518	0,513	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,218	0,221	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,264	0,266	ok
V		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VI		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
<b>Sammensatt</b>		<b>2674</b>		<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	

Betongresepten skal tilfredsstillere de kravene som er bestemt på forhånd. Denne oppgaven har krav om at den faste betongen skal ha en fasthet på over B45 utover dette er det økonomiske aspektet som er viktigst. Den beste betongresepten vil være den som gir en lavest mulig pris og samtidig en vektreduksjon som vil føre til lavere transport- og håndteringskostnader.

### 3.6.6 Fremgangsmåte for å lage siktkurve

#### 1. Siktkurve

For enkelte av tilslagene var det ikke mulig å oppdrive siktkurver. For disse tilslagene ble materialet siktet gjennom siktsatser for å finne tilslagenes fraksjoner. Siktkurvene ble deretter importert til regnearket fra Smeplass og dens proporsjoneringsformler.

#### 2. Proporsjonering

Betongresepten blir utformet basert på de egenskapene som stilles til lettbetong. Det lages tre ulike resepter for lettbetonger med samme fasthetsklasse (B45) men med ulike andeler lettilslag og masseforhold for å få betonger med ulike densiteter og kostnader.

#### 3. Blanding

Etter at betongresepten er utformet vil de ulike delmaterialene blandes sammen. Først vil det tørre blandes sammen, for så å tilsette det våte.

#### 4. Utstøping

Betongblanding vil deretter bli helt ut i sylindriske- og kubiske former. Det lages to sylindere og fire kuber for hver prøveblanding, dette for å sjekke om det er avvik i fasthetsresultatet, elastisitet modulen, bøyestrekfasthet og spaltstrekfastheten.

#### 5. Herdeprosess

Sylindrene og kubene blir tildekket og satt i romtemperatur i 24 timer, for så å bli lagt i vannbad i x dager. Denne prosessen er lik for alle prøvestykkene, dette for å få mest mulig korrekte resultater.

#### 6. Trykk-, elastisitet modul-, varmeledningsevne -, bøyestrekfasthet- og spaltstrekfasthet-test

Når prøvestykkene har fått sin karakteristiske fasthet testes prøvestykkene for å kontrollere at fastheten, elastisitet modulen, varmeledningsevne og strekkfastheten tilfredsstiller kravene.

## 3.7 Fersk betong

### 3.7.1 Blanding av betong

Blandingen av de ulike betongene utføres på følgende måte: Først veies de ulike fraksjonene basert på blandeskjemaet til de ulike betongene. De ble beregnet at det skulle blandes 30 liter for hver betongtype. Det ble støpt 6 klosser á 10x10 cm, to søyler med en høyde på 30 cm og en diameter på 15 cm og en kloss á 15x15 cm. De små klossene brukes for å fastslå betongens densitet og fasthetsklasse, sylindrene blir testet for å fastslå betongens elastisitet modul og bøyestrekfasthet. Den store klossen blir brukt for å måle betongens varmeledningsevne.

Først fuktes blandemaskinen slik at den får et fuktiglag, men ikke en glinsende overflate. Deretter tilsettes stein, sement og sand i oppgitt rekkefølge. Materialene tørrblandes i ett minutt. Halvparten av den oppmålte væsken tilsettes i løpet av 30 sekunder. Deretter tilsettes den resterende væskemengden i løpet av 60 sekunder. Når alle materialer er i blandemaskinen blandes alt i 60 sekunder. Etter at blandingen er ferdigblandet skal betongen stå i ro i 120 sekunder med lokket på blandemaskinen lukket. (Statens Vegvesen, 1997, 07.)

Deretter utføres synkmål og måling av luftinnhold. Deretter helles betongen i sine respektive former.



Figur 12: Blandemaskin, Block Berge Bygg Elementfabrikk

### 3.7.2 Synkmål

Synkmålet utføres på følgende måte: «Synkkjeglen og underlaget fuktes, og synkkjeglen plasseres på det horisontale underlaget. Mens synkkjeglen fylles, holdes den fast mot underlaget ved hjelp av festeklemmer eller ved at laboranten står på de to fotstøttene.

Synkkjeglen fylles med tre lag, der hvert lag utgjør ca. en tredel av høyden på synkkjeglen når den er komprimert. Hvert lag komprimeres med 25 støt med komprimeringsstaven. Støtene fordeles jevnt over tverrsnittet av hvert lag. For det nederste laget er det nødvendig å skråstille staven svakt og å påføre ca. halvparten av støtene i en spiral mot midten. Det først laget komprimeres gjennom hele sin dybde, og det skal sørges for å ikke støte mot underlaget. Det andre laget og det øverste laget komprimeres gjennom hele sin dybde, slik at støtene så vidt trenger igjennom til det underliggende laget. Under fylling og komprimering av det øverst laget fylles betongen over synkkjeglen før bearbeidingen starter.

Hvis bearbeidingen av det øverste laget fører til at betongen synker ned under kjeglens toppflate, etterfylles betong slik at det alltid er en topp over kjeglens toppflate. Når det øverste laget er komprimert, avrettes betongoverflaten med komprimeringsstaven i en sagende eller rullende bevegelse.

Sølt betong fjernes fra underlaget. Synkkjeglen løftes forsiktig fra betongen i vertikal retning.

Synkkjeglen løftes jevnt oppover i løpet av 2 s til 5 s uten at sidebevegelser eller vridning overføres til betongen.

Hele prosedyren fra fylling av kjeglen begynner til kjeglen er fjernet skal utføres uten avbrudd i løpet av 150 s.» (Standard Norge, 2009, NS-EN 12350-2:2009, s.4)

### 3.7.3 Komprimering av betong

Betongen komprimeres for hånd. Fremgangsmåte er som følger:

«Komprimering ved hjelp av komprimeringsstav eller –støter. Fordel støtene med komprimeringsstaven eller –støteren jevnt over tverrsnittet av formen. Påse at komprimeringsstaven eller –støteren ikke treffer bunnen av formen hardt ved komprimering av det første laget eller trenger vesentlig ned i eventuelle tidligere lag. Påfør betongen minst 25 støt per lag. Etter komprimering av hvert lag og for å fjerne lommer med naturlig luft, men ikke tilført luft, bankes sidene av formen lett med klubben inntil det ikke lenger kommer store luftbobler til overflaten og fordypninger etter komprimeringsstaven eller –støteren er borte.» (Standard Norge, 2001, NS-EN 12390, s.6)



### 3.7.4 Måling av luftinnhold

Luftinnholdet blir målt ved hjelp av en trykkmåler. Trykkmåleren blir fylt med betongen som komprimeres. Fremgangsmåten for måling av luftinnholdet ved hjelp av trykkmåler er som følger:

«Rengjør flensene på beholderen og overdelsstykket grundig. Hvis det ikke er påmontert et sprøyterør, plasseres avbøyningsplaten midt på betongen og presses i kontakt. Klem overdelsstykket på plass. Påse at det er tilstrekkelig trykktett mellom overdelen og beholderen. Fyll utstyret med vann, og slå forsiktig med trehammeren for å fjerne luft som hefter seg på innsiden av iverdelen. Tilpass vannivået i stigrøret til nullmerket ved å la det renne gjennom den lille ventilen med lufthullet åpent. Lukk lufthullet, påfør driftstrykket  $P$  ved bruk av luftpumpen. Registrer avlesningsverdien på målerøret,  $h_1$ , og frigi trykket. Les av målerøret igjen, og hvis avlesningsverdien  $h_2$  har et luftinnhold på 0,2 % eller mindre, registreres verdien ( $h_1-h_2$ ) som det tilsynelatende luftinnholdet,  $A_1$ , til nærmeste 0,1 % luftinnhold. Hvis  $h_2$  har et større luftinnhold enn 0,2 % påføres driftstrykket  $P$  igjen, som gir en avlesningsverdi i målerøret  $h_3$  og en siste avlesningsverdi  $h_4$  etter at trykket er frigjort. Hvis ( $h_4-h_2$ ) tilsvarer et luftinnhold på 0,1 % eller mindre, registreres verdien ( $h_3-h_4$ ) som det tilsynelatende luftinnholdet. Hvis ( $h_4-h_2$ ) har et luftinnhold større enn 0,1 %, er det sannsynlig at det har oppstått lekkasje, og prøvingen er da ugyldig.» (Standard Norge, 2009, NS-EN 12350-7, s.8)



Figur 13: Måleapparat for luftinnhold

### 3.7.5 Herding av prøvelegemer

Prøvelegemet tildekkes med plast etter at utstøpingen er gjennomført. «Prøvelegemene lagres i formen i minst 16 timer, men ikke lenger enn tre døgn, beskytte mot støt, vibrasjoner og uttørking ved en temperatur på  $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .» (European committee for standardization, 2001, s.6) Prøvelegemet tas ut av formen og plasseres i vannbad som holder temperaturen  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ . Der skal prøvelegemet ligge i syv dager før det blir utført tester på prøvelegemene.

### 3.7.6 Måling av densitet

Prøvelegemene som blir brukt til å fastslå betongens densitet vil ha størrelsen 10 cm x 10 cm x 10 cm som tilsier at prøvelegemene har et volum på  $1000\text{ cm}^3$  eller  $0,001\text{ m}^3$ . Ved beregning av volum basert på fastsatte mål følges følgende retningslinjer: «Kontroller at terninger er laget i en kalibrert form etter NS-EN 12390-1. Kontroller målene etter NS-EN 12390-1. Beregn terningens volum i kubikkmeter, avrundet til nærmeste tre desimaler.» (Standard Norge, 2001, NS-EN 12390-7:2001, s.7)

Prøvelegemene vil gjennomgå samme herdeprosess som alle de andre prøvelegemene, som beskrevet i kapittel

3.7.5 *Herding av prøvelegemer.* Etter at prøvelegemene har ligget i vannbad i 7 dager tas de ut og legges i en regulerbar ovn som skal kunne reguleres til  $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ . «Tørk prøvelegemet i en ventilert tørkeovn ved  $(105 \pm 5)\text{ °C}$  til massen ikke endres med mer enn 0,2% ved to påfølgende veiinger en pause imellom på 24h. Prøvelegemet avkjøles før hver veiing til tilnærmet romtemperatur i en tørr, lufittett beholder eller i et tørkeapparat. Registrer den angitte verdien av den ovnstørre massen ( $m_0$ ), i kilogram.» (Standard Norge, 2001, NS-EN 12390-7:2001, s.5)

Deretter fastslås densiteten av prøvelegement fra denne formelen:

Formel 7: Utregning av densitet

$$\text{Densitet} = \frac{\text{Masse (kg)}}{\text{Volum (m}^3\text{)}}$$

Proporsjoneringsarket som blir benyttet til å lage de ulike betongen regner ut densiteten til betongen, og gir en pekepinn på hva densiteten til betongen er ved tørr tilstand. Densiteten som proporsjoneringsarket regner ut, den teoretiske densiteten, kontrolleres opp mot den reelle densiteten som blir målt.

## 3.8 Testmetoder

### 3.8.1 Måling av fuktinnhold

For at blandeskjemaet skal bli mest mulig nøyaktig er fuktinnholdet i de ulike tilslagene viktig å kartlegge slik at vanninnholdet i betongblandingen er i henhold til det som er proporsjonert med.

For å fastslå tilslagsmaterialenes fuktinnhold ble det brukt Speedy Moisture Tester. Testen ble utført på følgende måte:

1. Påse at innsiden og lokket av Speedy Moisture Tester er tilstrekkelig rengjort og fri for fremmedlegemer. Bruk vedlagt børste.
2. Finn frem materiale som skal benyttes, og sørg for at det ikke er forurenset av andre materialer som ikke skal testes.
3. Løft veieapparatet i slik at det peker oppover. Vei materiale, korrekt materialvekt er vist når det røde merket på vektarmen er på samme høyde som det røde merket på verktøyet.
4. Plaser oppmålt mengde materiale inn i beholderen.
5. Tilsett Speedy reaktant i beholderen. Tilsett to fulle skjeer med Speedy reaktant (skje ligger ved). For store materialer bruk 3-5 skjeer for å forsikre tilstrekkelig tildekking.
6. Hold Speedyen i en horisontal posisjon slik at reaktanten og testmateriellet ikke reagerer med hverandre. Før så bøylene over lokket og skru skruen til slik at lokket ikke kan bevege seg.

7. Rist Speedyen med viseren pekene nedover. Rist kraftig i 5 sekunder, deretter vendes Speedyen kjapt. Kakk på beholderen for å påse at materialet detter til bunn av beholderen. Hold beholderen i denne posisjonen i ett minutt før prosessen gjentas to ganger.
8. Etter at det har blitt ristet 3 ganger leses fuktinnholdet av og noteres.
9. Til slutt vendes lokket til beholderen bort fra brukeren og åpnes. Sørg for at det ikke kommer fremmedlegemer i beholderen når den skal tømmes og pakkes ned. (Utførelsen av forsøket er basert på instruksjonen som ligger i kassen)



Figur 14: Speedy Moisture Tester av Velde 0/8mm



Figur 15: Måleapparat for fukt

### 3.8.2 Måling av varmeledningsevne

For å måle varmeledningsevnen ble det støpt inn to varmesensorer i de store klossene som ble støpt. Støpet foregikk i samsvar med fremgangsmåten som forklart i kapittel 3.7 *Fersk betong*. Størrelsen på prøvelegemet, som ble benyttet i måling av varmeledningsevne er klosser på 15x15x15 cm. Den ene temperatursensoren ble plassert en centimeter fra den ene siden av støpeformen og en sensor i senter av terningen.

Varmeledningsevnen vil i denne oppgaven kun bli testet med hensyn til varmemotstanden til materialet. Det vil ikke bli gjort forsøk på betongelementenes svekkede bæringsevne på grunn av varmeutviklingen. Dette fordi en slik test er svært omfattende.

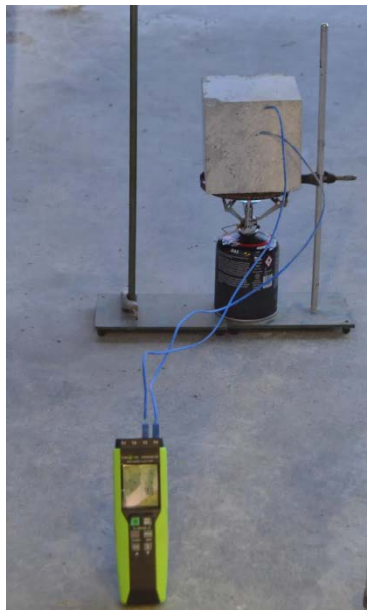
Når betongen var ferdig herdet ble prøvestykkene fra de ulike betongblandningene tatt ut av formene. Prøvestykkene ble deretter plassert på et stativ over en varmekilde (åpen gassflamme). Avstanden mellom munningen til gassbrenneren og platen hvor prøvelegemet blir plassert blir målt nøyte. Den skal være 3 cm for alle forsøkene.

Deretter skrues varmekilden på og temperatur endringene for de ulike varesensorene i de ulike betongblandningene blir kartlagt. Varmekilden skrues på fullt for alle prøvestykkene. Dette for at tilført energi skal være så lik som mulig for alle prøvestykkene. Varmekilden har en trinnløs regulator for tilført varme, så ved å skru varmekilden på full styrke vil tilført varme være så likt som mulig for alle prøvestykkene.

Testforsøket for å måle varmeledningsevnen er ikke i henhold til norske standarder. Testen for måling av varmeledningsevne er utarbeidet av undertegnede. Testen er gjennomført for å få et bilde av hvordan varmeledningsevnen varierer for de ulike prøvestykkene, og skal ikke brukes for å gi en pekepinn på hvordan varmeledningsevnen varierer for de ulike prøvestykkene.

Fremgangsmåte:

1. Prøvelegemet tas ut av vannbadet hvor prøvelegemet har ligget i 7 dager, og tørkes av slik at det ikke er fuktighet på overflaten av prøvelegemet.
2. Varmekilden (gassbrenneren) plasseres under stativet og stativplaten som prøvelegemet skal plasseres på.
3. Avstanden mellom varmekilden (gassbrenneren) måles. Avstanden fra varmekildens munning til stativplaten skal være 3 cm for alle testene.
4. Skru på varmekilden og kontroller at gassflammen brenner jevnt og rent. Varmekilde skal brenne med full effekt, dette for at avgitt energi skal bli så likt som mulig for alle forsøkene.
5. Koble prøvelegemets temperatursensorer til temperaturmålerne, og påse prøvelegemet er romtemperert ( $21^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ).
6. Plasser prøvelegemet på stativplaten over varmekilden som allerede er tent. Stoppeklokken startes i det prøvelegemet er plassert over varmekilden.
7. Temperaturen for senter kartlegges over en tidsperiode på 45 minutter.
8. Prøvestykket tas av etter 45 minutter og testen avsluttes.



Figur 16: Måling av varmeledningsevne



### 3.8.3 Test av prøvelegemets spaltestrekfasthet (sylinder)

Prøvelegemene som blir brukt til å fastslå betongens spaltestrekfasthet vil ha en høyde på 30 cm og en diameter på 15cm, som tilsier at prøvelegemene har et volum på cirka 5301 cm<sup>3</sup> eller 5,301 liter.

Alle overflater på fasthetsmaskinen, jiggen og mellomleggslistene som er i kontakt med prøvelegemet må tørkes av, og det må kontrolleres at det ikke ligger fremmedlegemer mellom maskinens overflater og prøvelegemets overflater. Urenheter og fremmedlegemer kan føre til feil resultater. Prøvelegemet sjekkes med tanke på ujevnheter og misdannelser, og prøvestykke blir tørket av slik at det ikke er vått når det testes. Dersom ujevnheter, misdannelser og vann ikke er fjernet kan dette også innvirke på resultatene. Ujevne overflater kan slipes og vinkelavvik kan justeres ved kapping eller sliping.

Prøvelegemet plasseres sentrisk i jiggen, om det er avvik i plassering vil det ha stor innvirkning på resultatene. Mellomleggslistene plasseres langs den øvre og nedre senterlinjen på prøvelegemet, og det påses at den øvre og nedre belastningsplaten er parallelle når belastningen blir påført.

Belastning av prøvelegemet forekommer på følgende måte: *«Påse at prøvelegemet forblir sentrert når lasten først påføres, enten ved hjelp av en jigg eller ved hjelp av midlertidige støtter.»*

*Velg en konstant hastighet for spenningsøkning innenfor området 0,04 MPa/s (N/mm<sup>2</sup>/s) til 0,06 MPa/s (N/mm<sup>2</sup>/s). Påfør lasten uten støt og øk jevnt den valgte konstante hastigheten  $\pm 1$  % til prøvelegemet ikke kan tåle noen større last. Ved bruk av en automatisk styrt prøvemaskin skal belastningshastigheten kontrolleres med jevne mellomrom for å sikre at hastigheten er konstant.»* (Standard Norge, 2001, NS-EN 12390-6:2001, s.7)



Figur 18: Spaltestrekk



Figur 17: Spaltestrekk brudd

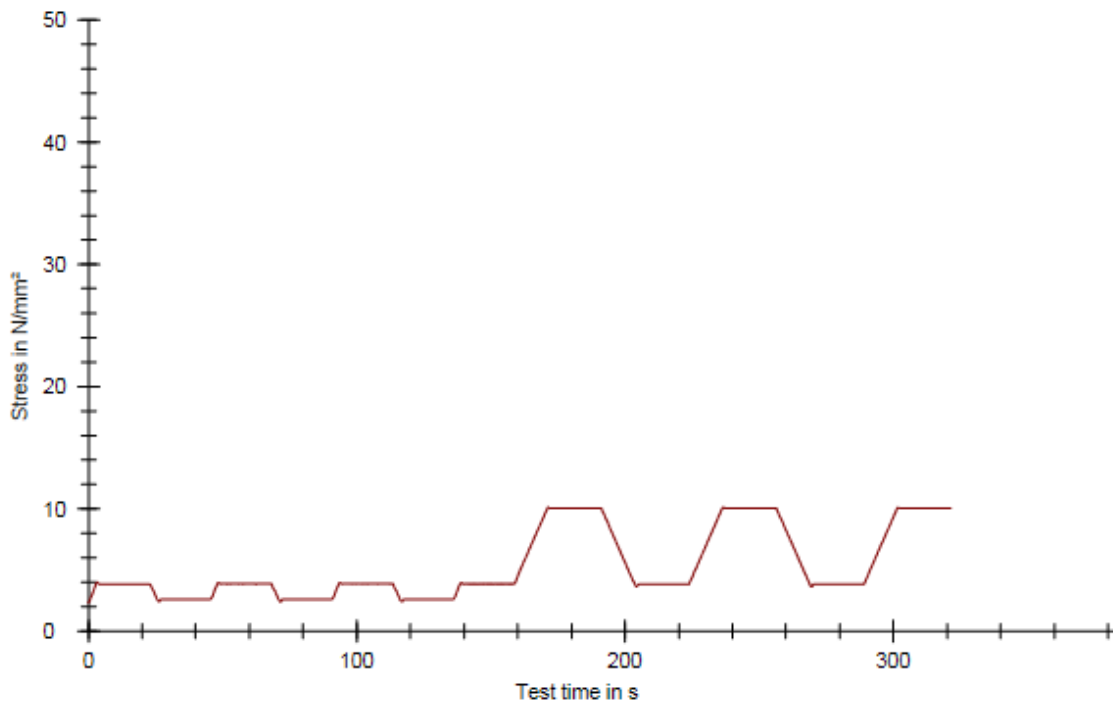
### 3.8.4 Testing av elastisitet modul

Alle overflater på fasthetstestmaskinen som er i kontakt med prøvelegemet må tørkes av, og det må kontrolleres at det ikke ligger fremmedlegemer mellom maskinens overflater og prøvelegemets overflater. Urenheter og fremmedlegemer kan føre til feil resultater. Prøvelegemet sjekkes med tanke på ujevnheter og misdannelser, og prøvestykket blir tørket av slik at det ikke er vått når det testes. Dersom ujevnheter, misdannelser og vann ikke er fjernet kan dette også innvirke på resultatene.



Figur 19: Elastisitetstesting

Prøvelegemet (sylinder) plasseres i en stående posisjon. En elastisitetmåler blir plassert på prøvelegemet (se Figur 19: *Elastisitetstesting*). Før testen starter skal elastisitetmåleren kalibreres slik at den starter i en nullposisjon. Lastpåføringen for elastisitetens modul testene som har blitt utført har er like for alle testene. Først påføres en last på cirka 4 MPa, deretter reduseres lasten til cirka 2 MPa. Dette blir gjentatt fire ganger over en tidsperiode på 160 sekunder. Deretter økes lasten til cirka 10 MPa, deretter reduseres lasten til cirka 4 MPa. Dette blir også gjentatt, men tre ganger over et tidsintervall, her også på 160 sekunder. Se graf presentert i Figur 20: *Lastsyklus, Elastisitet modul*.



Figur 20: Lastsyklus, Elastisitet modul

### 3.8.5 Trykktesting av betongterninger

Alle overflater på fasthetstestmaskinen som er i kontakt med prøvelegemet må tørkes av, og det må kontrolleres at det ikke ligger fremmedlegemer mellom maskinens overflater og prøvelegemets overflater. Urenheter og fremmedlegemer kan føre til feil resultater. Prøvelegemet sjekkes med tanke på ujevnheter og misdannelser, og prøvestykke blir tørket av slik at det ikke er vått når det testes. Dersom ujevnheter, misdannelser og vann ikke er fjernet kan dette også innvirke på resultatene.

Terningene plasseres sentrert i fasthetsmaskinene, og det påses at trykkplaten på maskinen har samme horisontale vinkel som prøvelegemet slik at lastene blir påført jevnt og vinkelrett på prøvestykket. (Standard Norge, 2009, NS-EN 12390-3:2009, s.5) For mer utfyllende beskrivelse Standard Norge, 2009, NS-EN 12390-3:2009.

Belastning av prøvelegemet forekommer på følgende måte: «Velg en konstant pålastningshastighet innenfor område  $0,6 \pm 0,2$  MPa/s ( $N/mm^2/s$ ). Etter påføring av den første initielle lasten, som ikke skal overstige omtrent 30% av bruddlasten, påføres lasten på prøvelegemet uten støt. Øk lasten jevnt med den valgte konstante hastigheten  $\pm 10\%$  til prøvelegemet ikke kan motstå noen større last.» (Standard Norge, 2009, NS-EN 12390-3:2009, s.5)

Se NS-EN 1992-1-1:2004 Tabell 11.3.1 for karakteristisk terning-fasthetsklasse for lettbetong. Verdiene for terning-fasthetsklasse vil variere ut ifra om det er lettbetong eller vanlig konstruksjonsbetong. Se vedlegg 1 fra NS-EN 1992-1-1:2004 Tabell 11.3.1 for karakteristisk terning-fasthetsklasse for lettbetong.

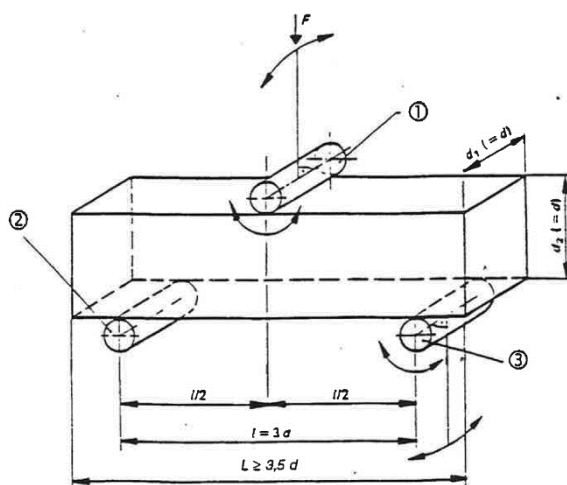
### 3.8.6 Test av prøvelegemets bøyestrekfasthet

Alle overflater på bøyestrekmaskinen som er i kontakt med prøvelegemet må tørkes av, og det må kontrolleres at det ikke ligger fremmedlegemer mellom maskinens overflater og prøvelegemets overflater. Urenheter og fremmedlegemer kan føre til feil resultater. Prøvelegemet sjekkes med tanke på ujevnheter og misdannelser, og prøvestykke blir tørket av slik at det ikke er vått når det testes. Dersom ujevnheter, misdannelser og vann ikke er fjernet kan dette også innvirke på resultatene.

«Plasser prøvelegemet i maskinen, riktig sentrert og med prøvelegemets lengdeakse i rett vinkel på lengdeaksene til de øvre og nedre tullene. Påse at referanseretningen for belastning er vinkelrett på prøvelegemets støperetning.» (Standard Norge, 2009, NS-EN 12390-5:2001, s.5)

Belastning av prøvelegemet forekommer på følgende måte: «Lasten skal ikke påføres før alle belastnings- og oppleggsruller hviler jevnt mot prøvelegemet. Velg en konstant hastighet for spenningsøkning innenfor området  $0,04 \text{ MPa/s}$  ( $\text{N/mm}^2/\text{s}$ ) til  $0,06 \text{ MPa/s}$  ( $\text{N/mm}^2/\text{s}$ ). Påfør lasten uten støt, og øk jevnt med den valgte konstante hastigheten  $\pm 10 \%$  til prøvelegemet ikke kan motstå noen større last.» (Standard Norge, 2009, NS-EN 12390-5:2001, s.5)

Avstanden mellom rulle nummer to og tre (se Figur 22: Bøyestrekfasthet, Standard Norge, 2009, NS-EN 12390-5:2001, s.7) ble satt til 45 centimeter. Det ble brukt et skyvelære for å fastslå at prøvelegemet ble plassert helt sentrisk i prøveapparatet.



Figur 21: Bøyestrekfasthet, Standard Norge, 2009, NS-EN 12390-5:2001, s.7



## 4. Kostnader

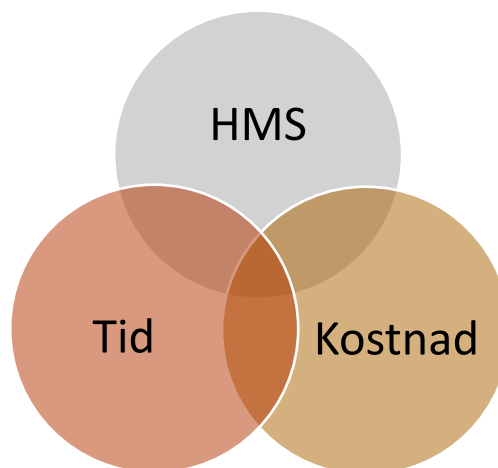
I dette kapittelet vil ulike parameterer som påvirker kostnadsbilde bli presentert.

For at et prosjekt eller en produksjon skal bli vellykket er det tre hovedpunkter som må tilfredsstilles. Det må være gode rutiner og kontroller for å opprettholde en god HMS (helse, miljø og sikkerhet), tidsfristene må holdes og kostnadene forbundet med prosjektet og/eller produksjonen må ikke overskrides.

Ved produksjon av betongelementer på fabrikk er HMS- og tidsposten mer eller mindre konstant. Rutiner og tidsforbrukene er godt kartlagt, og vil trolig ikke endres nevneverdig ved bruk av lettbetong istedenfor vanlig konstruksjonsbetong.

Ved produksjon på fabrikk er det lett å opprettholde en god HMS siden arbeidsoppgaver er godt innarbeidet, og de ulike arbeiderene har fått spesifikk opplæring opp mot den arbeidsoppgaven de har i produksjonslinjen.

Transport og håndtering av betongelementer er også godt kartlagt og bruken av lettbetong istedenfor vanlig konstruksjonsbetong vil ikke føre til en raskere transport eller en bedre HMS, men det vil føre til en kostnadsreduksjon som forklart i kapittel 2.4 Transport fra elementfabrikk til byggeplass.



Figur 22: HMS, tid og kostnad

Ved bruk av lettere betong vil påkjenningene og maksimalkravet til de ulike maskinene som er i drift under produksjonen reduseres. Kravet til heisekraner og maskiner som brukes i forbindelse med håndtering på byggeplass kan reduseres. Det blir mulig å få flere elementer per lastebil og det vil bli stilt lavere krav til grunnforhold siden den totale vekten på bygget vil bli redusert.

Videre i dette kapittelet er det presentert ulike kalkyler for kostnadene knyttet til produksjon, transport, håndtering og grunnforhold. Kalkylene er basert på priser og kostnader som undertegnede har fått fra ulike aktører og priser fra ulike nettsider. Innhenting av prisforslag og tilbud viste seg å være vanskelig da mange aktører ikke besvarte forespørsler og/eller ikke hadde mulighet til å si hva deres innkjøpspris var grunnet konkurransefortrinn.

Priser på lettilslag:

Rijia (alibaba.com):

Pris per kubikkmeter er oppgitt til å være 80-100 dollar, med dagens kurs tilsvarer dette 683.11 kr til 853.89 kr. Prisen variere basert på mengden som blir bestilt. Dollarkurs pr 17.03. Dette er et lettilslag laget av ekspandert leire. Størrelsene på tilslagene er 2-4mm, 4-8mm, 5-10m, 8-12mm, 10-14mm, 12-16mm, 16-20mm og 16-30mm. Samme pris for alle tilslagene.

Tabell 9: Rijia produktbeskrivelse, 2017

Nature	Item	Result
Physical property test results	Particle Size	4-20mm
	The maint material	Clay
	Apperance	Ball
	Surface Density	1.1-1.2g/cm <sup>3</sup>
	Bulk Density	350~400kg/m <sup>3</sup>
	Rate of Floatage	90%
	The sum of damage rate & Wear rate	3.0%
	Accumulation porosity	20%
	Hydrochloric acid can let rate	1.4%
	Friction loss rate	2.0
	Compression strength	3.0-4.0
	Water Absorption	7%
	Particle composition	60-63%

Tabell 10: Rijia produktbeskrivelse 4-10mm, 2017

<b>Items</b>	<b>Technical Parameters</b>
Particle Size	4-10mm
Main Material	Clay
Apperance	Ball
Surface Density	1.1-1.2g/cm <sup>3</sup>
Bulk Density	300-350kg/m <sup>3</sup>
Rate of Floatage	95%
The Sum of Damage Rate & Wear Rate	3.0%
Accumulation Porosity	20%
Hydrochloric Acid Can Let Rate	1.4%
Friction Loss Rate	2.0
Water Absorption	15%
Particle Composition	60-63%

Ning Shu (ningshucn.com):

Det er oppgitt på deres nettsider at tilslaget kan benyttes til å lage betongen som har en egenvekt på under 1950 kg/m<sup>3</sup> som har en maks styrke på 45 MPa. Dette er et tilslag laget av ekspandert leire. Størrelsene på tilslaget er 2-4mm, 3-9mm, 9-16mm og 10-30mm. Prisen på tilslaget er 4,1-6,4 dollar per 50 liter, med dagens kurs tilsvarer dette 35.01 kr til 54.65 kr pr 50 liter. For en kubikk er prisen 700.2 kr til 1093 kr. Dollarkurs pr 17.03.



Tabell 11: Ning Shu Produktbeskrivelse, 2017

Item	Result
Bulk Density	300-600kg/m <sup>3</sup>
Accumulation porosity	>36%
Specific surface area	2-5*10 <sup>4</sup> cm <sup>2</sup> /g
Hydrochloric acid soluble rate	<3.3%
Rub loss rate	<2.2%
Compression strenght	>50Mpa
Loss of ignition	<0.15%
Soluble substance	Does not contain harmful trace element to body

Stalite (ved Rolf Valum):

Letttilslaget fra Stalite er ekspandert skifer. Prisen for dette letttilslaget ved en leveranse på 6000-8000 tonn vil være på 1795,5 kr til 1890 kr pr kubikk. Dollarkurs pr 17.03. Selv ved en stor bestilling som dette er tilslaget mye dyrere enn tilslagene som er presentert tidligere i dette kapitlet. Denne informasjonene er gitt fra Rolf Valum som er undertegnedes kontaktperson hos Stalite i Norge.

Basert på lesing fra produsentens hjemmesider (<http://www.stalite.com/why-use-stalite.php>) tilbyr Stalite den beste kvaliteten av letttilslag, fastheten, styrke, holdbarhet og har en lav vannabsorpsjonsevne. Dette fører naturligvis til at prisene for tilslaget vil øke grunnet den høye kvaliteten. De forbedrede egenskapene til Stalite er ikke nødvendige ved produksjon av lettbetongen som skal benyttes i produksjon av betongelementer. Benyttelse av denne type tilslag ville vært av større interesse dersom lettbetongen skulle pumpes med pumpebil. Da egner dette tilslaget seg svært godt. Prisen for dette tilslaget gjør at det er mer kostnadseffektivt å benytte seg av en annen type tilslag. Dette går frem videre i dette kapitlet.

Tabell 12: Stalite produktbeskrivelse, 2015

Section 4 - Chemical Composition	Test Results	ASTM C330 Requirements
Organic Impurities (Color change )	<1	3 (max)
Staining (Stain index)	0	60 (max)
Loss on Ignition	1.10	5% (max)
Section 5 – Physical Properties		
Clay Lumps and Friable Particles (Dry mass)	0.4%	2% (max)
Bulk Density lbs/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	59 (945)	70 (1121) (max)
Density Factor (Specific Gravity, OD)	1.63	----
Density Factor (Specific Gravity, SSD)	1.88	----
72-hour Absorption	14.9 %	----
Compressive Strength (Based off of Equilibrium Density) psi(MPa)	3,740 (25.8)	2,930 psi (20.2MPa) (min)
Splitting Tensile (Based off of Equilibrium Density) psi/(MPa)	395(2.73)	309 psi (2.13MPa) (min)
Drying Shrinkage	-0.025 %	-0.070 % (max)
Popouts	No Popouts	0
Grading	See Section 5.1.2 Below	
Resistance to Freezing and Thawing	Ongoing	----

#### 4.1 Produksjonskalkyle

For utregning av produksjonskostnadene av lettbetonger brukes priser som er presentert i proporsjoneringsarket og hentet fra ulike kilder på internett.

Priser fra proporsjoneringsarket (Smeplass):

Tabell 13: Priser på tilslag basert på proporsjoneringsark (Smeplass)

Råvare	Pris per kilo [Nok]
Norcem Standard FA	0,700 nok/kg
Fritt vann	0,010 nok/kg
Årdal 0/8 mm naturlig vasket	0,055 nok/kg
Årdal 8/16 mm naturlig vasket	0,055 nok/kg
Årdal 16/22 mm	0,055 nok/kg

Densiteten til letttilslaget som er benyttet for å lage de ulike lettbetongene i labben er på 800 kg/m<sup>3</sup> så prisen per kubikk for de ulike letttilslagene som er presentert i kapittel 4. Kostnad, vil bli ganget opp med densiteten til tilslaget som er benyttet på labben.

I Tabell 14: *Pris på letttilslag basert på nettpriser*, er det oppgitt to priser. Pris per kilo 1 [Nok] er prisen for det tyngste letttilslaget som produsenten kan levere (se Tabell 9: *Rijia produktbeskrivelse, 2017*) Pris per kilo 2 [Nok] er et anslag for hva letttilslaget ville ha kostet om det opereres med samme kubikk pris for letttilslag med densitet på 825 kg/m<sup>3</sup>.

Tabell 14: Pris på lettilslag basert på nettpriiser

Type lettilslag	Pris per kubikk	Maks densitet fra produsent	Pris per kilo 1 [Nok]	Densitet brukt i laboratoriearbeid	Pris per kilo 2 [Nok]
<b>Rijia</b>	683 nok/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>	1,71 nok/kg	825 kg/m <sup>3</sup>	<b>0,83 nok/kg</b>
<b>Ning Shu</b>	700 nok/m <sup>3</sup>	600 kg/m <sup>3</sup>	1,17 nok/kg	825 kg/m <sup>3</sup>	<b>0,85 nok/kg</b>
<b>Stalite</b>	1796 nok/m <sup>3</sup>	945 kg/m <sup>3</sup>	1,90 nok/kg	825 kg/m <sup>3</sup>	<b>2,18 nok/kg</b>

I Tabell 16: *Pris på lettbetong med lettilslag fra Rijia* og Tabell 17: *Pris på lettbetong med lettilslag fra Ning Shu*, presenteres den totale prisen det koster å produsere en kubikk med lettbetong med de to ulike lettilslagene som er presentert i Tabell 14: *Pris på lettilslag basert på nettpriiser*. Lettbetongen som prisen er regnet ut for har en densitet på cirka 1650kg/m<sup>3</sup>. Denne betongen var den letteste av lettbetongen som hadde en fasthetsklasse som var høyere enn B45. Se kapittel 5.7 *Testresultater for lettbetong*.

Resept, råvarekostnader				
Råvare	Resept kg/m <sup>3</sup>	Fukt*** %	Kostnad pr kg [NOK]	Delkostnad [NOK/m <sup>3</sup> ]
Norcem Standard FA	368,9		0,700	258,22
Elkem Microsilica	0,0		1,400	0,00
	0,0		0,250	0,00
Fritt vann	166,0			
Absorbert vann	40,1		0,010	2,05
Årdal 0/8 mm nat. vask.	365,1	3,7	0,055	20,83
Årdal 0/2 mm nat. vask.	0,0	0,0	0,065	0,00
Årdal 8/16mm	0,0	0,3	0,055	0,00
Årdal 16/22 mm	0,0	0,0	0,055	0,00
Filtralite 3-6mm	227,4	0,0	2,176	494,72
Filtralite 0-1,5mm	173,6	0,0	2,176	377,79
	0,0	0,0	0,000	0,00
	0,0	0,0	0,000	0,00
	0,0	0,0	0,000	0,00
	0,0	0,0	0,000	0,00
Sika Viscocrete FB-2	0,0		0,000	0,00
	0,0		14,000	0,00
	0,0		0,000	0,00
	0,0		0,000	0,00
Stålfiber	0,0		8,000	0,00
PP-fiber	0,0		0,000	0,00

Kalkulasjon			
Kostnadsbidrag	Enhetsbidrag [%]	Delkostnad [NOK/m <sup>3</sup> ]	Andel** [%]
Råvarer		1153,61	81,7
Svinn, råvarer	2,0	23,07	1,6
Lønn + sos. avg. [NOK/m <sup>3</sup> ]		30,00	2,1
Dekningsbidrag [%]*:	15,0	181,00	12,8
Korreksjoner [NOK/m <sup>3</sup> ]		25,00	1,8
<b>Totalt [NOK/m<sup>3</sup>]</b>		<b>1412,69</b>	

Tabell 16: Pris på lettbetong med letttilslag fra Stalite

Resept, råvarekostnader				
Råvare	Resept kg/m <sup>3</sup>	Fukt*** %	Kostnad pr kg [NOK]	Delkostnad [NOK/m <sup>3</sup> ]
Norcem Standard FA	368,9		0,700	258,22
Elkem Microsilica	0,0		1,400	0,00
	0,0		0,250	0,00
Fritt vann	166,0			
Absorbert vann	40,1		0,010	2,06
Årdal 0/8 mm nat. vask.	365,1	3,7	0,055	20,83
Årdal 0/2 mm nat. vask.	0,0	0,0	0,065	0,00
Årdal 8/16mm	0,0	0,3	0,055	0,00
Årdal 16/22 mm	0,0	0,0	0,055	0,00
Filtralite 3-6mm	227,4	0,0	0,828	188,25
Filtralite 0-1,5mm	173,6	0,0	0,828	143,75
	0,0	0,0	0,000	0,00
	0,0	0,0	0,000	0,00
	0,0	0,0	0,000	0,00
	0,0	0,0	0,000	0,00
Sika Viscocrete FB-2	0,0		0,000	0,00
	0,0		14,000	0,00
	0,0		0,000	0,00
	0,0		0,000	0,00
Stålfiber	0,0		8,000	0,00
PP-fiber	0,0		0,000	0,00

Kalkulasjon			
Kostnadsbidrag	Enhetsbidrag [%]	Delkostnad [NOK/m <sup>3</sup> ]	Andel** [%]
Råvarer		613,11	78,7
Svinn, råvarer	2,0	12,26	1,6
Lønn + sos. avg. [NOK/m <sup>3</sup> ]		30,00	3,9
Dekningsbidrag [%]*:	15,0	98,31	12,6
Korreksjoner [NOK/m <sup>3</sup> ]		25,00	3,2
<b>Totalt [NOK/m<sup>3</sup>]</b>		<b>778,68</b>	

Tabell 17: Pris på lettbetong med letttilslag fra Rijia

Resept, råvarekostnader				
Råvare	Resept kg/m <sup>3</sup>	Fukt*** %	Kostnad pr kg [NOK]	Delkostnad [NOK/m <sup>3</sup> ]
Norcem Standard FA	368,9		0,700	258,22
Elkem Microsilica	0,0		1,400	0,00
	0,0		0,250	0,00
Fritt vann	166,0			
Absorbert vann	40,1		0,010	2,06
Årdal 0/8 mm nat. vask.	365,1	3,7	0,055	20,83
Årdal 0/2 mm nat. vask.	0,0	0,0	0,065	0,00
Årdal 8/16mm	0,0	0,3	0,055	0,00
Årdal 16/22 mm	0,0	0,0	0,055	0,00
Filtralite 3-6mm	227,4	0,0	0,849	193,02
Filtralite 0-1,5mm	173,6	0,0	0,849	147,40
	0,0	0,0	0,000	0,00
	0,0	0,0	0,000	0,00
	0,0	0,0	0,000	0,00
	0,0	0,0	0,000	0,00
Sika Viscocrete FB-2	0,0		0,000	0,00
	0,0		14,000	0,00
	0,0		0,000	0,00
	0,0		0,000	0,00
Stålfiber	0,0		8,000	0,00
PP-fiber	0,0		0,000	0,00

Kalkulasjon			
Kostnadsbidrag	Enhetsbidrag [%]	Delkostnad [NOK/m <sup>3</sup> ]	Andel** [%]
Råvarer		621,53	78,8
Svinn, råvarer	2,0	12,43	1,6
Lønn + sos. avg. [NOK/m <sup>3</sup> ]		30,00	3,8
Dekningsbidrag [%]*:	15,0	99,59	12,6
Korreksjoner [NOK/m <sup>3</sup> ]		25,00	3,2
<b>Totalt [NOK/m<sup>3</sup>]</b>		<b>788,56</b>	

Tabell 15: Pris på lettbetong med letttilslag fra Ning Shu

Prisliste presentert i Tabell 18: *Prisliste for ulike betonger*, er basert på utregning av priser fra kapittel 4. *Kostnad* og kapittel 5.6.8 *Pris for betong*.

Tabell 18: *Prisliste for ulike betonger*

Betongtype	Pris
Referansebetong M45	363 kr/m <sup>3</sup>
Referansebetong M65	311 kr/m <sup>3</sup>
Lettbetong (1400 kg/m <sup>3</sup> ) med lettilslag fra Rijia	779 kr/m <sup>3</sup>
Lettbetong (1400 kg/m <sup>3</sup> ) med lettilslag fra Ning Shu	789 kr/m <sup>3</sup>
Lettbetong (1400 kg/m <sup>3</sup> ) med lettilslag fra Stalite	1413 kr/m <sup>3</sup>

Resultatene viser at det er store forskjeller i pris på referansebetongen M65 som er den referansebetongen som skal benyttes videre og det rimeligste lettilslaget. Kostnadsreduksjoner ved å benytte seg av lettbetong vil bli kalkulert videre i dette kapittelet, og i kapittel 6.6 *Kostnad*, vil det bli konkludert med tanke på den totale kostnaden ved å benytte lettbetong istedenfor vanlig konstruksjonsbetong i betongelementer.

#### 4.1.1 Kostnad versus egenskaper for ulike lettilslag

Som beskrevet i kapittel 2.3.1 *Lette tilslagsmaterialer*, er de fire vanligste lettilslagene leire, skifer, leirskifer og flyveaske. De fire ulike lettilslagene har alle ulike egenskaper, og prisene varierer mye ut i fra hva slags type lettilslag og hvilken produsent som produserer lettilslaget. Fordelen ved å benytte seg av skifer som Stalite og leirskifer kontra leire, er at skiferen gjør at betongen blir meget pumpbar. Det vil si at betong er såpass stabil under pumping at det ikke blir dannet en «propp». «Propp» er et resultat av betong som skiller seg og danner en propp i pumperøret. (Gjerp [et al.], 2007, s.57) Ved utstøping av betongelementer stilles det ikke særskilte krav til pumpbarheten til lettbetongen siden elementene støpes i fabrikk. Bruk av skifer og leirskifer vil derfor ikke bli diskutert i denne oppgaven da pumpbarhet ikke har innvirkning på støpearbeidet og prisen på lettilslagene med skifer er dyrere enn lettilslag uten skifer.

#### 4.2 Kostnader ved bruk av lettbetong

Som beskrevet i kapittel 2.3 *Lettbetong*, er lettbetong en type betong som har en egenvekt på under 2000 kg/m<sup>3</sup>. For å redusere egenvekten til betongen er det nødvendig å benytte seg av andre tilslagsmaterialer som er lettere enn vanlige tilslagsmaterialer. Lettilslagene har ofte andre egenskaper og har en pris som er høyere enn vanlig tilslag. I dette kapittelet vil kostnadsperspektivet stå i fokus, både med tanke på produksjon av lettbetongselementer, transport, krav til grunnforhold og håndtering av lettere betongelementer. Det vil bli diskutert om det er kostnadseffektivt å bruke dyrere tilslag for å redusere vekten på betongelementene slik at de andre kostnadene blir redusert.



#### 4.2.1 Produksjonskostnader

Kostnadene ved produksjon av lettbetong er noe høyere enn produksjonen av konstruksjonsbetong. Dette skyldes at prisen for lettilslag er høyere enn normale tilslag. Den totale kostnadene for produksjon av lettbetong er i hovedsak bestemt ut i fra hvor mye lettilslag som må benyttes for å få de egenskapen som etterspørres. Mengden av ulike tilsetningsstoffer som må benyttes har også innvirkning på den totale kostnaden. Resten av materialene som utgjør den ferdige betongen er like som for konstruksjonsbetong, og har derfor ingen innvirkning på produksjonskostnadene. En faktor som er med å øke produksjonskostnadene er et større krav til vibrering for å få riktig komprimering. (Sveindottir, [et al.], 1998, s.40)

Det vil bli stilt et lavere kapasitetskrav til maskinene som er involvert i håndteringen av lettbetongelementene grunnet den lavere vekten til elementene. Dette kan være med på å redusere kostnadene under produksjon, men det forutsier at elementfabrikken er spesialtilpasset for betongelementer laget av lettbetong.



Figur 23: Produksjonslinje, Block Berge Bygg Elementfabrikk

### 4.3 Armeringsbehov-kostnad

Armeringsbehovet for betong hvor det er blitt benyttet letttilslag har en heftsone mellom betongen og armeringen som er dårligere enn vanlig konstruksjonsbetong, dette fører til at lettbetong har et større armeringsbehov sammenlignet med vanlig konstruksjonsbetong. Dette har en innvirkning på de totale produksjonskostnadene da deler av betongen må erstattes med armering. Armeringsstål er et dyrere materiale enn betong noe som fører til økte produksjonskostnader.

Undertegnede har vært på omvisning i elementfabrikken til Block Berge Bygg. Innkjøpsansvarlig ga en cirka pris på hva de betalte for armering. Prisen per kilo ble oppgitt til å være om lag 5 kr/kg. Grunnet konkurransefortrinn og konkurranse mellom aktører kunne vedkommende ikke gi mer konkrete tall for ulike armeringstyper.

Dårligere heftsone fører til at lettbetong har et større armeringsbehov sammenlignet med vanlig konstruksjonsbetong. Det vil ikke bli beregnet armeringsbehov i denne oppgaven, men prisen for et lettbetong element vil trolig bli noe høyere. Dette varier selvfølgelig basert på armeringsbehov i utgangspunktet.

Ved beregning av armeringsbehov for lettbetongelementer brukes en heftsonefaktor  $\eta_1$  som er basert på egenvekten til lettbetongen. Heftsonefaktoren er en av mange faktorer som må kartlegges for å finne armeringsdifferansen mellom lettbetong og vanlig konstruksjonsbetong.

Følgene formel benyttes:

*Formel 8: Utregning av heftsonefaktor*

$$\eta_1 = 0,40 + 0,60 * \frac{\rho}{2200} \quad (\text{European committee for standardization, 2004, s.186})$$

Hvor  $\rho$  er den øvre grensen for densiteten for den relevante betongklassen.



*Figur 24: Armering av betongelement, Block Berge Bygg Elementfabrikk*



#### 4.4 Transportkostnadskalkyle

I samtaler med Idar T. Heskestad har det blitt gitt følgende opplysninger om transport av betongelementer: «Det er egentlig ikke maks vekt og maks lengde (vi har transportert bjelker på 35 m og når det transporteres transformatorer kan de ha en egenvekt opp mot 200 t). For vanlige semitrailere er maks vekt cirka 30 tonn, maks lengde cirka 14 meter og maks bredde 2meter.» Prisene som er oppgitt i Tabell 19: Transportkostnader fra Idar T. Heskestad, Spennbetong, er basert på semitrailere som er innenfor de vanlige parameteren for semitrailere som er lovlig å kjøre på norske veier uten å måtte søke om kjøretillatelse. Maks vekt på 30 tonn, maks bredde på 2 meter og en maks lengde på cirka 14 meter.

#### 4.5 Håndtering- og byggeplasskostnader

For å få en formening om hvor store kostnadsbesparelser en kan få ved å benytte lettere elementer ble det innhentet priser fra ulike kranselskaper. Prisene for de ulike kranselskapene som ga et prisoverslag er presentert i Tabell 20: Prislister fra Nordic Crane Vest AS og Tabell 21: Prislister for Nordic Crane Midt-Norge AS.

Normal prislister for kunder innen elementmontering fra Nordic Crane Vest AS er presentert i tabellen under. Alle prisene som ble gitt fra de ulike aktørene er eks mva. Inkl. mva. står i kolonnen til høyre for pris eks. mva. Merverdiavgiften (mva.) i Norge er på 25%.

Tabell 19: Transportkostnader fra Idar T. Heskestad, Spennbetong

Transportområde	Normal flattralle	Brønntralle	Tralle med uttrekk (Inntil 20m langt kolli)
<b>Nærområde, maks 100 km</b>	4 000,-	4 000,-	6 000,-
<b>Sentralt Østlandet</b>	9 000,-	15 000,-	20 000,-
<b>Bergen</b>	14 000,-	19 000,-	25 000,-
<b>Nord-Vestlandet og Sør-Trøndelag</b>	20 000,-	25 000,-	30 000,-

Tabell 20: Prislister fra Nordic Crane Vest AS

Kranstørrelse	Montering/demontering	Inkl. mva.	Pris per time	Inkl. mva.
<b>50 tonn</b>	0,-	0,-	855,-	1 068,75,-
<b>80 tonn</b>	1 400,-	1 750,-	1 118,-	1 397,5,-
<b>120 tonn</b>	7 000,-	8 750,-	1 276,-	1 595,-
<b>160 tonn</b>	14 000,-	17 500,-	1 525,-	1 906,25,-
<b>220 tonn</b>	21 000,-	26 250,-	1 782,-	2 227,5,-

Prislister for Nordic Crane Midt-Norge AS er presentert i tabellen under. I disse prisene er det ikke tatt med reisekostnader og ytterligere mobiliseringskostnader dersom arbeidene skal utføres langt ifra nærmeste by.

Tabell 21: Prislister for Nordic Crane Midt-Norge AS

Kranstørrelse	Montering/demontering	Inkl. mva.	Pris per time	Inkl. mva.
<b>80 tonn</b>	10 000,-	12 500,-	1 300,-	1 625,-
<b>160 tonn</b>	18 000,-	22 500,-	1 450,-	1 812,5,-
<b>220 tonn</b>	26 000,-	32 500,-	1 650,-	2 062,5,-



Figur 25: Håndtering av elementer på fabrikk, Block Berge Bygg Elementfabrikk

#### 4.6 Kostnadsbesparelser ved en lavere u-verdi

U-verdiene vil som beskrevet i kapittel 2.3.7 *U-verdi (Isolasjonsevne)*, vil være lavere for betongelementer laget av lettbetong versus betongelementer laget av normalbetong. For kontorbygg og andre bygg som krever mye oppvarming vil et lavere energibehovet ved en lavere u-verdi ha mye å si for kostandene knyttet til oppvarming. Eventuelt kan tykkelsen til isolasjonen reduseres ved bruk av en betong som har en lavere u-verdi.

## 5. Prosjekt oversikt

I dette kapittelet vil resultatene for alle forsøkene gjennomført i laboratoriet presenteres.

### 5.1 Resultater av fuktinnhold i tilslaget

Fuktinnhold i tilslagene målt med Speedy Moisture Tester:

Tabell 22: Fuktinnhold målt med Speedy Moisture Tester

Tilslag	Velde 0/8mm	Velde 8/16mm	Velde 16/22mm
<b>Fuktinnhold i %</b>	3,7 %	0,3 %	0 %

Fuktinnholdet i tilslagene som er oppgitt over er plottet inn i proporsjoneringsarket og brukt for å danne blandeskjemaer for alle de ulike betongblandingene som er presentert videre i oppgaven.

### 5.2 Referansebetong

Det ble laget et blandeskjema for en betongblanding uten letttilslag med en teoretisk fasthet på B45 og en teoretisk densitet på  $2377 \text{ kg/m}^3$  (se Figur 31: *Blandeskjema for referansebetong M45*). De teoretiske verdiene er basert på proporsjoneringsarket som er benyttet. Proporsjoneringsarket til referansebetong M45 se Vedlegg I1: *Konstruksjonsbetong M45*. Betongens støpelighet, fasthetsklasse, elastisitets modul, varmeledningsevne, spaltestrekkfasthet og bøyestrekfasthet ble testet. Dette ble utført for å få en referansekilde å sammenligne lettbetongen med. Testresultatene fra lettbetongblandingene bør samsvare noenlunde med testresultatene fra referansebetongen, og om testresultatene underskriver referansebetongen bør blandingen enten proporsjoneres på nytt eller testet grundigere for å forsikre seg om at de nye egenskapene ikke har stor betydning for totalegenskapen til betongelementene. Referansebetongens proporsjoneringsark og blandeskjema ligger som Vedlegg I1: *Konstruksjonsbetong M45*

### 5.3 Test av ulike betongsammensetninger

For å kartlegge de ulike lettbetongenes egenskaper er det gjennomført et labforsøk med bruk av ulike mengder letttilslag. Prøvestykkene har blitt testet opp mot hverandre, og sammenlignet med vanlig konstruksjonsbetong for å forsikre seg om at fasthetskravene og bestandigheten er akseptabel.

Vanlig proporsjoneringsmetoder benyttes når det skal blandes lettbetong, men det er tre ekstra punkter som må tas i betraktning når det skal settes opp en resept for lettbetonger. Densiteten til tilslagene er en ny variabel, egenskapene til fersk og herdet fase vil påvirkes kraftig av mengden og egenskapene til letttilslagene og vannabsorpsjonsevnen til letttilslagene har en stor påvirkning på vannmengden som må benyttes i lettbetongen. (Sveindottir, [et al.], 1998, s.30)

### 5.3.1 Hensikt

Hensikten med forsøket er å optimalisere en lettbetongresept. Lettbetongen skal ha en lav vekt, fasthetsklasse LB45 og en kostnad som gjør at lettbetongen kan konkurrere med vanlig konstruksjonsbetong. De ulike prøveblandingene ble testet med tanke på støpelighet, fasthetsklasse, elastisitets modul, varmeledningsevnen, spaltestrekkfasthet og bøyestrekfasthet. Prøveresultatene for støpelighet, fasthetsklasse, elastisitets modul, varmeledningsevne, spaltestrekkfasthet og bøyestrekfasthet sammenlignes med testresultatene som er utarbeidet ved testing av referansebetongene.

### 5.4 Siktcurve

Det vil bli benyttet filtralite 3-6mm og filtralite 0-1,5mm i lettbetongblandingene. Betonglaboratoriet ved universitetet i Stavanger hadde ikke siktkurver for disse tilslaget så det laget siktkurver for tilslagene det gjaldt. Siktingen ble utført på følgende måte: Først ble det veid ut 1000 gram av letttilslaget, og det ble påsett at det ikke var noen forurensninger i letttilslaget. For filtralite 3-6mm ble det satt opp et siletårn med siler i størrelsesorden 8mm, 4mm, 2mm, 1mm og 0,5mm. Filtralite 3-6mm ble plassert i den øverste sikten som har størrelsen 8mm. Silene ble deretter plassert i en rister som ristet siletårnet i 10 minutter. Silingen ble gjennomført to ganger med ulike deler av letttilslaget for å få et godt resultat. For filtralite 0-1,5mm ble det først brukt en sil på 2mm for å kvitte seg med forurensninger som var i tilslaget, da det var mye større partikler som var i samme silo som filtralite 0-1,5mm. Dette ble også gjort før tilslaget ble tilsatt de ulike lettbetongblandingene. For filtralite 0-1,5mm ble det satt opp et siletårn med siler i størrelsesorden 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,125mm og 0,063 mm. Filtraliten ble plassert i øverste sil og siletårnet ble ristet på samme måte som for filtralite 3-6mm.

Etter to gjennomførte silinger av filtralite 3-6mm ble resultatene fra siling nummer en og to plottet inn i fraksjon V. Deretter ble det fremstilt en siktcurve basert på dataene fra fraksjon V. Som navnet tilsier, Filtralite 3-6mm, ligger hovedparten av tilslaget i siktsjiktet mellom 3-6 mm og mesteparten ligger i siktsjiktet 4mm. Resultatene i Vedlegg O1: *Tabeller, fraksjonstabell og siktcurve for filtralite 3-6mm*

Samme fremgangsmåte ble også brukt for å lage en siktcurve for letttilslaget filtralite 0-1,5mm. Resultatene er presentert i Vedlegg O2: *Tabeller, fraksjonstabell og siktcurve for filtralite 3-6mm*

### 5.5 Proporsjonering

Proporsjoneringen tar utgangspunkt i Figur 3: *Alexander, S., Vinje, L., Knustad, R., & Andersen, T.R., 2007 (Bind D11, s.64)*. Lettbetongen som skal testes skal ha en fasthetsklasse på LB45, noe som tilsvarer at bestandighetsklassen bør ligge mellom M45 og M40. Betongen vil da tilfredsstillende eksponeringsklassene som det er stilt krav til. Alle de ulike betongblandingene tar utgangspunkt i referansebetongen som er satt sammen av Norcem Standard FA sement, Velde 0/8mm, Velde 8/16mm og Velde 16/22mm.

For å proporsjonere de ulike betongblandingene ble det brukt et proporsjoneringsark som er utarbeidet av Smeplass, S. Arket er designet for at det skal være mulig å legge inn alle typer tilslag med tilhørende siktkurver.

Det ble ikke lagt inn nye siktkurver for tilslagene fra Velde da det allerede lå siktkurver inne for Årdal. Siktkurvene for tilslaget til Årdal og Velde er nokså like.

Hovedforskjellene mellom Velde og Årdal er at velde er knust stein som har skarpe kanter, noe som ofte fører til en sterkere betong. Ulempen ved å benytte seg av Velde istedenfor Årdal er at støpeligheten blir redusert. Fraksjonene til Årdal har en mer kuleformet struktur som gjør at betongen får en bedre støpelighet, men kan være noe svakere med tanke på fasthet.

Ved proporsjonering av ulike lettbetonger må først v/c-tallet bestemmes. I denne oppgaven tas det utgangspunkt i et v/c-tall på 0,45. Deretter prøver en å benytte seg av ulike tilslag slik at den totale siktkurven er mest mulig lik den optimale siktkurven. Siktkurven for referansebetong (M45) viser den optimale kurven som har fått navnet referansegrad og den sammensatte kurven som er satt sammen av alle tilslagene som er benyttet. For referansebetongen som er proporsjonert under er kurvene ganske like. Dette fører til en god betong som har de egenskapene som betongen er dimensjonert opp mot.

Ved proporsjonering av betong med lettere tilslag, hvor det stilles strenge krav til vektreduksjon er det vanskeligere å få den sammensatte kurven og referansegraden til å ligge tett på hverandre. Dette kan føre til en betong med egenskaper som fraviker egenskapene som er ønskelig for betongen. Siktkurven for lettbetong (1600 kg/m<sup>3</sup>) viser tydelig at siktkurven for det sammensatte tilslaget og referansegraden ikke stemmer helt over ens.

Siktkurv ligger som Vedlegg P1: *Siktkurve for referansebetong (M45) og lettbetong 1600 kg/m<sup>3</sup>.*

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	368,9	368,890			368,890
Elkem Microsilica	0,0	0,000	50	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	166,0	166,001		-36,189	129,812
Absorbert vann	0,0	0,000			0,000
Årdal 0/8 mm nat. vask.	945,1	945,113	3,7	34,969	980,083
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	406,4	406,437	0,3	1,219	407,656
Årdal 16/22 mm	490,8	490,787	0,0	0,000	490,787
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,0	0,000	82	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

Figur 26: Blandeskjema for referansebetong M45

Blandeskjemaet har et blandevolum på 1000 liter, volumet ble redusert til 40 liter før støpningene ble gjennomført. I blandeskjema står det at det er brukt Årdal 0/8 mm, Årdal 8/16 mm og Årdal 16/22 mm, disse tilslagene var ikke å oppdrive på laben ved Universitetet i Stavanger så det ble brukt Velde. Forskjeller mellom Velde og Årdal er forklart i kapittel 5.5 Proporsjonering.

Det viste seg at denne referansebetongen med et v/c-tall på 0,45 hadde en fasthetsklasse som var mye høyere enn det som var nødvendig og ønskelig. Det ble derfor utført fasthetsprøver for ulike vanlige konstruksjonsbetonger for å få en betong som hadde fasthetsklasse nærmere B45. Dette ble gjort ved å teste betonger med et høyere v/c-tall enn den første referansebetongen som ble støpt. Det ble blandet tre nye betongblandinger med v/c-tall på 0,55, 0,60 og 0,65. I Tabell 23: *Fasthet, referansebetong med ulikt v/c-tall*, presenteres resultatene for fastheten etter 7 dager i vannbad.



Tabell 23: Fasthet, referansebetong med ulikt v/c-tall

Nummer	Dato	Identifikasjon	Kraft, F <sub>7</sub>
1	29.03.2017	Referansebetong M55 Nr.1	432,67 kN
2	29.03.2017	Referansebetong M55 Nr.2	428,52 kN
3	29.03.2017	Referansebetong M55 Nr.3	430,62 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>430,60 kN</b>
4	29.03.2017	Referansebetong M60 Nr.1	419,51 kN
5	29.03.2017	Referansebetong M60 Nr.2	407,47 kN
6	29.03.2017	Referansebetong M60 Nr.3	405,72 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>410,90 kN</b>
7	29.03.2017	Referansebetong M65 Nr.1	382,33 kN
8	29.03.2017	Referansebetong M65 Nr.2	382,42 kN
9	29.03.2017	Referansebetong M65 Nr.3	344,69 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>369,81 kN</b>

Fasthetene for de ulike referansebetongene etter 28 dager er presentert i Tabell 24: *Fasthetsklasser etter 28 dager for referansebetonger med ulikt v/c-tall*. Alle fasthetene er over den laveste fasthetsklassen som godtas (B45, 45 MPa). Basert på disse resultatene vil referansebetongen som har et v/c-tall på 0,65 bli den gjeldene referansebetongen som lettbetongen skal sammenlignes mot. Dette er fordi referansebetongen med et v/c-tall på 0,65 ligger nærmest den laveste fasthetsklassen som godtas.

Tabell 24: Fasthetsklasser etter 28 dager for referansebetonger med ulikt v/c-tall

Nummer	Dato	Identifikasjon	Kraft, F <sub>7</sub>	Kraft, F <sub>28</sub>
1	29.03.2017	Referansebetong M55 Nr.1	432,67 kN	618,1 kN
2	29.03.2017	Referansebetong M55 Nr.2	428,52 kN	612,17 kN
3	29.03.2017	Referansebetong M55 Nr.3	430,62 kN	615,17 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>430,60 kN</b>	<b>615,15 kN</b>
4	29.03.2017	Referansebetong M60 Nr.1	419,51 kN	599,30 kN
5	29.03.2017	Referansebetong M60 Nr.2	407,47 kN	582,10 kN
6	29.03.2017	Referansebetong M60 Nr.3	405,72 kN	579,60 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>410,90 kN</b>	<b>587,00 kN</b>
7	29.03.2017	Referansebetong M65 Nr.1	382,33 kN	546,18 kN
8	29.03.2017	Referansebetong M65 Nr.2	382,42 kN	546,31 kN
9	29.03.2017	Referansebetong M65 Nr.3	344,69 kN	492,41 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>369,81 kN</b>	<b>528,30 kN</b>

Verdiene for både referansebetongen med bestandighetsklasse M45 og M65 vil bli presentert videre i dette kapitlet, da dette gir en indikasjon på hva en kan forvente av lettbetongene som blir testet i kapittel 5.7 *Testresultater for lettbetong*.



Blandeskjemaet for referansebetongen med et v/c-tall på 0,65 er presentert i Tabell 25: *Blandeskjema for referansebetong M65*. Etter at fasthetstestene som er presentert i Tabell 24: *Fasthetsklasser etter 28 dager for referansebetonger med ulikt v/c-tall*, var gjennomført ble det blandet en stor blandingen av referansebetongen M65. Det ble støpt ut en bjelke for bøyestrekfasthet, to sylindere for spaltstrekfasthet- og e-modultest, en stor terning (15x15x15cm) for å teste varmeledningsevnen og 6 små terninger for å teste fasthet, tørrdensitet og reologiske egenskaper. Det ble også målt synkmål og luftinnhold i betongen.

Alle referansebetongene som ble testet hadde en fasthetsklasse som var noe høyere enn det som var forventet av betonger med de v/c-tallene som ble brukt. Dette kan skyldes at fuktinnholdet i tilslagene som ble brukt kan ha variert for de ulike blandingene som ble utført. For å kartlegge fuktinnholdet mer nøyaktig kunne det vært utført en fuktmåling av alle tilslagene før de ble benyttet i de ulike blandingene. Men dette hadde vært en prosedyre som hadde tatt mye tid. Grunnet begrenset tid ble fuktinnholdet for de ulike tilslagene målt en gang og ikke før hver blanding.

Tabell 25: Blandeskjema for referansebetong M65

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	294,3	294,290			294,290
Elkem Microsilica	0,0	0,000	50	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	191,3	191,289		-36,189	155,100
Absorbert vann	0,0	0,000			0,000
Årdal 0/8 mm nat. vask.	945,1	945,113	3,7	34,969	980,083
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	406,4	406,437	0,3	1,219	407,656
Årdal 16/22 mm	490,8	490,787	0,0	0,000	490,787
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Sika Viscocrete FB-2	0,0	0,000	82	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

For utfyllende informasjon om blandeskjema som er benyttet se Vedlegg 15: *konstruksjonsbetong M65*.

## 5.6 Resultater for referansebetonger

### 5.6.1 Synkmål

Synkmålet som ble gjennomført av referansebetongene hadde tilnærmet verdi på 0 centimeter. Referansebetongene har v/c-tall på 0,45 og 0,65. For å forbedre de reologiske egenskapene til betongen kunne det med fordel blitt brukt superplastiserende eller plastiserende tilsetningsstoffer. Problemet ved å benytte seg av superplastiserende og plastiserende tilsetningsstoffer er at produksjonskostnadene ved å lage betongen vil øke. Det må derfor tas en beslutning om det er nødvendig for å forbedre betongens støpelighet.

Referansebetongene ble proporsjonert med tanke på å at kostnaden skulle bli så lav som mulig og styrken så høy som mulig. Det ble derfor ikke brukt tilsetningsstoffer for å endre betongens egenskaper. Det ble brukt Velde istedenfor fraksjoner fra Årdal som blandeskjemaet tar utgangspunkt i. Dette kan medføre en lavere støpelighet, som forklart i kapittel 5.5 *Proporsjonering*.

### 5.6.2 Luftinnhold

Luftinnholdet til den første betongen ble målt til 3% noe som var 1% høyere enn det som ble ført inn i blandeskjemaet som ble brukt til å proporsjonere opp referansebetongen. Den andre referansebetongen som hadde et v/c-tall på 0,65 hadde et luftinnhold på 1,4%, noe som var 0,6% lavere enn det som ble ført inn i proporsjoneringsarket. Et litt høyere luftinnhold i den ferske betongen har lite å si for styrken noe som kommer frem i neste kapittel. Et luftinnhold høyere enn 4% sies å svekke fastheten til betongen. Fastheten til prøvelegemet reduseres med cirka 5% for hver prosent en øker luftinnholdet. Et høyt luftinnhold vil gi bedre isolasjonsevne, bedre motstand mot frost, men vil føre til en svekkelse i styrken til betongen mens lavt luftinnhold gir dårligere isolasjonsevne og frostmotstand, men en høyere styrke. Isolasjonsevnene til referansebetongene og de ulike lettbetongen er presenter i kapittel 5.6.5 *Varmeledningsevne* og 5.8.5 *Varmeledningsevne*.



Figur 27: Luftinnhold i referansebetong

### 5.6.3 Fasthetsklasse

Etter at betongen hadde størknet i 16 timer ble terningen, prismet og sylindrene plassert i et vannbad som holdt  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  (som beskrevet i kapittel 5.4.6). Etter en uke i vannbadet ble fastheten, elastisitetens modulen, brannmotstanden, spaltestrekfastheten og bøyestrekfastheten testet. Fasthetstesten ble utført på 3 terninger á 10x10x10 cm.

Resultatet av fasthetstestene er presentert i Tabell 26: *Referansebetong, M45, fasthetstest* og Tabell 27: *Referansebetong, M65, fasthetstest*.

Ved bestemmelse av fastheten til prøvelegemene må kraften som må til for å få prøvelegemene til å gå i brudd ganges med et forhåndstall for å få riktig fasthetsklasse. Fasthetsklassen etter 7 dager er cirka 70% av fastheten etter 28 døgn i henhold til NS-EN 12390-3:2009.

Tabell 26: *Referansebetong, M45, fasthetstest*

Nummer	Dato	Identifikasjon	Kraft, F <sub>7</sub>	Kraft, F <sub>28</sub>
1	21.02.2017	KB M45 fasthet referansebetong	584,57 kN	835,10 kN
2	21.02.2017	KB M45 fasthet referansebetong	557,35 kN	796,21 kN
3	21.02.2017	KB M45 fasthet referansebetong	542,52 kN	775,03 kN
Gjennomsnitt			561,48 kN	802,11 kN

Fastheten til referansebetongen er mye høyere enn beregnet. Dette kan skyldes at tilslagene som ble benyttet hadde en høyere absorpsjonsevne enn angitt og testet. Det kan også ha vært feil i proporsjoneringsarket som er benyttet.

Som nevnt i kapittel 5.2 *Referansebetong*, ble det testet tre nye referansebetongblandinger for å få en fasthetsklasse nærmere den ønskelige fasthetsklassen på B45. Testresultatene for fasthetstestene for referansebetongene med et lavere v/c-tall er presentert kapittel 5.2 *Referansebetong*. Det ble som nevnt støpt en stor blanding av referansebetong M65 hvor fastheten igjen ble målt for å forsikre seg om at den store blandingen hadde en fasthetsklasse som var på B45 eller noe høyere bedre. I Tabell 27: *Referansebetong, M65, fasthetstest*, er resultatene av fasthetstester for referansebetong M65 presentert for stor blanding.

Tabell 27: *Referansebetong, M65, fasthetstest*

Nummer	Dato	Identifikasjon	Kraft, F <sub>7</sub>	Kraft, F <sub>28</sub>
1	10.04.2017	KB M65 fasthet referansebetong	393,63 kN	562,33 kN
2	10.04.2017	KB M65 fasthet referansebetong	409,55 kN	585,07 kN
3	10.04.2017	KB M65 fasthet referansebetong	407,64 kN	582,34 kN
4	10.04.2017	KB M65 fasthet referansebetong	388,37 kN	554,81 kN
Gjennomsnitt			399,79 kN	571,12 kN

#### 5.6.4 Elastisitets modul

Ved utregning av elastisitets benyttes følgende formel:

Formel 9: Hooks lov

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Formelen skrives om for å få elastisitetsmodulen:

Formel 10: Hooks lov, omskrevet

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{10,02 \text{ N/mm}^2}{(0,002 + 0,005) - (-0,097 + (-0,084))}$$

Resultatene av tøyningene som ble målt for sylindren ligger som Vedlegg A2: Elastisitetsmodul referansebetong M45 og Vedlegg B2: Elastisitetsmodul referansebetong M65, og er presentert i Tabell 28: *Elastisitets modul, referansebetong*. Som forventet har den svakere betongen (M65) en lavere e-modul.

Tabell 28: *Elastisitets modul, referansebetong*

Identifikasjon	Dato	ε <sub>1,start</sub>	ε <sub>2,start</sub>	ε <sub>1,slutt</sub>	ε <sub>2,slutt</sub>	E
<b>Referansebetong M45</b>	21.02.2017	-0,097 mm	-0,084 mm	0,002 mm	0,005 mm	52,59 GPa
<b>Referansebetong M65</b>	10.04.2017	-0,039 mm	-0,180 mm	0,029 mm	0,012 mm	35,11 GPa

### 5.6.5 Varmedningsevne

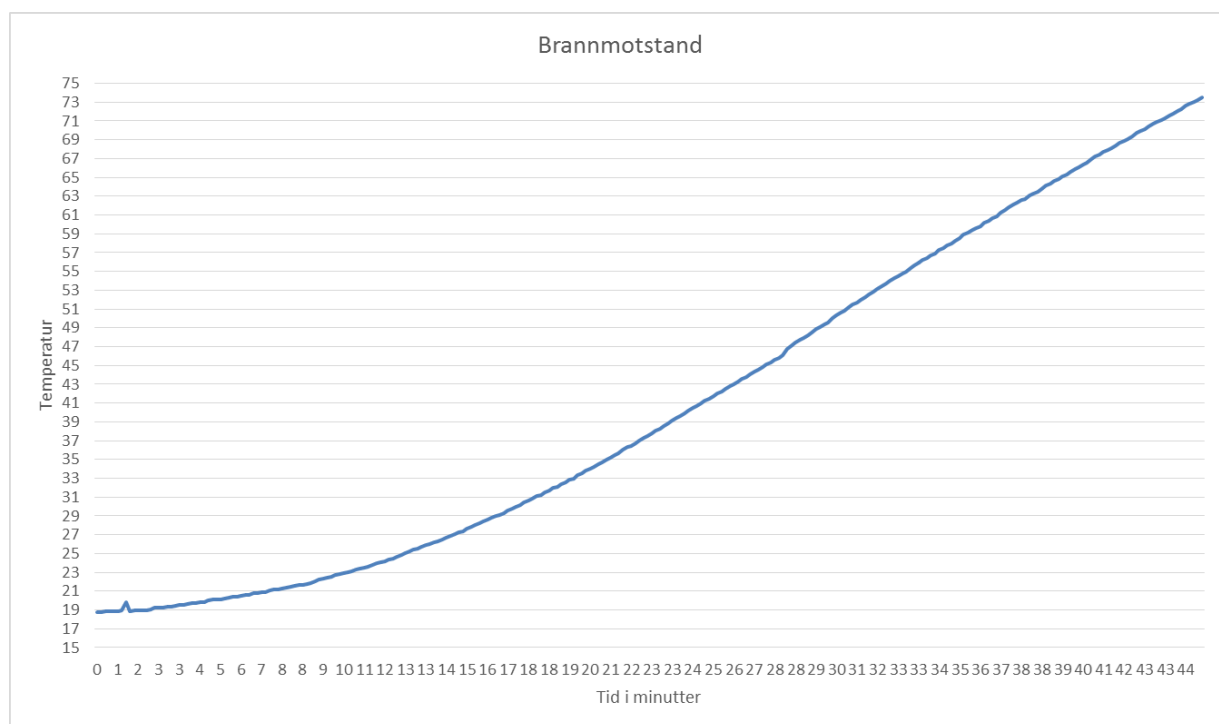
Varmedningsevnen til referanselegemet ble først målt ved lange temperaturintervaller for å få en formening om hvor lenge testene skulle vare, og for å få et inntrykk av varmedningsevnen til legemet. Resultatene til prøvoforsøket kommer frem i Tabell 29: *Prøvoforsøk, isolasjonsevne, referansebetong, M45*.

Tabell 29: *Prøvoforsøk, isolasjonsevne, referansebetong, M45*

Antall minutter	Temperatursensor ved overflate	Temperatursensor i senter
0 min	19,1 °C	19,7 °C
2,5 min	18,6 °C	19,3 °C
5 min	18,2 °C	19,0 °C
7,5 min	18,0 °C	20,0 °C
10 min	17,8 °C	21,9 °C
12,5 min	17,8 °C	24,3 °C
15 min	17,8 °C	27,0 °C
17,5 min	18,1 °C	29,6 °C
20 min	18,5 °C	32,5 °C
22,5 min	19,1 °C	35,2 °C
25 min	19,9 °C	38,0 °C
30 min	21,7 °C	43,5 °C
35 min	23,7 °C	48,8 °C
40 min	25,7 °C	53,2 °C
50 min	30,0 °C	60,2 °C
60 min	33,8 °C	65,8 °C

Prøveforsøket ble gjennomført utendørs. Selv med tilført energi til prøvelegemet sank temperaturen for den midtre temperatursensoren til det hadde gått 5 minutter, og temperaturen som ble målt av temperatursensoren som lå en centimeter fra overflaten lengst unna varmekilden sank helt til det hadde gått 22,5 minutter.

Neste test som ble utført for referansebetongen ble utført med et temperaturmåleapparat som tok temperaturen hvert tiende sekund. Prøvestykket som ble testet hadde de samme målene som i første del av forsøket. For dette forsøket ble det plassert en temperatursensorene ved overflaten av prøvelegemet. Testen for prøvestykke nummer to ble utført inne ved romtemperatur ( $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ ) slik at temperaturen til prøvestykket ikke skulle reduseres når testen var startet. Varmekilden som ble brukt for forsøk nummer to var en annen enn fra forsøk 1. Varmekilden for forsøk nummer to var mye kraftigere enn for forsøk en. Resten av forsøket ble utført på samme måte som for prøvestykke en. Fremgangsmåte for utførelse av forsøket er beskrevet i kapittel 3.8.2 *Måling av varmeledningsevne*.



Figur 28: Temperaturutvikling for referansebetong M65

Som nevnt over ble dette forsøket utført innendørs, noe som førte til at prøvelegemet ikke sankt i temperatur. 25 minutter inn i forsøket sluttet temperaturmåleren å føre målinger, så den måtte byttes ut. Dette førte til at det måling nummer 151 til 167 ikke ble kartlagt. I dette tidsrommet ble det derfor ingen resultater, så temperaturverdiene før og etter ble brukt for å lage en lineær varmetutvikling mellom disse punktene. Punktene som ble basert på lineær varmetutvikling er markert rødt i tabellen. (Se Vedlegg N1: *Temperaturutvikling referansebetong M65*)

### 5.6.6 Spaltestrekkfasthet

Spaltestrekkfastheten har en annerledes og hurtigere utvikling enn trykkfastheten, så faktoren på 70% som benyttes for fasthetsutviklingen kan ikke benyttes ved utregning av spaltestrekkfastheten.

Utregning av spaltestrekkfastheten regnes ut ved følgende formel:

*Formel 11: Spaltestrekkfasthet 7-dager*

$$f_{ct,7} = \frac{2 * F}{\pi * L * d}$$

Der:

$f_{ct,7}$  = spaltestrekkfastheten etter 7 dager, i megapascal eller newton per kvadratmillimeter;

F = største last, i newton

L = lengden på prøvelegemets kontaktlinje, i millimeter;

d = fastsatte tverrsnittmålet, i millimeter;

Spaltestrekkfastheten skal uttrykkes til nærmeste 0,05 MPa (N/mm<sup>2</sup>)

(Standard Norge, 2001, NS-EN 12390-6:2001, s.8)

*Formel 12: Spaltestrekkfasthet 28-dager*

$$f_{ct,7} = f_{t,28} * \left\{ e \left[ s * \left( 1 - \sqrt{\frac{28 * 24t}{t_7 - t_0}} \right) \right] \right\}^{nt}$$

Der:

$f_{ct,28}$  = spaltestrekkfastheten etter 28 dager, i megapascal eller newton per kvadratmillimeter;

$f_{ct,7}$  = spaltestrekkfastheten etter 7 dager, i megapascal eller newton per kvadratmillimeter;

S = en parameter basert på sement klasse, benevnings løs, se Tabell 30: *Kanstad et al., 2001, s.227*

$t_0$  = den tiden det tar for styrke og stivhet er tilnærmet null, i timer, se Tabell 30: *Kanstad et al., 2001, s.227*

$t_7$  = tiden etter 7 dager, i timer

$nt$  = en parameter for de ulike sementtypene, benevnings løs

(Kanstad, T., Hammer, T.A., Bjøntegaard, Ø., & Sellevold, E.J., 2001, s.227)



Tabell 30: Kanstad et al., 2001, s.227

<b>Table 1 – Model parameters for the compressive strength</b>					
Concretes:	$f_{c28}$ (MPa)	s	$t_o$ (hours)	St.dev. (MPa)	Coeff. of var.*
REF-A	71.5	0.170	12	3.33	0.047
BASIC-5	81.0	0.173	11	2.94	0.036
BASIC-10	85.0	0.211	10	4.14	0.049
BASIC-15	78.3	0.219	9	4.40	0.056
REF STD	62.8	0.124	9	1.51	0.024
REF FA	67.2	0.135	10	1.37	0.020
MARIDALEN	71.5	0.199	10.3	4.65	0.065

\* The coefficient of variation is normalized to the 28-day strength.

Tabell 31: Kanstad et al., 2001, s.228

<b>Table 2 – Model parameters for the tensile strength</b>				
Concretes:	$f_{t28}$ (MPa)	nt	St.dev. (MPa)	Coeff. of var.*
REF-A	3.96	0.573	0.243	0.061
BASIC-5	4.44	0.658	0.307	0.069
BASIC-10	4.75	0.621	0.225	0.047
BASIC-15	4.18	0.539	0.303	0.073
REF STD	3.66	0.501	0.337	0.092
REF FA	4.05	0.632	0.131	0.032

\* The coefficient of variation is normalized to the 28-day strength.

Utrekningen av spaltstrekkfasthet vil være basert på kreftene som ble målt ved forsøkene for de ulike referansebetongene. Resultatene ligger som Vedlegg A4: *Spaltstrekkfasthet referansebetong M45* og Vedlegg B4: *Spaltstrekkfasthet referansebetong M65* og er presentert i Tabell 32: *Spaltstrekkfasthet referansebetonger*. Formel 11: *Spaltstrekkfasthet 7-dager* gir spaltstrekkfastheten etter 7 dager og Formel 12: *Spaltstrekkfasthet 28-dager* gir teoretisk spaltstrekkfasthet etter 28 dager. Sementen som er benyttet for å lage de ulike betongene er tilsvarende REF FA.



Tabell 32: Spaltestrekkfasthet referansebetonger

Nummer	Dato	Identifikasjon	Diameter	F <sub>m</sub>	Spaltestrekkfasthet
1	22.02.2017	Referansebetong, M45	150,0 mm	218,49 kN	3,4 MPa
2	10.04.2017	Referansebetong, M65	150,0 mm	213,58 kN	3,3 MPa

Utrekning av spaltestrekkfasthet for referansebetong M45:

$$f_{ct,7} = \frac{2 * 218,49 \text{ kN}}{\pi * 300\text{mm} * 150\text{mm}} = 3,1 \text{ MPa}$$

For å få spaltestrekkfastheten etter 28 dager må formelen omskrives slik at spaltestrekkfastheten etter 28 dager står alene på venstre side:

$$f_{t,28} = \frac{f_{ct,7}}{\left\{ e^{\left[ 0,135 * \left( 1 - \sqrt{\frac{28*24}{168-10}} \right) \right]} \right\}^{0,632}} = \frac{3,10}{0,913} = 3,4 \text{ MPa}$$

Utrekning av spaltestrekkfasthet for referansebetong M65:

$$f_{ct,7} = \frac{2 * 213,58 \text{ kN}}{\pi * 300\text{mm} * 150\text{mm}} = 3,0 \text{ MPa}$$

For å få spaltestrekkfastheten etter 28 dager må formelen omskrives slik at spaltestrekkfastheten etter 28 dager står alene på venstre side:

$$f_{t,28} = \frac{f_{ct,7}}{\left\{ e^{\left[ 0,135 * \left( 1 - \sqrt{\frac{28*24}{168-10}} \right) \right]} \right\}^{0,632}} = \frac{3,0}{0,913} = 3,3 \text{ MPa}$$



Figur 29: Snittflate av referansebetong M65

Som forklart i kapittel 2.3.3. *Fasthet lettbetong*, vil spenningsbilde for en lettbetong kjennetegnes ved at hovedspenningene befinner seg rundt tilslagsmaterialene, altså spenningene går ikke igjennom lettilslagene. For normalbetong er det tilslagsmaterialet som har høyest fasthet og hovedspenningene vil derfor være i tilslagsmaterialet teoretisk sett. Hvis en ser nøye på Figur 34: *Snittflate av referansebetong M65* kan en se at bruddet i hovedsak har gått gjennom sementen og ikke gjennom tilslaget.

Snittflaten for referansebetongen M65 er grov og ujevn, og en ser at det er mange groper og steiner som stikker ut fra bruddflaten. Dette er fordi tilslagene har løsnet fra sementen. I dette tilfelle er det sementen som er svakest mens tilslagene fortsatt er intakte.

### 5.6.7 Bøyestrekfasthet

Bøyestrekfastheten har en annerledes og hurtigere utvikling enn trykkfastheten, så faktoren på 70% som benyttes for fasthetsutviklingen kan ikke benyttes ved utregning av bøyestrekfasthet. Det vil her bli benyttet samme formel for å finne bøyestrekfastheten som i kapittel 5.6.6 *Spaltestrekfasthet*.

Utregning av bøyestrekfasthet regnes ut ved følgende ligning:

*Formel 13: Bøyestrekfasthet*

$$f_{cf} = \frac{3 * F * l}{2 * d_1 * d_2^2}$$

Der:

$f_{cf}$  = bøyestrekfastheten, i megapascal (N/mm<sup>2</sup>)

F = største last ved brudd, i newton

l = avstanden mellom oppleggssrullene, i millimeter

$d_1$  og  $d_2$  = tverrsnittsmålene, i millimeter (se Figur 22: *Bøyestrekfasthet, Standard Norge, 2009, NS-EN 12390-5:2001, s.7*)

Bøyestrekfastheten skal uttrykkes til nærmeste 0,1 MPa (N/mm<sup>2</sup>)

(Standard Norge, 2001, NS-EN 12390-5:2001, s.9)

Utregningen av bøyestrekfastheten vil være basert på kreftene som ble målt ved de ulike forsøkene for referansebetongene. Resultatene ligger som Vedlegg A3: *Bøyestrekfasthet referansebetong M45* og Vedlegg B3: *Bøyestrekfasthet referansebetong M65* og er presentert i Tabell 33: *Bøyestrekfasthet referansebetong*.

*Tabell 33: Bøyestrekfasthet referansebetong*

Nummer	Dato	Identifikasjon	Bredde	Høyde	Lengde	F <sub>m</sub>	Bøyestrek
1	22.02.2017	Referansebetong M45	100 mm	100 mm	500 mm	7,33 kN	4,8 MPa
2	10.04.2017	Referansebetong M65	100 mm	100 mm	500 mm	8,05 kN	5,3 MPa

Utregning av bøyestrekfasthet for referansebetong M45:

$$f_{cf,7} = \frac{3 * 7,33 \text{ kN} * 400 \text{ mm}}{2 * 100 \text{ mm} * 100 \text{ mm}^2} = 4,4 \text{ MPa}$$

$$f_{cf,28} = \frac{f_{cf,7}}{\left\{ e^{\left[ 0,135 * \left( 1 - \sqrt{\frac{28 * 24}{168 - 10}} \right) \right]} \right\}^{0,632}} = \frac{4,4}{0,913} = 4,8 \text{ MPa}$$

Utregning av bøyestrekfasthet for referansebetong M65:

$$f_{cf,7} = \frac{3 * 8,05 \text{ kN} * 400 \text{ mm}}{2 * 100 \text{ mm} * 100 \text{ mm}^2} = 4,83 \text{ MPa}$$

$$f_{cf,28} = \frac{f_{cf,7}}{\left\{ e^{\left[ 0,135 * \left( 1 - \sqrt{\frac{28 * 24}{168 - 10}} \right) \right]} \right\}^{0,632}} = \frac{4,8}{0,913} = 5,3$$

### 5.6.8 Pris for betong

Prisene for delmaterialene som ble brukt i referansebetongen er basert på oppgitte priser fra proporsjoneringsarket som har blitt utarbeidet av Smeplass.

Tabell 34: Priskalkyle for referanse betong M45

Delmateriale	Antall kg/m <sup>3</sup>	Pris per kg [Nok/kg]	Pris per m <sup>3</sup> [Nok/ m <sup>3</sup> ]
Standard FA (sement)	368,9 kg/m <sup>3</sup>	0,7 kr/kg	258,2 kr/m <sup>3</sup>
Vann	129,8 kg/m <sup>3</sup>	0,01 kr/kg	1,3 kr/m <sup>3</sup>
Velde 0/8 mm	980,1 kg/m <sup>3</sup>	0,055 kr/kg	53,9 kr/m <sup>3</sup>
Velde 8/16 mm	407,7 kg/m <sup>3</sup>	0,055 kr/kg	22,4 kr/m <sup>3</sup>
Velde 16/22 mm	490,8 kg/m <sup>3</sup>	0,055 kr/kg	27,0 kr/m <sup>3</sup>
<b>Totalt</b>	<b>2377,3 kg/m<sup>3</sup></b>		<b>362,9 kr/m<sup>3</sup></b>

Tabell 35: Priskalkyle for referansebetong M65

Delmateriale	Antall kg/m <sup>3</sup>	Pris per kg [Nok/kg]	Pris per m <sup>3</sup> [Nok/ m <sup>3</sup> ]
Standard FA (sement)	294,3 kg/m <sup>3</sup>	0,7 kr/kg	206,0 kr/m <sup>3</sup>
Vann	155,1 kg/m <sup>3</sup>	0,01 kr/kg	1,6 kr/m <sup>3</sup>
Velde 0/8 mm	980,1 kg/m <sup>3</sup>	0,055 kr/kg	53,9 kr/m <sup>3</sup>
Velde 8/16 mm	407,7 kg/m <sup>3</sup>	0,055 kr/kg	22,4 kr/m <sup>3</sup>
Velde 16/22 mm	490,8 kg/m <sup>3</sup>	0,055 kr/kg	27,0 kr/m <sup>3</sup>
<b>Totalt</b>	<b>2328,0 kg/m<sup>3</sup></b>		<b>310,9 kr/m<sup>3</sup></b>

### 5.6.9 Densitet

Det ble støpt 3 terninger á 10x10x10 cm, volum på 1000 cm<sup>3</sup>. Terningene ble brukt til å måle betongens fasthetsklasse, og ble også brukt for å fastslå betongens densitet. De tre terningene ble veid 16 timer etter at betongen ble støpt. Terningene ble deretter plassert i et vannbad i en uke slik at fasthetsklassen kunne bestemmes.



Tabell 36: Densitet for referansebetong M45, våtdensitet

Prøve nummer	Vekt (gram)	Densitet (g/cm <sup>3</sup> )	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
1	2459 g	2,459 g/cm <sup>3</sup>	2459 kg/m <sup>3</sup>
2	2451 g	2,451 g/cm <sup>3</sup>	2451 kg/m <sup>3</sup>
3	2452 g	2,452 g/cm <sup>3</sup>	2452 kg/m <sup>3</sup>
Gjennomsnitt	2454 g	2,454 g/cm <sup>3</sup>	<b>2454 kg/m<sup>3</sup></b>

Fra resultatene i Tabell 36: Densitet for referansebetong M45, våtdensitet, går det frem at den gjennomsnittlige densiteten til referansebetongen er 2454 kg/m<sup>3</sup>. Det vil si at det var et avvik med 77 kg/m<sup>3</sup> mellom den teoretiske densiteten som ble gitt fra proporsjoneringsarket som er på 2377 kg/m<sup>3</sup> og den virkelige verdien på 2454 kg/m<sup>3</sup>. Densiteten av den første referansebetongen med et v/c-tall på 0,45 ble målt som våt densitet. Tørrdensiteten til prøvelegemet ville trolig ha vært nærmere den teoretiske densiteten. For de resterende prøvelegemene er det tørrdensiteten som blir målt.

Tabell 37: Densitet for referansebetong M65, tørrdensitet

Prøve nummer	Vekt (gram)	Densitet (g/cm <sup>3</sup> )	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
1	2319 g	2,319 g/cm <sup>3</sup>	2319 kg/m <sup>3</sup>
2	2268 g	2,268 g/cm <sup>3</sup>	2268 kg/m <sup>3</sup>
Gjennomsnitt	2294 g	2,294 g/cm <sup>3</sup>	<b>2294 kg/m<sup>3</sup></b>

## 5.7 Testresultater for lettbetong (liten støp)

For å danne seg en formening av hvordan fastheten til betongen varierer basert på lettilslaget og mengden av de ulike lettilslagene som blir benyttet i betongblandingen ble det blandet 6 ulike lettbetongblandinger. For hver blanding ble det støpt tre terninger som skulle brukes til å fastslå fastheten til lettbetongen. Utførelsen av blanding, komprimering og herding ble gjort i henhold til norsk standard, som beskrevet i kapittel 3.7 *Fersk betong*. Det ble målt fasthet og densitet før en større test av lettbetongene ble gjennomført.

### 5.7.1 Fasthet

De to lettilslagene som ble brukt for de ulike lettbetongblandingene har en absorbert fukt på 10% etter ett døgn og 25% etter 28 døgn (se Vedlegg H: *Filtralite 3-6mm, produktbeskrivelse*). Konsekvensen av den høye absorberte fukten er at betongblandingen må tilsettes mer fukt. Økt vann gjør at flyten blir forbedret, men separasjonsfaren øker. Dette kom tydelig frem under utstøpingen av de ulike lettbetongblandingene. Flyten til betongen økte i samsvar med tilsatt mengde lettilslag.

Ved første blanding som ble gjennomført, ble absorbert fukt satt til 25%. I ettertid viste deg seg at det ikke er absorbert fukt etter 28 døgn som skal brukes, men absorbert fukt etter ett døgn. Både veileder og undertegnede oppdaget ikke dette før prøvestykkene var støpt ut. Den høye absorberte fukten førte til at betongen fikk et høyere v/c-tall enn 0,45. Det høyere v/c-tallet førte

til at lettbetongen som ble testet fikk en lavere fasthetsklasse enn den skulle hatt ved riktig proporsjonering.

Lettbetongterningene gjennomgikk samme herdeprognose som referansebetongen, herdingen er forklart i kapittel 5.6.9 *Densitet*. Etter syv dager i vannbadet ble fastheten til prøvelegemene testet. Resultatene for proporsjonering av lettbetongblandingene med en absorbert fukt på 25% er presenter i Tabell 38: *Lettbetong, absorbert fukt 25%, fasthet 7 og 28 døgn*. For ytterligere informasjon om blandeskjema, siktkurve og fasthetsgraf se Vedlegg K1: *Lettbetong med teoretisk densitet på 1850 kg/m<sup>3</sup> 25% absorbert fukt* til Vedlegg K5: *Lettbetong med teoretisk densitet på 1150 kg/m<sup>3</sup> 25% absorbert fukt*.

Det kommer tydelig frem at ved større tilsetning av letttilslag så reduseres fastheten til betongen. Lettbetong blanding en er noe svakere enn blanding to, dette skyldes et lavere innhold Velde 0/8 mm (sand) i blanding en enn i blanding to. Blanding to har en siktkurve som tilsier at betongen er mer stabil. Resultatene for de resterende lettbetongblandingene er lave, men forventede. De lave fastheten er som nevnt tidligere et resultat av feil verdi for absorbert fukt. I Tabell 38: *Lettbetong, absorbert fukt 25%, fasthet 7 og 28 døgn*, presenteres fastheten til lettbetongen etter 28 døgn,  $F_{28}$ . Resultatene viser at det kun er lettbetong blanding to som har en fasthetsklasse som er akseptabel (B45). Den teoretiske densiteten til lettbetongen er henholdsvis 1900 kg/m<sup>3</sup>, 1850 kg/m<sup>3</sup>, 1750 kg/m<sup>3</sup>, 1600 kg/m<sup>3</sup>, 1400 kg/m<sup>3</sup> og 1150 kg/m<sup>3</sup>.

Tabell 38: Lettbetong, absorbert fukt 25%, fasthet 7 og 28 døgn

Nummer	Dato	Identifikasjon	Kraft, F <sub>7</sub>	Kraft, F <sub>28</sub>
1	02.03.2017	Lettbetong blanding 1 Nr.1	289,30 kN	413,29 kN
2	02.03.2017	Lettbetong blanding 1 Nr.2	285,05 kN	407,21 kN
3	02.03.2017	Lettbetong blanding 1 Nr.3	289,65 kN	413,79 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>288,00 kN</b>	<b>411,43 kN</b>
4	02.03.2017	Lettbetong blanding 2 Nr.1	315,18 kN	450,26 kN
5	02.03.2017	Lettbetong blanding 2 Nr.2	324,29 kN	463,27 kN
6	02.03.2017	Lettbetong blanding 2 Nr.3	314,60 kN	449,43 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>318,02 kN</b>	<b>454,32 kN</b>
7	02.03.2017	Lettbetong blanding 3 Nr.1	237,44 kN	339,20 kN
8	02.03.2017	Lettbetong blanding 3 Nr.2	249,37 kN	356,24 kN
9	02.03.2017	Lettbetong blanding 3 Nr.3	236,46 kN	337,80 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>241,09 kN</b>	<b>344,41 kN</b>
10	02.03.2017	Lettbetong blanding 4 Nr.1	201,18 kN	287,40 kN
11	02.03.2017	Lettbetong blanding 4 Nr.2	194,40 kN	277,71 kN
12	02.03.2017	Lettbetong blanding 4 Nr.3	196,91 kN	281,30 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>197,50 kN</b>	<b>282,14 kN</b>
13	02.03.2017	Lettbetong blanding 5 Nr.1	148,45 kN	212,07 kN
14	02.03.2017	Lettbetong blanding 5 Nr.2	145,18 kN	207,40 kN
15	02.03.2017	Lettbetong blanding 5 Nr.3	147,55 kN	210,79 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>147,06 kN</b>	<b>210,09 kN</b>
16	02.03.2017	Lettbetong blanding 6 Nr.1	109,91 kN	157,01 kN
17	02.03.2017	Lettbetong blanding 6 Nr.2	95,82 kN	136,89 kN
18	02.03.2017	Lettbetong blanding 6 Nr.3	102,39 kN	146,27 kN
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>102,71 kN</b>	<b>146,72 kN</b>

Ved prøveblanding nummer to ble det støpt ut fem ulike lettbetong blandinger. I og med at lettbetong blanding en hadde en høyere teoretisk densitet og en lavere fasthetsklasse ble ikke denne lettbetong blandingen tatt med videre i forsøkene. Det ble proporsjonert opp 10 liter av hver av de fem ulike lettbetongene. De ble lagd seks terninger av hver av blandingsene.

Resultatene for proporsjonering av lettbetongblandingsene med en absorbert fukt på 10% er presentert i Tabell 39: *Test av lettbetonger 10% absorbert fukt, 7 og 28 dagers fasthet*. For ytterligere informasjon om blandeskjema, siktkurve og fasthetsgraf se Vedlegg J1: Lettbetong med teoretisk densitet på 1850 kg/m<sup>3</sup> 10% absorbert fukt til Vedlegg J5: *Lettbetong med teoretisk densitet på 1150 kg/m<sup>3</sup> 10% absorbert fukt*.

I Tabell 39: *Test av lettbetonger 10% absorbert fukt, 7 og 28 dagers fasthet*, presenteres også fastheten til lettbetongen for test nummer to etter 28 døgn. Resultatene viser nå at alle lettbetongblandingsene bortsett fra den letteste betongen tilfredsstillt kravet om en betong som skal ha fasthetsklasse som er lik eller høyere enn B45. Den teoretiske densiteten til lettbetongen er henholdsvis 1850 kg/m<sup>3</sup>, 1750 kg/m<sup>3</sup>, 1600 kg/m<sup>3</sup>, 1400 kg/m<sup>3</sup> og 1150 kg/m<sup>3</sup>.



Tabell 39: Test av lettbetonger 10% absorbert fukt, 7 og 28 dagers fasthet

Nummer	Dato	Identifikasjon	Kraft	Kraft
1	15.03.2017	Lettbetong blanding 1 Nr.1	397,82	568,31
2	15.03.2017	Lettbetong blanding 1 Nr.2	405,06	578,66
3	15.03.2017	Lettbetong blanding 1 Nr.3	383,61	548,01
4	15.03.2017	Lettbetong blanding 1 Nr.4	381,54	545,06
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>392,01</b>	<b>560,01</b>
1	15.03.2017	Lettbetong blanding 2 Nr.1	347,74	496,77
2	15.03.2017	Lettbetong blanding 2 Nr.2	340,54	486,49
3	15.03.2017	Lettbetong blanding 2 Nr.3	367,07	524,39
4	15.03.2017	Lettbetong blanding 2 Nr.4	369,57	527,96
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>356,23</b>	<b>508,90</b>
1	15.03.2017	Lettbetong blanding 3 Nr.1	317,58	453,69
2	15.03.2017	Lettbetong blanding 3 Nr.2	301,76	431,09
3	15.03.2017	Lettbetong blanding 3 Nr.3	304,11	434,44
4	15.03.2017	Lettbetong blanding 3 Nr.4	346,75	495,36
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>317,55</b>	<b>453,64</b>
1	15.03.2017	Lettbetong blanding 4 Nr.1	326,17	465,96
2	15.03.2017	Lettbetong blanding 4 Nr.2	315,58	450,83
3	15.03.2017	Lettbetong blanding 4 Nr.3	322,45	460,64
4	15.03.2017	Lettbetong blanding 4 Nr.4	334,88	478,40
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>324,77</b>	<b>463,96</b>
1	15.03.2017	Lettbetong blanding 5 Nr.1	233,95	334,21
2	15.03.2017	Lettbetong blanding 5 Nr.2	248,97	355,67
3	15.03.2017	Lettbetong blanding 5 Nr.3	244,87	349,81
4	15.03.2017	Lettbetong blanding 5 Nr.4	257,71	368,16
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>246,38</b>	<b>351,96</b>

Selv om resultatene fra det første fasthetsforsøket for lettbetong ikke er gjeldene for videre arbeid, ser en tydelig at det høyere v/c-tallet for den første fasthetstesten av lettbetongblandingene fører til at fasthetsklassen reduseres drastisk i forhold til test nummer to hvor v/c-tallet var korrekt, altså 0,45.

### 5.7.2 Densitet

To terninger fra hver blanding ble brukt til å fastslå densiteten til lettbetongene. Terningene ble tatt ut av støpeformene etter 16 timer, for så å bli lagt i vannbad i syv dager. Deretter ble terningene tørket i et tørkeskap som holt  $105 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  og ble liggende der i henhold til retningslinjer fra NS (se kapittel

3.7.6 *Måling av densitet for forklaring*). Gjennomsnittdensiteten til hver av blandingen ble regnet ut. Etter at densiteten til terningene hadde blitt fastslått ble terningene delt i to for å se om det hadde blitt separasjon og settinger i de ulike lettbetongene.

Alle testblandingerne som ble blandet hvor den absorbert fukten var satt til 10% hadde reologiske egenskaper som samsvarte mye bedre med det som var forventet. Alle blandingerne oppførte seg relativt likt med tanke på mobiliteten til betongen.

Resultatene for densiteten til de fem ulike lettbetongblandingerne er presenteres i Tabell 40: *Densitet lettbetong.*

Tabell 40: Densitet lettbetong

Teoretisk densitet	Prøve	Vekt (gram)	Densitet (g/cm <sup>3</sup> )	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
<b>1850 kg/m<sup>3</sup></b>				
	1	1999	1,999 g/cm <sup>3</sup>	1999 kg/m <sup>3</sup>
	2	1997	1,997 g/cm <sup>3</sup>	1997 kg/m <sup>3</sup>
	<b>Gjennomsnitt</b>	<b>1998</b>	<b>1,998 g/cm<sup>3</sup></b>	<b>1998 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>1750 kg/m<sup>3</sup></b>				
	1	1964	1,964 g/cm <sup>3</sup>	1964 kg/m <sup>3</sup>
	2	1894	1,894 g/cm <sup>3</sup>	1894 kg/m <sup>3</sup>
	<b>Gjennomsnitt</b>	<b>1929</b>	<b>1,929 g/cm<sup>3</sup></b>	<b>1929 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>1600 kg/m<sup>3</sup></b>				
	1	1799	1,799 g/cm <sup>3</sup>	1799 kg/m <sup>3</sup>
	2	1800	1,800 g/cm <sup>3</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>
	<b>Gjennomsnitt</b>	<b>1799</b>	<b>1,799 g/cm<sup>3</sup></b>	<b>1799 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>1400 kg/m<sup>3</sup></b>				
	1	1667	1,667 g/cm <sup>3</sup>	1667 kg/m <sup>3</sup>
	2	1633	1,633 g/cm <sup>3</sup>	1633 kg/m <sup>3</sup>
	<b>Gjennomsnitt</b>	<b>1650</b>	<b>1,650 g/cm<sup>3</sup></b>	<b>1650 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>1150 kg/m<sup>3</sup></b>				
	1	1345	1,345 g/cm <sup>3</sup>	1345 kg/m <sup>3</sup>
	2	1339	1,339 g/cm <sup>3</sup>	1339 kg/m <sup>3</sup>
	<b>Gjennomsnitt</b>	<b>1342</b>	<b>1,342 g/cm<sup>3</sup></b>	<b>1342 kg/m<sup>3</sup></b>

Densiteten for alle lettbetongene ligger en del over den teoretiske densiteten som er gitt ut fra proporsjoneringsarket. Dette skyldes trolig at densiteten på tilslagene som blir brukt i betongene avviker noe fra densiteten til tilslagene som er oppgitt i proporsjoneringsarket. Som nevnt i kapittel

5.5 Proporsjonering, er det benyttet tilslag fra Velde istedenfor fra Årdal, densiteten på tilslagene fra de ulike produsentene varierer trolig noe. Urenheter i tilslagene kan også gjøre at den teoretiske og faktiske densiteten ikke stemmer overens.

### 5.7.3 Stabilitet

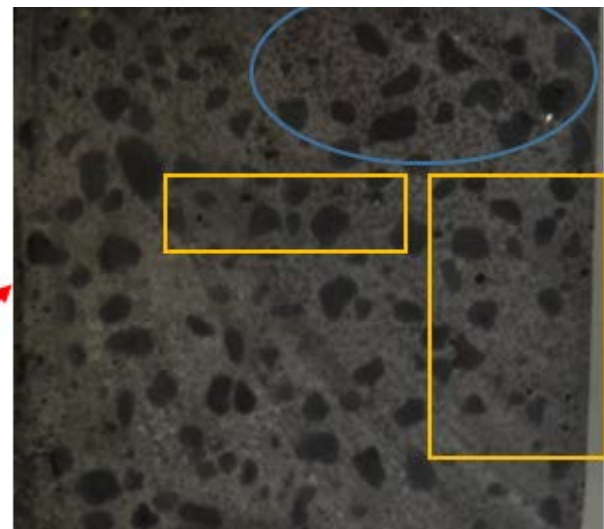
For å danne seg et bilde av stabiliteten til de ulike lettbetongene ble en terning fra hver lettbetongblanding delt i to. Terningene ble delt i to fra topp til bunn (vertikalt) for å se om partikler og tilslag i betongblandingene hadde holdt seg stabile eller om de lette tilslagene hadde «flytt» opp mot overflaten og de tyngre tilslagene hadde «sunket» mot bunnen. Deretter ble terningene vasket og tatt bilde av når de var fuktige. Dette for å fjerne støv og gjøre at tilslaget i betongene ble mere synlige.



Figur 30: Kutting av lettbetong

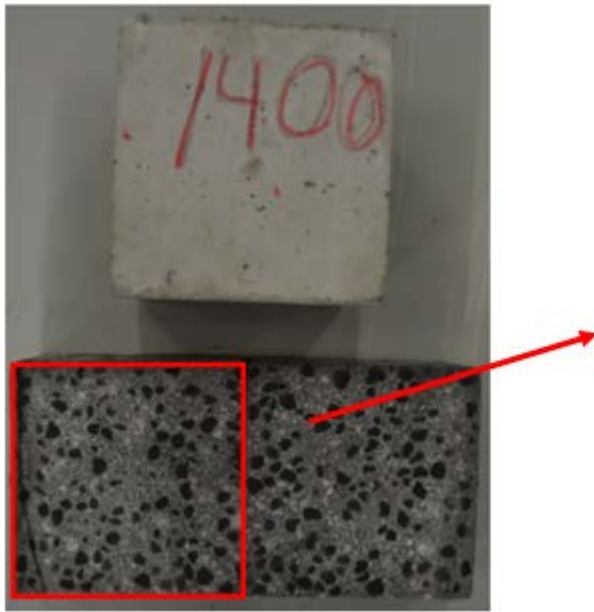


Figur 32: Kutting av lettbetong 1150 kg/m<sup>3</sup>

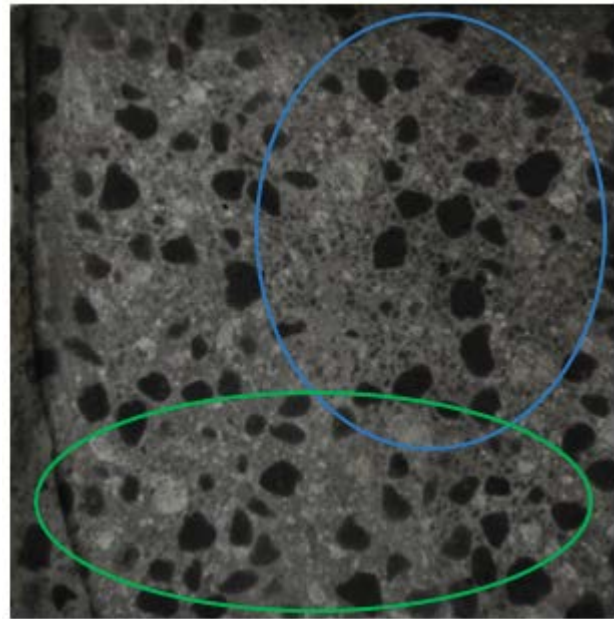


Figur 31: Snittflate av lettbetong 1150 kg/m<sup>3</sup>

Innenfor den blå ellipsen på Figur 36: *Snittflate av lettbetong 1150 kg/m<sup>3</sup>*, er det en tettere ansamling av det minste lettilslaget på 0-1,5mm. Deler av det lette tilslaget med en diameter på 0-1,5mm har «flytt» opp. Det resterende lettilslaget (3-6 mm) som er de større sorte områdene er jevnt fordelt i snittflaten. Betongen har nok en litt svekket stabilitet, men mesteparten av lettilslaget er godt fordelt på snittflaten. Innenfor de gule rektanglene er det oppsamlinger av luftporer. Luftporene er med på å svekke betongen og er et tegn på at komprimerbarheten ikke er så god som ønskelig.



Figur 34: Kutting av lettbetong 1400 kg/m<sup>3</sup>



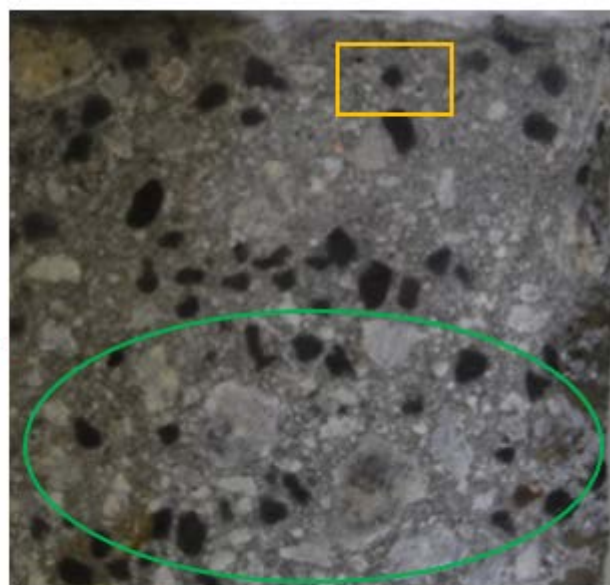
Figur 33: Snittflate av betong 1400 kg/m<sup>3</sup>

Innenfor den blå ellipsen på Figur 38: *Snittflate av betong 1400 kg/m<sup>3</sup>*, er det også for denne betongen en tettere ansamling av letttilslaget som har en diameter på 0-1,5 mm. Letttilslaget som har en diameter på 3-6 mm er også her godt fordelt i betongterningen. Innenfor den grønne ellipsen kan det se ut som densiteten av det tyngre tilslaget er større enn for resten av snittet. Stabiliteten av denne betongen er nok også litt svekket, men har lite til ingen luftporer som er synlig med det blotte øyet.





Figur 36: Kutting av lettbetong 1600 kg/m<sup>3</sup>

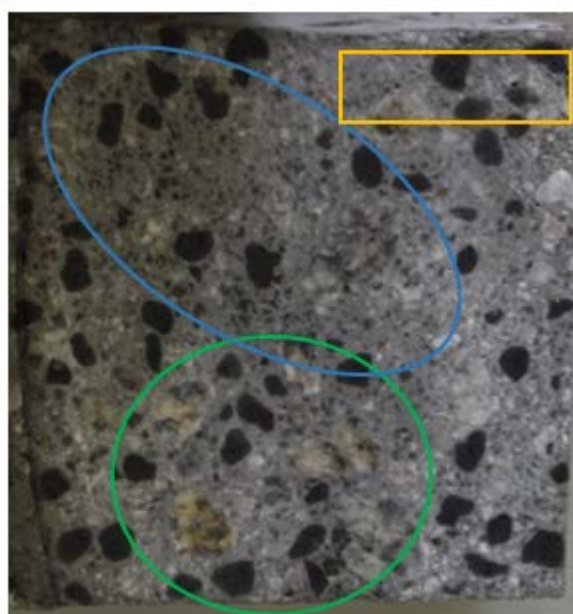


Figur 35: Snittflate av lettbetong 1600 kg/m<sup>3</sup>

Innenfor den grønne ellipsen på Figur 40: *Snittflate av lettbetong 1600 kg/m<sup>3</sup>*, er det en større densitet av de tyngre tilslagene, henholdvis med diameter på 8-16 mm. Dette tyder på at stabiliteten til betongen er noe svekket også for denne lettbetongblandingen. Det er også noen områder hvor det er synlige luftporer, som er en indikasjon på dårlig komprimert betong eller en dårlig komprimerbarhet. De synlige luftporene ligger innefor det gule rektangelet.



Figur 38: Kutting av lettbetong 1750 kg/m<sup>3</sup>



Figur 37: Snittflate av lettbetong 1750 kg/m<sup>3</sup>

Innenfor den grønne sirkelene på Figur 42: *Snittflate av lettbetong 1750 kg/m<sup>3</sup>*, er det en tydelig oppsamling av deler av det tyngre tilsalget på 8-16 mm. Innenfor den blå ellipsen er det en høyere densitet av letttilslaget med en diameter på 0-1,5 mm. I den gule boksen øverst i høyre hjørnet er det noe oppsamling av luftporer. Disse tegnene tyder på en betong som ikke er helt stabil og noe dårlig komprimerbarhet eller er dårlig komprimert.



Figur 40: Kutting av lettbetong 1850 kg/m<sup>3</sup>



Figur 39: Snittflate av lettbetong 1850 kg/m<sup>3</sup>

Innenfor den blå ellipsen på Figur 44: *Snittflate av lettbetong 1850 kg/m<sup>3</sup>*, er det en litt høyere densitet av letttilslaget med en diameter på 1-1,5 mm. Det tyngre tilslaget er jevnt fordelt. Det er lite eller ingen luftporer som kan sees med det blotteøyet. Denne lettbetongen har den beste stabiliteten av alle lettbetongen som er beskrevet i dette kapittelet. Komprimerbarheten er også god for denne lettbetongblandingen.

Basert på figurene som er presentert i dette kapittelet er det tydelig at stabiliteten til betongene blir bedre ved mindre mengder av lette tilslag. Dette skyldes stor densitet forskjell mellom de normale tilslagene og de lette tilslagene som er benyttet for å lage de ulike lettbetongene.

## 5.8 Resultater for lettbetong

Basert på resultatene fra kapittel 5.7 *Testresultater for lettbetong*, ble det gjennomført grundigere forsøk av den letteste av lettbetongene som klarte å tilfredsstille kravet om en fasthetsklasse høyere enn B45 (45 MPa). Det ble for denne lettbetongen målt synkmål og luftinnhold. Lettbetongens elastisitets modul, spaltestrekkfasthet, bøyestrekfasthet og varmeledningsevne ble også testet i samsvar med det som ble gjort for referansebetongene. Selv om dette er den samme resepten som for lettbetong 1400 kg/m<sup>3</sup> ble fasthetsklassen testet på ny for å forsikre seg om at fastheten for denne blandingen også tilfredsstilte fasthetskravet på over 45 MPa (B45).

### 5.8.1 Synkmål

Synkmålet for lettbetongen med en teoretisk densitet på  $1400 \text{ kg/m}^3$  var på 23,5 centimeter. Det tilsvarer en betong som er flytende. Vannabsorpsjonen til lettilslagene skjer ikke spontant som fører til betongen inneholder mye uabsorbent vann, dette fører til det høyre synkmålet. Grunnet det høye vannabsorpsjonsopptaket til lettilslagene blir synkmålet mye større for lettbetongen enn for betongen med lite eller ingen lettilslag. Et økt synkmål fører til bedre støpelighet som vil gjøre utstøping og håndteringen av lettbetongen enklere. Ulempen ved et høyere synkmål er at stabiliteten til betongen muligens reduseres, se kapittel 5.7.3 *Stabilitet*.

### 5.8.2 Luftinnhold

Luftinnholdet for lettbetongen ble målt til 5,6%. Luftinnholdet for denne lettbetongblandingen er 2,6% høyere enn luftinnholdet for referansebetongen med et v/c-tall på 0,45. Det høyere luftinnholdet er med på å redusere fastheten til betongen, men er også med på å øke frostmotstanden til betongen. Et økt luftinnhold for lettbetongen kontra referansebetongen var forventet.

### 5.8.3 Fasthetsklasse

For beskrivelse av hvordan fasthetstestene og herdeprosessen forløper se kapittel

3.7.5 *Herding av prøvelegemer* og 5.6.3 *Fasthetsklasse*.

Tabell 41: *Fasthetsklasse lettbetong*

Nummer	Dato	Identifikasjon	Kraft, $F_7$	Kraft, $F_{28}$
1	05.04.2017	Lettbetong	301,48 kN	430,68 kN
2	05.04.2017	Lettbetong	268,65 kN	383,78 kN
3	05.04.2017	Lettbetong	290,02 kN	414,31 kN
4	05.04.2017	Lettbetong	269,15 kN	384,50 kN
Gjennomsnitt			282,32 kN	403,32 kN

### 5.8.4 Elastisitets modul

Utrekning av elastisitets er på samme måte for lettbetong som for vanlig konstruksjonsbetong, som gjort i kapittel 5.6.4 Elastisitets modul.

$$\sigma = E * \varepsilon$$

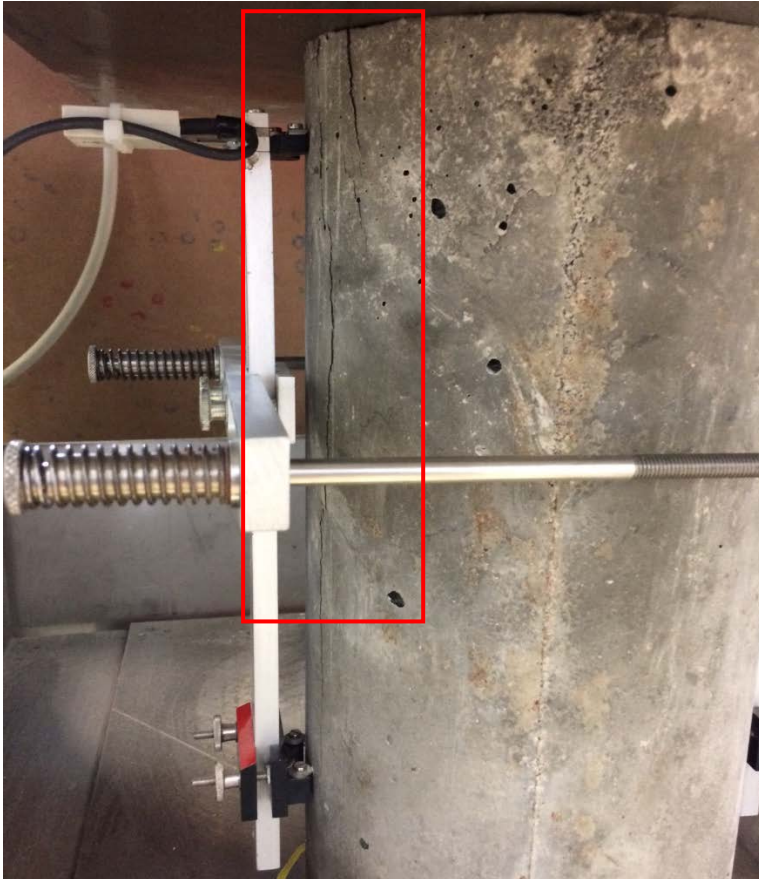
Resultatene av tøyningene som ble målt for lettbetongsylinderen ligger som Vedlegg C2: *Elastisitetsmodul lettbetong*, og er presentert i Tabell 42: *E-modul lettbetong*.

Tabell 42: *E-modul lettbetong*

Identifikasjon	Dato	$\varepsilon_{1,start}$	$\varepsilon_{2,start}$	$\varepsilon_{1,slutt}$	$\varepsilon_{2,slutt}$	E
Referansebetong M45	05.04.2017	-0,149 mm	-0,157 mm	0,004 mm	0,010 mm	13,38 GPa



Prøvelegemet sprakk vertikalt i løpet av forsøket (se Figur 41: *Sprekkdannelse e-modultest*). Dette førte trolig til at resultatet ble lavere enn det som var ventet. Denne e-modulus kan sammenlignes med e-modulus for hardt trevirke noe som ikke er tilfelle for denne lette betongen. (The Engineering ToolBox, 2017)



Figur 41: *Sprekkdannelse e-modultest*

Basert på kilder burde lettbetongens e-modul vært høyere enn testet. Som beskrevet i kapittel 2.3.4 *Elastisitetsmodul lettbetong*, vil en betong med tilsetning av lette tilslag gå til et sprøere brudd enn betong uten lette tilslag. Fordelen med en lavere e-modul i et materiale er at nedbøyningen ved samme belastning vil være større og en kan da på et tidligere tidspunkt analysere og finne ut om elementet er overbelastet.

Som beskrevet i kapittel 2.3.4 *Elastisitetsmodul lettbetong*, kan den teoretiske e-modulsen for lettbetong beregnes ved hjelp av følgende formler:

Formel 14: *E-modul koeffisient*

$$\eta_E = \left(\frac{\rho}{2200}\right)^2 = \left(\frac{1579}{2200}\right)^2 = 0,515$$

Ved en fasthet på 45 MPa blir den teoretiske e-modulsen for lettbetongen følgende:

$$E_{L,1} = E * \eta_E = 34 \text{ GPa} * 0,515 = 17,51 \text{ GPa}$$

Ved en fasthet på 37 MPa blir den teoretiske e-modul for lettbetongen følgende:

$$E_{L,2} = E * \eta_E = 32 \text{ GPa} * 0,515 = 16,48 \text{ GPa}$$

Basert på e-modulsen som ble målt for referansebetongen M65 blir den teoretiske e-modulsen for lettbetongen følgende:

$$E_{L,3} = E * \eta_E = 35,11 \text{ GPa} * 0,515 = 18,08 \text{ GPa}$$

Basert på disse utregninger av ulike e-moduler for lettbetongen som har en densitet på 1579 kg/m<sup>3</sup> ser en at alle verdiene ligger et godt stykke over den målte e-modulverdien. Dette er med på å underbygge at testresultatet trolig er lavere enn det som er reelt for denne lettbetongen.

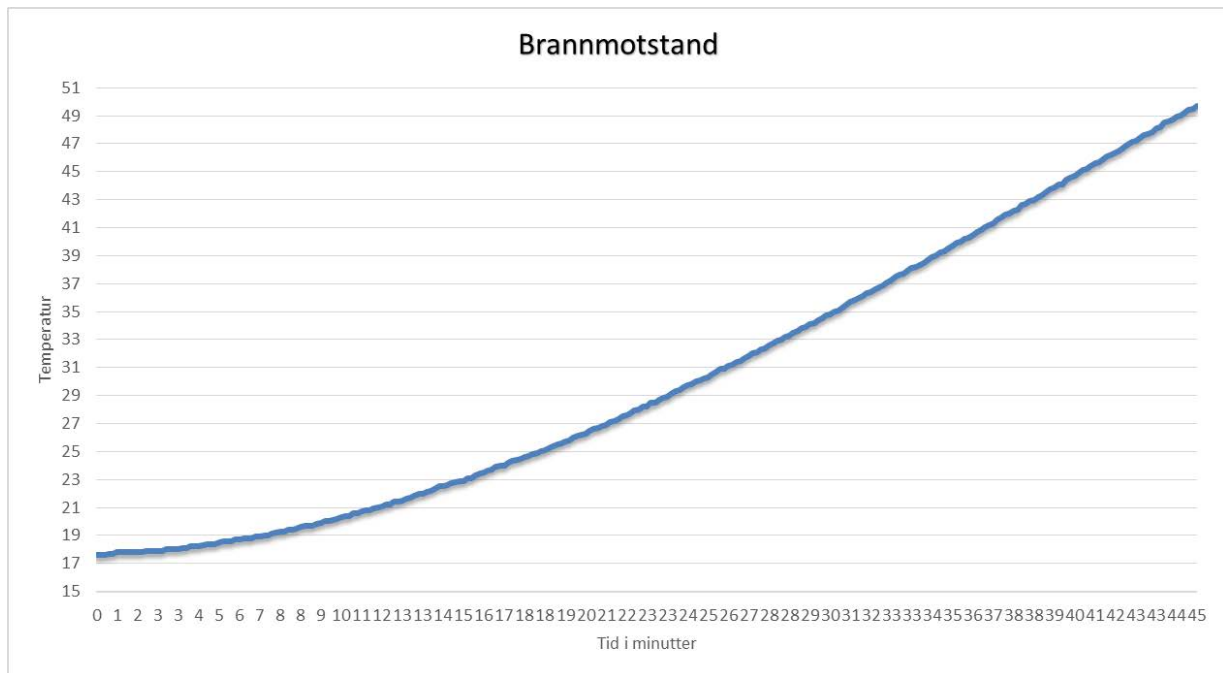
Verdier for e-moduluser som er brukt for utregning av  $E_{L,1}$  og  $E_{L,2}$  er basert på informasjon fra Tabell 43: *Basic properties, 2016*.

Tabell 43: *Basic properties, 2016*

Strength class	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60
Cylinder strength (MPa)	20	25	30	35	40	45	50
Cube strength (MPa)	25	30	37	45	50	55	60
Modulus of elasticity (GPa)	30	31	32	34	35	36	37
Tensile strength (MPa)	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1

### 5.8.5 Varmeledningsevne

Figur 42: *Temperaturutvikling for lettbetong LB40* viser varmeutviklingen som ble testet for lettbetongen LB40. Grafen er basert på måledata som ligger som Vedlegg N2: *Temperaturutvikling lettbetong LB40*. Sammenligning av varmemotstanden for lettbetongen og referansebetongen presenteres i kapittel 6.2 *Varmeledningsevne*.



Figur 42: Temperaturutvikling for lettbetong LB40

### 5.8.6 Spaltestrekkfasthet

Utrekning av spaltestrekkfasthet er forklart i kapittel 5.6.6 *Spaltestrekkfasthet*, så det er kun utført utregninger i dette kapitlet. Se Vedlegg C4: *Spaltestrekkfasthet lettbetong* for testresultater.

Tabell 44: Spaltestrekkfasthet, lettbetong

Nummer	Dato	Identifikasjon	Diameter	F <sub>m</sub>	Spaltestrekkfasthet
1	05.04.2017	Lettbetong	150,0 mm	160,33 kN	2,5 MPa

$$f_{ct,7} = \frac{2 \cdot 160,33 \text{ kN}}{\pi \cdot 300 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}} = 2,3 \text{ MPa}$$

$$f_{t,28} = \frac{f_{ct,7}}{\left\{ e^{\left[ 0,135 \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{28 \cdot 24}{168 - 10}} \right) \right]} \right\}^{0,632}} = \frac{2,3}{0,913} = 2,5 \text{ MPa}$$

Som forklart i kapittel 2.3.3. *Fasthet lettbetong*, vil spenningsbilde for en lettbetong kjennetegnes ved at hovedspenningene befinner seg rundt tilslagsmaterialene, altså spenningene går ikke igjennom lettilslagene. Basert på Figur 43: *Snittflate av lettbetong LB40 sett fra siden* og Figur 49: *Snittflate av lettbetong LB40 sett ovenfra*, er det en mye jevnere overflate enn for snittflaten til referansebetongen M65. Dette tyder på at det lette tilslaget har nådd bruddpunktet. Tilslaget har ikke løsnet fra sementen men tilslaget har delt seg. Dette er motsatt for det som skjedde for referansebetongen M65. Snittflatene for referansebetongen M65 og lettbetongen LB40 var begge som forventet.



Figur 43: *Snittflate av lettbetong LB40 sett fra siden*



Figur 44: *Snittflate av lettbetong LB40 sett ovenfra*

### 5.8.7 Bøyestrekfasthet

Utregning av bøyestrekfasthet er forklart i kapittel 5.6.7 *Bøyestrekfasthet*, så det er kun utført utregninger i dette kapittelet. Se Vedlegg C3: *Bøyestrekfasthet lettbetong* for testresultater.

Tabell 45: *Bøyestrekfasthet, lettbetong*

Nummer	Dato	Identifikasjon	Bredde	Høyde	Lengde	F <sub>m</sub>	Bøyestrek
1	05.04.2017	Lettbetong	100 mm	100 mm	500 mm	6,58 kN	4,3 MPa

$$f_{cf,7} = \frac{3 * 6,58 \text{ kN} * 400 \text{ mm}}{2 * 100 \text{ mm} * 100 \text{ mm}^2} = 3,9 \text{ MPa}$$

$$f_{cf,28} = \frac{f_{cf,7}}{\left\{ e \left[ 0,135 * \left( 1 - \sqrt{\frac{28 * 24}{168 - 10}} \right) \right] \right\}^{0,632}} = \frac{3,9}{0,913} = 4,3 \text{ MPa}$$

### 5.8.8 Pris for lettbetong

Pris for lettbetongen som er beskrevet i Tabell 46: *Pris for lettbetonger*, er basert på priser presentert i kapittel 4.1 *Produksjonskalkyle*. Prisene for de ulike lettbetongene er kun basert på råvarekostnader. Lønn og dekningsbidrag er ikke langt inn i disse beregningene da dette ikke utgjør en forskjell for ulike typer betong.

Tabell 46: *Pris for lettbetonger*

Type betong	Type lettilslag	Pris per m <sup>3</sup> [Nok/ m <sup>3</sup> ]
Lettbetong LB40	Rijia	kr 613,1
Lettbetong LB40	Ning Shu	kr 621,5
Lettbetong LB40	Stalite	kr 1 153,6

### 5.8.9 Densitet

Tørrdensiteten til lettbetongen som ble benyttet i kapittel er presentert i Tabell 47: *Densitet lettbetong, stor test*.

Tabell 47: *Densitet lettbetong, stor test*

Prøve nummer	Vekt (gram)	Densitet (g/cm <sup>3</sup> )	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
1	1585 g	1,585 g/cm <sup>3</sup>	1585 kg/m <sup>3</sup>
2	1573 g	1,573 g/cm <sup>3</sup>	1573 kg/m <sup>3</sup>
Gjennomsnitt	1579 g	1,579 g/cm <sup>3</sup>	1579 kg/m <sup>3</sup>

#### 5.8.10 Problematikk ved bruk av letttilslag

Gjennom en rekke forsøk med bruk av ulike mengder av lette tilslag har det vist seg at å støpe med letttilslag byr på mange utfordringer. Vannabsorpsjonen for de lette tilslagene er så høyt at de reologiske egenskapene til betongen blir veldig annerledes fra vanlig betong med samme v/c-tall. Dette gjør at separasjonsfaren blir større og setninger kan lettere forekomme.

Det har vært benyttet ulike blandemaskiner for ulike betongblandinger basert på hvor mye som skulle støpes. Konstruksjonsbetongen hadde stort sett like egenskaper og testresultater for ulike blandinger i ulike blandemaskiner, men testresultatene for samme lettbetongresept blandet i ulike blandemaskiner endret seg betydelig. De ulike blandemaskinene har ulike egenskaper og blande-hastigheter, noe som kan ha en innvirkning på resultatene. For å verifisere at det muligens er blandemaskinene som utgjorde forskjellen som førte til de ulike fasthetsklassene for samme lettbetongblanding må blandemaskinene testes meget grundig før en konklusjon kan framlegges. Dette ble ikke gjennomført i forbindelse med denne oppgaven da dette er en svært tidskrevende oppgave.



## 6. Sammenligning

### 6.1 Bestandighet

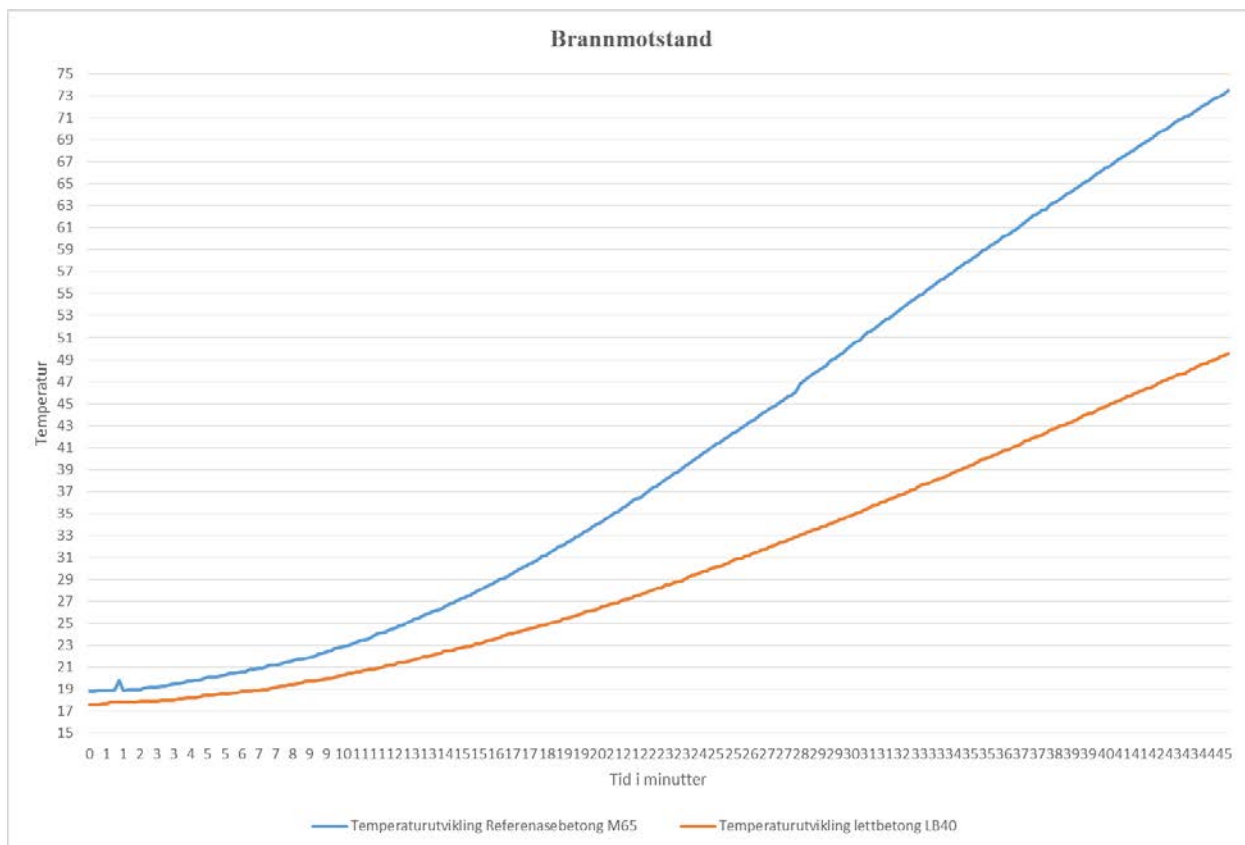
Materialegenskapen som er knyttet direkte opp mot porøsiteten er vanligvis permeabiliteten. Bruken av lette tilslag har ofte blitt ansett som å øke permeabiliteten, og som en konsekvens av dette, reduseres bestandigheten som igjen fører til en kortere levetid for betongen. Dette har vist seg å ikke være. Det har blitt vist gjennom ulike studier at lettbetongen har en høyere porøsitet enn vanlig konstruksjonsbetong, men har en permeabilitet som er lavere enn konstruksjonsbetong, altså lettbetong har bedre bestandighet enn vanlig konstruksjonsbetong. Lettbetong har en veldig tett struktur i overgangssonene mellom tilslagene og sementpastaen. (Sveindottir, [et al.], 1998, s.47-51, 76)

### 6.2 Varmeledningsevne

*«Lettbetongkonstruksjoner har en større brannmotstand enn vanlig konstruksjonsbetongkonstruksjoner når de utsettes for brannbetingelser ut i fra ISO forskrifter. Den bedre brannmotstanden skyldes en kombinasjon av lavere termisk ledningsevne, lavere koeffisient av termisk ekspansjon og den iboende termiske stabiliteten fra aggregatene som allerede har blitt utsatt for høye temperaturer under produksjon av lettilslagene.»* (Sveindottir, [et al.], 1998, s.55)

Lettbetongen har som nevnt en god på varmemotstand, men lettbetongen har lettere for å avskalle under høy varmepåvirkning. Dette skyldes at lettbetongen har en lav damppermeabilitet (på grunn av lavt v/c-tall) som gjør at det kan bygge seg opp et høyt internt trykk i betongen. Det høye interne trykket kan føre til avskalling. V/c-tallet for lettbetong er lavere enn for vanlig konstruksjonsbetong, dette fordi vannabsorpsjonen til lettilslagene er mye høyere enn for vanlige tilslag. (Sveindottir, [et al.], 1998, s.56, 87)





Figur 45: Sammenligning av temperaturutvikling

Forsøkene som ble gjennomført for å måle isolasjonsevnen viser at lettbetongen har en betydelig bedre isolasjonsevne enn referansebetongen med et  $v/c$ -tall på 0,65. Dette går tydelig frem i Figur 45: *Sammenligning av temperaturutvikling*. (Brannmotstand som ligger langs x-aksen er det samme som isolasjonsevne.)

Temperaturutviklingen for de ulike betongene kan sammenlignes med  $u$ -verdien til de ulike betongene. Lettbetongen som hadde en tregere varmeutvikling enn referansebetongen vil ha en lavere, og bedre  $u$ -verdi. Det er ikke mulig å fastslå betongenes  $u$ -verdi basert på disse forsøkene, men det er høyst sannsynlig at lettbetongens  $u$ -verdi ville vært betydelig lavere enn  $u$ -verdien for referansebetongen, M65.

### 6.3 Densitet

Ved en lavere betongdensitet er det oftest en eller flere egenskaper som endres, eller at kostnaden blir høyere grunnet dyrere tilslag og tilsetningsstoffer. Å finne en balanse mellom ønskede egenskaper, densitet og kostnad er helt avgjørende ved bruk av lettbetong i betongelementer. Ved å benytte seg av mye letttilslag vil densiteten bli betraktelig lavere, noe som er meget gunstig for transport- og håndteringskostnader, men for å opprettholde de kravene som stilles blir produksjonskostnaden høyere.

## 6.4 Testede egenskaper

Tabell 48: E-modul for alle betongene

Identifikasjon	Elastisitetsmodul
Referansebetong, M45	52,6 GPa
Referansebetong, M65	35,1 GPa
Lettbetong, LB40	13,4 GPa

Lettbetong har en lavere elastisitetsmodul enn konstruksjonsbetong. Den lavere e-modulen gjør at lettbetong blir sprøere som fører til at for lavt armerte elementer vil bruddet skje fort når det først skjer. Sprekker i forkant av bruddet vil være vanskeligere å oppdage enn for vanlig konstruksjonsbetong som har en høyere e-modul. Dette er fordi lettbetongen er «seigere» og det vil derfor ikke oppstå like mange «varselsprekker» ved overbelastning.

Tabell 49: Spaltestrekkfasthet

Identifikasjon	$F_m$	Spaltestrekkfasthet
Referansebetong, M45	218,49 kN	3,4 MPa
Referansebetong, M65	213,58 kN	3,3 MPa
Lettbetong, LB40	160,33 kN	2,5 MPa

Tabell 50: Bøyestrekfasthet

Identifikasjon	$F_m$	Bøyestrek
Referansebetong, M45	7,33 kN	4,8 MPa
Referansebetong, M65	8,05 kN	5,3 MPa
Lettbetong, LB40	6,58 kN	4,3 MPa

## 6.5 Reologiske egenskaper

Som beskrevet i kapittel 5.6.1 *Synkmål*, var synkmålet til referansebetongen M45 lik 0. Ved en så lav slump kan det fort forekomme luftbobler og dårlig støp når betongen skal fordeles i de ulike formene. På store betongelementfabrikker stilles det svært strenge krav til herdehastigheten til betongen. Ved produksjon av spennarmerte hulldekkebetongelementer var betongen svært fast etter kun noen minutter, og betongelementene kunne gås på rett etter at elementet ble støpt (observasjoner fra betongelementfabrikken til Block Berge Bygg). Maskinene som støpte ut hulldekkene var svært sterke, og synkmålet til betongen var av liten betydning for støping av hulldekker. Når det støptes veggelementer var svært mye av betongen selvkomprimerende betong (SKB) som vil si at betongen har et svært høyt synkmål og et stort utbredningsmål. Dette gjør at betongen flyter ut i formen, og det stilles lavere krav til komprimering av betongen. Referansebetongen M65 og lettbetongen som ble grundigere testet viste seg å ha et synkmål som minet om en SKB. Støpeligheten til disse betongene var svært gode. Dette gjør at det er lettere å håndtere den ferske betongene og det sliter mindre på maskiner som blir brukt under støpeprosessen. Det er også tidsbesparende å benytte seg av

betonger som er «flytende» da det som nevnt ikke trengs å brukes tid på å komprimere og fordele betongen i formene.



Figur 46: Produksjon av hulldekker, Block Berge Bygg Elementfabrikk

## 6.6 Kostnad

For å danne seg en formening om den totale kostnaden ved å bruke ulike betongsammensetninger for ulike betongelementer må en se på alle kostnadspostene som er gjeldene for elementproduksjon og densiteten til de ulike betongene. Den første kostnadsposten er kostnaden for de ulike råvarene som skal til for å produsere de ulike betongene. I Tabell 51: *Produksjonskostnad for ulike betonger*, er råvarekostnaden ved å produsere de ulike betongene og differansen mellom de ulike betongen presentert. De to lettbetongene som er mest kostnadseffektive er begge cirka 200% dyrere enn råvarekostnadene som skal til for å produsere vanlig konstruksjonsbetong med et v/c-tall på 0,65.

Tabell 51: Produksjonskostnad for ulike betonger

Type betong	Type tilslag	Type lettilslag	Pris [Nok/m <sup>3</sup> ]	Kostnadsdifferanse [Nok]	Prosent dyrere
<b>Referansebetong M65</b>	Velde	Ingen lettilslag	kr 310,9	kr -	0 %
<b>Lettbetong B40</b>	Velde	Rijia	kr 613,1	kr 302,2	97 %
<b>Lettbetong B40</b>	Velde	Ning Shu	kr 621,5	kr 310,6	100 %
<b>Lettbetong B40</b>	Velde	Stalite	kr 1 153,6	kr 842,7	271 %

Tabell 52: Densitetsdifferanse for referansebetong og lettbetong

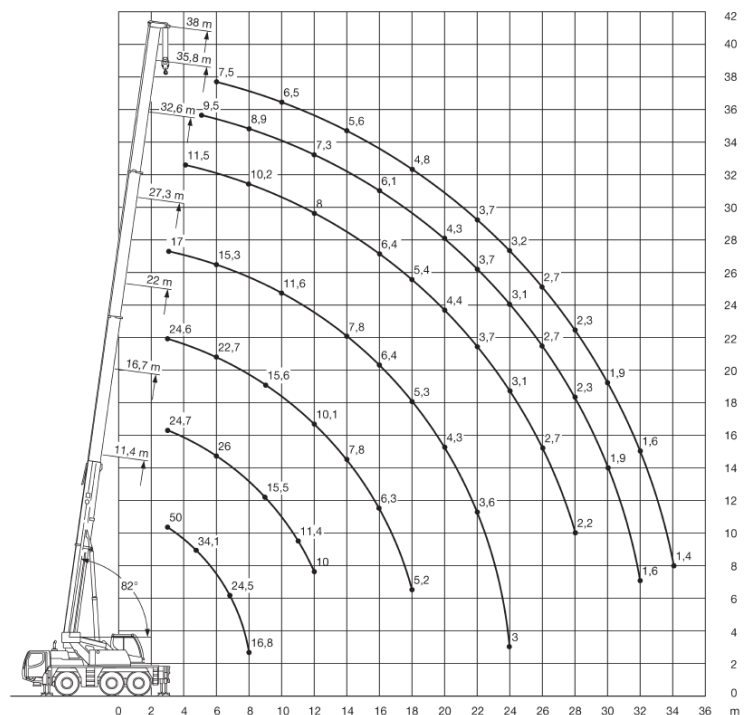
Type betong	Densitet [Kg/m <sup>3</sup> ]	Vektdifferanse	Prosent vektdifferanse
<b>Referansebetong M65</b>	2294,1 kg/m <sup>3</sup>	0 kg/m <sup>3</sup>	0 %
<b>Lettbetong LB40</b>	1579,0 kg/m <sup>3</sup>	-715,1 kg/m <sup>3</sup>	-31 %

Neste kostnadspost er transport av elementene fra elementfabrikken til anleggsområde. Som forklart i kapittel 4.4 *Transportkostnadskalkyle*, kan en semitrailer transportere betongelementer som til sammen vier inntil 30 tonn. Ved å benytte seg av betongelementer laget av lettbetong er det mulig å transportere flere betongelementer per semitrailer. Som presentert i Tabell 52: *Densitetsdifferanse for referansebetong og lettbetong*, vil det være mulig å redusere vekten på betongelementene med 31%. Det betyr at hver semitrailer kan transportere 31% flere lettbetongelementer. Det vil bli en kostnadsreduksjon på 31% for hvert betongelement som blir transportert.

Etter at elementene har blitt transportert til anleggsområdet er neste kostnadspost håndtering av betongelementene på byggeplass. Dette gjøres ved hjelp av tårn- og mobilkraner. Kostnader for ulike kraner er presentert i kapittel 4.5 *Håndtering- og byggeplasskostnader*. De ulike kranenes makskapasiteter ligger som Vedlegg L: *Krantabell*.

Ved løft hvor betongelementene skal løftes langt fra kranens massesenter kan en vektreduksjon på 31% være avgjørende for hva slags kran som blir benyttet. Som nevnt tidligere er betongelementene oftest det tyngste som skal forflyttes på byggeplassen. Vekten til betongelementene vil da avgjøre hva slags kran som skal benyttes. I Figur 52: *Krankapasitet, 2017, mobilkran 50 tonn*, er kapasiteten til den minste av kranene (50 tonns mobilkran) som det er innhentet prisforslag for.

Om det er hensiktsmessig å benytte seg av lettere betongelementer for å redusere krankostnader vil variere basert på hvilken type betongelementer som skal benyttes og hvor langt fra kranens massesenter elementene skal løftes. Hvis det å benytte seg av lettbetongelementer gjør at en kan redusere størrelsen på kranene som blir benyttet på anlegget vil dette kunne redusere håndtering- og byggeplasskostnadene med betydelige summer.



Figur 47: Krankapasitet, 2017, mobilkran 50 tonn

## 7. Konklusjon

Er det fordeler ved å benytte lettbetong i betongelementer?

Det er ingen mal på hvordan ulike konstruksjoner skal se ut. Ingeniører, arkitekter og kunder har alle ulike ideer og oppfatninger om hvordan det ferdigstilte prosjektet skal se ut. Det blir bygd i alle mulige fasonger og størrelser, noe som fører til at byggematerialene som benyttes i ulike prosjekter må være fleksible med tanke på egenskaper og utforming. Arkitekten vil bygge uten å tenke på Newtons lover, ingeniøren vil bygge så fornuftig og trygt som mulig og kunden vil ha det beste for så lav pris som mulig.

Betong og lettbetong er svært allsidige byggematerialer som i stor grad tilfredsstiller både arkitektens, kunden og ingeniørens krav. Bruk av lettbetong i betongelementer er et verktøy som ingeniøren kan benytte seg av når vedkommende skal velge byggematerialer og elementer.

Basert på kvantitativ og kvalitativ informasjon som er fremlagt i oppgaven og forsøk som er gjort i forbindelse med denne oppgaven vil lettbetong hovedsakelig ikke kunne erstatte dagens betong når det kommer til betongelementer. Lettbetong i betongelementer kan være fordelaktig når det stilles strenge krav til egenvekten til betongen, men på generell basis vil det bli vanskelig å utkonkurrere vanlig konstruksjonsbetong og selvkomprimerende betong. For de aller fleste prosjekter er det kostnadsposten som er den mest sentrale posten. Dette gjør at det i de fleste tilfeller ikke vil være kostnadseffektivt å benytte seg av lettbetong i betongelementer da lettbetong er mye dyrere å produsere enn betong uten lette tilslagsmaterialer. Konklusjonen er basert på tall og resultater som er presentert i oppgaven.

Om det stilles særskilte krav til betongens varmemotstand og strenge krav til densitet vil lettbetong kunne konkurrere hvis egenskapene til betongen er viktigere enn kun kostnadsfordelene. Det skal sies at dette sjelden er tilfellet i dagens samfunn.

Opparbeiding av tomt, transport-, håndtering- og byggeplasskostnader vil gå ned ved bruk av lettbetong i betongelementer, men prisen på de lette tilslagene gjøre at det for de fleste typer prosjekter trolig vil være mer kostnadseffektivt å benytte seg av vanlig konstruksjonsbetong eller selvkomprimerende betong i betongelementer. Kostnader på lettilslag må reduseres betydelig for at lettbetong skal kunne konkurrere med dagens konstruksjonsbetong.

## 8. Kilder

- Aage Stori. (2009, 15.02). Store Norske Leksikon, reologi. Hentet fra <https://snl.no/reologi>
- AB Svensk Byggtjänst. (1997). *Betonghandbok*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst
- Backe logo. [Bilde](2017). Hentet fra <http://backegruppen.no/>
- Del Zotto. (2014, 22.07). Hentet fra <https://delzottoproducts.com/2014/07/22/brief-history-precaster-concrete-forms/>
- Juliebø, E. (2005, 07.01). Sentrale begreper og definisjoner innen betongfaget, side 1. Hentet fra [http://www.iu.hio.no/bygglab/Betonglab/diverse/ordl\\_bet04.pdf](http://www.iu.hio.no/bygglab/Betonglab/diverse/ordl_bet04.pdf)
- Ormestad, H. (2009, 14.02). Store Norske Leksikon, elastisitetsmodul. Hentet fra <https://snl.no/elastisitetsmodul>
- Maage, M. (2008). *TKT 4215 Concrete Technology 1. Chapter 1*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- Maage, M. (2010). *TKT 4215 Concrete Technology 1. Chapter 2*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- Thue, J.V. (2009, 14.02). Store Norske Leksikon, elementbygging. Hentet fra <https://snl.no/elementbygging>
- Thue, J.V. (2016, 2.12). Store Norske Leksikon, betong. Hentet fra <https://snl.no/betong>
- Universitetet i Stavanger logo. [Bilde](2016). Hentet fra <https://www.uis.no/om-uis/organisasjonen/universitetsstyret/sakslistre-og-dokumenter/>
- Edvardsen, K.I., & Ramstad, T. (2010). *Trehus*. Oslo: SINTEF Byggeforsk
- Gjerp, P., Opsahl, M., & Smeplass, S. (2007). *Grunnleggende betongteknologi*. Oslo/Lillestrøm: Bygg og Anlegg Forlag AS
- Werner, Kai. (2008). *E3 beregning av varmemotstand og u-verdi*. Hentet fra [http://www.betongelement.no/betongbok/BindE/Del\\_1/E3/3\\_1\\_Beregningsmetode.pdf](http://www.betongelement.no/betongbok/BindE/Del_1/E3/3_1_Beregningsmetode.pdf)
- European committee for standardization. (2004). *Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. Brussel: European committee for standardization.
- Sveindottir, E. L., Maage, M., Poot, S., Hansen, E., A., Bennenk, H., W., Helland, S.,... Price, B. (1998). *LWAC Material Properties State-of-the-Art*. Nederland: European Union/SINTEF
- Øverli, J., A., & Jensen, T., M. (2012), *DUCTILITY OF LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE STRUCTURES*, Trondheim: Department of Structural Engineering & SINTEF Building and Infrastructure



Standard Norge (2009). *Prøving av herdnet betong* Norge: European committee for standardization. NS-EN 12390

Standard Norge (2009). *Prøving av fersk betong*. Norge: European committee for standardization. NS-EN 12350

Statens Vegvesen. (1997, 07). Hentet fra: [http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle\\_filer/14.62/014-621.pdf](http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle_filer/14.62/014-621.pdf)

U-verdi. [Bilde] (1998). Hentet fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/208>

Superplasticizer. [Bilde] (2017). Hentet fra: <http://www.architectureadmirers.com/superplasticizer-added-to-concrete-benefits/>

De nasjonale for forskningsetiske komiteene. (2010, 15.01.) Kvalitative og kvantitative forskningsmetoder – likheter og forskjeller. Hentet fra: <https://www.etikkom.no/forskningsetiske-retningslinjer/Medisin-og-helse/Kvalitativ-forskning/1-Kvalitative-og-kvantitative-forskningsmetoder--likheter-og-forskjeller/>

Befring, E. (2015). *Forskningsmetoder i utdanningsvitenskap*. Oslo: Cappelen Damm Akademisk

Gromicko, N., & Shepard, K. (2017). The History of Concrete. Hentet fra: <https://www.nachi.org/history-of-concrete.htm>

GPS Precast Concrete. (2011). Precast Concrete – History. Hentet fra: <http://www.gpsprecastconcrete.co.uk/blog/precast-concrete-history/>

Selbekk, R.S. (2015, 03.11). Store Norske Leksikon, pimpstein. Hentet fra: <https://snl.no/pimpstein>

Sveindottir, E. L., Maage, M., Poot, S., Hansen, E., A., Bennenk, H., W., Helland, S.,... Price, B. (2000(1)). *Properties of LWAC made with natural lightweight aggregates*. Nederland: European Union/SINTEF

Sveindottir, E. L., Maage, M., Poot, S., Hansen, E., A., Bennenk, H., W., Helland, S.,... Price, B. (2000(2)). *STRUCTURAL LWAC Specification and guideline for materials and production*. Nederland: European Union/SINTEF

Standard Norge (2001). *Densitet av herdnet betong*. Norge: European committee for standardization. NS-EN 12390-7:2001

Standard Norge (2001). *Prøvelegemers spaltestrekfasthet*. Norge: European committee for standardization. NS-EN 12390-6:2001

Standard Norge (2001). *Prøvelegemers bøyestrekfasthet*. Norge: European committee for standardization. NS-EN 12390-5:2001

Kjellsen, K.O. (2008). *TKT 4215 Concrete Technology 1. Chapter 5*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.



Myrdal, R. (2008). *TKT 4215 Concrete Technology 1. Chapter 10*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

Sellevoid, E. (1996). *TKT 4215 Concrete Technology 1. Chapter 15*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

Smeplass, S. (2004). *TKT 4215 Concrete Technology 1. Chapter 4*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

Lindgård, J. & Haugen, M. (2005). *TKT 4215 Concrete Technology 9. Chapter 4*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

Kanstad, T., Hammer, T.A., Bjøntegaard, Ø., & Sellevoid, E.J. (2001). *Mechanical properties of young concrete: Part II: Determination of model parameters and test program proposals*. Materials and structures, vol. 36, s. 226-230.

Rijia produktbeskrivelse. [Bilde](2017) Hentet fra [http://www.alibaba.com/product-detail/Lightweight-expanded-clay-aggregate-reduce-concrete\\_60396496168.html?spm=a2700.7724838.0.0.4boncr](http://www.alibaba.com/product-detail/Lightweight-expanded-clay-aggregate-reduce-concrete_60396496168.html?spm=a2700.7724838.0.0.4boncr)

Rijia produktbeskrivelse 4-10mm. [Bilde](2017). Hentet fra [http://www.alibaba.com/product-detail/4-10mm-Lightweight-Expanded-Clay-Aggregate\\_60403395663.html?spm=a2700.7724838.0.0.4boncr](http://www.alibaba.com/product-detail/4-10mm-Lightweight-Expanded-Clay-Aggregate_60403395663.html?spm=a2700.7724838.0.0.4boncr)

Ning Shu produktbeskrivelse. [Bilde](2017). Hentet fra <http://www.ningshucn.com/product/expanded-clay>

Stalite produktbeskrivelse. [Bilde](2015). Hentet fra <http://www.stalite.com/uploads/2015%20Test%20Reports/C330%20Report%20for%20Fine%20Aggregate%20-%203-27-2015-1.pdf>

Krantabell. [Bilde] (2017). Hentet fra <http://cranenorway.com/maskiner-og-utstyr/>

Mobilkran. [Bilde] (2017). Hentet fra <http://cranenorway.com/wp-content/uploads/Crane-Norway-LTM-1050-31.pdf>

Betongelementforeningen. (2017). D14 Bestandighet av betongelementkonstruksjoner miljøkrav og utførelse, s.99-100. Hentet fra [http://www.betongelement.no/betongbok/BindD/Del\\_2/D14/14\\_1\\_Miljokrav\\_klassifisering\\_av\\_betongelementer.pdf](http://www.betongelement.no/betongbok/BindD/Del_2/D14/14_1_Miljokrav_klassifisering_av_betongelementer.pdf)

The Engineering ToolBox. (2017). Modulus of Elasticity or Young's Modulus. Hentet fra [http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d\\_417.html](http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417.html)

Basic properties. [Bilde](2016). Hentet fra <http://www.concrete.org.uk/fingertips-nuggets.asp?cmd=display&id=525>

Alexander, S., Vinje, L., Knustad, R., & Andersen, T.R., (2007). Betongelementboken. *Sammenheng mellom bestandighetsklasse (eksponeringsklasse), masseforhold og fasthetsklasser, D11, s.64.* Hentet fra [http://www.betongelement.no/betongbok/BindD/Del\\_2/D11/11\\_1\\_1\\_Betongproporsjonering\\_fasthetsklasse.pdf](http://www.betongelement.no/betongbok/BindD/Del_2/D11/11_1_1_Betongproporsjonering_fasthetsklasse.pdf)

## 9. Vedlegg

Vedlegg A1: Fasthet referansebetong M45


**Toni / Technik**

Simple standard protocol

21.02.2017

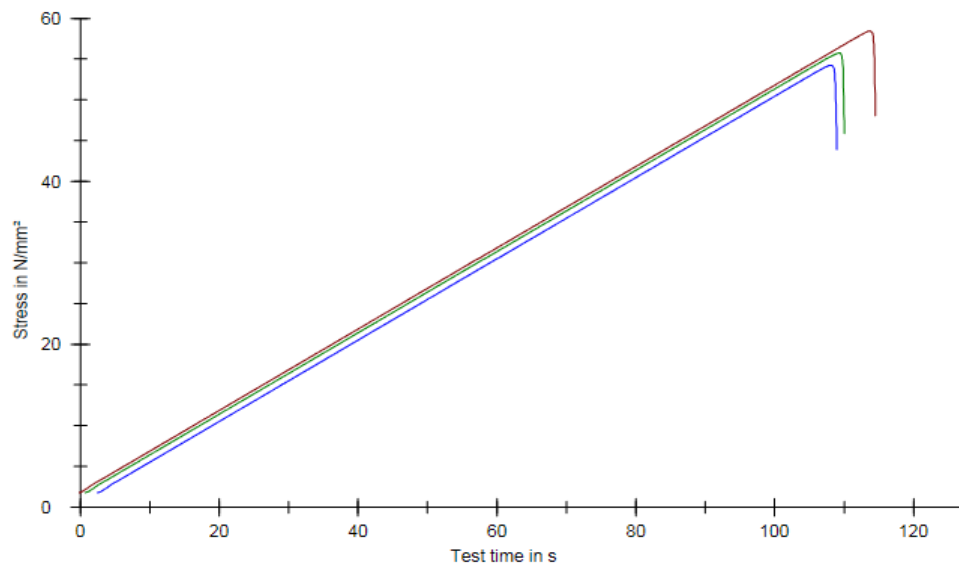
### Parameter table:

Tester	:	Type strain extensometer:		
Customer	:	Machine data	:	Controller TT1412
Test standard	:	PistonStroke		
Strength grade	:	LoadCell 3 MN		
Creation date	:			
Age	:	0 T		
Other	:			

### Results:

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F <sub>m</sub> kN
1	21.02.2017	KB B45 referansebetong fasthet nr. 1	100,0	100,0	584,57
2	21.02.2017	KB B45 referansebetong fasthet nr. 2	100,0	100,0	557,35
3	21.02.2017	KB B45 referansebetong fasthet nr.3	100,0	100,0	542,52
4			100,0	100,0	-

### Series graphics:



## Vedlegg A2: Elastisitetsmodul referansebetong M45

Toni / Technik

Simple standard protocol

22.02.2017

### Parameter table:

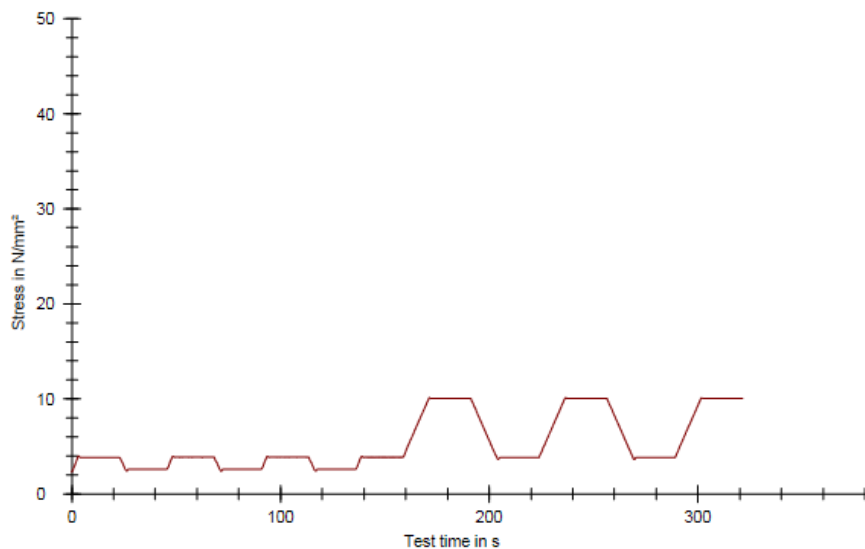
Test protocol :	Type strain extensometer:
Tester :	Machine data :
Customer :	Controller TT1412
Test standard : EN12390-13 method A	PistonStroke
Strength grade :	LoadCell 3 MN
Creation date :	Extensometer
Age : 0 T	Extensometer2
Other :	

### Results:

Nr	$\epsilon_{b2,E1}$ mm	$\epsilon_{b2,E2}$ mm	$\epsilon_{b3,E1}$ mm	$\epsilon_{b3,E2}$ mm	$\Delta\epsilon_{b23,E1}$ %	$\Delta\epsilon_{b23,E2}$ %	$\Delta\epsilon_{b3,E12}$ %	$\sigma_{m a,1}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{m b,0}$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{a,1}$ mm	$\epsilon_{b,0}$ mm	$E_{C,0}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{m a,3}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{m b,2}$ N/mm <sup>2</sup>
max.					10,00	10,00	20,00							
min					-10,00	-10,00	-20,00							
1	0,002	0,005	0,002	0,005	2,11	0,28	19,44	10,02	3,83	0,037	0,005	37690,38	10,02	3,77

Nr	$\epsilon_{a,3}$ mm	$\epsilon_{b,2}$ mm	$E_{C,s}$ N/mm <sup>2</sup>
max.			
min			
1	0,039	0,015	52598,15

### Series graphics:



### Statistics:

Series n = 1	$\sigma_m$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{C,0}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{C,s}$ N/mm <sup>2</sup>
x	10,10	37690,38	52598,15
s	-	-	-
v	-	-	-

## Vedlegg A3: Bøyestrekfasthet referansebetong M45

**Toni / Technik**

**Simple standard protocol**

**01.03.2017**

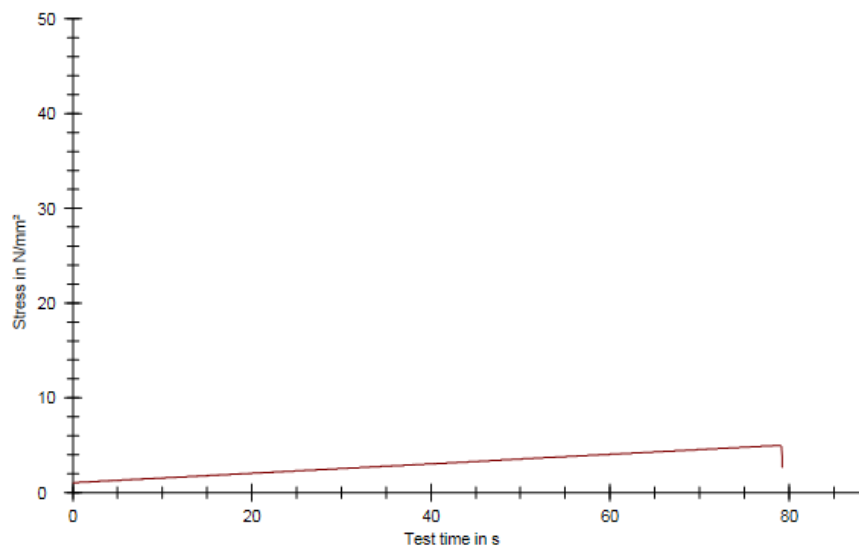
### Parameter table:

Test protocol :	Type strain extensometer :
Tester :	Machine data :
Customer :	
Test standard :	
Strength grade :	
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

### Results:

Nr	Date	ID	a mm	b mm	A mm <sup>2</sup>	h mm	F <sub>m</sub> kN
1	22.02.2017	KB B45 Ref.bet.	100,0	500,0	50000,0	100,0	7,33
2		KB B45 Ref.bet	100,0	500,0	-	100,0	-

### Series graphics:



### Statistics:

Series	a mm	b mm	A mm <sup>2</sup>	h mm	F <sub>m</sub> kN
n = 1					
$\bar{x}$	100,0	500,0	50000,0	100,0	7,33
s	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-

## Vedlegg A4: Spaltestrekkfasthet referansebetong M45

**Toni / Technik**

**Simple standard protocol**

**01.03.2017**

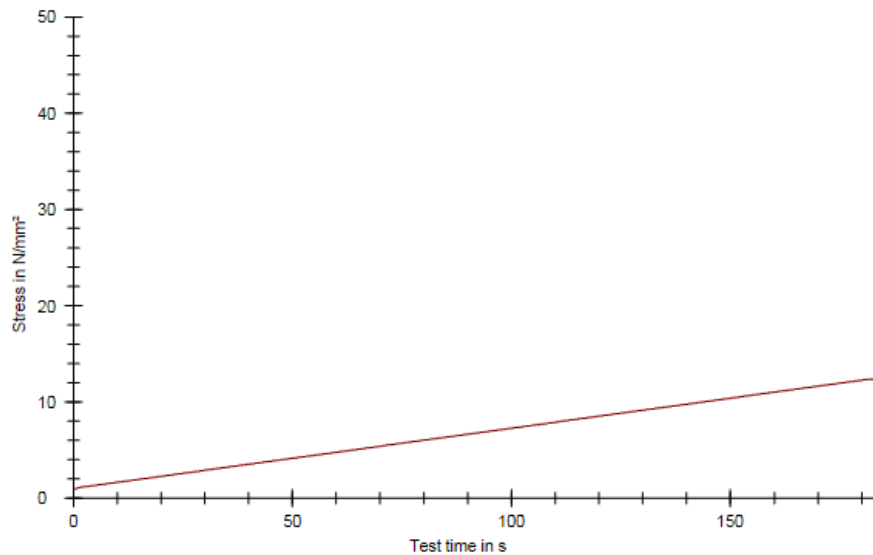
### Parameter table:

Test protocol	: Spaltestrekk	Type strain extensometer:	
Test standard	:	Machine data	:
Strength grade	:		
Creation date	:		
Age	: 0 T		
Other	:		

### Results:

Nr	Date	ID	d mm	F <sub>m</sub> kN
1	22.02.2017	KB B45 Ref.bet.	150,0	218,49

### Series graphics:



### Statistics:

Series	d mm	F <sub>m</sub> kN
n = 1		
$\bar{x}$	150,0	218,49
s	-	-
v	-	-



## Vedlegg B1: Fasthet referansebetong M65

Toni / Technik

Simple standard protocol

10.04.2017

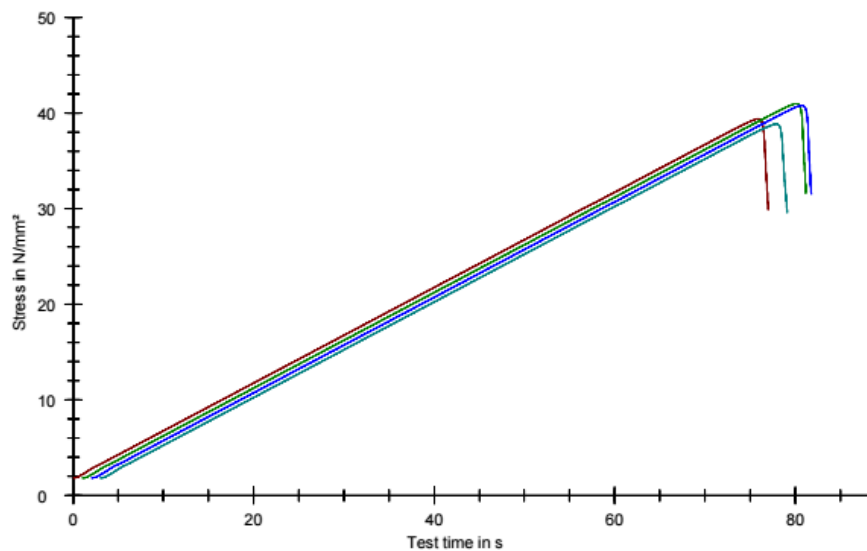
### Parameter table:

Test protocol :	Type strain extensometer :
Tester :	Machine data : Controller TT1412
Customer :	PistonStroke
Test standard :	LoadCell 3 MN
Strength grade :	Extensometer
Creation date :	Extensometer2
Age : 0 T	
Other :	

### Results:

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F <sub>m</sub> kN
1	10.04.2017	Referansebetong M65 Nr.1	100,0	100,0	393,63
2	10.04.2017	Referansebetong M65 Nr.2	100,0	100,0	409,55
3	10.04.2017	Referansebetong M65 Nr.3	100,0	100,0	407,64
4	10.04.2017	Referansebetong M65 Nr.4	100,0	100,0	388,37
5		Referansebetong M65 Nr.4	100,0	100,0	-

### Series graphics:



## Vedlegg B2: Elastisitetsmodul referansebetong M65

Toni / Technik

Simple standard protocol

10.04.2017

### Parameter table:

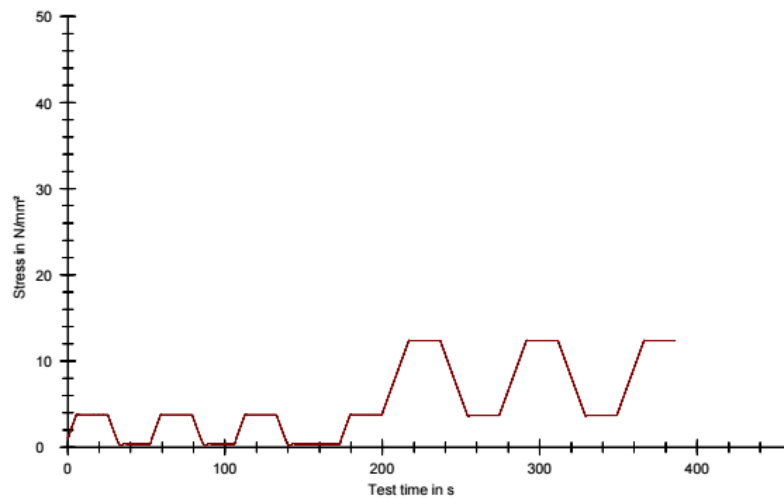
Test protocol :	Type strain extensometer:
Tester :	Machine data :
Customer :	Controller TT0322
Test standard : EN12390-13 method A	PistonStroke
Strength grade:	LoadCell 3 MN
Creation date :	Extensometer
Age : 0 T	Extensometer2
Other :	

### Results:

Nr	$\epsilon_{b2,E1}$ mm	$\epsilon_{b2,E2}$ mm	$\epsilon_{b3,E1}$ mm	$\epsilon_{b3,E2}$ mm	$\Delta\epsilon_{b23,E1}$ %	$\Delta\epsilon_{b23,E2}$ %	$\Delta\epsilon_{b3,E12}$ %	$\sigma_{m a,1}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{m b,0}$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{a,1}$ mm	$\epsilon_{b,0}$ mm	$E_{C,0}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{m a,3}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{m b,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{a,3}$ mm
max.					10,00	10,00	20,00								
min					-10,00	-10,00	-20,00								
1	0,029	0,012	0,029	0,012	0,30	0,64	>20,87	12,31	3,71	0,081	0,021	28356,66	12,32	3,67	0,084

Nr	$\epsilon_{b,2}$ mm	$E_{C,s}$ N/mm <sup>2</sup>
max.		
min		
1	0,035	35111,02

### Series graphics:



### Statistics:

Series n = 1	$\sigma_m$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{C,0}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{C,s}$ N/mm <sup>2</sup>
$\bar{x}$	12,38	28356,66	35111,02
s	-	-	-
v	-	-	-



## Vedlegg B3: Bøyestrekfasthet referansebetong M65

Toni / Technik

Simple standard protocol

10.04.2017

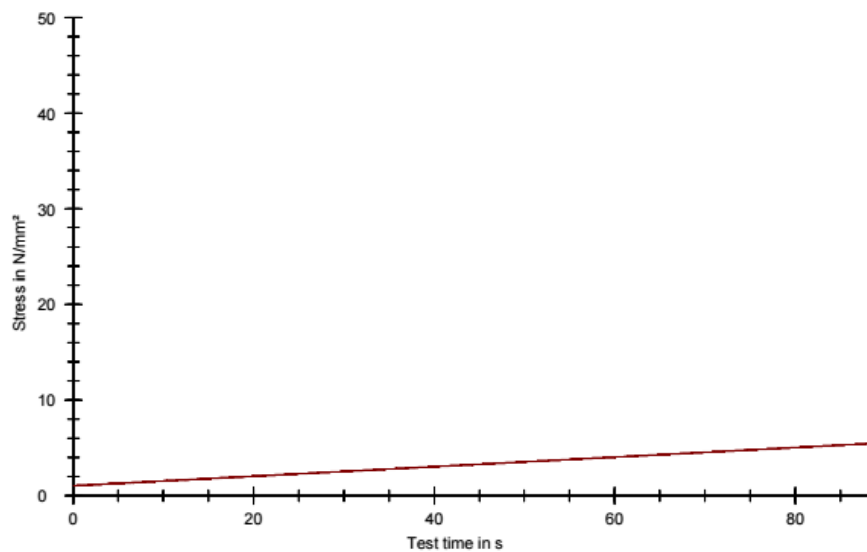
### Parameter table:

Test protocol :	Type strain extensometer :
Tester :	Machine data : Controller TT1412
Customer :	PistonStroke
Test standard :	LoadCell 250 kN
Strength grade :	
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

### Results:

Nr	Date	ID	a mm	b mm	A mm <sup>2</sup>	h mm	F <sub>m</sub> kN
1	10.04.2017	Referansebetong M65	100,0	500,0	50000,0	100,0	8,05
2		Referansebetong M65	100,0	500,0	-	100,0	-

### Series graphics:



### Statistics:

Series	a mm	b mm	A mm <sup>2</sup>	h mm	F <sub>m</sub> kN
n = 1					
$\bar{x}$	100,0	500,0	50000,0	100,0	8,05
s	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-

## Vedlegg B4: Spaltestrekkfasthet referansebetong M65

Toni / Technik

Simple standard protocol

10.04.2017

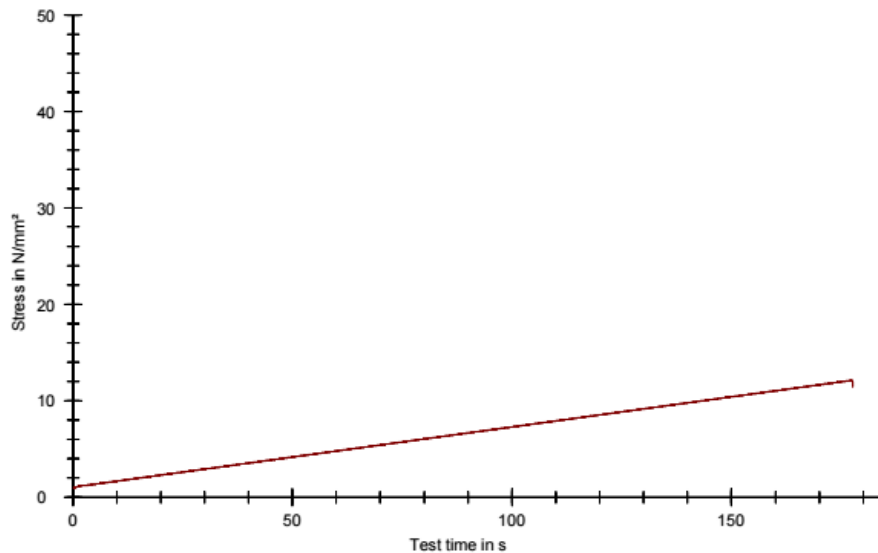
### Parameter table:

Test protocol	: Spaltestrekk	Type strain extensometer:	
Test standard	:	Machine data	: Controller TT1412
Strength grade	:		PistonStroke
Creation date	:		LoadCell 3 MN
Age	: 0 T		Extensometer
Other	:		Extensometer2

### Results:

Nr	Date	ID	d mm	F <sub>m</sub> kN
1	10.04.2017	Referansebetong M65 nr.2	150,0	213,58

### Series graphics:



### Statistics:

Series	d mm	F <sub>m</sub> kN
n = 1		
$\bar{x}$	150,0	213,58
s	-	-
v	-	-

## Vedlegg C1: Fasthetstest lettbetong

Toni / Technik

Simple standard protocol

05.04.2017

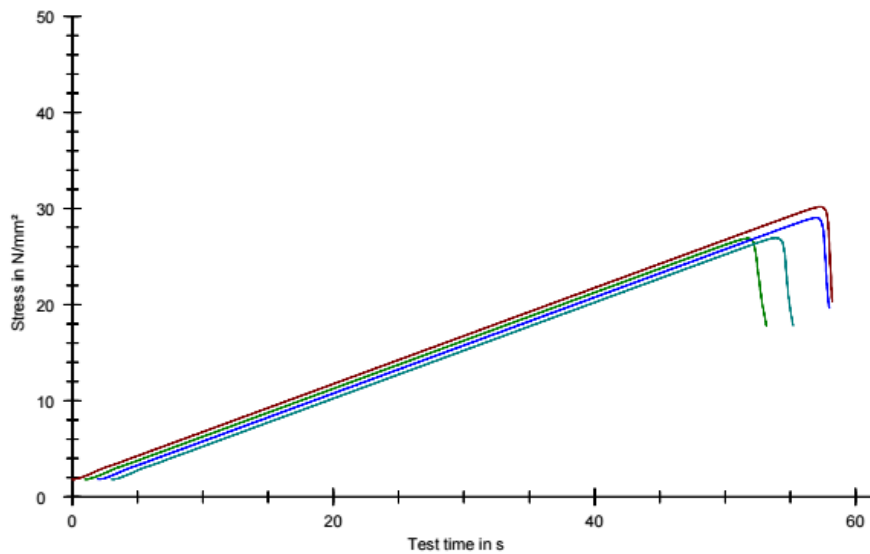
### Parameter table:

Test protocol :	Type strain extensometer :
Tester :	Machine data : Controller TT1412
Customer :	PistonStroke
Test standard :	LoadCell 3 MN
Strength grade :	
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

### Results:

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F <sub>m</sub> kN
1	05.04.2017	Lettbetong Nr.1	100,0	100,0	301,48
2	05.04.2017	Lettbetong Nr.1	100,0	100,0	268,65
3	05.04.2017	Lettbetong Nr.1	100,0	100,0	290,02
4	05.04.2017	Lettbetong Nr.1	100,0	100,0	269,15
5		Lettbetong Nr.1	100,0	100,0	-

### Series graphics:





## Vedlegg C2: Elastisitetmodul lettbetong

Toni / Technik

Simple standard protocol

05.04.2017

### Parameter table:

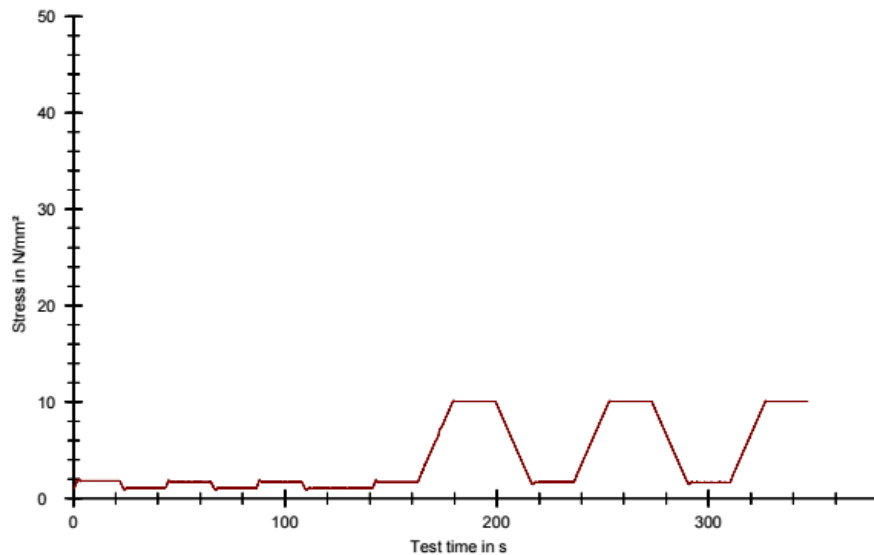
Test protocol :	Type strain extensometer:
Tester :	Machine data :
Customer :	Controller TT1412
Test standard : EN12390-13 method A	PistonStroke
Strength grade :	LoadCell 3 MN
Creation date :	Extensometer
Age : 0 T	Extensometer2
Other :	

### Results:

Nr	$\epsilon_{b2,E1}$ mm	$\epsilon_{b2,E2}$ mm	$\epsilon_{b3,E1}$ mm	$\epsilon_{b3,E2}$ mm	$\Delta\epsilon_{b23,E1}$ %	$\Delta\epsilon_{b23,E2}$ %	$\Delta\epsilon_{b3,E12}$ %	$\sigma_{m,a,1}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{m,b,0}$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{a,1}$ mm	$\epsilon_{b,0}$ mm	$E_{c,0}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{m,a,3}$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{m,b,2}$ N/mm <sup>2</sup>
max.					10,00	10,00	20,00							
min					-10,00	-10,00	-20,00							
1	0,004	0,010	0,004	0,009	0,84	0,84	>21,04	10,02	1,69	0,181	0,009	9687,42	10,02	1,62

Nr	$\epsilon_{a,3}$ mm	$\epsilon_{b,2}$ mm	$E_{c,s}$ N/mm <sup>2</sup>
max.			
min			
1	0,194	0,068	13380,35

### Series graphics:



### Statistics:

Series n = 1	$\sigma_m$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{c,0}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{c,s}$ N/mm <sup>2</sup>
x	10,08	9687,42	13380,35
s	-	-	-
v	-	-	-

## Vedlegg C3: Bøyestrekfasthet lettbetong

Toni / Technik

Simple standard protocol

05.04.2017

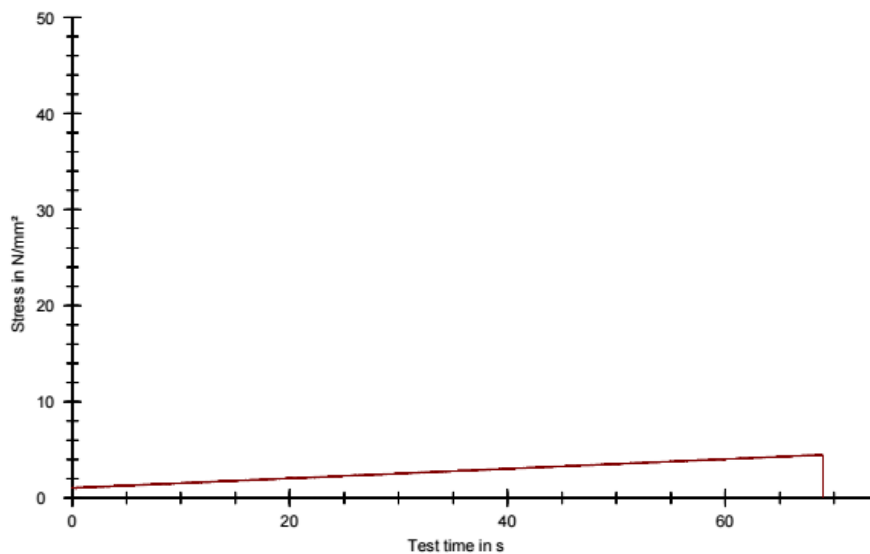
### Parameter table:

Test protocol :	Type strain extensometer :
Tester :	Machine data : Controller TT1412
Customer :	PistonStroke
Test standard :	LoadCell 250 kN
Strength grade :	
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

### Results:

Nr	Date	ID	a mm	b mm	A mm <sup>2</sup>	h mm	F <sub>m</sub> kN
1	05.04.2017	Lettbetong	100,0	500,0	50000,0	100,0	6,58
2		Lettbetong	100,0	500,0	-	100,0	-

### Series graphics:



### Statistics:

Series n = 1	a mm	b mm	A mm <sup>2</sup>	h mm	F <sub>m</sub> kN
x	100,0	500,0	50000,0	100,0	6,58
s	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-

## Vedlegg C4: Spaltestrekkfasthet lettbetong

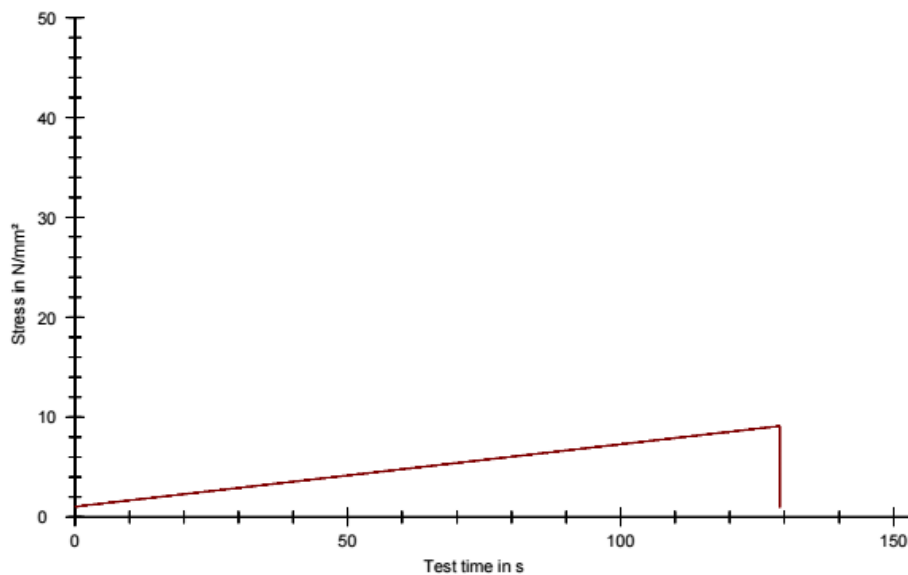
### Parameter table:

Test protocol	: Spaltestrekk	Type strain extensometer:	
Test standard	:	Machine data	: Controller TT1412
Strength grade	:		PistonStroke
Creation date	:		LoadCell 3 MN
Age	: 0 T		
Other	:		

### Results:

Nr	Date	ID	d mm	F <sub>m</sub> kN
1	05.04.2017	Lettbetong stor test	150,0	160,33

### Series graphics:



### Statistics:

Series n = 1	d mm	F <sub>m</sub> kN
x	150,0	160,33
s	-	-
v	-	-

## Vedlegg D: Fasthet referansebetong med ulikt v/c-tall

Toni / Technik

Simple standard protocol

30.03.2017

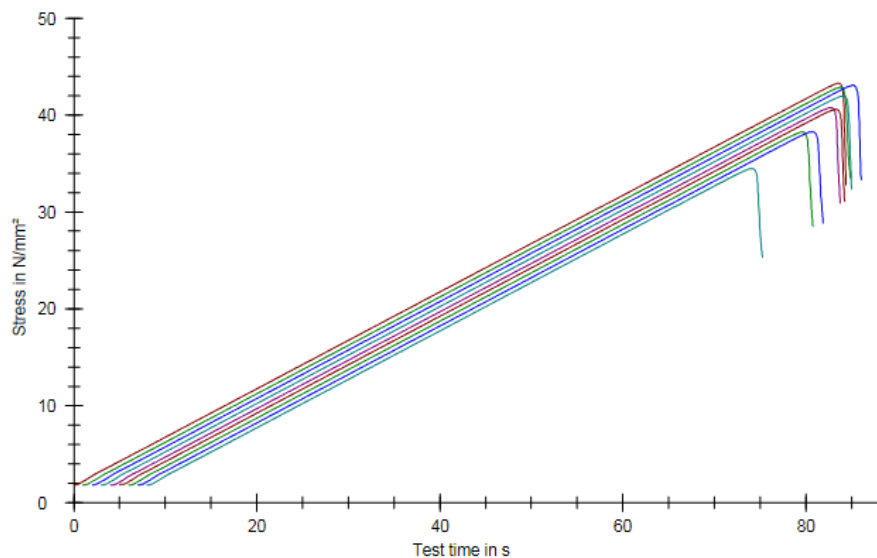
### Parameter table:

Test protocol :	Type strain extensometer:
Tester :	Machine data :
Customer :	Controller TT1412
Test standard :	PistonStroke
Strength grade:	LoadCell 3 MN
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

### Results:

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F <sub>m</sub> kN
1	29.03.2017	Referansebetong M55 Nr.1	100,0	100,0	432,67
2	29.03.2017	Referansebetong M55 Nr.2	100,0	100,0	428,52
3	29.03.2017	Referansebetong M55 Nr.3	100,0	100,0	430,62
4	29.03.2017	Referansebetong M60 Nr.1	100,0	100,0	419,51
5	29.03.2017	Referansebetong M60 Nr.2	100,0	100,0	407,47
6	29.03.2017	Referansebetong M60 Nr.3	100,0	100,0	405,72
7	29.03.2017	Referansebetong M65 Nr.1	100,0	100,0	382,33
8	29.03.2017	Referansebetong M65 Nr.2	100,0	100,0	382,42
9	29.03.2017	Referansebetong M65 Nr.3	100,0	100,0	344,69
10		Referansebetong M65 Nr.3	100,0	100,0	-

### Series graphics:



Vedlegg E: Testresultater for lettbetong med absorbert fukt på 25%

**Toni** / Technik

**Simple standard protocol**

**02.03.2017**

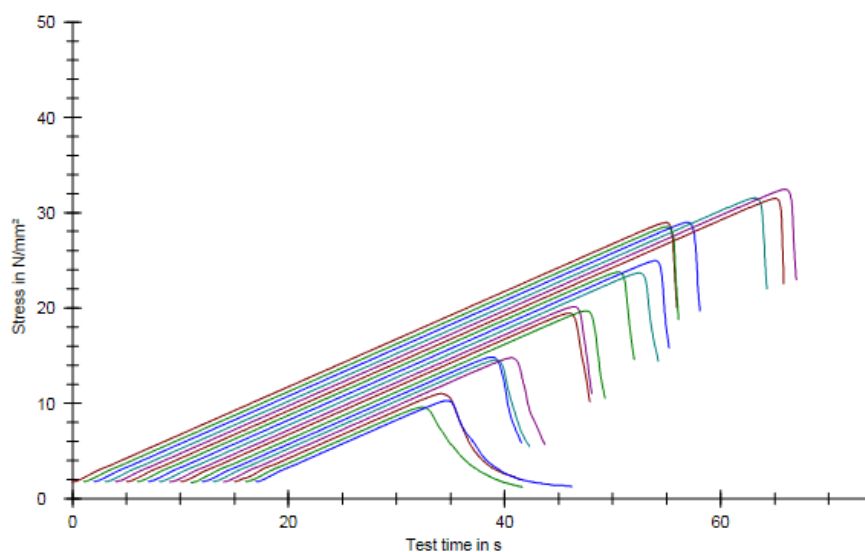
**Parameter table:**

Test protocol :	Type strain extensometer :	
Tester :	Machine data :	Controller TT1412
Customer :		PistonStroke
Test standard :		LoadCell 3 MN
Strength grade :		
Creation date :		
Age :	0 T	
Other :		

**Results:**

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F <sub>m</sub> kN
1	02.03.2017	Lettbetong blanding 1 Nr.1	100,0	100,0	289,30
2	02.03.2017	Lettbetong blanding 1 Nr.2	100,0	100,0	285,05
3	02.03.2017	Lettbetong blanding 1 Nr.3	100,0	100,0	289,65
4	02.03.2017	Lettbetong blanding 2 Nr.1	100,0	100,0	315,18
5	02.03.2017	Lettbetong blanding 2 Nr.2	100,0	100,0	324,29
6	02.03.2017	Lettbetong blanding 2 Nr.3	100,0	100,0	314,60
7	02.03.2017	Lettbetong blanding 3 Nr.1	100,0	100,0	237,44
8	02.03.2017	Lettbetong blanding 3 Nr.2	100,0	100,0	249,37
9	02.03.2017	Lettbetong blanding 3 Nr.3	100,0	100,0	236,46
10	02.03.2017	Lettbetong blanding 4 Nr.1	100,0	100,0	201,18
11	02.03.2017	Lettbetong blanding 4 Nr.2	100,0	100,0	194,40
12	02.03.2017	Lettbetong blanding 4 Nr.3	100,0	100,0	196,91
13	02.03.2017	Lettbetong blanding 5 Nr.1	100,0	100,0	148,45
14	02.03.2017	Lettbetong blanding 5 Nr.2	100,0	100,0	145,18
15	02.03.2017	Lettbetong blanding 5 Nr.3	100,0	100,0	147,55
16	02.03.2017	Lettbetong blanding 6 Nr.1	100,0	100,0	109,91
17	02.03.2017	Lettbetong blanding 6 Nr.2	100,0	100,0	95,82
18	02.03.2017	Lettbetong blanding 6 Nr.3	100,0	100,0	102,39
21		Lettbetong blanding 6 Nr.3	100,0	100,0	-

**Series graphics:**



Vedlegg F: Testresultater for lettbetong med absorbert fukt på 10%

**Toni / Technik**

**Simple standard protocol**

**15.03.2017**

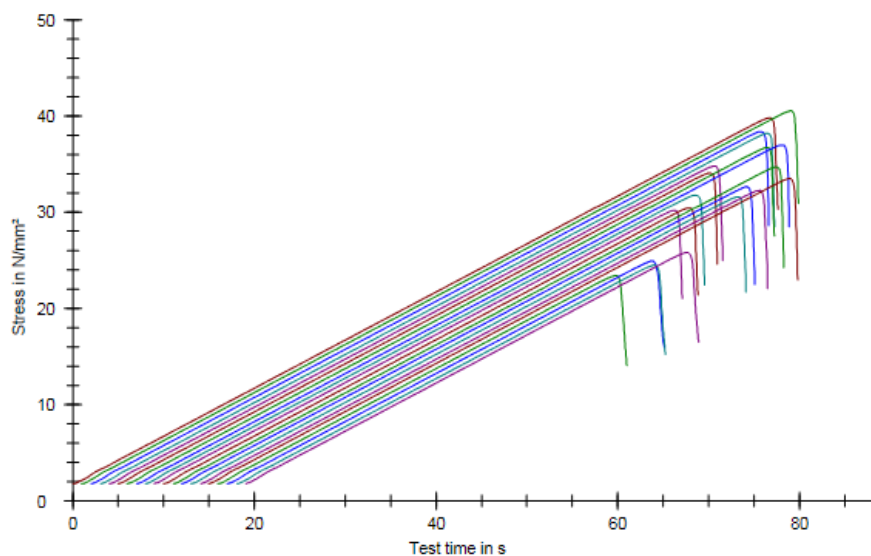
**Parameter table:**

Test protocol :	Type strain extensometer:
Tester :	Machine data : Controller TT1412
Customer :	PistonStroke
Test standard :	LoadCell 3 MN
Strength grade :	
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

**Results:**

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F <sub>m</sub> kN
1	15.03.2017	Lettbetong blanding 1 (1850) Nr.1	100,0	100,0	397,82
2	15.03.2017	Lettbetong blanding 1 (1850) Nr.2	100,0	100,0	405,06
3	15.03.2017	Lettbetong blanding 1 (1850) Nr.3	100,0	100,0	383,61
4	15.03.2017	Lettbetong blanding 1 (1850) Nr.4	100,0	100,0	381,54
5	15.03.2017	Lettbetong blanding 2 (1750) Nr.1	100,0	100,0	347,74
6	15.03.2017	Lettbetong blanding 2 (1750) Nr.2	100,0	100,0	340,54
7	15.03.2017	Lettbetong blanding 2 (1750) Nr.3	100,0	100,0	367,07
8	15.03.2017	Lettbetong blanding 2 (1750) Nr.4	100,0	100,0	369,57
9	15.03.2017	Lettbetong blanding 3 (1600) Nr.1	100,0	100,0	317,58
10	15.03.2017	Lettbetong blanding 3 (1600) Nr.2	100,0	100,0	301,76
11	15.03.2017	Lettbetong blanding 3 (1600) Nr.3	100,0	100,0	304,11
12	15.03.2017	Lettbetong blanding 3 (1600) Nr.4	100,0	100,0	346,75
13	15.03.2017	Lettbetong blanding 4 (1400) Nr.1	100,0	100,0	326,17
14	15.03.2017	Lettbetong blanding 4 (1400) Nr.2	100,0	100,0	315,58
15	15.03.2017	Lettbetong blanding 4 (1400) Nr.3	100,0	100,0	322,45
16	15.03.2017	Lettbetong blanding 4 (1400) Nr.4	100,0	100,0	334,88
17	15.03.2017	Lettbetong blanding 5 (1150) Nr.1	100,0	100,0	233,95
18	15.03.2017	Lettbetong blanding 5 (1150) Nr.2	100,0	100,0	248,97
19	15.03.2017	Lettbetong blanding 5 (1150) Nr.3	100,0	100,0	244,87
20	15.03.2017	Lettbetong blanding 5 (1150) Nr.4	100,0	100,0	257,71
21		Lettbetong blanding 5 (1150) Nr.4	100,0	100,0	-

**Series graphics:**



Vedlegg G: Konstanter for lettbetong

EN 1992-1-1:2004 (E)

Table 11.3.1: Stress and deformation characteristics for lightweight concrete

Strength classes for light weight concrete												Analytical relation/Explanation	
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60		70
$f_{ck,cube}$ (MPa)	13	18	22	28	33	38	44	50	55	60	66	77	88
$f_{cm}$ (MPa)	17	22	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88
$f_{cm}$ (MPa)	$f_{cm} = f_{ck} \cdot \eta_1$												For $f_{ck} \geq 20$ MPa $f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa) $\eta_1 = 0,40 + 0,60\rho/2200$
$f_{ck,0.05}$ (MPa)	$f_{ck,0.05} = f_{ck,0.05} \cdot \eta_1$												5% - fractile
$f_{ck,0.95}$ (MPa)	$f_{ck,0.95} = f_{ck,0.95} \cdot \eta_1$												95% - fractile
$E_{cm}$ (GPa)	$E_{cm} = E_{cm} \cdot \eta_E$												$\eta_E = (\rho/2200)^2$
$\rho_{c1}$ (%)	$k f_{cm} / (E_{ci} \cdot \eta_E)$ $\left\{ \begin{array}{l} k = 1,1 \text{ for sanded lightweight aggregate concrete} \\ k = 1,0 \text{ for all lightweight aggregate concrete} \end{array} \right.$												see Figure 3.2
$\rho_{c1}$ (%)	$\epsilon_{lc1}$												see Figure 3.2
$\rho_{c2}$ (%)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
$\rho_{c2}$ (%)	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$
$\rho_{c2}$ (%)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
$\rho_{c3}$ (%)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
$\rho_{c3}$ (%)	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$	3,5 $\eta_1$
$\rho_{c3}$ (%)	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$	3,1 $\eta_1$
$\rho_{c3}$ (%)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
$\rho_{c3}$ (%)	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$
$\rho_{c3}$ (%)	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
$\rho_{c3}$ (%)	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$
$\rho_{c3}$ (%)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
$\rho_{c3}$ (%)	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$
$\rho_{c3}$ (%)	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$
$\rho_{c3}$ (%)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
$\rho_{c3}$ (%)	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$	2,9 $\eta_1$
$\rho_{c3}$ (%)	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$	2,6 $\eta_1$

Provided by Standard Online AS for Svan Kirkvik Johnsen 2014-01-23



Vedlegg H: Filtralite 3-6mm, produktbeskrivelse

**PRODUCT SPECIFICATION OF FILTRALITE®**  
Filter media

**FILTRALITE® HR 3-6 mm**

Commercial name	FILTRALITE® HR 3-6 mm
Density	Bulk density: 825 kg/m <sup>3</sup> particle density: 1450 kg/m <sup>3</sup>
Type of material	Expanded clay
Appearance	Round particles, smooth surface structure
Manufactured by	maxit Leca Rælingen, Norway

Size and weight	Value	Deviation	Comments
Effective size	3,5 mm	± 0,3 mm	d <sub>10</sub>
Particle size range	3-6 mm	< 2,5 mm max 3 % + Δ < 0,125 mm > 6,0 mm max. 5 %	
Coefficient of uniformity	< 1,5		d <sub>60</sub> / d <sub>10</sub>
Bulk density, dry	825 kg/m <sup>3</sup>	± 75 kg/m <sup>3</sup>	EN 1097-3
Particle density, dry (PDD)	1450 kg/m <sup>3</sup>	± 100 kg/m <sup>3</sup>	Exclay Norm

Other properties	Value	Comments
Floating particles	< 2%	Maximum volume floating particles after 2 days in water.
Particle porosity	46 %	Porosity internal particle: (1-PDD/2700 kg/m <sup>3</sup> )*100
Voids	43 %	EN 1097-3
Acid solubility	< 4 %	EN 12902
Friability loss	< 4 %	EN 12902
Water adsorption 1 day	10 %	Approximately value. Exclay Norm
Water adsorption 28 days	25 %	Approximately value. Exclay Norm
Water adsorption 1 year	30 %	Approximately value. Exclay Norm
Settling velocity	0,2 m/s	Approximately value. Exclay Norm (water saturated)
Mohs' hardness	6	

Chemical composition, average values:

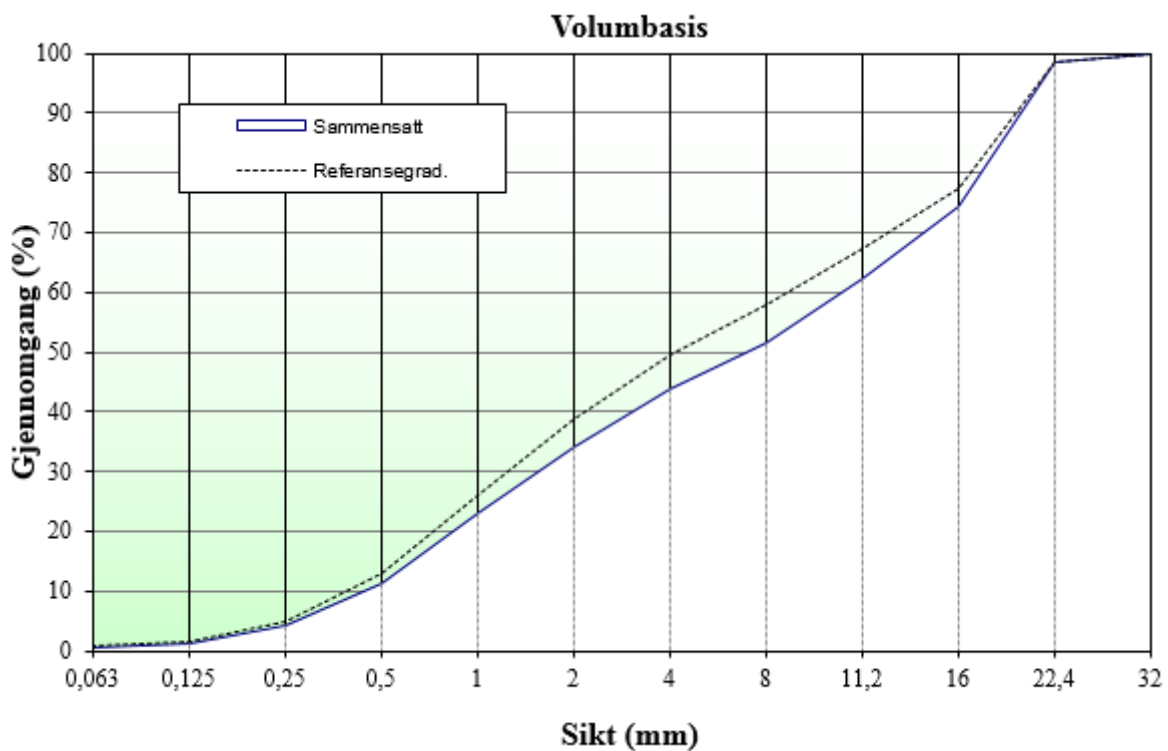
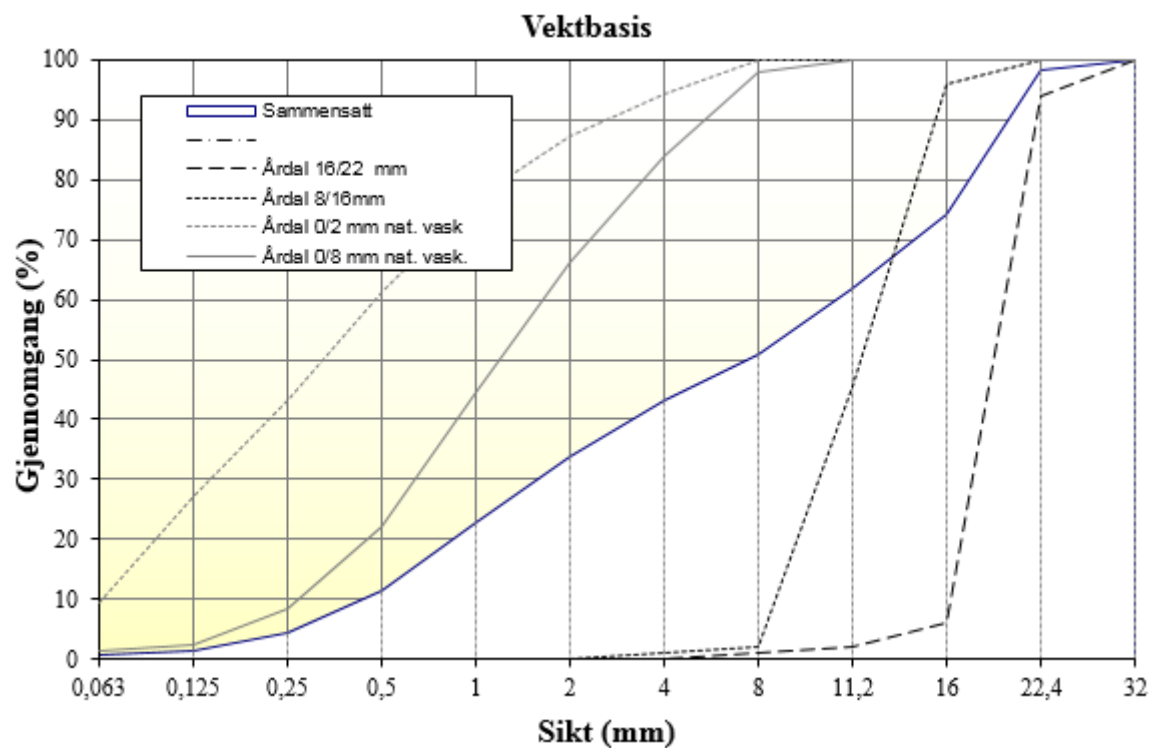
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	C <sub>tot</sub>
62%	18%	7%	4%	3%	3%	2%	0,02%

**maxit as**  
P.O. Box 216 Alnabru  
0614 Oslo, Norway


Further information:  
[www.filtralite.com](http://www.filtralite.com)  
E-mail: [info@filtralite.com](mailto:info@filtralite.com)

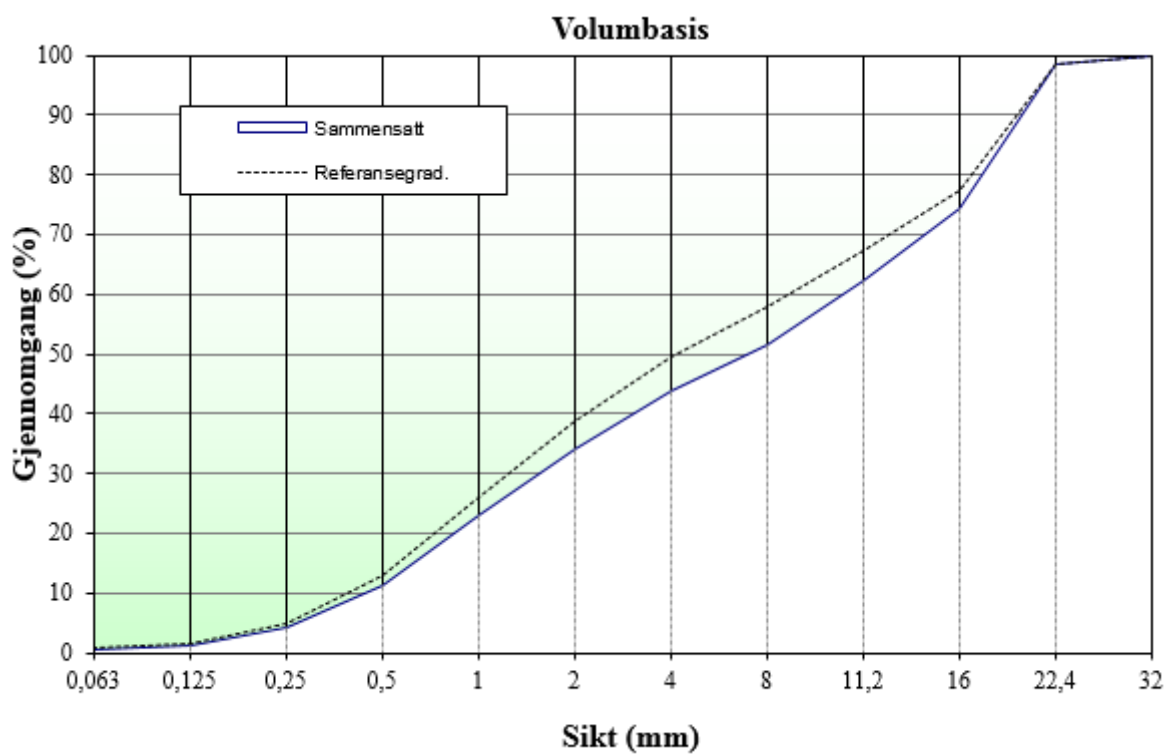
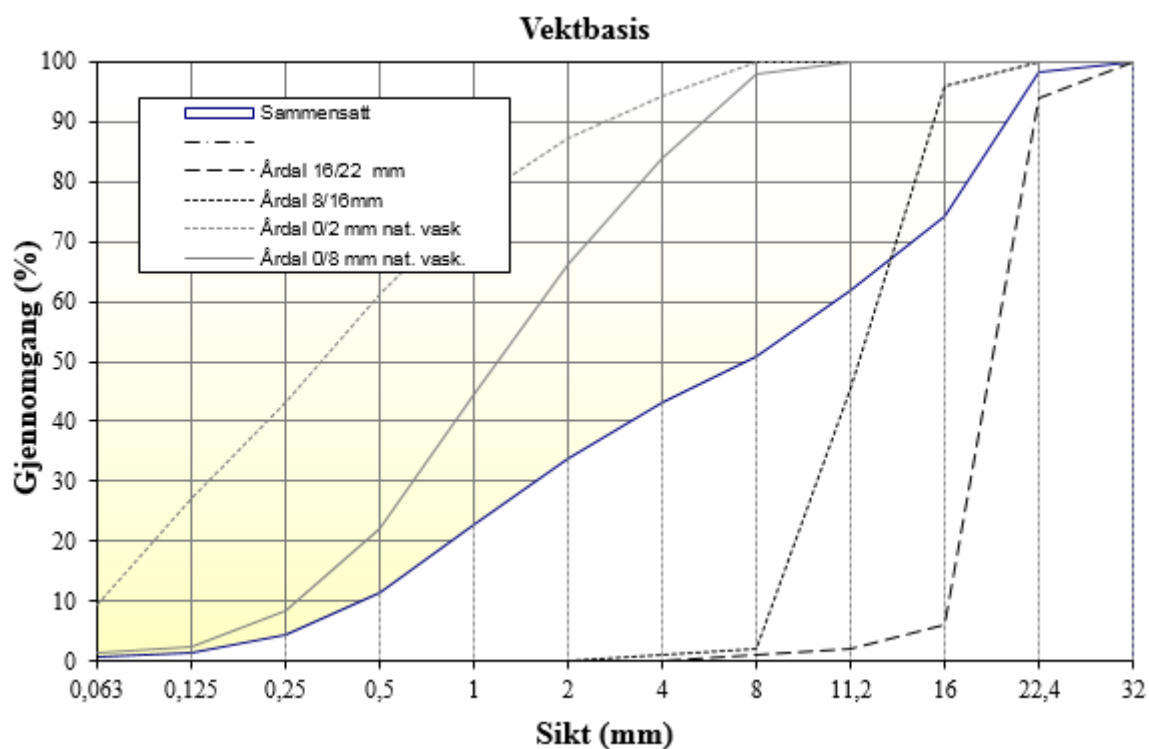
Telephone:  
+47 22 88 77 00  
Telefax:  
+47 22 64 54 54



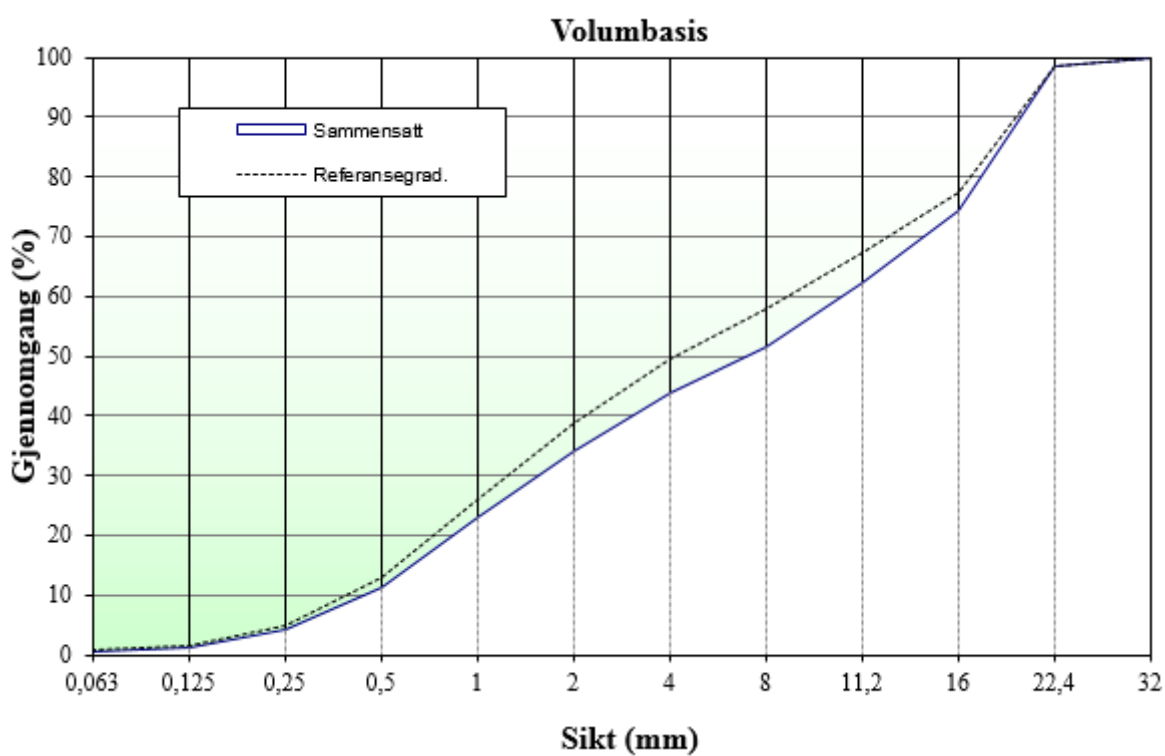
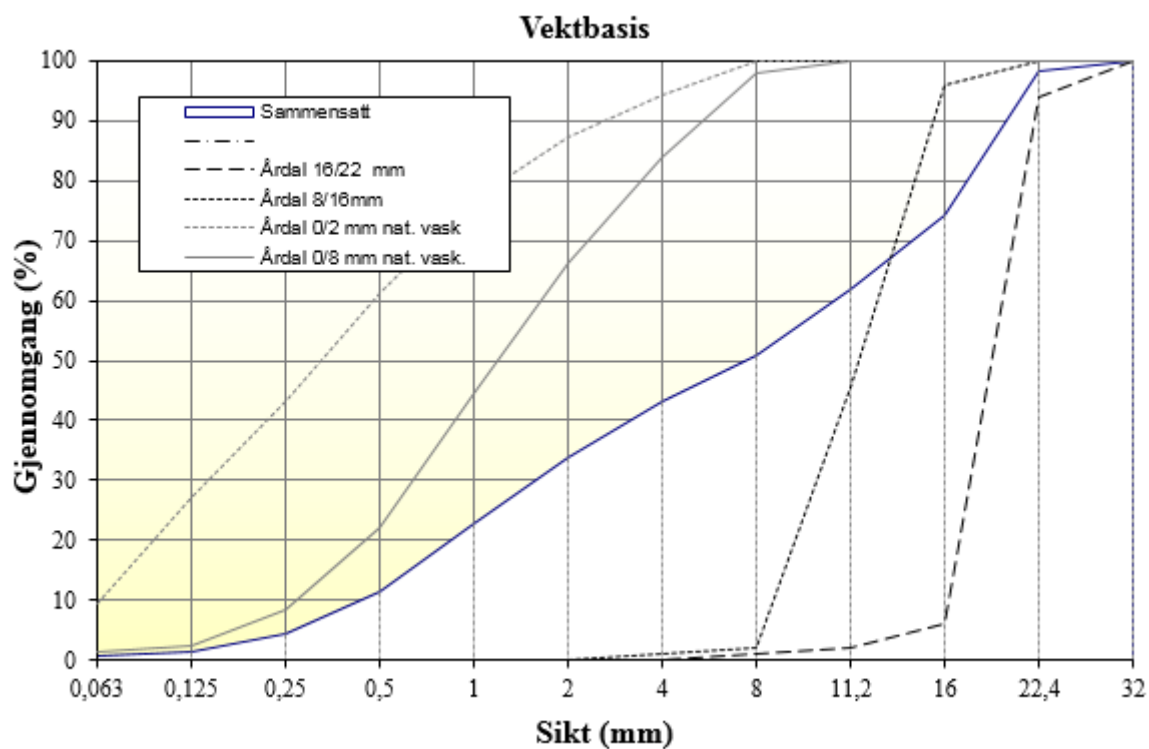


## Vedlegg I2: Konstruksjonsbetong M50

Proporsjonering av betong			Prosj.id.: Navn på serie / blandingsnummer		SKANSKA					
© 2008-11-12 22										
<b>Initialparametre</b>	<b>Verdi</b>	<b>k</b>			<b>Utført av</b>	<b>Firma</b>	<b>Dato</b>			
v/(c+Σkp)	0.50	-			Eivind Venås Årbu	UIS	13.02.2017			
s/c (silikastøv) [%]	0.0	1.00			<b>Materiale</b>	<b>Densitet *</b>	<b>Tørstoff</b>	<b>Alkalier</b>		
f/c (filler, flyveaske) [%]	0.0	0.00				[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]		
Luftinnhold [%]	2.0	-			Norcem Standard FA	2950	-	0.00		
<b>Tilsetningsstoff</b>	<b>% av C</b>	<b>% av S</b>			Elkem Microsilica	2200	50	0.00		
Sika Viscocrete FB-2	0.00	0.00				2650	100	0.00		
	0.00	0.00			Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0.00		
	0.00	0.00				1100	0	0.00		
	0.00	0.00				1200	0	0.00		
	0.00	0.00				1000	0	0.00		
<b>Fiber</b>	<b>Vol %</b>				Stålfiber	7800	-	-		
Stålfiber	0.0				PP-fiber	1000	-	-		
PP-fiber	0.0									
<b>Matriks</b>	<b>Verdi</b>									
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300									
Oppnådd matriksvolum** [l/m <sup>3</sup> ]	300									
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	291									
w/p	0.47									
										
					*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørstoff. For TSS oppgis våt densitet.					
**Tilpass matriksvolum; Ctrl M			Sett "Oppnådd" lik "Ønsket"; Ctrl N		***Nullstill korreksjon; Ctrl K					
<b>Proporsjonert betong</b>			<b>Ønsket Oppnådd</b>		<b>Fersk betong</b>			<b>Volumkorreksjon***</b>		
<b>Materialer</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>		<b>kg</b>	<b>kg</b>	<b>Egenskap</b>		<b>korr.luft</b>	<b>korr.dens</b>	<b>Korrigert</b>	
Norcem Standard FA	346.9		346.9	368.9	Ønsket volum	1000.0	0.0	0.0	368.9	
Elkem Microsilica	0.0		0.0	0.0	Innveid volum (l)	1000.0	0.0	0.0	0.0	
	0.0		0.0	0.0	Luftinnhold (%)	2.0	0.0	0.0	0.0	
Fritt vann	173.5		173.5	166.0	Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	2377	0.0	0.0	166.0	
Absorbent vann	0.0		0.0	0.0	Effektivt v/(c+Σkp)	0.450	0.0	0.0	0.0	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	945.1		945.1	945.1			0.0	0.0	945.1	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0.0		0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	
Årdal 8/16mm	406.4		406.4	406.4	<b>Aggressiver</b>		0.0	0.0	406.4	
Årdal 16/22 mm	490.8		490.8	490.8	Kloridinnhold [% av cem.]	0.00	0.0	0.0	490.8	
	0.0		0.0	0.0	Alkalier [kg/m <sup>3</sup> ]	0.00	0.0	0.0	0.0	
	0.0		0.0	0.0	Andel reakt. bergarter [%]	0.0	0.0	0.0	0.0	
	0.0		0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	
	0.0		0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	
	0.0		0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	
Sika Viscocrete FB-2	0.00		0.00	0.00			0.0	0.0	0.00	
	0.00		0.00	0.00			0.0	0.0	0.00	
	0.00		0.00	0.00			0.0	0.0	0.00	
	0.00		0.00	0.00			0.0	0.0	0.00	
Stålfiber	0.0		0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	
PP-fiber	0.0		0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	2363						0.0	0.0	2377	










## Vedlegg I4: Konstruksjonsbetong M60

Proporsjonering av betong			Prosj.id.: Navn på serie / blandingsnummer		SKANSKA			
© 2008-11-12 zz								
<b>Initialparametre</b>			Verdi	k	<b>Utført av</b>			
w/(c+Σkp)			0,60	-	Eivind Venås Årbu			
s/c (silikastøv) [%]			0,0	1,00	<b>Firma</b>			
f/c (filler, flyveaske) [%]			0,0	0,00	UiS			
Luftinnhold [%]			2,0	-	<b>Dato</b>			
					13.02.2017			
<b>Tilsetningsstoff</b>			% av C	% av S	<b>Materiale</b>			
Sika Viscocrete FB-2			0,00	0,00	Densitet * [kg/m <sup>3</sup> ]			
			0,00	0,00	Tørstoff [%]			
			0,00	0,00	Alkalier [%]			
			0,00	0,00	Klorider [%]			
			0,00	0,00				
<b>Fiber</b>			Vol %					
Stålfiber			0,0					
PP-fiber			0,0					
<b>Matriks</b>			Verdi					
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]			300					
Oppnådd matriksvolum** [l/m <sup>3</sup> ]			300					
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]			291					
w/p			0,56					

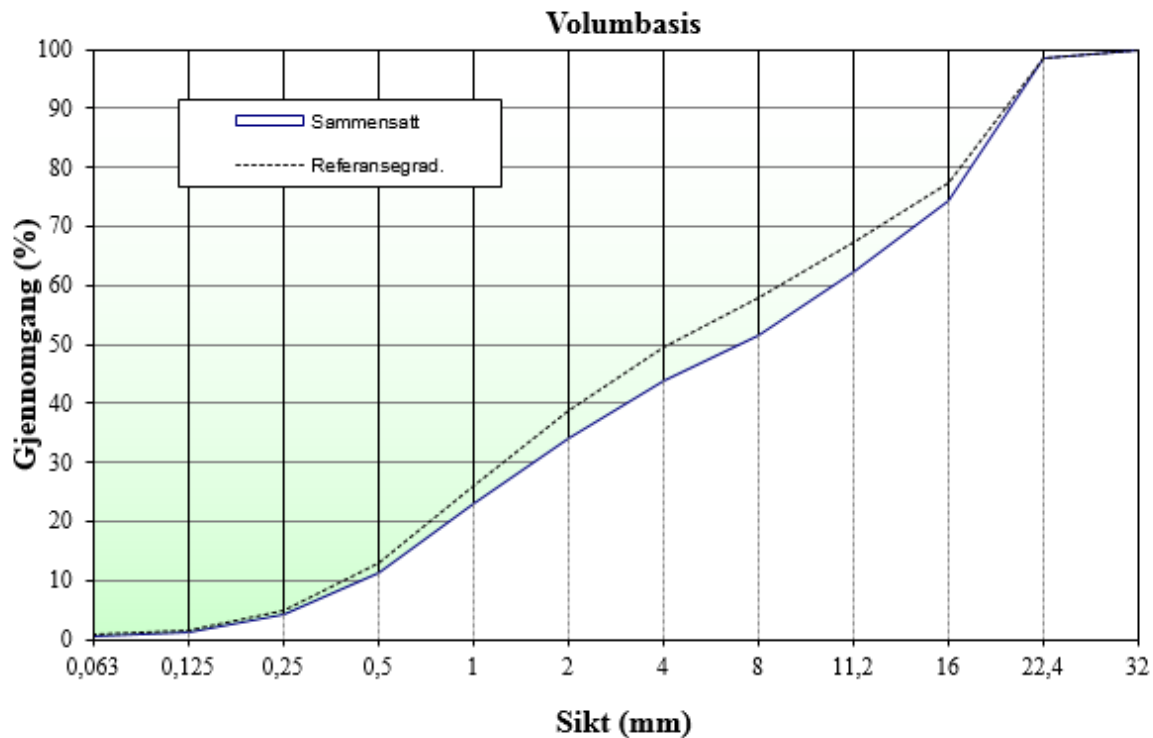
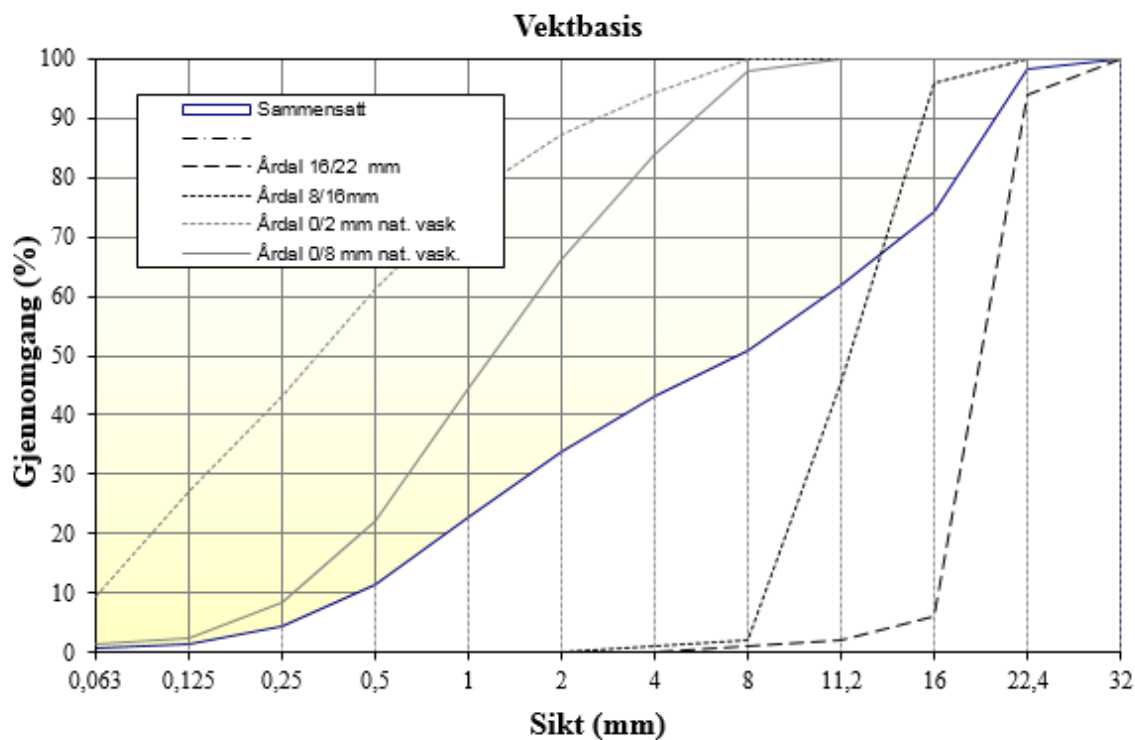


\*\*Tilpass matriksvolum; Ctrl M

Sett "Oppnådd" lik "Ønsket"; Ctrl N


\*\*\*Nullstill korreksjon; Ctrl K

Proporsjonert betong		Ønsket Oppnådd		Fersk betong		Volumkorreksjon***		
Materialer	kg/m <sup>3</sup>	kg	kg	Egenskap	korr.luft	korr.dens	Korrigert	
Norcem Standard FA	310,0	1,9	368,9	Ønsket volum	0,0	0,0	368,9	
Elkem Microsilica	0,0	0,0	0,0	Innveid volum (l)	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Luftinnhold (%)	0,0	0,0	0,0	
Fritt vann	186,0	1,1	166,0	Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	0,0	0,0	166,0	
Absorbert vann	0,0	0,0	0,0	Effektivt w/(c+Σkp)	0,0	0,0	0,0	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	945,1	5,7	945,1		0,0	0,0	945,1	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Årdal 8/16mm	406,4	2,4	406,4	<b>Aggressiver</b>	0,0	0,0	406,4	
Årdal 16/22 mm	490,8	2,9	490,8	Kloridinnhold [% av cem.]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Alkalier [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Andel reakt. bergarter [%]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
Stålfiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
PP-fiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	2338				0,0	0,0	2377	



## Vedlegg I5: konstruksjonsbetong M65

Proporsjonering av betong			Prosj.id.: Navn på serie / blandingsnummer		SKANSKA		
© 2008-11-12 zz							
<b>Initialparametre</b>	<b>Verdi</b>	<b>k</b>					
w/(c+Σkp)	0,65	-					
s/c (silikastøv) [%]	0,0	1,00					
f/c (filler, flyveaske) [%]	0,0	0,00					
Luftinnhold [%]	2,0	-					
<b>Tilsetningsstoff</b>	<b>% av C</b>	<b>% av S</b>					
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00					
	0,00	0,00					
	0,00	0,00					
	0,00	0,00					
<b>Fiber</b>	<b>Vol %</b>						
Stålfiber	0,0						
PP-fiber	0,0						
<b>Matriks</b>	<b>Verdi</b>						
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300						
Oppnådd matriksvolum** [l/m <sup>3</sup> ]	300						
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	291						
w/p	0,60						



Utført av	Firma	Dato
Eivind Venås Årbu	UiS	13.02.2017

Materiale	Densitet * [kg/m <sup>3</sup> ]	Tørstoff [%]	Alkalier [%]	Klorider [%]
Norcem Standard FA	2950	-	0,00	0,00
Elkem Microsilica	2200	50	0,00	0,00
	2650	100	0,00	0,00
Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0,00	0,00
	1100	0	0,00	0,00
	1200	0	0,00	0,00
	1000	0	0,00	0,00
Stålfiber	7800	-	-	-
PP-fiber	1000	-	-	-

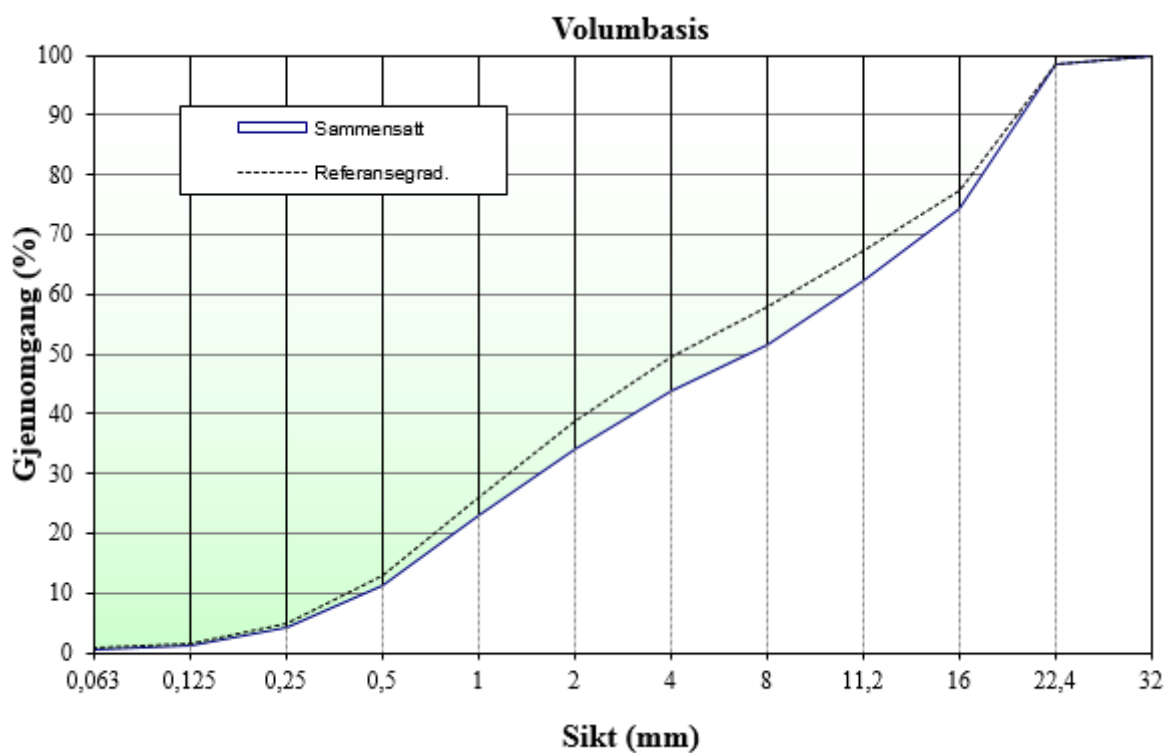
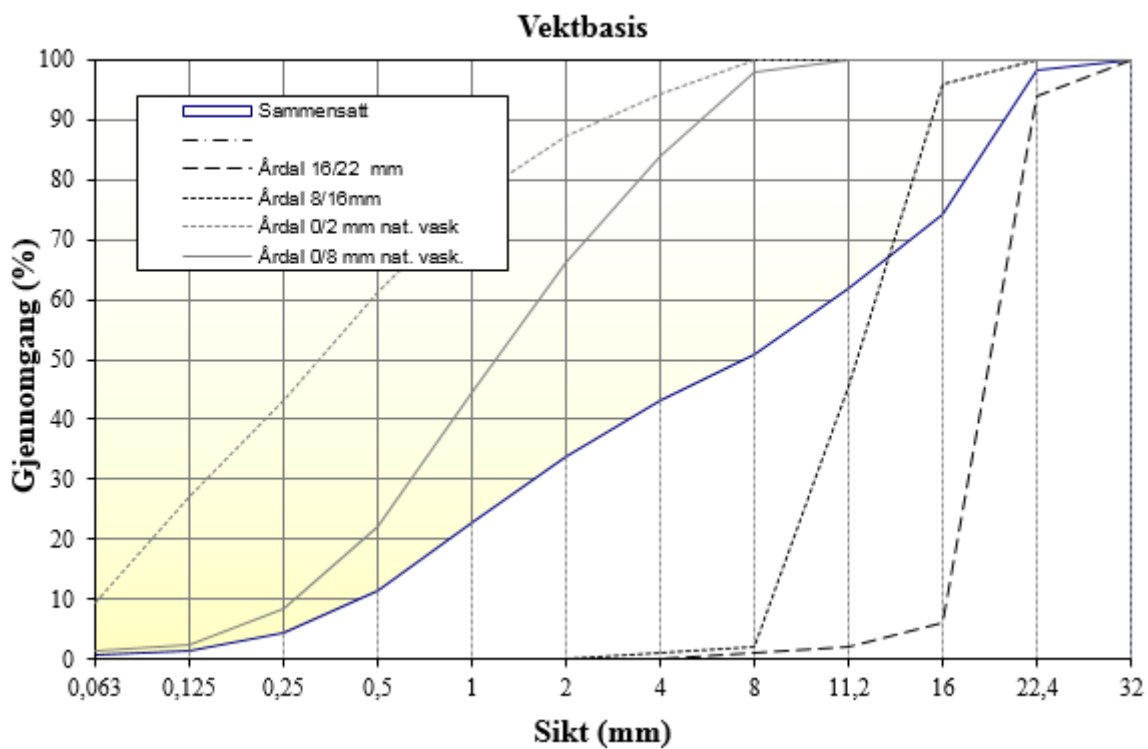
\*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørstoff. For TSS oppgis våt densitet.

\*\*Tilpass matriksvolum; Ctrl M

Sett \*Oppnådd\* lik \*Ønsket\*<sup>†</sup>; Ctrl N

\*\*\*Nullstill korreksjon; Ctrl K


Proporsjonert betong		Ønsket Oppnådd		Fersk betong		Volumkorreksjon***		
Materialer	kg/m <sup>3</sup>	kg	kg	Egenskap	korr.luft	korr.dens	Korrigert	
Norcem Standard FA	294,3	294,3	368,9	Ønsket volum	0,0	0,0	368,9	
Elkem Microsilica	0,0	0,0	0,0	Innveid volum (l)	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Luftinnhold (%)	0,0	0,0	0,0	
Fritt vann	191,3	191,3	166,0	Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	0,0	0,0	166,0	
Absorbent vann	0,0	0,0	0,0	Effektivt w/(c+Σkp)	0,0	0,0	0,0	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	945,1	945,1	945,1		0,0	0,0	945,1	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Årdal 8/16mm	406,4	406,4	406,4		0,0	0,0	406,4	
Årdal 16/22 mm	490,8	490,8	490,8		0,0	0,0	490,8	
	0,0	0,0	0,0	<b>Aggressiver</b>	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Kloridinnhold [% av cem.]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Alkalier [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Andel reakt. bergarter [%]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
Stålfiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
PP-fiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	2328				0,0	0,0	2377	



## Vedlegg J1: Lettbetong med teoretisk densitet på 1850 kg/m<sup>3</sup> 10% absorbert fukt

### Proporsjonering av betong SKANSKA

© 2006-11-12 zc			Utført av		Firma	Dato
<b>Initialparametre</b>	Verdi	k	Sverre Smeplass		Skanska Norge AS, Betongavd.	12.11.2008
v/(c+Σkp)	0,45	-				
s/c (silikastøv) [%]	0,0	1,00				
f/c (filler, flyveaske) [%]	0,0	0,00				
Luftinnhold [%]	2,0	-				
<b>Tilsetningsstoff</b>	% av C	% av S				
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
<b>Fiber</b>	Vol %					
Stålfiber	0,0					
PP-fiber	0,0					
<b>Matriks</b>	Verdi					
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300					
Oppnådd matriksvolum** [l/m <sup>3</sup> ]	301					
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	294					
v/p	0,43					



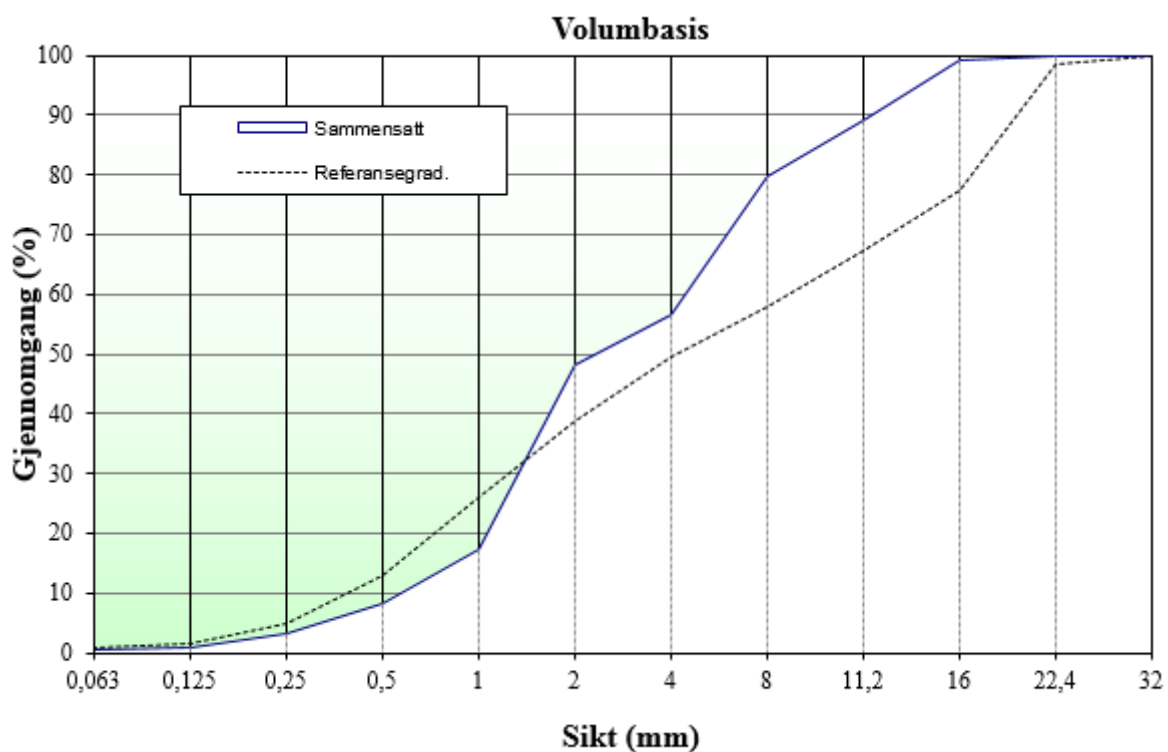
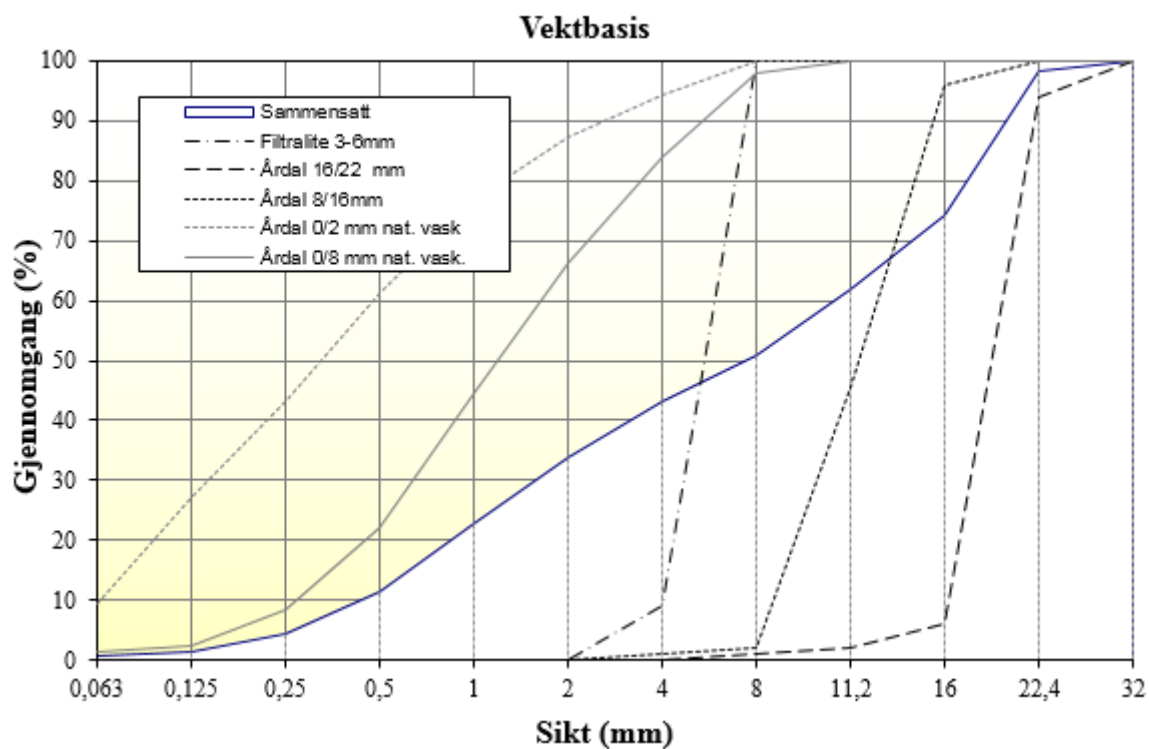
Materiale	Densitet * [kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff [%]	Alkalier [%]	Klorider [%]
Norcem Standard FA	2950	-	0,00	0,00
Elkem Microsilica	2200	50	0,00	0,00
	2650	100	0,00	0,00
Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0,00	0,00
	1100	0	0,00	0,00
	1200	0	0,00	0,00
	1000	0	0,00	0,00
Stålfiber	7800	-	-	-
PP-fiber	1000	-	-	-

\*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørrestoff. For TSS oppgis våt densitet.

**Tilpass matriksvolum; Ctrl M		Sett "Oppnådd" lik "Ønsket"; Ctrl N		***Nullstill korreksjon; Ctrl K		
<b>Proporsjonert betong</b>		<b>Ønsket Oppnådd</b>		<b>Fersk betong</b>		<b>Volumkorreksjon***</b>
<b>Materialer</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>kg</b>	<b>kg</b>	<b>Egenskap</b>	<b>Ønsket volum</b>	<b>korr.luft</b>
Norcem Standard FA	373,2	3,7	373,2	Ønsket volum	10,0	0,0
Elkem Microsilica	0,0	0,0	0,0	Innveid volum (l)	1000,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	Luftinnhold (%)	2,0	0,0
Fritt vann	167,9	1,7	167,9	Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	1948	0,0
Absorbert vann	21,2	0,2	42,8	Effektivt v/(c+Σkp)	0,450	0,0
Årdal 0/8 mm nat. vask	672,2	6,7	545,0			0,0
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,0	0,0			0,0
Årdal 8/16mm	370,2	3,7	370,2			0,0
Årdal 16/22 mm	0,0	0,0	277,6	<b>Aggressiver</b>		0,0
Filtralite 3-6mm	110,3	1,1	84,8	Kloridinnhold [% av cem.]	0,00	0,0
Filtralite 0-1,5mm	101,5	1,0	86,4	Alkalier [kg/m <sup>3</sup> ]	0,00	0,0
	0,0	0,0	0,0	Andel reakt. bergarter [%]	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0			0,0
	0,0	0,0	0,0			0,0
	0,0	0,0	0,0			0,0
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00	0,00			0,0
	0,00	0,00	0,00			0,0
	0,00	0,00	0,00			0,0
	0,00	0,00	0,00			0,0
Stålfiber	0,0	0,0	0,0			0,0
PP-fiber	0,0	0,0	0,0			0,0
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	1816					0,0

### Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,370	0,513	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,200	0,221	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,266	ok
V	Filtralite 3-6mm	825	10,0	0,0	0,00	0,195	0,000	ok
VI	Filtralite 0-1,5mm	630	10,0	0,0	0,00	0,235	0,000	ok
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
<b>Sammensatt</b>		<b>2674</b>		<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	



## Vedlegg J2: Lettbetong med teoretisk densitet på 1750 kg/m<sup>3</sup> 10% absorbert fukt

### Proporsjonering av betong SKANSKA

Initialparametre			Verdi	k
v/(c+Σkp)			0,45	-
s/c (silikastøv) [%]			0,0	1,00
f/c (filler, flyveaske) [%]			0,0	0,00
Luftinnhold [%]			2,0	-
Tilsetningsstoff		% av C	% av S	
Sika Viscocrete FB-2		0,00	0,00	
		0,00	0,00	
		0,00	0,00	
		0,00	0,00	
Fiber		Vol %		
Stålfiber		0,0		
PP-fiber		0,0		
Matraks		Verdi		
Ønsket matrivolum [l/m <sup>3</sup> ]		300		
Oppnådd matrivolum** [l/m <sup>3</sup> ]		296		
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]		291		
v/p		0,43		



Utført av	Firma	Dato
Sverre Smeplass	Skanska Norge AS, Betongavd.	12.11.2008

Materiale	Densitet* [kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff [%]	Alkalier [%]	Klorider [%]
Norcem Standard FA	2950	-	0,00	0,00
Elkem Microsilica	2200	50	0,00	0,00
	2650	100	0,00	0,00
Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0,00	0,00
	1100	0	0,00	0,00
	1200	0	0,00	0,00
	1000	0	0,00	0,00
Stålfiber	7800	-	-	-
PP-fiber	1000	-	-	-

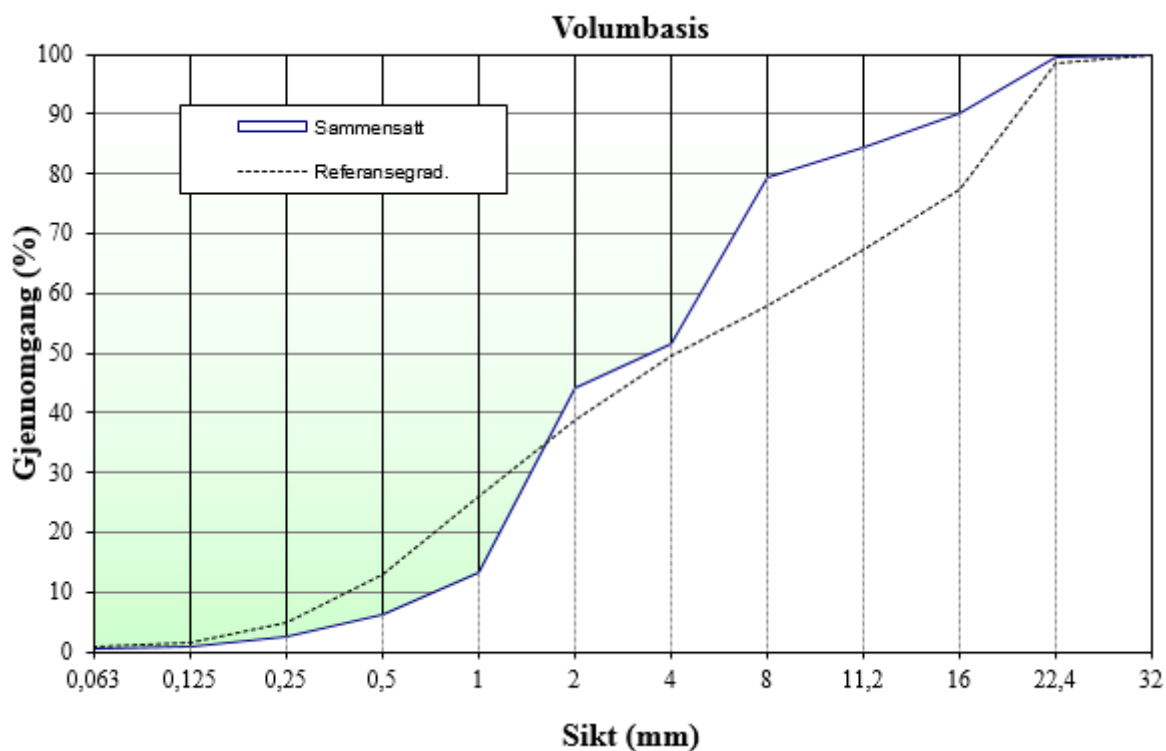
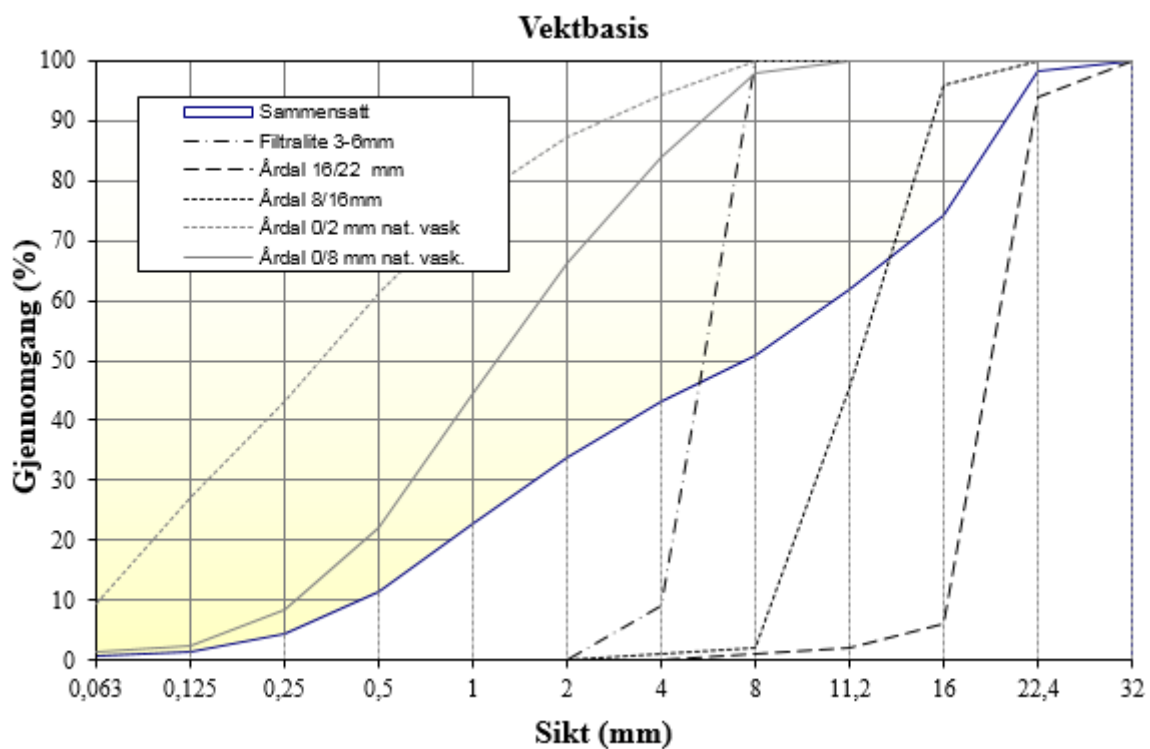
\*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørrestoff. For TSS oppgis våt densitet.

Proporsjonert betong		Ønsket Oppnådd		Fersk betong		Volumkorreksjon***		
Materialer	kg/m <sup>3</sup>	kg	kg	Egenskap	korr.luft	korr.dens	Korrigert	
Norcem Standard FA	368,9	3,7	304,0	Ønsket volum	0,0	0,3	303,7	
Elkem Microsilica	0,0	0,0	6,1	Innveid volum (l)	0,0	0,0	6,1	
	0,0	0,0	0,0	Luftinnhold (%)	0,0	0,0	0,0	
Fritt vann	166,0	1,7	173,6	Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	0,0	0,2	175,2	
Absorbert vann	25,8	0,3	0,0	Effektivt v/(c+Σkp)	0,0	0,0	0,0	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	511,2	5,1	1087,1		0,0	1,1	1086,3	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Årdal 8/16mm	195,3	2,0	343,0		0,0	0,4	342,8	
Årdal 16/22 mm	186,0	1,9	440,1		0,0	0,5	439,8	
Filtralite 3-6mm	147,8	1,5	0,0		0,0	0,0	0,0	
Filtralite 0-1,5mm	110,7	1,1	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00	2,13		0,0	0,0	2,13	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
Stålfiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
PP-fiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	1712				0,0	2,4	2354	

### Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,280	0,513	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,105	0,221	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,100	0,266	ok
V	Filtralite 3-6mm	825	10,0	0,0	0,00	0,260	0,000	ok
VI	Filtralite 0-1,5mm	630	10,0	0,0	0,00	0,255	0,000	ok
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
<b>Sammensatt</b>		<b>2674</b>		<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	





## Vedlegg J3: Lettbetong med teoretisk densitet på 1600 kg/m<sup>3</sup> 10% absorbert fukt

### Proporsjonering av betong SKANSKA

Initialparametre			Verdi	k
v/(c+Σkp)			0,45	-
s/c (silikastøv) [%]			0,0	1,00
f/c (filler, flyveaske) [%]			0,0	0,00
Luftinnhold [%]			2,0	-
Tilsetningsstoff		% av C	% av S	
Sika Viscocrete FB-2		0,00	0,00	
		0,00	0,00	
		0,00	0,00	
		0,00	0,00	
Fiber		Vol %		
Stålfiber		0,0		
PP-fiber		0,0		
Matris		Verdi		
Ønsket matrisvolum [l/m <sup>3</sup> ]		300		
Oppnådd matrisvolum** [l/m <sup>3</sup> ]		296		
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]		291		
v/p		0,43		



Utført av	Firma	Dato
Sverre Smeplass	Skanska Norge AS, Betongavd.	12.11.2008

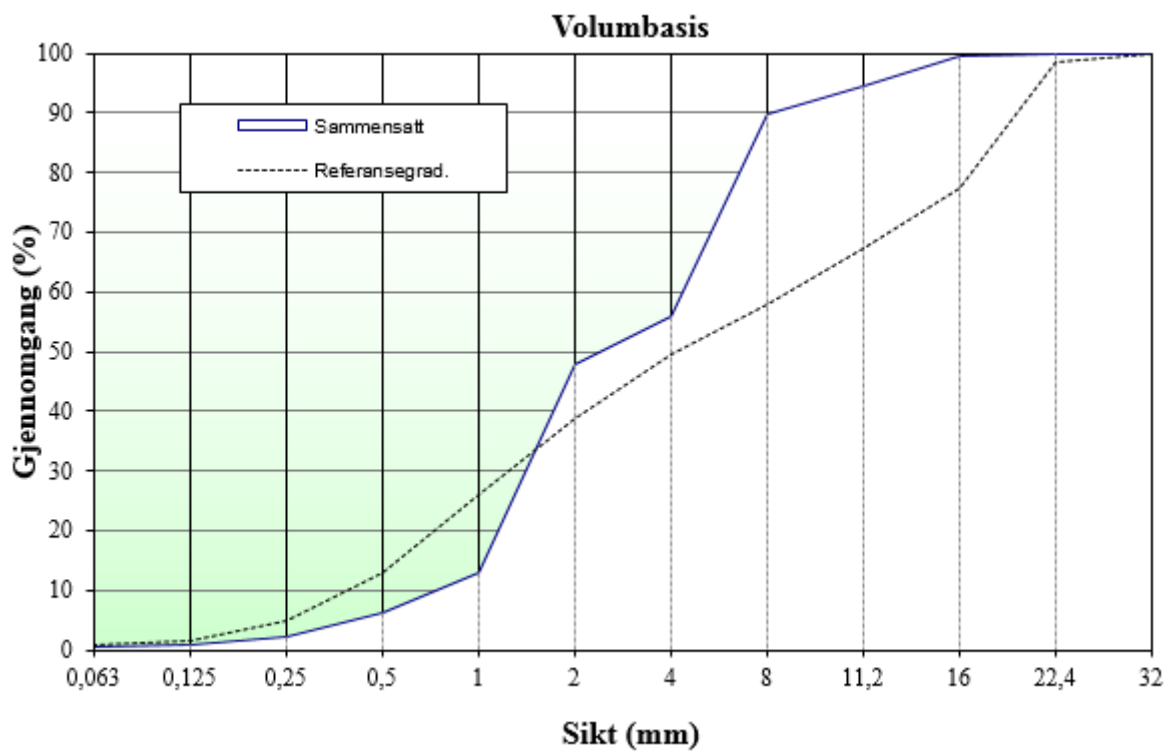
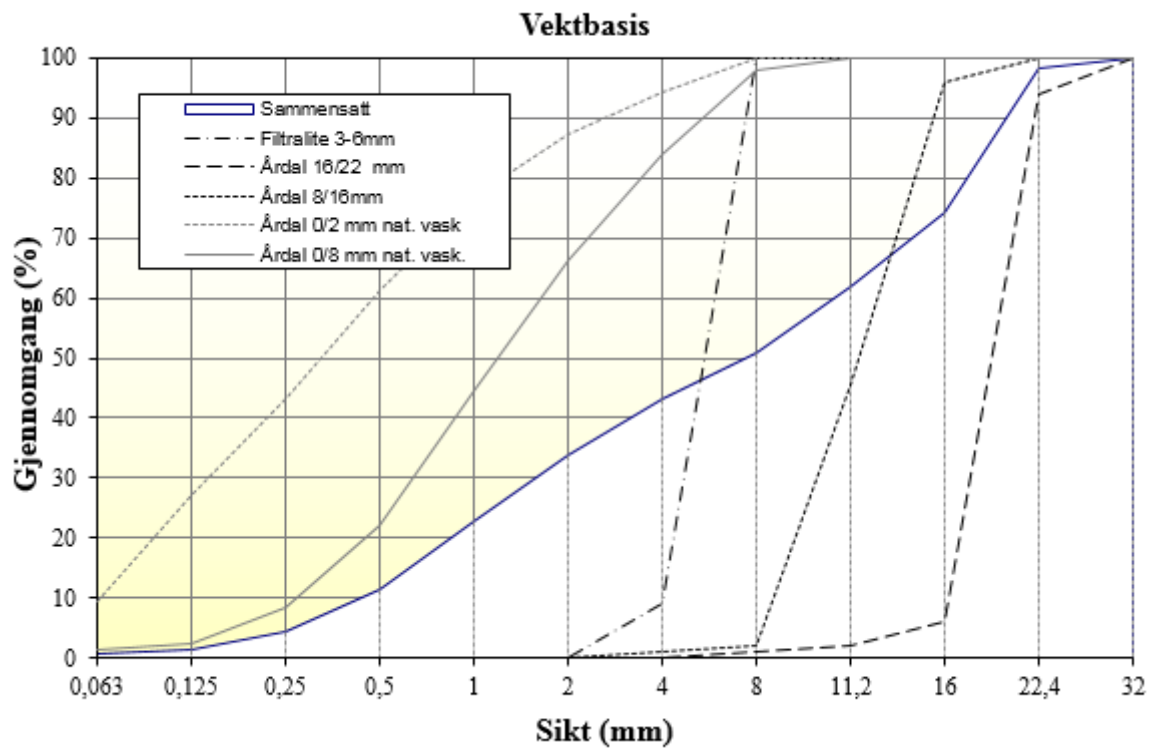
Materiale	Densitet * [kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff [%]	Alkalier [%]	Klorider [%]
Norcem Standard FA	2950	-	0,00	0,00
Elkem Microsilica	2200	50	0,00	0,00
	2650	100	0,00	0,00
Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0,00	0,00
	1100	0	0,00	0,00
	1200	0	0,00	0,00
	1000	0	0,00	0,00
Stålfiber	7800	-	-	-
PP-fiber	1000	-	-	-

\*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørrestoff. For TSS oppgis våt densitet.

Proporsjonert betong		Ønsket Oppnådd		Fersk betong		Volumkorreksjon***		
Materialer	kg/m <sup>3</sup>	kg	kg	Egenskap	korr.luft	korr.dens	Korrigert	
Norcem Standard FA	368,9	3,7	304,0	Ønsket volum	0,0	0,3	303,7	
Elkem Microsilica	0,0	0,0	6,1	Innveid volum (l)	0,0	0,0	6,1	
	0,0	0,0	0,0	Luftinnhold (%)	0,0	0,0	0,0	
Fritt vann	166,0	1,7	173,6	Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	0,0	0,2	175,2	
Absorbert vann	31,8	0,3	0,0	Effektivt v/(c+Σkp)	0,0	0,0	0,0	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	492,9	4,9	1087,1		0,0	1,1	1086,3	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Årdal 8/16mm	186,0	1,9	343,0		0,0	0,4	342,8	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,0	440,1		0,0	0,5	439,8	
Filtralite 3-6mm	187,6	1,9	0,0		0,0	0,0	0,0	
Filtralite 0-1,5mm	130,2	1,3	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00	2,13		0,0	0,0	2,13	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
Stålfiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
PP-fiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	1563				0,0	2,4	2354	


### Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,270	0,513	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,100	0,221	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,266	ok
V	Filtralite 3-6mm	825	10,0	0,0	0,00	0,330	0,000	
VI	Filtralite 0-1,5mm	630	10,0	0,0	0,00	0,300	0,000	
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
<b>Sammensatt</b>		<b>2674</b>		<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	



## Vedlegg J4: Lettbetong med teoretisk densitet på 1400 kg/m<sup>3</sup> 10% absorbert fukt

Proporsjonering av betong			Prosj.id.: Navn på serie / blandingnummer		SKANSKA	
© 2008-11-12 zz						
<b>Initialparametre</b>	<b>Verdi</b>	<b>k</b>				
v/(c+Σkp)	0,45	-				
s/c (silikastøv) [%]	0,0	1,00				
f/c (filler, flyveaske) [%]	0,0	0,00				
Luftinnhold [%]	2,0	-				
<b>Tilsetningsstoff</b>	<b>% av C</b>	<b>% av S</b>				
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
<b>Fiber</b>	<b>Vol %</b>					
Stålfiber	0,0					
PP-fiber	0,0					
<b>Matriks</b>	<b>Verdi</b>					
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300					
Oppnådd matriksvolum** [l/m <sup>3</sup> ]	295					
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	291					
v/p	0,44					



Utført av	Firma	Dato
Sverre Smeplass	Skanska Norge AS, Betongavd.	12.11.2008

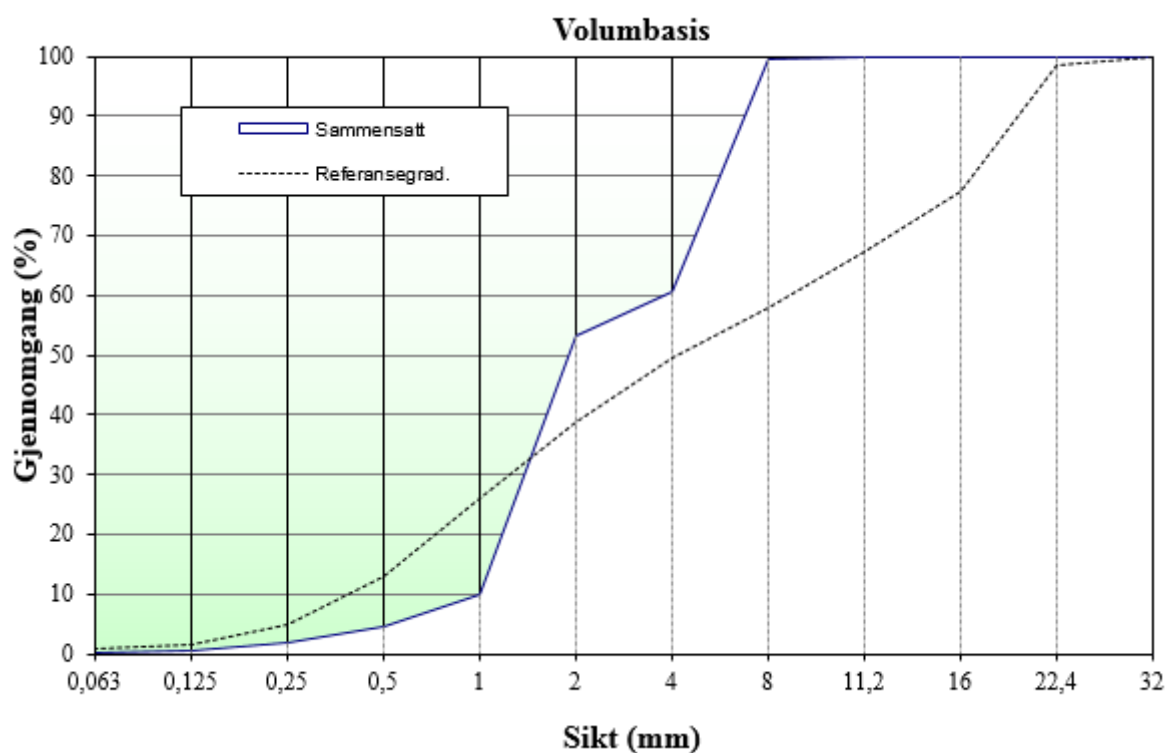
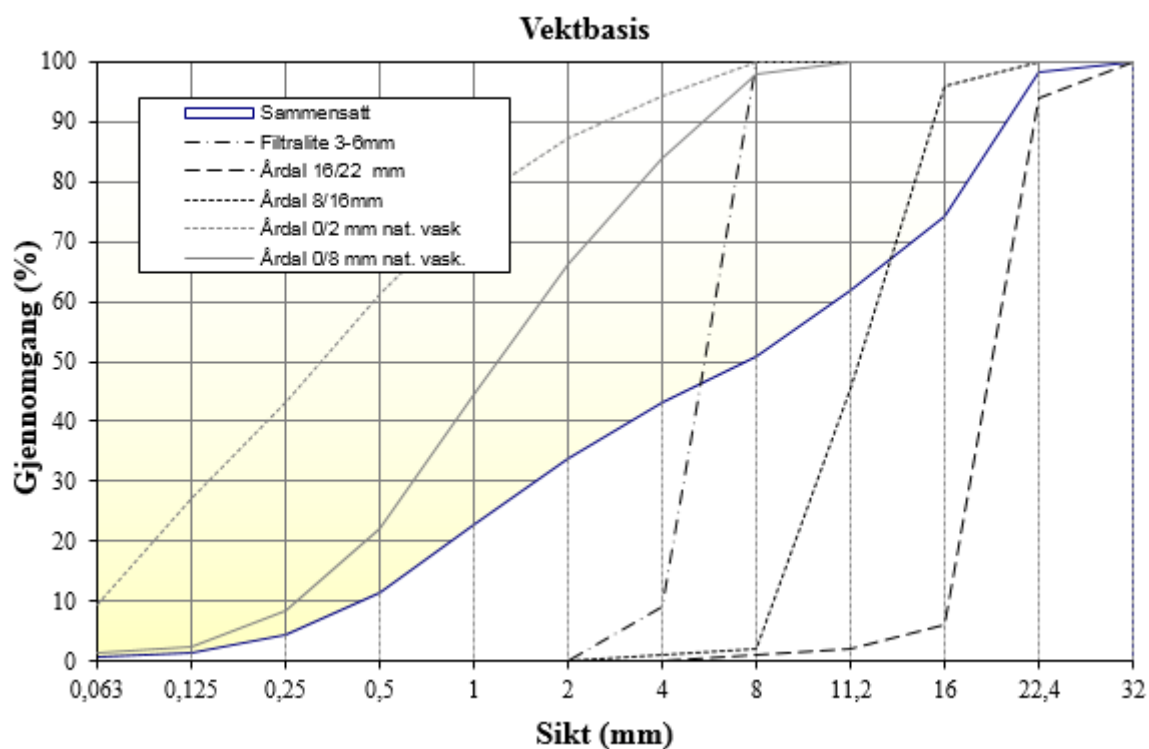
Materiale	Densitet * [kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff [%]	Alkalier [%]	Klorider [%]
Norcem Standard FA	2950	-	0,00	0,00
Elkem Microsilica	2200	50	0,00	0,00
	2650	100	0,00	0,00
Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0,00	0,00
	1100	0	0,00	0,00
	1200	0	0,00	0,00
	1000	0	0,00	0,00
Stålfiber	7800	-	-	-
PP-fiber	1000	-	-	-

\*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørrestoff. For TSS oppgis våt densitet.

Proporsjonert betong		Ønsket Oppnådd		Fersk betong		Volumkorreksjon***		
<b>Materialer</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>kg</b>	<b>kg</b>	<b>Egenskap</b>	<b>korr.luft</b>	<b>korr.dens</b>	<b>Korrigert</b>	
Norcem Standard FA	368,9	22,1	304,0	Ønsket volum	0,0	0,3	303,7	
Elkem Microsilica	0,0	0,0	6,1	Innveid volum (l)	0,0	0,0	6,1	
	0,0	0,0	0,0	Luftinnhold (%)	0,0	0,0	0,0	
Fritt vann	166,0	10,0	173,6	Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	0,0	0,2	175,2	
Absorbert vann	40,1	2,4	0,0	Effektivt v/(c+Σkp)	0,0	0,0	0,0	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	365,1	21,9	1087,1		0,0	1,1	1086,3	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Årdal 8/16mm	0,0	0,0	343,0		0,0	0,4	342,8	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,0	440,1		0,0	0,5	439,8	
Filtralite 3-6mm	227,4	13,6	0,0	<b>Aggressiver</b>	0,0	0,0	0,0	
Filtralite 0-1,5mm	173,6	10,4	0,0	Kloridinnhold [% av cem.]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Alkalier [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Andel reakt. bergarter [%]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00	2,13		0,0	0,0	2,13	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
Stålfiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
PP-fiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	1341				0,0	2,4	2354	


### Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,200	0,513	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,221	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,266	ok
V	Filtralite 3-6mm	825	10,0	0,0	0,00	0,400	0,000	ok
VI	Filtralite 0-1,5mm	630	10,0	0,0	0,00	0,400	0,000	ok
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
<b>Sammensatt</b>		<b>2674</b>		<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	



## Vedlegg J5: Lettbetong med teoretisk densitet på 1150 kg/m<sup>3</sup> 10% absorbert fukt

Proporsjonering av betong			Prosj.id.: Navn på serie / blandingnummer	SKANSKA
©2008-11-12 zz				
<b>Initialparametre</b>	Verdi	k		
w/(c+Σkp)	0,45	-		
s/c (silikastøv) [%]	0,0	1,00		
f/c (filler, flyveaske) [%]	0,0	0,00		
Luftinnhold [%]	2,0	-		
<b>Tilsetningsstoff</b>	% av C	% av S		
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00		
	0,00	0,00		
	0,00	0,00		
	0,00	0,00		
<b>Fiber</b>	Vol %			
Stålfiber	0,0			
PP-fiber	0,0			
<b>Matriks</b>	Verdi			
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300			
Oppnådd matriksvolum** [l/m <sup>3</sup> ]	292			
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	291			
w/p	0,44			



Utført av	Firma	Dato
Sverre Smeplass	Skanska Norge AS, Betongavd.	12.11.2008

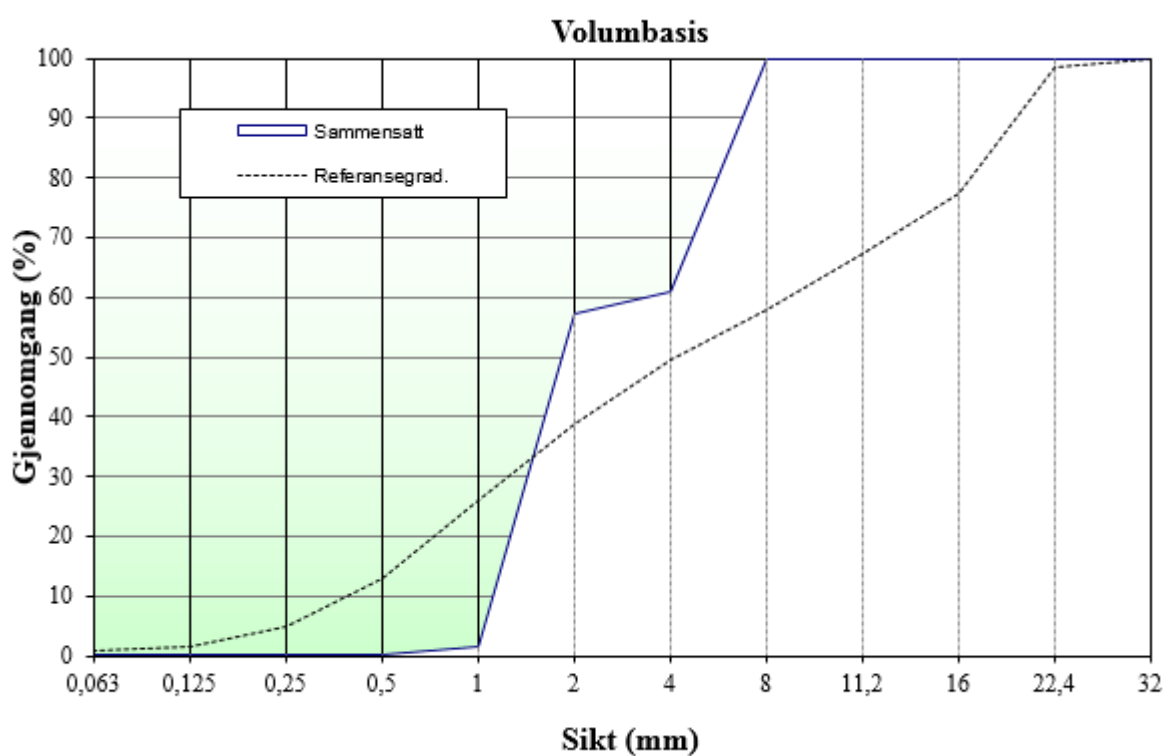
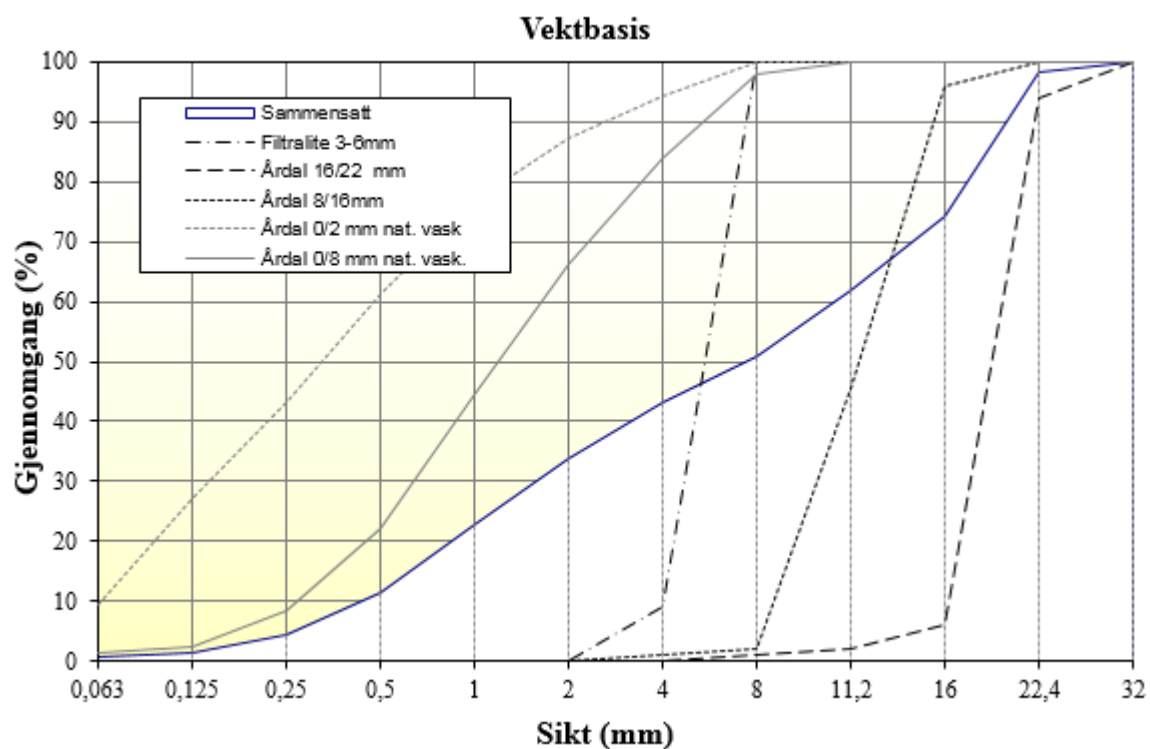
Materiale	Densitet* [kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff [%]	Alkalier [%]	Klorider [%]
Norcem Standard FA	2950	-	0,00	0,00
Elkem Microsilica	2200	50	0,00	0,00
	2650	100	0,00	0,00
Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0,00	0,00
	1100	0	0,00	0,00
	1200	0	0,00	0,00
	1000	0	0,00	0,00
Stålfiber	7800	-	-	-
PP-fiber	1000	-	-	-

\*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørrestoff. For TSS oppgis våt densitet.

Proporsjonert betong		Ønsket Oppnådd		Fersk betong		Volumkorleksjon***		
<b>Materiale</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>kg</b>	<b>kg</b>	<b>Egenskap</b>	<b>korr.luft</b>	<b>korr.dens</b>	<b>Korrigert</b>	
Norcem Standard FA	368,9	3,7	304,0	Ønsket volum	0,0	0,3	303,7	
Elkem Microsilica	0,0	0,0	6,1	Innveid volum (l)	0,0	0,0	6,1	
	0,0	0,0	0,0	Luftinnhold (%)	0,0	0,0	0,0	
Fritt vann	166,0	1,7	173,6	Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	0,0	0,2	175,2	
Absorbert vann	49,2	0,5	0,0	Effektivt w/(c+Σkp)	0,0	0,0	0,0	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	0,0	0,0	1087,1		0,0	1,1	1086,3	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Årdal 8/16mm	0,0	0,0	343,0		0,0	0,4	342,8	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,0	440,1		0,0	0,5	439,8	
Filtralite 3-6mm	244,4	2,4	0,0	<b>Aggressiver</b>	0,0	0,0	0,0	
Filtralite 0-1,5mm	247,4	2,5	0,0	Kloridinnhold [% av cem.]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Alkalier [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Andel reakt. bergarter [%]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00	2,13		0,0	0,0	2,13	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
Stålfiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
PP-fiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	1076				0,0	2,4	2354	

## Sammensatt tilslag


Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,513	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,221	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,266	ok
V	Filtralite 3-6mm	825	10,0	0,0	0,00	0,430	0,000	ok
VI	Filtralite 0-1,5mm	630	10,0	0,0	0,00	0,570	0,000	ok
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
<b>Sammensatt</b>		<b>2674</b>		<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	





## Vedlegg K1: Lettbetong med teoretisk densitet på 1850 kg/m<sup>3</sup> 25% absorbert fukt

Proporsjonering av betong			Prosj.id.: Navn på serie / blandingnummer		SKANSKA	
© 2008-11-12 zz						
<b>Initialparametre</b>	Verdi	k				
w/(c+Σkp)	0,45	-				
s/c (silikastøv) [%]	0,0	1,00				
f/c (filler, flyveaske) [%]	0,0	0,00				
Luftinnhold [%]	2,0	-				
<b>Tilsetningsstoff</b>	% av C	% av S				
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
<b>Fiber</b>	Vol %					
Stålfiber	0,0					
PP-fiber	0,0					
<b>Matriks</b>	Verdi					
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300					
Oppnådd matriksvolum** [l/m <sup>3</sup> ]	301					
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	294					
w/p	0,43					



Utført av	Firma	Dato
Sverre Smeplass	Skanska Norge AS, Betongavd.	12.11.2008

Materiale	Densitet * [kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff [%]	Alkalier [%]	Klorider [%]
Norcem Standard FA	2950	-	0,00	0,00
Elkem Microsilica	2200	50	0,00	0,00
	2650	100	0,00	0,00
Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0,00	0,00
	1100	0	0,00	0,00
	1200	0	0,00	0,00
	1000	0	0,00	0,00
Stålfiber	7800	-	-	-
PP-fiber	1000	-	-	-

\*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørrestoff. For TSS oppgis våt densitet.


Proporsjonert betong		Ønsket Oppnådd		Fersk betong		Volumkorleksjon***		
<b>Materialer</b>	kg/m <sup>3</sup>	kg	kg	<b>Egenskap</b>		korrluft	korrdens	Korrigert
Norcem Standard FA	373,2	14,9	373,2	Ønsket volum	40,0	0,0	0,0	373,2
Elkem Microsilica	0,0	0,0	0,0	Innveid volum (l)	1000,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	Luftinnhold (%)	2,0	0,0	0,0	0,0
Fritt vann	167,9	6,7	167,9	Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	1948	0,0	0,0	167,9
Absorbert vann	52,9	2,1	42,8	Effektivt w/(c+Σkp)	0,450	0,0	0,0	42,8
Årdal 0/8 mm nat. vask.	672,2	26,9	545,0			0,0	0,0	545,0
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0
Årdal 8/16mm	370,2	14,8	370,2			0,0	0,0	370,2
Årdal 16/22 mm	0,0	0,0	277,6	<b>Aggressiver</b>		0,0	0,0	277,6
Filtralite 3-6mm	110,3	4,4	84,8	Kloridinnhold [% av cem.]	0,00	0,0	0,0	84,8
Filtralite 0-1,5mm	101,5	4,1	86,4	Alkalier [kg/m <sup>3</sup> ]	0,00	0,0	0,0	86,4
	0,0	0,0	0,0	Andel reakt. bergarter [%]	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00	0,00			0,0	0,0	0,00
	0,00	0,00	0,00			0,0	0,0	0,00
	0,00	0,00	0,00			0,0	0,0	0,00
	0,00	0,00	0,00			0,0	0,0	0,00
Stålfiber	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0
PP-fiber	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	1848					0,0	0,0	1948

### Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,370	0,513	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,200	0,221	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,266	ok
V	Filtralite 3-6mm	825	25,0	0,0	0,00	0,195	0,000	ok
VI	Filtralite 0-1,5mm	630	25,0	0,0	0,00	0,235	0,000	ok
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
<b>Sammensatt</b>		<b>2674</b>		<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	

## Vedlegg K2: Lettbetong med teoretisk densitet på 1750 kg/m<sup>3</sup> 25% absorbert fukt

Proporsjonering av betong			Prosj.fid.: Navn på serie / blandingsnummer			SKANSKA		
© 2008-11-12 zz								
<b>Initialparametre</b>	<b>Verdi</b>	<b>k</b>						
v/(c+Σkp)	0,45	-						
s/c (silikastøv) [%]	0,0	1,00						
f/c (filler, flyveaske) [%]	0,0	0,00						
Luftinnhold [%]	2,0	-						
<b>Tilsetningsstoff</b>	<b>% av C</b>	<b>% av S</b>						
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00						
	0,00	0,00						
	0,00	0,00						
	0,00	0,00						
<b>Fiber</b>	<b>Vol %</b>							
Stålfiber	0,0							
PP-fiber	0,0							
<b>Matriks</b>	<b>Verdi</b>							
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300							
Oppnådd matriksvolum** [l/m <sup>3</sup> ]	296							
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	291							
v/p	0,43							



Utført av	Firma	Dato
Sverre Smeplass	Skanska Norge AS, Betongavd.	12.11.2008

Materiale	Densitet * [kg/m <sup>3</sup> ]	Tørstoff [%]	Alkalier [%]	Klorider [%]
Norcem Standard FA	2950	-	0,00	0,00
Elkem Microsilica	2200	50	0,00	0,00
	2650	100	0,00	0,00
Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0,00	0,00
	1100	0	0,00	0,00
	1200	0	0,00	0,00
	1000	0	0,00	0,00
Stålfiber	7800	-	-	-
PP-fiber	1000	-	-	-

\*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørstoff. For TSS oppgis våt densitet.

\*\*Tilpass matriksvolum; Ctrl M

Sett "Oppnådd" lik "Ønsket"; Ctrl N

\*\*\*Nullstill korreksjon; Ctrl K

### Proporsjonert betong

Materialer	kg/m <sup>3</sup>
Norcem Standard FA	368,9
Elkem Microsilica	0,0
	0,0
Fritt vann	166,0
Absorbert vann	64,6
Årdal 0/8 mm nat. vask.	511,2
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0
Årdal 8/16mm	195,3
Årdal 16/22 mm	186,0
Filtralite 3-6mm	147,8
Filtralite 0-1,5mm	110,7
	0,0
	0,0
	0,0
Sika Viscocrete FB-2	0,00
	0,00
	0,00
	0,00
Stålfiber	0,0
PP-fiber	0,0
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	1751

### Ønsket Oppnådd

kg	kg
14,8	304,0
0,0	6,1
0,0	0,0
6,6	173,6
2,6	0,0
20,4	1087,1
0,0	0,0
7,8	343,0
7,4	440,1
5,9	0,0
4,4	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,00	2,13
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,0	0,0
0,0	0,0
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	1751

### Fersk betong

Egenskap	
Ønsket volum	40,0
Innveid volum (l)	1001,8
Luftinnhold (%)	2,0
Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	2354
Effektivt v/(c+Σkp)	0,566

Aggressiver	
Kloridinnhold [% av cem.]	0,00
Alkalier [kg/m <sup>3</sup> ]	0,00
Andel reakt. bergarter [%]	0,0

### Volumkorreksjon\*\*\*

korr.luft	korr.dens	Korrigert
0,0	0,3	303,7
0,0	0,0	6,1
0,0	0,0	0,0
0,0	0,2	175,2
0,0	0,0	0,0
0,0	1,1	1086,3
0,0	0,0	0,0
0,0	0,4	342,8
0,0	0,5	439,8
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	2,13
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	2,4	2354

## Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,280	0,513	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,105	0,221	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,100	0,266	ok
V	Filtralite 3-6mm	825	25,0	0,0	0,00	0,260	0,000	ok
VI	Filtralite 0-1,5mm	630	25,0	0,0	0,00	0,255	0,000	ok
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
<b>Sammensatt</b>		<b>2674</b>		<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	

## Vedlegg K3: Lettbetong med teoretisk densitet på 1600 kg/m<sup>3</sup> 25% absorbert fukt

**Proporsjonering av betong** Prosj./id.: Navn på serie / blandingnummer **SKANSKA**

© 2008-11-12 22

Initialparametre	Verdi	k
v/(c+Σkp)	0,45	-
s/c (silikastøv) [%]	0,0	1,00
f/c (filler, flyveaske) [%]	0,0	0,00
Luftinnhold [%]	2,0	-
Tilsetningsstoff	% av C	% av S
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00
	0,00	0,00
	0,00	0,00
	0,00	0,00
Fiber	Vol %	
Stålfiber	0,0	
PP-fiber	0,0	
Matriks	Verdi	
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300	
Oppnådd matriksvolum** [l/m <sup>3</sup> ]	296	
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	291	
w/p	0,43	



Utført av	Firma	Dato
Sverre Smeplass	Skanska Norge AS, Betongavd.	12.11.2008

Materiale	Densitet * [kg/m <sup>3</sup> ]	Tørstoff [%]	Alkalier [%]	Klorider [%]
Norcem Standard FA	2950	-	0,00	0,00
Elkem Microsilica	2200	50	0,00	0,00
	2650	100	0,00	0,00
Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0,00	0,00
	1100	0	0,00	0,00
	1200	0	0,00	0,00
	1000	0	0,00	0,00
Stålfiber	7800	-	-	-
PP-fiber	1000	-	-	-

\*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørstoff. For TSS oppgis våt densitet.

\*\*Tilpass matriksvolum; Ctrl M

Sett "Oppnådd" lik "Ønsket"; Ctrl N

\*\*\*Nullstill korreksjon; Ctrl K

### Proporsjonert betong

Materialer	kg/m <sup>3</sup>
Norcem Standard FA	368,9
Elkem Microsilica	0,0
Fritt vann	166,0
Absorbert vann	79,4
Årdal 0/8 mm nat. vask.	492,9
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0
Årdal 8/16mm	186,0
Årdal 16/22 mm	0,0
Filtralite 3-6mm	187,6
Filtralite 0-1,5mm	130,2
	0,0
	0,0
	0,0
	0,0
Sika Viscocrete FB-2	0,00
	0,00
	0,00
	0,00
Stålfiber	0,0
PP-fiber	0,0
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	1611

### Ønsket Oppnådd

kg	kg
14,8	304,0
0,0	6,1
0,0	0,0
6,6	173,6
3,2	0,0
19,7	1087,1
0,0	0,0
7,4	343,0
0,0	440,1
7,5	0,0
5,2	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	0,0
0,0	2,13
0,0	0,00
0,0	0,00
0,0	0,00
0,0	0,00
0,0	0,00
0,0	0,00
0,0	0,00
0,0	0,00

### Fersk betong

Egenskap	
Ønsket volum	40,0
Innveid volum (l)	1001,8
Luftinnhold (%)	2,0
Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	2354
Effektivt v/(c+Σkp)	0,566

### Aggressiver

Kloridinnhold [% av cem.]	0,00
Alkalier [kg/m <sup>3</sup> ]	0,00
Andel reakt. bergarter [%]	0,0

### Volumkorreksjon\*\*\*

korr.luft	korr.dens	Korrigert
0,0	0,3	303,7
0,0	0,0	6,1
0,0	0,0	0,0
0,0	0,2	175,2
0,0	1,1	1086,3
0,0	0,0	0,0
0,0	0,4	342,8
0,0	0,5	439,8
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	2,13
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,00
0,0	2,4	2354

## Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,270	0,513	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,100	0,221	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,266	ok
V	Filtralite 3-6mm	825	25,0	0,0	0,00	0,330	0,000	
VI	Filtralite 0-1,5mm	630	25,0	0,0	0,00	0,300	0,000	
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
<b>Sammensatt</b>		<b>2674</b>		<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	

## Vedlegg K4: Lettbetong med teoretisk densitet på 1400 kg/m<sup>3</sup> 25% absorbert fukt

### Proporsjonering av betong SKANSKA

© 2008-11-12 22			Prosj.fid.: <i>Navn på serie / blandsingsnummer</i>					
<b>Initialparametre</b>	<b>Verdi</b>	<b>k</b>	<b>Utført av</b>	<b>Firma</b>	<b>Dato</b>			
v/(c+Σkp)	0,45	-	Sverre Smeplass	Skanska Norge AS, Betongavd.	12.11.2008			
s/c (silikastøv) [%]	0,0	1,00						
f/c (filler, flyveaske) [%]	0,0	0,00						
Luftinnhold [%]	2,0	-						
<b>Tilsetningsstoff</b>	<b>% av C</b>	<b>% av S</b>						
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00						
	0,00	0,00						
	0,00	0,00						
	0,00	0,00						
<b>Fiber</b>	<b>Vol %</b>							
Stålfiber	0,0							
PP-fiber	0,0							
<b>Matriks</b>	<b>Verdi</b>							
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300							
Oppnådd matriksvolum** [l/m <sup>3</sup> ]	295							
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	291							
v/p	0,44							



<b>Materiale</b>	<b>Densitet * [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Tørstoff [%]</b>	<b>Alkalier [%]</b>	<b>Klorider [%]</b>
Norcem Standard FA	2950	-	0,00	0,00
Elkem Microsilica	2200	50	0,00	0,00
	2650	100	0,00	0,00
Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0,00	0,00
	1100	0	0,00	0,00
	1200	0	0,00	0,00
	1000	0	0,00	0,00
Stålfiber	7800	-	-	-
PP-fiber	1000	-	-	-

\*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørstoff. For TSS oppgis våt densitet.

\*\*Tilpass matriksvolum; Ctrl M

Sett "Oppnådd" lik "Ønsket"; Ctrl N

\*\*\*Nullstill korreksjon; Ctrl K


<b>Proporsjonert betong</b>		<b>Ønsket Oppnådd</b>		<b>Fersk betong</b>		<b>Volumkorreksjon***</b>		
<b>Materiale</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>kg</b>	<b>kg</b>	<b>Egenskap</b>	<b>korr.luft</b>	<b>korr.dens</b>	<b>Korrigert</b>	
Norcem Standard FA	368,9	14,8	304,0	Ønsket volum	0,0	0,3	303,7	
Elkem Microsilica	0,0	0,0	6,1	Innveid volum (l)	0,0	0,0	6,1	
	0,0	0,0	0,0	Luftinnhold (%)	0,0	0,0	0,0	
Fritt vann	166,0	6,6	173,6	Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	0,0	0,2	175,2	
Absorbert vann	100,2	4,0	0,0	Effektivt v/(c+Σkp)	0,0	0,0	0,0	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	365,1	14,6	1087,1		0,0	1,1	1086,3	
Årdal 0/2 mm nat. vask.	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Årdal 8/16mm	0,0	0,0	343,0		0,0	0,4	342,8	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,0	440,1		0,0	0,5	439,8	
Filtralite 3-6mm	227,4	9,1	0,0	<b>Aggressiver</b>	0,0	0,0	0,0	
Filtralite 0-1,5mm	173,6	6,9	0,0	Kloridinnhold [% av cem.]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Alkalier [kg/m <sup>3</sup> ]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0	Andel reakt. bergarter [%]	0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00	2,13		0,0	0,0	2,13	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
Stålfiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
PP-fiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	1401				0,0	2,4	2354	

### Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,200	0,513	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,221	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,266	ok
V	Filtralite 3-6mm	825	25,0	0,0	0,00	0,400	0,000	ok
VI	Filtralite 0-1,5mm	630	25,0	0,0	0,00	0,400	0,000	ok
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
<b>Sammensatt</b>		<b>2674</b>		<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	

## Vedlegg K5: Lettbetong med teoretisk densitet på 1150 kg/m<sup>3</sup> 25% absorbert fukt

Proporsjonering av betong			Prosj.fid.: Navn på serie / blandingsnummer		SKANSKA	
© 2008-11-12 22						
<b>Initialparametre</b>	<b>Verdi</b>	<b>k</b>				
v/(c+Σkp)	0,45	-				
s/c (silikastøv) [%]	0,0	1,00				
f/c (filler, flyveaske) [%]	0,0	0,00				
Luftinnhold [%]	2,0	-				
<b>Tilsetningsstoff</b>	<b>% av C</b>	<b>% av S</b>				
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
	0,00	0,00				
<b>Fiber</b>	<b>Vol %</b>					
Stålfiber	0,0					
PP-fiber	0,0					
<b>Matriks</b>	<b>Verdi</b>					
Ønsket matriksvolum [l/m <sup>3</sup> ]	300					
Oppnådd matriksvolum** [l/m <sup>3</sup> ]	292					
Volum sementlim [l/m <sup>3</sup> ]	291					
v/p	0,44					



Utført av	Firma	Dato
Sverre Smeplass	Skanska Norge AS, Betongavd.	12.11.2008

Materiale	Densitet * [kg/m <sup>3</sup> ]	Tørrestoff [%]	Alkalier [%]	Klorider [%]
Norcem Standard FA	2950	-	0,00	0,00
Elkem Microsilica	2200	50	0,00	0,00
	2650	100	0,00	0,00
Sika Viscocrete FB-2	1050	18	0,00	0,00
	1100	0	0,00	0,00
	1200	0	0,00	0,00
	1000	0	0,00	0,00
Stålfiber	7800	-	-	-
PP-fiber	1000	-	-	-

\*For sement, pozzolaner og fillere oppgis densitet av tørrestoff. For TSS oppgis våt densitet.

Proporsjonert betong		Ønsket Oppnådd		Fersk betong		Volumkorleksjon***		
<b>Materialer</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>kg</b>	<b>kg</b>	<b>Egenskap</b>	<b>korrluft</b>	<b>korrdens</b>	<b>Korrigert</b>	
Norcem Standard FA	368,9	14,8	304,0	Ønsket volum	0,0	0,3	303,7	
Elkem Microsilica	0,0	0,0	6,1	Innveid volum (l)	0,0	0,0	6,1	
	0,0	0,0	0,0	Luftinnhold (%)	0,0	0,0	0,0	
Fritt vann	166,0	6,6	173,6	Målt betongdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	0,0	0,2	175,2	
Absorbert vann	123,0	4,9	0,0	Effektivt v/(c+Σkp)	0,0	0,0	0,0	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	0,0	0,0	1087,1		0,0	1,1	1086,3	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Årdal 8/16mm	0,0	0,0	343,0		0,0	0,4	342,8	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,0	440,1		0,0	0,5	439,8	
Filtralite 3-6mm	244,4	9,8	0,0	<b>Aggressiver</b>	0,0	0,0	0,0	
Filtralite 0-1,5mm	247,4	9,9	0,0	Kloridinnhold [% av cem.]	0,00	0,00	0,00	
	0,0	0,0	0,0	Alkalier [kg/m <sup>3</sup> ]	0,00	0,00	0,00	
	0,0	0,0	0,0	Andel reakt. bergarter [%]	0,00	0,00	0,00	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Sika Viscocrete FB-2	0,00	0,00	2,13		0,0	0,0	2,13	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
	0,00	0,00	0,00		0,0	0,0	0,00	
Stålfiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
PP-fiber	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	1150				0,0	2,4	2354	

### Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,513	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vas	2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,221	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,266	ok
V	Filtralite 3-6mm	825	25,0	0,0	0,00	0,430	0,000	ok
VI	Filtralite 0-1,5mm	630	25,0	0,0	0,00	0,570	0,000	ok
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
<b>Sammensatt</b>		<b>2674</b>		<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	



Vedlegg L: Krantabell

Kran (t)	50	55	60	70	80	90	100	130	150	160	200	220	250	300	350	500
Bom (m)	11,4-38	10,2-40	10,4-40,2	10,4-40,5	10,9-50	11,1-51,2	11,9-50	12,7-60	12,6-56	13,6-2	12,4-67,8	13,3-60	14,7-57,9	15,6-80	14,9-70	16,1-50
Metvekt (t)	9,0	12,0	13,2	12,1	18,0	22,3	26,1	42,0	50,0	48,5	69,0	74,0	100,0	92,5	140,0	135,0
Langde (m)	11,5	11,4	11,8	12,9	14,1	13,1	13,1	14,8	14,9	15,0	14,7	15,3	14,7	17,6	16,9	21,4
Bredde (m)	2,5	2,6	2,6	2,8	2,8	2,8	2,6	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
3m	50	31	50	70	80	81,6	80	130	150	160	200	220	250	300	350	500
4m	41,3	43,5	41	51,2	59,3	69,3	69,3	96	99	104	136	140	181	169	169	325
5m	34,1	37	34,3	41	51	57,8	60,7	75	84	89	119	119	147	149	149	288
6m	29	31,5	29,8	34,5	42	50	53,5	67	71	79	104,5	105	123	132	132	238
7m	24,5	26	25,3	29,2	35	42,5	44,8	60	61	65	82,2	84	104	118	121	183
8m	16,8	21,2	20	25,2	29,6	36,6	38,4	53	53	56	79,7	84	90,5	105	108,2	163
9m	15,6	17,9	18,4	21,3	25,6	31,6	33,8	46,5	47	49,5	68,5	74	80	92,5	99,3	176
10m	13,4	15,2	15,5	18,7	22,1	26,7	30,7	40,5	42	43,5	62,7	67	71,5	82,5	90,9	161
12m	10,1	11,4	12,6	14,7	16,8	19,9	23,5	33	34	35	53	56	58,5	67	77,4	133
14m	7,8	9,3	9,9	11,4	13,8	17,2	19,6	27,7	28,8	29	44,6	47	50	56,5	67,2	113
16m	6,4	7,7	7,8	9,2	11,2	14	15,5	23,4	24,4	24,3	38	39,5	42,5	48,5	59,1	92
18m	5,4	6,5	6,8	7,6	9,2	11,7	13	20,1	20,9	20,7	33,1	33,5	35,5	41,5	51,2	80
20m	4,4	5,5	5,8	6,3	7,4	9,9	11,4	17,3	18,2	17,8	29,2	29,2	32,5	36	46,1	71
22m	3,7	4,7	4,9	5,3	6,4	8,5	9,6	15,2	15,7	15,5	23,3	23,6	26,1	32,5	41,4	63
24m	3,1	4,1	4,3	4,5	5,8	7,8	9,7	13,5	13,9	13,7	22,9	23	26	29	37,4	57
26m	2,7	3,4	3,2	3,7	5,2	6,9	7,5	12,7	12,7	12,2	19,7	19,7	23,3	28	33,2	50
28m	2,3	3	2,9	3,3	4,5	5,9	6,7	10,8	11,3	10,9	17,6	18,5	21	23,5	31	46
30m	1,9	2,5	2,7	3	3,9	5,3	6,1	9,7	9,7	9,7	15,7	16,7	18,2	22	28,4	42
32m	1,6	2	1,7	2,2	3,4	4,7	5,3	8,4	8,8	8,7	14,2	14,8	16,4	19,8	26,1	38,5
34m	1,4	1,7	1,4	1,8	2,8	4,2	4,7	7,7	8	7,8	13,6	13,6	14,8	17,9	24,1	35,5
36m		1,5	1,1	1,4	2,4	3,5	4,2	7,1	7	7,3	11,7	12,2	13,8	16,2	20,7	32
38m				1,2	2,1	3,1	3,4	6,1	6,5	6	10,7	11,2	12,8	15,3	18,3	30,5
40m					1,3	2,6	3	5,6	5,9	5,5	9,9	10,2	12	13,3	17,6	28,6
42m					1	2,3	2,4	5	5,2	5,4	9,2	9,4	11,2	12,4	14,7	24,9
44m						2,3	2,1	4,5	4,7	4,6	7,8	8,6	10,4	11,1	12,1	23,5
46m						1,4		4	3,9	4,3	7,5	7,7	9,6	10,1	11,6	18,2
48m						1,2		3,7	3,5	3,7	6,1	7,1	8,3	8,4	9,2	17
50m								3,3	3,2	3,4	5,9	6	7,7	8,9	8,8	
52m								2,9	2,9	2,6	4,8	5,5	7	8,5	8,5	
54m								2,2	1,6	2,3	4,8	5	7	8,9	8,9	
56m								1,9		2	3,7	4,6	6	7,7	8,5	
58m										1,7	2,9	4,6	6,1	7,4	8,4	
60m													5,9	7,4	8,4	
62m													5,4	7,1	8,1	
64m													5,2	6,8	7,8	
66m													4,1	5,6	6,6	
68m													3,9	5,4	6,4	
70m													2,6	3,9	4,9	

KRANTABELL

CraneNorway

## Vedlegg M: Miljøklassifisering av betong

### D14 BESTANDIGHET AV BETONGELEMENTKONSTRUKSJONER - MILJØ OG UTFØRELSE

99

Tabell D 14.4. Miljøklassifisering av betong.

Ekspone- rings- klasse	Beskrivelse av miljø	Eksempler på hvor eksponeringsklassene kan forekomme (informativt)
<b>1 Ingen risiko for korrosjon eller nedbrytning</b>		
X0	Betong uten armering eller innstøpt metall: Alle miljøer, unntatt der det er frysing/tining, slitasje eller kjemisk angrep. For betong med armering og innstøpt metall: meget tørt.	Betong inne i bygninger med meget lav luftfuktighet.
<b>2 Korrosjon fremkalt av karbonatisering</b>		
XC1	Tørt eller permanent vått	Betong inne i bygninger med lav luftfuktighet. Betong som permanent er neddykket i vann.
XC2	Vått, sjelden tørt	Betongoverflater i kontakt med vann over lengre tid. Fundamenter.
XC3	Moderat fuktighet	Betong inne i bygninger med moderat eller høy luftfuktighet. Utvendige konstruksjoner som er beskyttet mot regn.
XC4	Vekselvis vått og tørt	Betongoverflater i kontakt med vann, som ikke er i eksponeringsklasse XC2
<b>3 Korrosjon fremkalt av klorider som ikke stammer fra sjøvann</b>		
XD1	Moderat fuktighet	Betongoverflater utsatt for luftbårne klorider
XD2	Vått, sjelden tørt	Betong utsatt for industrivann som inneholder klorider. Svømmebasseng.
XD3	Vekselvis vått og tørt	Brudeker utsatt for sprut som inneholder klorider. Veidekker. Deler av parkeringsanlegg i kontakt med klorider.
<b>4 Korrosjon fremkalt av klorider fra sjøvann</b>		
XS1	Utsatt for luftbårne klorider, men ikke i direkte kontakt i sjøvann	Konstruksjoner nær eller på kysten.
XS2	Permanent neddykket	Deler av marine konstruksjoner.
XS3	Tidevannssoner, skvalpesoner og sprutsoner	Deler av marine konstruksjoner.
<b>5 Fryse-/tineangrep med og uten avisingsmiddel</b>		
XF1	Moderat vannmetning, uten avisingsmiddel	Vertikale betongoverflater utsatt for regn og frost.
XF2	Moderat vannmetning, med avisingsmiddel	Vertikale betongoverflater i veikonstruksjoner utsatt for frost og luftbårne avisingsmidler.
XF3	Høy vannmetning, med avisingsmiddel	Horisontale betongoverflater utsatt for regn og frost.
XF4	Høy vannmetning, med avisingsmiddel eller sjøvann	Vei- og brudekker utsatt for avisingsmidler. Betongoverflater utsatt for frost og direkte sprut, som inneholder avisingsmidler. Skvalpesoner i marine konstruksjoner utsatt for frost.
<b>6 Kjemisk angrep</b>		
XA1	Lite kjemisk aggressivt miljø iht. NS-EN 206-1	
XA2	Moderat kjemisk aggressivt miljø iht. NS-EN 206-1	
XA3	Meget kjemisk aggressivt miljø iht. NS-EN 206-1	
<b>7 Kjemisk angrep fra husdyrgjødsel</b>		
XA4	Konstruksjoner i kontakt med husdyrgjødsel	Klassen omfatter blant annet konstruksjoner som spalteplank og gjødselkjellere.
<b>8 Særlig aggressivt miljø</b>		
XSA	Konstruksjoner utsatt for sterkt kjemisk angrep som ikke er dekket av de andre eksponeringsklassene, og som gjør særskilte beskyttelsestiltak påkrevd. Dette kan kreve spesialkomponert betong, membraner e.l.	Klassen omfatter blant annet konstruksjoner som er i kontakt med væsker med lav pH, f.eks. førsiloer.



### Betongens materialsammensetning

Forutsetningene for overdekningskravene i tabell D 14.2 og D 14.3 er at betongen har en foreskrevet tetthet i overdekningssonen – se punkt 11.1.1 om tetthet og tabell 11.1 med tilhørende tekst om herdetiltak.

For å sikre dette, blir betongen inndelt i bestandighetsklasser – se Nasjonalt tillegg A, NS-EN 206-1 \6\. Tetthetskravene varierer med miljøpåkjenningene. I tabell D 14.5 vises kravene til sammenheng mellom bestandighetsklasser og eksponeringsklasser.

Tabell D 14.5. Betongens materialsammensetning ved ulike miljøpåkjenninger og bestandighetsklasser.

Materialkrav		Bestandighetsklasse					
		M90	M60	M45	MF45	M40	MF40
Største masseforhold $m = v / (c + \Sigma kp)$		0,90	0,60	0,45	0,45	0,40	0,40
Minste luftinnhold i fersk betong		–	–	–	4%	–	4%
Minste effektive bindemiddelmengde $c + \Sigma kp$ (kg/m <sup>3</sup> )		225	250	300	300	330	330
Enkel beskrivelse av miljø	Eksponeringsklasse						
Meget tørt	X0	X	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Karbonatisering, regn og frost på vertikalflater	XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		X	(X)	(X)	(X)	(X)
Klorider, moderat fuktighet, moderat kjemisk påvirkning, husdyrgjødsel	XD1, XS1, XA1, XA2 <sup>a)</sup> , XA4 <sup>b)</sup>			X	(X)	(X)	(X)
Fryse-/tineangrep med og uten avisingsmiddel	XF2, XF3, XF4				X	(X)	(X)
Klorider, vått, deler av marine konstruksjoner, sterk kjemisk påvirkn.	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3 <sup>a)</sup>					X	X <sup>c)</sup>
Særlig aggressivt miljø	XSA <sup>a)</sup>	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstillende kravene til M40.					

- a) Om det i eksponeringsklasse XA2, XA3 eller XSA er mulighet for kontakt med sulfater i konsentrasjoner høyere enn grenseverdien for XA2, skal det i produksjonsunderlaget presiseres at det skal anvendes sufatbestandig sement.
- b) For konstruksjoner utsatt for husdyrgjødsel skal det i produksjonsunderlaget angis at det skal anvendes minst 4% silikastøv.
- c) MF40 hvis konstruksjonen også plasseres i XF2, XF3, XF4.

Sammenhengen mellom miljøklasser, masseforhold og fasthetsklasser er vist i figur D 11.3.

Statens Vegvesen setter i Prosesskode-2 \14\ egne krav som kan avvike noe fra NS-EN 206-1. (Prosesskode-2 er for tiden under revisjon.)

Når det gjelder generelt grunnlag for å lage bestandig betong, henvises det til punktene 10.2, 11.1.1, 11.1.2 og 11.1.3.

For den prosjekterende er det kravet til armeringsoverdekning som har størst betydning. Tabell D 14.6 er derfor gruppert etter kravene til dette – for øvrig finnes all informasjon i tabellene D 14.2, D 14.4 og D 14.5.

Vedlegg N1: Temperaturutvikling referansebetong M65

Klokkeslett	Temperatur	Tid i minutter	Tid i sekunder
17:46:21	18,8	0,0	0
17:46:31	18,8	0,2	10
17:46:41	18,9	0,3	20
17:46:51	18,9	0,5	30
17:47:01	18,9	0,7	40
17:47:11	18,9	0,8	50
17:47:21	19	1,0	60
17:47:31	19,8	1,2	70
17:47:41	18,9	1,3	80
17:47:51	19	1,5	90
17:48:01	19	1,7	100
17:48:11	19	1,8	110
17:48:21	19	2,0	120
17:48:31	19,1	2,2	130
17:48:41	19,2	2,3	140
17:48:51	19,2	2,5	150
17:49:01	19,2	2,7	160
17:49:11	19,3	2,8	170
17:49:21	19,3	3,0	180
17:49:31	19,4	3,2	190
17:49:41	19,5	3,3	200
17:49:51	19,5	3,5	210
17:50:01	19,6	3,7	220
17:50:11	19,7	3,8	230
17:50:21	19,7	4,0	240
17:50:31	19,8	4,2	250
17:50:41	19,8	4,3	260
17:50:51	20	4,5	270
17:51:01	20,1	4,7	280
17:51:11	20,1	4,8	290
17:51:21	20,1	5,0	300
17:51:31	20,2	5,2	310
17:51:41	20,3	5,3	320
17:51:51	20,4	5,5	330
17:52:01	20,4	5,7	340
17:52:11	20,5	5,8	350
17:52:21	20,6	6,0	360
17:52:31	20,6	6,2	370
17:52:41	20,8	6,3	380
17:52:51	20,8	6,5	390
17:53:01	20,9	6,7	400

<b>17:53:11</b>	20,9	6,8	410
<b>17:53:21</b>	21,1	7,0	420
<b>17:53:31</b>	21,2	7,2	430
<b>17:53:41</b>	21,2	7,3	440
<b>17:53:51</b>	21,3	7,5	450
<b>17:54:01</b>	21,4	7,7	460
<b>17:54:11</b>	21,5	7,8	470
<b>17:54:21</b>	21,6	8,0	480
<b>17:54:31</b>	21,7	8,2	490
<b>17:54:41</b>	21,7	8,3	500
<b>17:54:51</b>	21,8	8,5	510
<b>17:55:01</b>	21,9	8,7	520
<b>17:55:11</b>	22	8,8	530
<b>17:55:21</b>	22,2	9,0	540
<b>17:55:31</b>	22,3	9,2	550
<b>17:55:41</b>	22,4	9,3	560
<b>17:55:51</b>	22,5	9,5	570
<b>17:56:01</b>	22,7	9,7	580
<b>17:56:11</b>	22,8	9,8	590
<b>17:56:21</b>	22,9	10,0	600
<b>17:56:31</b>	23	10,2	610
<b>17:56:41</b>	23,1	10,3	620
<b>17:56:51</b>	23,3	10,5	630
<b>17:57:01</b>	23,4	10,7	640
<b>17:57:11</b>	23,5	10,8	650
<b>17:57:21</b>	23,6	11,0	660
<b>17:57:31</b>	23,8	11,2	670
<b>17:57:41</b>	24	11,3	680
<b>17:57:51</b>	24,1	11,5	690
<b>17:58:01</b>	24,2	11,7	700
<b>17:58:11</b>	24,4	11,8	710
<b>17:58:21</b>	24,5	12,0	720
<b>17:58:31</b>	24,7	12,2	730
<b>17:58:41</b>	24,8	12,3	740
<b>17:58:51</b>	25	12,5	750
<b>17:59:01</b>	25,2	12,7	760
<b>17:59:11</b>	25,4	12,8	770
<b>17:59:21</b>	25,5	13,0	780
<b>17:59:31</b>	25,7	13,2	790
<b>17:59:41</b>	25,9	13,3	800
<b>17:59:51</b>	26	13,5	810
<b>18:00:01</b>	26,2	13,7	820
<b>18:00:11</b>	26,3	13,8	830

<b>18:00:21</b>	26,5	14,0	840
<b>18:00:31</b>	26,7	14,2	850
<b>18:00:41</b>	26,9	14,3	860
<b>18:00:51</b>	27,1	14,5	870
<b>18:01:01</b>	27,3	14,7	880
<b>18:01:11</b>	27,4	14,8	890
<b>18:01:21</b>	27,6	15,0	900
<b>18:01:31</b>	27,8	15,2	910
<b>18:01:41</b>	28	15,3	920
<b>18:01:51</b>	28,2	15,5	930
<b>18:02:01</b>	28,4	15,7	940
<b>18:02:11</b>	28,6	15,8	950
<b>18:02:21</b>	28,8	16,0	960
<b>18:02:31</b>	29	16,2	970
<b>18:02:41</b>	29,1	16,3	980
<b>18:02:51</b>	29,3	16,5	990
<b>18:03:01</b>	29,6	16,7	1000
<b>18:03:11</b>	29,8	16,8	1010
<b>18:03:21</b>	30	17,0	1020
<b>18:03:31</b>	30,2	17,2	1030
<b>18:03:41</b>	30,4	17,3	1040
<b>18:03:51</b>	30,6	17,5	1050
<b>18:04:01</b>	30,8	17,7	1060
<b>18:04:11</b>	31,1	17,8	1070
<b>18:04:21</b>	31,2	18,0	1080
<b>18:04:31</b>	31,5	18,2	1090
<b>18:04:41</b>	31,7	18,3	1100
<b>18:04:51</b>	32	18,5	1110
<b>18:05:01</b>	32,1	18,7	1120
<b>18:05:11</b>	32,4	18,8	1130
<b>18:05:21</b>	32,6	19,0	1140
<b>18:05:31</b>	32,9	19,2	1150
<b>18:05:41</b>	33	19,3	1160
<b>18:05:51</b>	33,3	19,5	1170
<b>18:06:01</b>	33,5	19,7	1180
<b>18:06:11</b>	33,8	19,8	1190
<b>18:06:21</b>	34	20,0	1200
<b>18:06:31</b>	34,2	20,2	1210
<b>18:06:41</b>	34,5	20,3	1220
<b>18:06:51</b>	34,7	20,5	1230
<b>18:07:01</b>	35	20,7	1240
<b>18:07:11</b>	35,2	20,8	1250
<b>18:07:21</b>	35,5	21,0	1260

<b>18:07:31</b>	35,7	21,2	1270
<b>18:07:41</b>	36	21,3	1280
<b>18:07:51</b>	36,3	21,5	1290
<b>18:08:01</b>	36,4	21,7	1300
<b>18:08:11</b>	36,7	21,8	1310
<b>18:08:21</b>	37	22,0	1320
<b>18:08:31</b>	37,3	22,2	1330
<b>18:08:41</b>	37,5	22,3	1340
<b>18:08:51</b>	37,8	22,5	1350
<b>18:09:01</b>	38,1	22,7	1360
<b>18:09:11</b>	38,3	22,8	1370
<b>18:09:21</b>	38,6	23,0	1380
<b>18:09:31</b>	38,8	23,2	1390
<b>18:09:41</b>	39,1	23,3	1400
<b>18:09:51</b>	39,4	23,5	1410
<b>18:10:01</b>	39,6	23,7	1420
<b>18:10:11</b>	39,9	23,8	1430
<b>18:10:21</b>	40,2	24,0	1440
<b>18:10:31</b>	40,5	24,2	1450
<b>18:10:41</b>	40,7	24,3	1460
<b>18:10:51</b>	41	24,5	1470
<b>18:11:01</b>	41,3	24,7	1480
<b>18:11:11</b>	41,5	24,8	1490
<b>18:11:21</b>	41,8	25,0	1500
<b>18:11:31</b>	42,0	25,2	1510
<b>18:11:41</b>	42,3	25,3	1520
<b>18:11:51</b>	42,5	25,5	1530
<b>18:12:01</b>	42,8	25,7	1540
<b>18:12:11</b>	43,0	25,8	1550
<b>18:12:21</b>	43,3	26,0	1560
<b>18:12:31</b>	43,5	26,2	1570
<b>18:12:41</b>	43,8	26,3	1580
<b>18:12:51</b>	44,1	26,5	1590
<b>18:13:01</b>	44,3	26,7	1600
<b>18:13:11</b>	44,6	26,8	1610
<b>18:13:21</b>	44,8	27,0	1620
<b>18:13:31</b>	45,1	27,2	1630
<b>18:13:41</b>	45,3	27,3	1640
<b>18:13:51</b>	45,6	27,5	1650
<b>18:14:01</b>	45,8	27,7	1660
<b>18:14:08</b>	46,1	27,8	1670
<b>18:14:18</b>	46,8	28,0	1680
<b>18:14:28</b>	47,1	28,2	1690

<b>18:14:38</b>	47,4	28,3	1700
<b>18:14:48</b>	47,7	28,5	1710
<b>18:14:58</b>	47,9	28,7	1720
<b>18:15:08</b>	48,2	28,8	1730
<b>18:15:18</b>	48,5	29,0	1740
<b>18:15:28</b>	48,9	29,2	1750
<b>18:15:38</b>	49,1	29,3	1760
<b>18:15:48</b>	49,4	29,5	1770
<b>18:15:58</b>	49,6	29,7	1780
<b>18:16:08</b>	50	29,8	1790
<b>18:16:18</b>	50,3	30,0	1800
<b>18:16:28</b>	50,6	30,2	1810
<b>18:16:38</b>	50,8	30,3	1820
<b>18:16:48</b>	51,2	30,5	1830
<b>18:16:58</b>	51,5	30,7	1840
<b>18:17:08</b>	51,7	30,8	1850
<b>18:17:18</b>	52	31,0	1860
<b>18:17:28</b>	52,3	31,2	1870
<b>18:17:38</b>	52,6	31,3	1880
<b>18:17:48</b>	52,8	31,5	1890
<b>18:17:58</b>	53,1	31,7	1900
<b>18:18:08</b>	53,4	31,8	1910
<b>18:18:18</b>	53,7	32,0	1920
<b>18:18:28</b>	54	32,2	1930
<b>18:18:38</b>	54,3	32,3	1940
<b>18:18:48</b>	54,5	32,5	1950
<b>18:18:58</b>	54,8	32,7	1960
<b>18:19:08</b>	55	32,8	1970
<b>18:19:18</b>	55,4	33,0	1980
<b>18:19:28</b>	55,6	33,2	1990
<b>18:19:38</b>	55,9	33,3	2000
<b>18:19:48</b>	56,2	33,5	2010
<b>18:19:58</b>	56,4	33,7	2020
<b>18:20:08</b>	56,7	33,8	2030
<b>18:20:18</b>	56,9	34,0	2040
<b>18:20:28</b>	57,3	34,2	2050
<b>18:20:38</b>	57,5	34,3	2060
<b>18:20:48</b>	57,8	34,5	2070
<b>18:20:58</b>	58	34,7	2080
<b>18:21:08</b>	58,3	34,8	2090
<b>18:21:18</b>	58,5	35,0	2100
<b>18:21:28</b>	58,9	35,2	2110
<b>18:21:38</b>	59,1	35,3	2120

<b>18:21:48</b>	59,4	35,5	2130
<b>18:21:58</b>	59,6	35,7	2140
<b>18:22:08</b>	59,8	35,8	2150
<b>18:22:18</b>	60,2	36,0	2160
<b>18:22:28</b>	60,4	36,2	2170
<b>18:22:38</b>	60,7	36,3	2180
<b>18:22:48</b>	60,9	36,5	2190
<b>18:22:58</b>	61,2	36,7	2200
<b>18:23:08</b>	61,5	36,8	2210
<b>18:23:18</b>	61,8	37,0	2220
<b>18:23:28</b>	62,1	37,2	2230
<b>18:23:38</b>	62,3	37,3	2240
<b>18:23:48</b>	62,6	37,5	2250
<b>18:23:58</b>	62,7	37,7	2260
<b>18:24:08</b>	63,1	37,8	2270
<b>18:24:18</b>	63,3	38,0	2280
<b>18:24:28</b>	63,5	38,2	2290
<b>18:24:38</b>	63,8	38,3	2300
<b>18:24:48</b>	64,1	38,5	2310
<b>18:24:58</b>	64,3	38,7	2320
<b>18:25:08</b>	64,6	38,8	2330
<b>18:25:18</b>	64,8	39,0	2340
<b>18:25:28</b>	65,1	39,2	2350
<b>18:25:38</b>	65,3	39,3	2360
<b>18:25:48</b>	65,6	39,5	2370
<b>18:25:58</b>	65,9	39,7	2380
<b>18:26:08</b>	66,1	39,8	2390
<b>18:26:18</b>	66,4	40,0	2400
<b>18:26:28</b>	66,6	40,2	2410
<b>18:26:38</b>	66,9	40,3	2420
<b>18:26:48</b>	67,2	40,5	2430
<b>18:26:58</b>	67,4	40,7	2440
<b>18:27:08</b>	67,7	40,8	2450
<b>18:27:18</b>	67,9	41,0	2460
<b>18:27:28</b>	68,1	41,2	2470
<b>18:27:38</b>	68,4	41,3	2480
<b>18:27:48</b>	68,7	41,5	2490
<b>18:27:58</b>	68,9	41,7	2500
<b>18:28:08</b>	69,1	41,8	2510
<b>18:28:18</b>	69,4	42,0	2520
<b>18:28:28</b>	69,7	42,2	2530
<b>18:28:38</b>	69,9	42,3	2540
<b>18:28:48</b>	70,1	42,5	2550



<b>18:28:58</b>	70,4	42,7	2560
<b>18:29:08</b>	70,7	42,8	2570
<b>18:29:18</b>	70,9	43,0	2580
<b>18:29:28</b>	71,1	43,2	2590
<b>18:29:38</b>	71,3	43,3	2600
<b>18:29:48</b>	71,6	43,5	2610
<b>18:29:58</b>	71,8	43,7	2620
<b>18:30:08</b>	72,1	43,8	2630
<b>18:30:18</b>	72,3	44,0	2640
<b>18:30:28</b>	72,6	44,2	2650
<b>18:30:38</b>	72,8	44,3	2660
<b>18:30:48</b>	73	44,5	2670
<b>18:30:58</b>	73,2	44,7	2680
<b>18:31:08</b>	73,5	44,8	2690

Vedlegg N2: Temperaturutvikling lettbetong LB40

Klokkeslett	Temperatur	Tid minutter	i Tid sekunder
18:43:27	17,6	0,0	0
18:43:37	17,6	0,2	10
18:43:47	17,6	0,3	20
18:43:57	17,7	0,5	30
18:44:07	17,7	0,7	40
18:44:17	17,8	0,8	50
18:44:27	17,8	1,0	60
18:44:37	17,8	1,2	70
18:44:47	17,8	1,3	80
18:44:57	17,8	1,5	90
18:45:07	17,8	1,7	100
18:45:17	17,8	1,8	110
18:45:27	17,9	2,0	120
18:45:37	17,9	2,2	130
18:45:47	17,9	2,3	140
18:45:57	17,9	2,5	150
18:46:07	17,9	2,7	160
18:46:17	18	2,8	170
18:46:27	18	3,0	180
18:46:37	18	3,2	190
18:46:47	18	3,3	200
18:46:57	18,1	3,5	210
18:47:07	18,1	3,7	220
18:47:17	18,2	3,8	230
18:47:27	18,2	4,0	240
18:47:37	18,2	4,2	250
18:47:47	18,3	4,3	260
18:47:57	18,4	4,5	270
18:48:07	18,4	4,7	280
18:48:17	18,4	4,8	290
18:48:27	18,5	5,0	300
18:48:37	18,6	5,2	310
18:48:47	18,6	5,3	320
18:48:57	18,6	5,5	330
18:49:07	18,7	5,7	340
18:49:17	18,7	5,8	350
18:49:27	18,8	6,0	360
18:49:37	18,8	6,2	370
18:49:47	18,8	6,3	380
18:49:57	18,9	6,5	390

<b>18:50:07</b>	18,9	6,7	400
<b>18:50:17</b>	19	6,8	410
<b>18:50:27</b>	19	7,0	420
<b>18:50:37</b>	19,1	7,2	430
<b>18:50:47</b>	19,2	7,3	440
<b>18:50:57</b>	19,3	7,5	450
<b>18:51:07</b>	19,3	7,7	460
<b>18:51:17</b>	19,4	7,8	470
<b>18:51:27</b>	19,4	8,0	480
<b>18:51:37</b>	19,5	8,2	490
<b>18:51:47</b>	19,6	8,3	500
<b>18:51:57</b>	19,7	8,5	510
<b>18:52:07</b>	19,7	8,7	520
<b>18:52:17</b>	19,7	8,8	530
<b>18:52:27</b>	19,8	9,0	540
<b>18:52:37</b>	19,9	9,2	550
<b>18:52:47</b>	20	9,3	560
<b>18:52:57</b>	20	9,5	570
<b>18:53:07</b>	20,1	9,7	580
<b>18:53:17</b>	20,2	9,8	590
<b>18:53:27</b>	20,3	10,0	600
<b>18:53:37</b>	20,4	10,2	610
<b>18:53:47</b>	20,4	10,3	620
<b>18:53:57</b>	20,6	10,5	630
<b>18:54:07</b>	20,6	10,7	640
<b>18:54:17</b>	20,7	10,8	650
<b>18:54:27</b>	20,8	11,0	660
<b>18:54:37</b>	20,8	11,2	670
<b>18:54:47</b>	20,9	11,3	680
<b>18:54:57</b>	21	11,5	690
<b>18:55:07</b>	21,1	11,7	700
<b>18:55:17</b>	21,2	11,8	710
<b>18:55:27</b>	21,2	12,0	720
<b>18:55:37</b>	21,4	12,2	730
<b>18:55:47</b>	21,4	12,3	740
<b>18:55:57</b>	21,5	12,5	750
<b>18:56:07</b>	21,6	12,7	760
<b>18:56:17</b>	21,7	12,8	770
<b>18:56:27</b>	21,8	13,0	780
<b>18:56:37</b>	22	13,2	790
<b>18:56:47</b>	22	13,3	800
<b>18:56:57</b>	22,1	13,5	810
<b>18:57:07</b>	22,2	13,7	820

<b>18:57:17</b>	22,3	13,8	830
<b>18:57:27</b>	22,5	14,0	840
<b>18:57:37</b>	22,5	14,2	850
<b>18:57:47</b>	22,6	14,3	860
<b>18:57:57</b>	22,7	14,5	870
<b>18:58:07</b>	22,8	14,7	880
<b>18:58:17</b>	22,9	14,8	890
<b>18:58:27</b>	22,9	15,0	900
<b>18:58:37</b>	23,1	15,2	910
<b>18:58:47</b>	23,1	15,3	920
<b>18:58:57</b>	23,3	15,5	930
<b>18:59:07</b>	23,4	15,7	940
<b>18:59:17</b>	23,5	15,8	950
<b>18:59:27</b>	23,6	16,0	960
<b>18:59:37</b>	23,7	16,2	970
<b>18:59:47</b>	23,9	16,3	980
<b>18:59:57</b>	24	16,5	990
<b>19:00:07</b>	24	16,7	1000
<b>19:00:17</b>	24,2	16,8	1010
<b>19:00:27</b>	24,3	17,0	1020
<b>19:00:37</b>	24,4	17,2	1030
<b>19:00:47</b>	24,5	17,3	1040
<b>19:00:57</b>	24,6	17,5	1050
<b>19:01:07</b>	24,7	17,7	1060
<b>19:01:17</b>	24,8	17,8	1070
<b>19:01:27</b>	24,9	18,0	1080
<b>19:01:37</b>	25	18,2	1090
<b>19:01:47</b>	25,1	18,3	1100
<b>19:01:57</b>	25,2	18,5	1110
<b>19:02:07</b>	25,4	18,7	1120
<b>19:02:17</b>	25,5	18,8	1130
<b>19:02:27</b>	25,6	19,0	1140
<b>19:02:37</b>	25,7	19,2	1150
<b>19:02:47</b>	25,8	19,3	1160
<b>19:02:57</b>	26	19,5	1170
<b>19:03:07</b>	26,1	19,7	1180
<b>19:03:17</b>	26,2	19,8	1190
<b>19:03:27</b>	26,3	20,0	1200
<b>19:03:37</b>	26,5	20,2	1210
<b>19:03:47</b>	26,6	20,3	1220
<b>19:03:57</b>	26,7	20,5	1230
<b>19:04:07</b>	26,8	20,7	1240
<b>19:04:17</b>	26,9	20,8	1250

<b>19:04:27</b>	27,1	21,0	1260
<b>19:04:37</b>	27,2	21,2	1270
<b>19:04:47</b>	27,3	21,3	1280
<b>19:04:57</b>	27,5	21,5	1290
<b>19:05:07</b>	27,6	21,7	1300
<b>19:05:17</b>	27,7	21,8	1310
<b>19:05:27</b>	27,9	22,0	1320
<b>19:05:37</b>	28	22,2	1330
<b>19:05:47</b>	28,2	22,3	1340
<b>19:05:57</b>	28,2	22,5	1350
<b>19:06:07</b>	28,5	22,7	1360
<b>19:06:17</b>	28,5	22,8	1370
<b>19:06:27</b>	28,7	23,0	1380
<b>19:06:37</b>	28,8	23,2	1390
<b>19:06:47</b>	28,9	23,3	1400
<b>19:06:57</b>	29,1	23,5	1410
<b>19:07:07</b>	29,3	23,7	1420
<b>19:07:17</b>	29,4	23,8	1430
<b>19:07:27</b>	29,6	24,0	1440
<b>19:07:37</b>	29,7	24,2	1450
<b>19:07:47</b>	29,8	24,3	1460
<b>19:07:57</b>	30	24,5	1470
<b>19:08:07</b>	30,1	24,7	1480
<b>19:08:17</b>	30,2	24,8	1490
<b>19:08:27</b>	30,3	25,0	1500
<b>19:08:37</b>	30,5	25,2	1510
<b>19:08:47</b>	30,7	25,3	1520
<b>19:08:57</b>	30,9	25,5	1530
<b>19:09:07</b>	30,9	25,7	1540
<b>19:09:17</b>	31,1	25,8	1550
<b>19:09:27</b>	31,2	26,0	1560
<b>19:09:37</b>	31,4	26,2	1570
<b>19:09:47</b>	31,5	26,3	1580
<b>19:09:57</b>	31,7	26,5	1590
<b>19:10:07</b>	31,8	26,7	1600
<b>19:10:17</b>	32	26,8	1610
<b>19:10:27</b>	32,1	27,0	1620
<b>19:10:37</b>	32,3	27,2	1630
<b>19:10:47</b>	32,4	27,3	1640
<b>19:10:57</b>	32,6	27,5	1650
<b>19:11:07</b>	32,7	27,7	1660
<b>19:11:17</b>	32,9	27,8	1670
<b>19:11:27</b>	33	28,0	1680

<b>19:11:37</b>	33,2	28,2	1690
<b>19:11:47</b>	33,3	28,3	1700
<b>19:11:57</b>	33,5	28,5	1710
<b>19:12:07</b>	33,6	28,7	1720
<b>19:12:17</b>	33,8	28,8	1730
<b>19:12:27</b>	33,9	29,0	1740
<b>19:12:37</b>	34,1	29,2	1750
<b>19:12:47</b>	34,2	29,3	1760
<b>19:12:57</b>	34,4	29,5	1770
<b>19:13:07</b>	34,5	29,7	1780
<b>19:13:17</b>	34,7	29,8	1790
<b>19:13:27</b>	34,8	30,0	1800
<b>19:13:37</b>	35	30,2	1810
<b>19:13:47</b>	35,1	30,3	1820
<b>19:13:57</b>	35,3	30,5	1830
<b>19:14:07</b>	35,5	30,7	1840
<b>19:14:17</b>	35,7	30,8	1850
<b>19:14:27</b>	35,8	31,0	1860
<b>19:14:37</b>	36	31,2	1870
<b>19:14:47</b>	36,1	31,3	1880
<b>19:14:57</b>	36,3	31,5	1890
<b>19:15:07</b>	36,4	31,7	1900
<b>19:15:17</b>	36,6	31,8	1910
<b>19:15:27</b>	36,7	32,0	1920
<b>19:15:37</b>	36,9	32,2	1930
<b>19:15:47</b>	37,1	32,3	1940
<b>19:15:57</b>	37,2	32,5	1950
<b>19:16:07</b>	37,5	32,7	1960
<b>19:16:17</b>	37,6	32,8	1970
<b>19:16:27</b>	37,7	33,0	1980
<b>19:16:37</b>	37,9	33,2	1990
<b>19:16:47</b>	38,1	33,3	2000
<b>19:16:57</b>	38,2	33,5	2010
<b>19:17:07</b>	38,3	33,7	2020
<b>19:17:17</b>	38,5	33,8	2030
<b>19:17:27</b>	38,7	34,0	2040
<b>19:17:37</b>	38,9	34,2	2050
<b>19:17:47</b>	39	34,3	2060
<b>19:17:57</b>	39,2	34,5	2070
<b>19:18:07</b>	39,3	34,7	2080
<b>19:18:17</b>	39,5	34,8	2090
<b>19:18:27</b>	39,7	35,0	2100
<b>19:18:37</b>	39,9	35,2	2110

<b>19:18:47</b>	40	35,3	2120
<b>19:18:57</b>	40,2	35,5	2130
<b>19:19:07</b>	40,3	35,7	2140
<b>19:19:17</b>	40,5	35,8	2150
<b>19:19:27</b>	40,7	36,0	2160
<b>19:19:37</b>	40,8	36,2	2170
<b>19:19:47</b>	41	36,3	2180
<b>19:19:57</b>	41,2	36,5	2190
<b>19:20:07</b>	41,3	36,7	2200
<b>19:20:17</b>	41,6	36,8	2210
<b>19:20:27</b>	41,7	37,0	2220
<b>19:20:37</b>	41,9	37,2	2230
<b>19:20:47</b>	42	37,3	2240
<b>19:20:57</b>	42,2	37,5	2250
<b>19:21:07</b>	42,3	37,7	2260
<b>19:21:17</b>	42,6	37,8	2270
<b>19:21:27</b>	42,7	38,0	2280
<b>19:21:37</b>	42,9	38,2	2290
<b>19:21:47</b>	43	38,3	2300
<b>19:21:57</b>	43,2	38,5	2310
<b>19:22:07</b>	43,3	38,7	2320
<b>19:22:17</b>	43,5	38,8	2330
<b>19:22:27</b>	43,7	39,0	2340
<b>19:22:37</b>	43,9	39,2	2350
<b>19:22:47</b>	44,1	39,3	2360
<b>19:22:57</b>	44,1	39,5	2370
<b>19:23:07</b>	44,4	39,7	2380
<b>19:23:17</b>	44,6	39,8	2390
<b>19:23:27</b>	44,7	40,0	2400
<b>19:23:37</b>	44,9	40,2	2410
<b>19:23:47</b>	45,1	40,3	2420
<b>19:23:57</b>	45,2	40,5	2430
<b>19:24:07</b>	45,4	40,7	2440
<b>19:24:17</b>	45,6	40,8	2450
<b>19:24:27</b>	45,7	41,0	2460
<b>19:24:37</b>	45,9	41,2	2470
<b>19:24:47</b>	46,1	41,3	2480
<b>19:24:57</b>	46,2	41,5	2490
<b>19:25:07</b>	46,4	41,7	2500
<b>19:25:17</b>	46,5	41,8	2510
<b>19:25:27</b>	46,7	42,0	2520
<b>19:25:37</b>	46,9	42,2	2530
<b>19:25:47</b>	47,1	42,3	2540



<b>19:25:57</b>	47,2	42,5	2550
<b>19:26:07</b>	47,4	42,7	2560
<b>19:26:17</b>	47,6	42,8	2570
<b>19:26:27</b>	47,7	43,0	2580
<b>19:26:37</b>	47,8	43,2	2590
<b>19:26:47</b>	48,1	43,3	2600
<b>19:26:57</b>	48,2	43,5	2610
<b>19:27:07</b>	48,5	43,7	2620
<b>19:27:17</b>	48,6	43,8	2630
<b>19:27:27</b>	48,7	44,0	2640
<b>19:27:37</b>	48,9	44,2	2650
<b>19:27:47</b>	49	44,3	2660
<b>19:27:57</b>	49,2	44,5	2670
<b>19:28:07</b>	49,4	44,7	2680
<b>19:28:17</b>	49,5	44,8	2690
<b>19:28:27</b>	49,7	45,0	2700

## Vedlegg O1: Tabeller, fraksjonstabell og siktkurve for filtralite 3-6mm

### Siling nummer 1 for filtralite 3-6mm

Sikt, Ø i mm	Sikterest g	Summert g	Sikterest %	Gjennomgang g	Gjennomgang %
8mm	0 g	0 g	0 %	1000 g	100 %
4mm	914 g	914 g	91,4 %	86 g	8,6 %
2mm	85 g	999 g	99,9 %	1 g	0,1 %
1mm	1 g	1000 g	100 %	0 g	0 %
0,5mm	0 g	1000 g	100 %	0 g	0 %

### Siling nummer 2 for filtralite 3-6mm

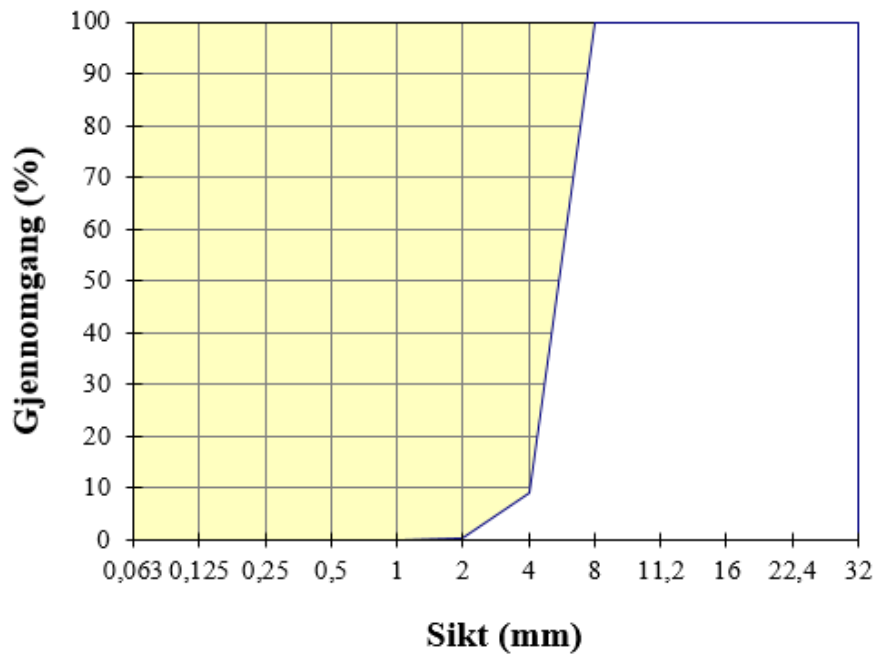
Sikt, Ø i mm	Sikterest g	Summert g	Sikterest %	Gjennomgang g	Gjennomgang %
8mm	0 g	0 g	0 %	1000 g	100 %
4mm	905 g	905 g	90,5 %	95 g	9,5 %
2mm	92 g	997 g	99,7 %	3 g	0,3 %
1mm	3 g	1000 g	100 %	0 g	0 %
0,5mm	0 g	1000 g	100 %	0 g	0 %

## Fraksjon V

Type:	Filtralite 3-6mm
Dato:	26.01.2017
FM =	5,41

Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)	Gjennomgang (%)
	1	2		
32	0	0	0,0	100,0
22,4	0	0	0,0	100,0
16	0	0	0,0	100,0
11,2	0	0	0,0	100,0
8	0	0	0,0	100,0
4	914	905	91,0	9,1
2	999	997	99,8	0,2
1	1000	1000	100,0	0,0
0,5	1000	1000	100,0	0,0
0,25	1000	1000	100,0	0,0
0,125	1000	1000	100,0	0,0
0,063	1000	1000	100,0	0,0
Bunn	1000	1000		

Siktkurve for filtralite 3-6mm



Vedlegg O2: Tabeller, fraksjonstabell og siktkurve for filtralite 3-6mm

Siling nummer 1 for filtralite 0-1,5mm

Sikt, Ø i mm	Sikterest g	Summert g	Sikterest %	Gjennomgang g	Gjennomgang %
2mm	0 g	0 g	0 %	1000 g	100 %
1mm	964,8 g	964,8 g	96,5 %	35,2 g	3,5 %
0,5mm	29,4 g	994,2 g	99,4 %	5,8 g	0,6 %
0,25mm	1,2 g	995,4 g	99,5 %	4,6 g	0,5 %
0,125mm	1,0 g	996,5 g	99,7 %	3,6 g	0,4%
0,063mm	0,6 g	997,0 g	99,7 %	3,0 g	0,3 %
Bunn	3,0 g	1000 g	100 %	0 g	0 %

Siling nummer 2 for filtralite 0-1,5mm

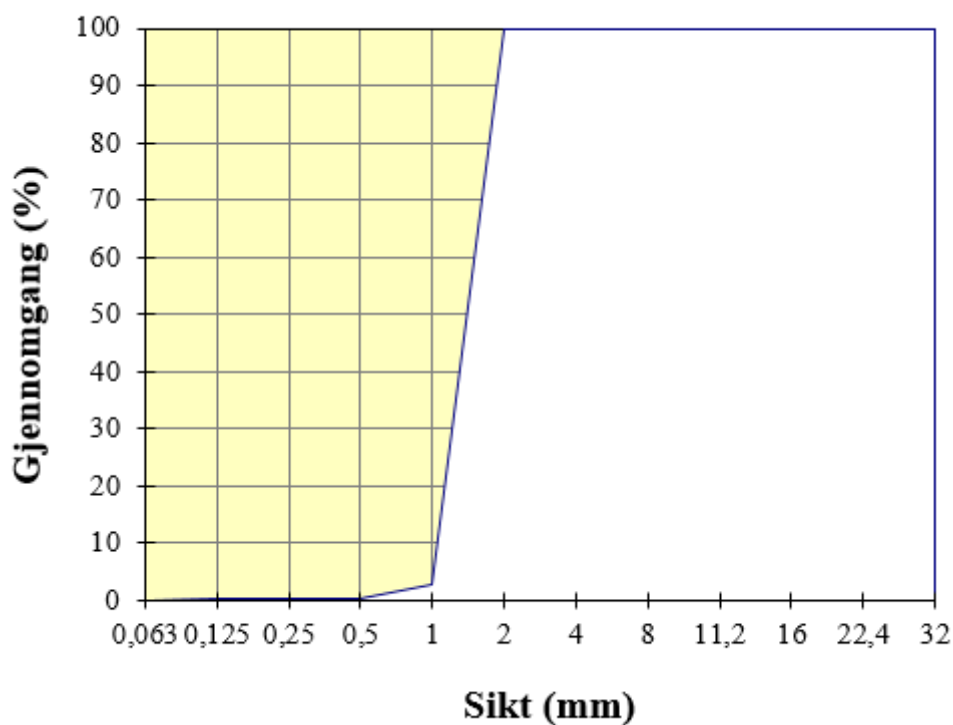
Sikt, Ø i mm	Sikterest g	Summert g	Sikterest %	Gjennomgang g	Gjennomgang %
2mm	0 g	0 g	0 %	1000 g	100 %
1mm	978,4 g	978,4 g	97,8 %	21,6 g	2,2 %
0,5mm	17,8 g	996,2 g	99,6 %	3,8 g	0,4 %
0,25mm	0,8 g	997,0 g	99,7 %	3,0 g	0,3 %
0,125mm	0,4 g	997,4 g	99,7 %	2,6 g	0,3 %
0,063mm	0,4 g	997,8 g	99,8 %	2,2 g	0,2 %
Bunn	2,2 g	1000 g	100 %	0 g	0 %

## Fraksjon VI

Type:	Filtralite 0-1,5mm
Dato:	15.02.2017
FM =	3,46

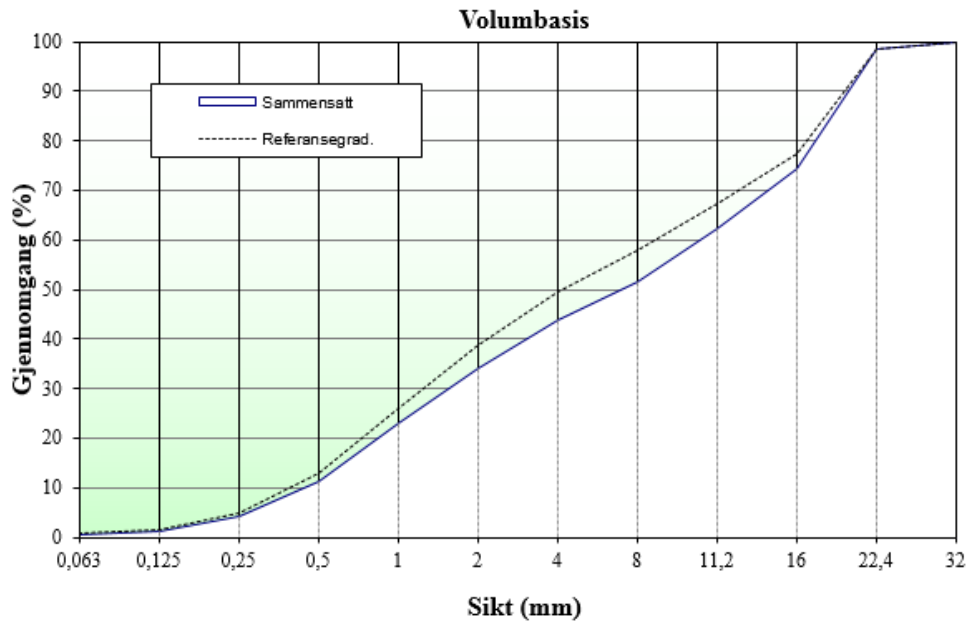
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)	Gjennomgang (%)
	1	2		
32	0	0	0,0	100,0
22,4	0	0	0,0	100,0
16	0	0	0,0	100,0
11,2	0	0	0,0	100,0
8	0	0	0,0	100,0
4	0	0	0,0	100,0
2	0	0	0,0	100,0
1	964,6	978,4	97,2	2,8
0,5	994,2	996,2	99,5	0,5
0,25	995,4	997	99,6	0,4
0,125	997	997	99,7	0,3
0,063	1000	998	99,9	0,1
Bunn	1000	1000		

Siktkurve for filtralite 3-6mm



Vedlegg P1: Siktkurve for referansebetong (M45) og lettbetong 1600 kg/m<sup>3</sup>

Siktkurve for referansebetong (M45)



Siktkurve for lettbetong med teoretisk densitet på 1600 kg/m<sup>3</sup>

