



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjoner og materialer	Våremesteret, 2019 Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Even Kravik	<i>Even Kravik</i> (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså Veileder(e): Kjell Tore Fosså	
Tittel på masteroppgaven: Duktilitetsegenskaper i selvkomprimerende lettbetong Engelsk tittel: Ductile characteristics in self compacting lightweight concrete	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Betong Selvkomprimerende betong Lettbetong Stalite Duktilitet	Sidetall: 68 +vedlegg/annet: 38 Stavanger, 15.06.2019 dato/år



Universitetet
i Stavanger

Teknisk naturvitenskapelige fakultet

Masteroppgave våren 2019

Duktilitetsegenskaper i selvkomprimerende lettbetong

Even Kravik

Forord

Denne masteroppgaven ble valgt ut ifra et ønske om å ha en oppgave som omfattet en praktisk del med betongarbeid. Oppgaven ble definert i samarbeid med Kjell Tore Fosså, og slutfører min mastergrad Stavanger i bygg med konstruksjoner og materialer som fordypning ved Universitetet i Stavanger.

Jeg vil rette en stor takk til veilederen min Kjell Tore Fosså for å ha bidratt med god veiledning og hatt troen på at man kan gjennomføre en masteroppgave ved siden av full jobb. Jeg vil også takke jobben min: SV Betong for å ha vært forståelsesfulle og gitt meg tid til å gjennomføre utstøping og testing av betong. I forbindelse med lab arbeidet vil jeg rette en stor takk til Jarle Berge for å ha bistått med kunnskap og hjelp ved blanding og utstøping av betong, og Samdar Kakay for å ha hjulpet til med testing av herdet betong og gitt god veiledning.

Takk til mine medstudenter som har gjort at mine år som student har vært veldig bra.

Jeg vil også takke min familie som alltid har støttet meg, og min samboer for å ha vært tålmodig og støttende gjennom et halvår med skriving og arbeid. Jeg vil også takke min tidligere medstudent Trym for å ha bistått med gode kunnskaper i dataprogrammer.

Even Kravik

Sammendrag

Stalite er et lett tilslag som kommer fra USA, og som brukes til å lage lettbetong. Lettbetong er ifølge NS – EN 1992, 11.1 betong som har lett tilslag og tørrvekt under 2200kg/m^3 . I denne masteroppgaven vil det bli blandet betonger med ulik fordeling av volumet til det grove tilslaget 8-16mm. Modifisert normal densitetsbetonger (MND), der volumet av 8-16mm er fordelt mellom Årdal og Stalite, og light weight aggregate betong (LWA) der det grove tilslaget består av 100% Stalite, vil bli sammenlignet med normalbetonger som fungerer som referanse. V/c tall på 0,37 og 0,6 brukes, og det vil bli laget selvkompimerende betong. Målet for den ferske betongen er å lage SKB med god støpelighet som tilfredsstiller kravet til synkutbredelse på minimum 650mm. Det viste at det ikke er lett å lage en SKB lettbetong. Blandinger med 100% Stalite nådde ikke kravet, og det var noen av MND betongene som heller ikke gjorde dette. Densitetene til de ulike blandingene er som forventet med normalbetongene rundt 2400kg/m^3 , MND rundt 2200kg/m^3 og LWA betongen på rundt 2000kg/m^3 .

For den herdede betongen vil mekaniske egenskaper som: Trykkfasthet i terning, spaltetrekkfasthet, E-modul, bøyestrekfasthet, CMOD og bruddenergi bli sammenlignet for de ulike blandingene. Trykkfastheten, spaltetrekkfasthet og E-modul forventes å være høyere i normalbetong, enn i MND og lettbetong. Trykkfasthet for normalbetong var høy, MND betongene lavere og LWA betong lavest for blandinger med v/c tall 0,37. For blandinger med v/c tall 0,6 viser resultat at LWA blanding har høyere trykkfasthet enn noen av MND betongene, noe som ikke er som forventet. Resultater fra spaltetrekkfasthet var varierende. En mulig årsak er separasjon av Stalite der Stalite stiger opp til overflaten og kan gi en ujevn fordeling ved utstøping av sylindere. Referansebetong med v/c tall 0,37 har høyest spaltetrekkfasthet sammen med MND betong med 40/60 Årdal/ Stalite fordeling av volum 8-16mm.

For E-modul, så stemmer resultatene ganske bra overens med forventningene med unntak av to av MND betongene med 50/50 fordeling Årdal/Stalite av volumet til 8-16mm. Denne har høyere E-modul enn MND 60/40, noe som ikke ble forventet. Resultatet viser at Stalite har noe å si på E-modul, og økt innhold av Stalite gir lavere E-modul.

Test for bøyestrek og Crack Mouth Opening Displacement (CMOD) ble gjennomført samtidig, og det viser seg at bøyestrekfastheten til referansebetong med v/c tall 0,37 har høyest resultat, og LWA har lavest resultat i bøyestrek. Test for utvidelse av sprekk ved nedbøyning av bjelke (CMOD) ga interne variasjoner i hver blanding, og det var ingen store forskjeller mellom de ulike blandinger med unntak bjelke 2 i referansebetong med v/c tall 0,6, som hadde større utvidelse av sprekk ved brudd enn de andre blandinger.

Bruddenergi gir en indikasjon for hvor duktil betongen er. Registrerte data på nedbøyning i mm og kraft i N, som brukes for utregning av bruddenergi hadde noen mangler, og noen registreringer uteble. Resultatene fra utregning viser allikevel en tendens til at mer innhold av Stalite gir lavere bruddenergi, noe som stemmer overens med forventning. Lavere bruddenergi vil si at betongen er sprø, og høyere bruddenergi vil si at betongen er seig og mer duktil.

Abstract

Stalite is a light weight aggregate made in USA, and it is used to make lightweight concrete. Lightweight concrete is according to NS – EN 1992, 11.1 a concrete which is made of a light weight aggregate with dry density under 2200kg/m^3 . This master thesis consists of a literature study and making concrete in the laboratory. Three types will be made and compared: Modified normal density concrete, which has a content of Stalite and Årdal 8-16mm, Light weight aggregate concrete (LWA) which consists of 100% Stalite 8-16mm, and normal density concrete which will be used as reference. The water/cement ratio used is 0,37 and 0,6, and it will be made self- compacting concrete (SCC). The target when the concrete is fresh is to make SCC that has good workability and satisfies SU number of 650mm. It will be shown that it is not easy for the LWA concrete. Concrete with 100% Stalite 8-16mm did not reach the targeted SU number, and some of the MND concrete did not reach the target either. The density of the different concretes are as expected. Normal concrete has a density around 2400kg/m^3 , MND concrete a density around 2200kg/m^3 , and the LWA concrete around 2000kg/m^3 .

The concrete will be tested after curing, and the mechanical characteristics such as: Compressive strength, cylinder tensile strength, flexural strength E-modulus, CMOD and fracture energy will be compared. The compressive strength, cylinder tensile strength and E-modulus is expected to have a higher value for normal concrete than MND and LWA concrete. The compressive strength in normal concrete had a high value, MND concrete had a lower value, and LWA had the lowest value. This based on concrete with w/c ratio = 0,37. For the concrete with w/c ratio 0,6 is it shown that LWA concrete has a higher compressive strength than some of the MND concrete, which is not expected. The results for cylinder tensile strength was varying. A reason of this is that Stalite separate and rises to the surface when pouring into the different forms which can result in a rough distribution of Stalite in the cylinders. Reference concrete with w/c ratio 0,37 has the highest tensile strength together with MND 40/60 Årdal/ Stalite 8-16mm.

Results from E-modulus is quite equivalent with the expectations with one exception. Two of the MND concrete with 50/50 Årdal/ Stalite 8-16mm has a higher value of E-modulus than MND 60/40. The higher content of Stalite, the lower value for E-modulus.

Crack Mouth Opening Displacement (CMOD) was completed simultaneously with flexural strength and, reference concrete with w/c ratio 0,37 has the highest value and LWA has the lowest value. Results from CMOD varied more between the beams with same concrete than all the different concrete. Beam number two tested of reference concrete with w/c ratio 0,6, had a higher CMOD value than the rest of the concrete.

The fracture energy gives an indication on how ductile the concrete is. Some of the datas registered of force and deflection had some flaws, and some of them was not registered. Even tough the results from the calculation of fracture energu shows some tendency that the fracture energy is lower for concrete with higher amount of Stalite which is according to the expectations. Lower fracture energy means that the concrete is more brittle, and higher fracture energy means that the concrete is more ductile.

Innhold

Forord	iii
Sammendrag	iv
Abstract	vi
Bildeliste.....	3
Tabell – liste	4
1. Innledning.....	5
1.1 Bakgrunn og formål.....	5
1.2 Innhold.....	6
2. Teori	7
2.1 Tilslag	7
2.2 Sement	8
2.2.1 Masseforhold: v/c tall	9
2.3 Tilsetningsstoffer	10
2.4 Lettbetong	11
2.5 Selvkomprimerende betong	12
2.6 Duktilitet.....	13
3. Testmetode	14
3.1 Fukttinnhold i tilslag med Speedy test.....	14
3.2 Fersk betong	15
3.2.1 Synkutbredelsesmål	15
3.2.2 Luftinnhold	15
3.2.3 Densitet	16
3.3 Herdet betong	16
3.3.1 Trykkfasthet	16
3.3.2 Spaltestrekkfasthet	18
3.3.3 Elastisk modulus	19
3.3.4 Bøyestrekfasthet.....	20
3.3.5 CMOD.....	21
3.3.6 Bruddenergi.....	22
4. Prøveplan.....	23
4.1 Prøveplan	23
4.2 Referansebetong	25
4.3 Materialer.....	25
4.3.1 Tilslag	26

4.3.2 Sement, Anlegg FA.....	28
4.3.3 Tilsetningsstoff	29
4.4 Betongresepter	30
4.5 Blande og utstøpningsprosess.....	32
5. Resultat.....	34
5.1 Observasjoner under blanding og utstøping av betong	34
5.1.1 Blanding 1	36
5.1.2 Blanding 2.....	36
5.1.3 Blanding 3	37
5.1.4 Blanding 4.....	37
5.1.5 Blanding 5	38
5.1.6 Blanding 6.....	38
5.1.7 Blanding 7.....	39
5.1.8 Blanding 8.....	39
5.1.9 Blanding 9.....	40
5.1.10 Blanding 10.....	41
5.1.11 Blanding 11	41
5.1.12 Blanding 12.....	42
5.1.13 Blanding 13	42
5.1.14 Blanding 14.....	43
5.2 Test av herdet betong.....	44
5.2.1 Trykktest	45
5.2.2 Resultater fra spaltestrekking.....	47
5.2.3 Resultater Elastisitetens modulus	49
5.2.4 Bøyestrekkefasthet.....	50
5.2.5 Crack Mouth Opening Displacement (CMOD).....	51
5.2.6 Bruddenergi.....	52
6. Diskusjon.....	54
6.1 Fersk betong	54
6.2 Herdet betong	58
6.3 Mulige feilkilder	64
7. Konklusjon	65
8. Referanser.....	67
8.1 Kilder fra teori	67
8.2 Kilder fra testmetode	68

8.3 Kilder fra prøveplan.....	68
Vedlegg	69
.....	89

Bildeliste

Figur 1 - v/c forhold og trykkfasthet	10
Figur 2 - Speedy moisture tester (Even, 2019).....	14
Figur 3 - Terning ved brudd trykktest (Even, 2019)	17
Figur 4 - Spaltetest ved brudd og før brudd (Even, 2019)	18
Figur 5 - Prøvestykke i test E-modul (Even, 2019).....	19
Figur 6 - Prinsippskisse bøyestrek og CMOD	21
Figur 7 - Skisse av test densitet Stalite.....	27
Figur 8 - Tidligfasthet ved ett døgn Norcem Anlegg FA	28
Figur 9 - Fasthetsutvikling Norcem Anlegg FA.....	29
Figur 10 - Sammensatt siktekurve.....	30
Figur 11 - Fordeling tilslagsfraksjoner	31
Figur 12 - Støpeformer	33
Figur 13 - Steinrik synkutbredelse	40
Figur 14 - Terning etter brudd trykktest.....	46
Figur 15 - Dårlig utstøpt sylindere	49
Figur 16 - Luftinnhold [%].....	55
Figur 17 - Densitet [kg/m ³].....	56
Figur 18 - Synkutbredelse [mm]	57
Figur 19 - Forventet trykkfasthet	58
Figur 20 - Trykkfasthet terninger [MPa].....	58
Figur 21 - Resultater spaltetrekk.....	59
Figur 22 - Forventede resultater E-modul	60
Figur 23 - Resultater E-modul [GPa]	61

Tabell – liste

Tabell 1 - Mineraler i Portlandsement.....	9
Tabell 2 - Forskjeller mellom de ulike betongblandingene.....	23
Tabell 3 - Prøveplan	24
Tabell 4 - Oversikt over materialer brukt.....	25
Tabell 5 - Materialer oppveid kg/m ³	34
Tabell 6 - Samlet resultat SU, Densitet og luft	35
Tabell 7 - Blanding 1.....	36
Tabell 8 - Blanding 2.....	36
Tabell 9 - Blanding 3.....	37
Tabell 10 - Blanding 4.....	37
Tabell 11 - Blanding 5.....	38
Tabell 12 - Blanding 6.....	38
Tabell 13 - Blanding 7.....	39
Tabell 14 - Blanding 8.....	39
Tabell 15 - Blanding 9.....	40
Tabell 16 - Blanding 10.....	41
Tabell 17 - Blanding 11.....	41
Tabell 18 - Blanding 12.....	42
Tabell 19 - Blanding 13.....	42
Tabell 20 - Blanding 14.....	43
Tabell 21 - Dato for når de ulike testene ble utført	44
Tabell 22 - Bruddstyrke.....	45
Tabell 23 - Trykkfasthet del 1	46
Tabell 24 - Trykkfasthet del 2	46
Tabell 25 – Resultat trykkfasthet alle prøver.	47
Tabell 26 - Resultater spaltestrekk	48
Tabell 27 - Resultater E-modul	49
Tabell 28 - Bøyestrekfasthet [MPa]	50
Tabell 29 - CMOD og areal under kurve	51
Tabell 30 - Bruddenergi bjelke 1.....	52
Tabell 31 - Bruddenergi bjelke 2.....	53

1. Innledning

1.1 Bakgrunn og formål

En lettbetong er en nyttig betong som har lavere egenvekt enn vanlig konstruksjonsbetong. Betong som har lett tilslag og tørrvekt under 2200kg/m^3 er ifølge NS – EN 1992, 11.1 karakterisert som lettbetong. I tillegg til forskjell i vekt fra normalbetong, har lettbetong også lavere E-modul og bruddenergi. Også andre egenskaper kan være lavere i lettbetong.

Stalite er et lett tilslag fra USA som er ekspandert skifer laget av vulkansk aske. Denne type skifer er naturlig sterkere og har høy tetthet i motsetning til leire og andre typer skifer som er formet av mineraler og organiske sedimenter [18]. Stalite brukes som tilslag i lettbetong, og det er flere fordeler med bruk av Stalite. Lavere vekt, god varighet, og lav absorpsjon er noen av fordelene med bruk av Stalite som tilslag. [6]

I denne oppgaven skal det gjennomføres et laboratorieprogram med fokus på selvkomprimerende betong med ulikt innhold av tilslaget Stalite (8-16mm). Hvordan vil innholdet av Stalite påvirke støpeligheten til den selvkomprimerende betongen? Er det lett å lage en selvkomprimerende lettbetong som har like god støpelighet som vanlig SKB med en synkutbredelse på minimum 650mm og som ikke separerer? For å få svaret på dette vil det i denne oppgaven blandes normalbetonger, modifiserte normal densitetsbetonger (MND) og lettbetonger (LWA). Normalbetongene brukes som referanse mot de andre betongene. Det forventes at lettbetong vil ha en densitet nærmere 2000kg/m^3 , MND densitet rundt 2200kg/m^3 og normalbetong rundt 2400kg/m^3 . De ulike blandingene blir støpt med v/c tall 0,37 og 0,6. Hva vil forskjellen i de mekaniske egenskapene som: Trykkfasthet, spaltestrekkfasthet, E-modul, bøyestrekk, og bruddenergi være i de forskjellige betongene? Hvordan påvirker innhold av Stalite duktilitetsegenskapene i den selvkomprimerende betongen? Dette er noen av spørsmålene som skal besvares i denne oppgaven. Det er forventet at blandinger med v/c tall = 0,37 og lavt innhold av Stalite vil ha en høyere trykkfasthet og spaltestrekk enn blandinger med v/c tall = 0,6 og høyt innhold av Stalite. Densiteten er med på å styre trykkfasthet. [7, s. 24, figur 2]. E-modul vil også være høyere for normalbetong enn for MND og lettbetong [7, s. 24]. Duktilitet er knyttet opp mot bruddenergien. Lav bruddenergi er en indikasjon på at betongen er sprø, og høy bruddenergi er en indikasjon på at betongen er seig. Det vil bli gjennomført test på bruddenergi for bjelker, og det forventes at lettbetong og betong med innhold av Stalite vil ha lavere bruddenergi enn betong med normalt tilslag.

1.2 Innhold

Første del av oppgaven omfatter en litteraturstudie vedrørende grunnleggende teori om tilslag, sement, lettbetong, SKB og duktilitet. Kapittel tre er metode, og de ulike testene som gjøres på fersk og herdet betong er beskrevet i korte trekk. I kapittel 4 vil det bli gått nærmere inn på de forskjellige materialene som er brukt i oppgaven, samt hvordan resepten og blande/utstøpingsprosessen er. Resultatene fra testene gjort med fersk og herdet betong er presentert i kapittel fem, før diskusjon og konklusjon følger til slutt. Diverse kilder, og vedlegg om betongresepter, materialer, data fra ulike tester og utregninger ligger bakerst i oppgaven.

2. Teori

2.1 Tilslag

Betong består i hovedsak av sement, vann og tilslag. Det stilles ulike krav til et tilslag, og i NS-EN 12620 [1] står det en rekke referanser som må oppfylles for at det normale tilslaget skal kunne brukes i betongen i henhold til betongstandarden. Geometriske, fysiske og kjemiske krav er noe av det som må være oppfylt [2, s. 16-18]. Tilslag kan forekomme på forskjellige måter. Det kan være kunstig, naturlig eller det kan lages av resirkulert byggemateriale. Granitt, kvartsdioritt og gabbro er gode bergarter til bruk i naturlig tilslag. Tilslaget utgjør størsteparten av en betongblanding (60-70%), og vekten av tilslaget har derfor mye å si når en betongkonstruksjon skal lages. Det kan være konstruksjonen ikke kan bygges hvis tilslaget er for tungt. Ifølge betongstandard så har vi tre typer tilslag: Lett tilslag, normaltilslag og tungt tilslag. Lett tilslag har gjerne en densitet på under eller lik 2000kg/m^3 , normaltilslag $2000\text{-}3000\text{kg/m}^3$ og tungt tilslag på over 3000kg/m^3 . Disse er densiteter i ovenstående tilstand [2, s. 15-17].

Det er ulike krav og egenskaper i en betongblanding ønskes å oppnå etter betongen er støpt ut. En betong har gjerne en eksponeringsklasse for hvilket miljø den skal støpes i, og det stilles derfor krav til tilslaget. Den største kornstørrelsen D_{max} , brukes for å klassifisere betongen, og de forskjellige tilslagstypene skal samsvare med norsk standard. Normaltilslag og tungt tilslag skal være i samsvar med NS – EN 12620 «Tilslag til betong» [1], og lett tilslag skal være i samsvar med NS – EN 13055-1 «Lett tilslag». Resirkulert tilslag skal følge Norsk Betongforenings publikasjon 26. Her er noen egenskaper ved tilslag som det stilles krav til [2, s. 17-18]:

- Geometriske
- Fysiske
- Betegnelser og beskrivelse
- Kjemiske

Disse kravene omfatter blant annet form og gradering på tilslaget, densiteten på korn, innhold av finstoff, vannabsorpsjon og mer. For å bestemme graderingen på tilslaget og innhold av tilslag kan man utføre en sikteanalyse. Her benyttes sikter av ulik størrelse for å skille ut størrelsen på de ulike kornene i tilslaget. Til slutt vil det stå igjen en mengde tilslag ved ulike siktestørrelser som danner grunnlaget for en siktekurve.

For godt graderte tilslag vil en slik siktekurve være jevn uten sprang og rette linjer. Et tilslag har forskjellig kornform og overflate. Noen har en rund form, noen kubisk, noen flate og noen lange. Pukk og annet materiale som er laget ved knusing har ofte skarpe kanter og er mer ru på overflaten. Runde tilslag er gjerne naturstein og har en glattere overflate. [2, s. 17-21]. Tilslaget brukt i denne oppgaven er Årdal 0.8mm og 8-16mm, og Stalite 8-16mm. Mer om disse tilslagene kan sees under kapittel 4.3.1 tilslag.

2.2 Sement

Sementen er bindemiddelet i betongen, og det finnes en rekke typer. Hvilken type man skal velge er ifølge NS – EN 206 – 1 avhengig av hvordan arbeidet skal utføres, hva betongen skal brukes til, herdebetingelser, størrelsen på konstruksjonene, hvilken miljøpåvirkning konstruksjonen blir utsatt for og reaksjon mellom tilslag og alkalier [2, s. 26]. Det finnes flere typer sementer og eksempler på sement laget i Norge er: Norcem – Standard, - Anlegg FA, - Industri og – SR [2, s. 29]. Det er Portlandsement som er vanlig i byggeindustrien, og den lages fra leire og mineraler som inneholder kalk. Kalkstein blir utvunnet, knust ned, malt til pulver og tilsatt komponenter. Deretter blir dette lagret før det blir brent til klinker ved en temperatur på over 1400°C. Klinkeren blir så lagret, malt, tilsatt gips og jernsulfat og til slutt lagret på sementsiloer klar for transport ut. Det blir tilsatt gips for å ha kontroll på når sementen skal størkne. Uten det ville sementen størknet med en gang under tilsetting av vann. Jernsulfatet blir tilsatt for å ta opp krom som sement inneholder. Dette er for å redusere faren for kromallergi som kan gi mureksem og utslett. [2, s. 26-27]. Tabellen på neste side viser sammensetningen av de viktigste mineralene i portlandsementen og deres egenskaper [2, s. 28]:

Tabell 1 - Mineraler i Portlandsement

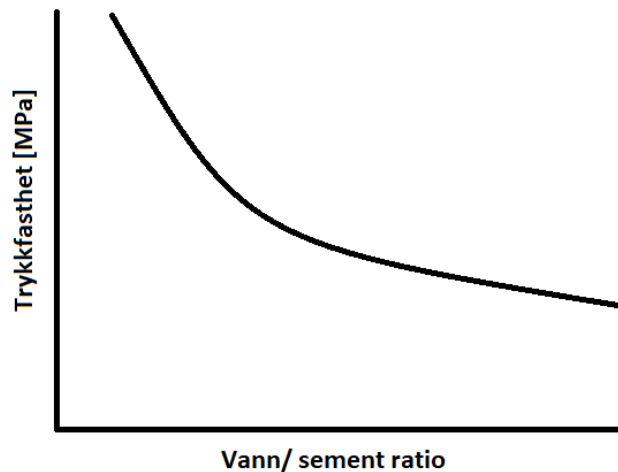
Mineraler	Egenskaper	Varmeutvikling
Trikalsiumsilikat	Reagerer sent med vann, men gir høy fasthet tidlig i herdingen av betong.	Rask, men stabil sluttverdi
Dikalsiumsilikat	Reagerer sent med vann, men har mest å si på den endelige fastheten	Sen utvikling og lav sluttverdi
Trikalsiumaluminat	Reagerer raskt med vann, men lite bidrag til fasthet	Rask og høy sluttverdi
Tetrakalsiumaluminatferritt	Reagerer raskt med vann, men lite bidrag til fasthet	Sen utvikling og lav sluttverdi.

Finheten til sementen har også noe å si på varme og fasthetsutviklingen. Jo større finhet sementen har jo større blir kontaktflaten mellom sementen og vann [2, s. 29]. I denne oppgaven er det benyttet sement Anlegg FA som er laget av Norcem. Mer om denne sementtypen kan sees i kapittel fire: «Prøveplan», og under delkapittel 4.3.2 «Sement, Anlegg FA».

2.2.1 Masseforhold: v/c tall

Betongens masseforhold kalles også v/c tall og er med på å avgjøre betongens permeabilitet. Lavt v/c tall gir tilsvarende lavt innhold av kapillærporer i sementlimet. I en blanding med lavt v/c tall vil det meste av vannet reagere med sementen og det vil bli lite «hulrom» i sementlimet. Er v/c tallet høyere enn 0,4 vil økningen av kapillærporer være stor. Et lavt masseforhold gjør det mulig å få en betong som er bestandig. Masseforhold høyere enn 0,65 kan gi dårligere bestandighet [2, s. 137-138].

Masseforholdet er det som bestemmer trykkfastheten til betongen. Jo mer sement, jo lavere er v/c tallet og jo høyere blir trykkfastheten. Figuren under viser en enkel skisse av trykkfastheten og v/c tall, laget ut ifra figur 6.1 «The relation between strength and water/cement ratio of concrete» i boken *Properties of concrete* av A.M. Neville [3, s. 272].



Figur 1 - v/c forhold og trykkfasthet

I denne oppgaven der v/c tallene har vært 0,37 og 0,6 vil vi da se at trykkfastheten er høyest for v/c blandinger med v/c tall 0,37.

Masseforholdet påvirker også betongens støpelighet og hvor lett det er å håndtere betongen. Lavt masseforhold gir rask størkning av fersk betong, og det kan bli utfordrende å fylle alle former før betongen ikke lenger er håndterbar. Støpeligheten er ikke bare avhengig av masseforholdet, men også av tilslag i blandingen [3, s. 190].

2.3 Tilsetningsstoffer

Får å påvirke egenskapene til betong kan ulike tilsetningsstoffer tilsettes. Det kan være å øke herdetiden til betongen, redusere herdetiden, få bedre støpelighet, gi økt fasthet, øke frostbestandigheten og mye mer. Ifølge NS – EN er ulike tilsetningsstoffer angitt i følgende klasser [2, s. 35-39]:

- Superplastiserende (SP): Gir god støpbarhet og ønsket konsistens.
- Størkningsretarderende/ akselererende: Øke/ minke tiden det tar for betongen å størkne.
- Herdingsakselererende: Skape hurtigere utvikling av fasthet.
- Vannreducerende/ plastiserende: Endring i konsistens og retardasjon.
- Luftinnførende: Bedre frostbestandighet.

I denne oppgaven er det benyttet det superplastiserende tilsetningsstoffet: Dynamon SX-N ved blanding av betong [4]. Mer om dette tilsetningsstoffet kan sees under kapittel fire, 4.3.3.

2.4 Lettbetong

I motsetning til normalbetong som har en densitet på rundt 2400kg/m^3 , har lettbetong en densitet på rundt 2000kg/m^3 . Noen ganger er det nødvendig å fjerne vekt for å kunne konstruere det man ønsker. En måte å gjøre dette på er å bruke lettbetong istedenfor normalbetong. Dette var tilfellet da Sandsfjordbrua i Suldal ble bygget. Det lengste spennet på denne bruene var 290m, og for å klare å konstruere dette var det nødvendig å bruke lettbetong. Derfor ble lett tilslaget Stalite hentet in fra USA og brukt i betongen på denne bruene [5]. Andre fordeler med å bruke lettvektsbetong er at det ikke blir like stort press på forskalingen som ved bruk av normalbetong, og det kan redusere materialbruken og øke produktiviteten. For eksempel hvis en 4,5m høy vegg skal støpes med normalbetong, er det ofte nødvendig å dele opp støpen slik at trykket i bunnen ikke blir for stort og kan ødelegge formen. Dette kan gjøres ved å støpe 1m opp i timen for eksempel. Hvis lettbetong hadde vært brukt, ville ikke trykket blitt like stort og man kunne støpt veggen raskere [3, s. 690].

Stalite er lett tilslaget som skal brukes i denne oppgaven, og her er noen av fordelene med å bruke Stalite til å lage lettvektsbetong [6]:

- Lavere vekt.
- Kan brukes når det skal konstrueres lengere spenn.
- Kan brukes til å lage tynnere dekker.
- Generelt mindre materialer brukt.
- Reduserte transport kostnader.

Når det grove tilslaget byttes ut med 100% stalite kalles dette light weight aggregate betong (LWA betong). LWA er egentlig bygget opp på samme måte som normalbetong, men det er det lettere tilslaget som er annerledes [7, s. 21]. Lettvekts tilslag har blant annet en høyere porøsitet enn tilslag brukt i normalbetong. Dette spiller inn på fastheten og E-modulen til tilslaget. Høy porøsitet gir reduksjon i stivhet, og lette tilslag vil derfor ha lavere E-modul enn normalbetong [7, s. 24] Andre lett tilslag er for eksempel: Ekspandert leire (Leca) eller skifer og sintret flyveaske [7, s. 22].

2.5 Selvkomprimerende betong

Selvkomprimerende betong (SKB) betegnes ofte som en matriksdominert betong, og har gjerne et synkmål på mer enn 250mm og synkutbredelse på 650mm. At betongen er matriksdominert betyr at matriksdelen av blandingen er stor nok til å holde tilslagspartiklene fra hverandre og dermed redusere blant annet friksjon. Matriks er en tungtflytende væske som omslutter de faste partiklene i betongen og fyller alle rom [2, s. 62-67]. Ordinær konstruksjonsbetong har gjerne et synkmål på 100mm, og må vibreres ut i formen når den brukes på byggeplass. SKB behøver ingen vibrering, og er gunstig å bruke der det er vanskelig å komme til med vibrator. Dette kan være i vegger med store utsparinger for eksempel. Det er viktig å passe på at støpeslangen/krympeslangen fra pumpebilen kommer godt ned i formen. Høyden betongen slippes ned i formen på er avhengig av blant annet forskalingens geometri og hvor tett armeringen er. Fallhøyden til betongen bør ikke være mer enn fem meter [8, s.6], og bør være minst mulig, gjerne 50-60cm. Blir betongen sluppet fra større høyder enn dette øker sjansen for separasjon, støpesår og mindre pene overflate på sluttproduktet. Det finnes ulike tester på hvor lett betongen flyter ut i armering. U-boks og L-kasse er to tester som går ut på å sjekke hvordan betongen flyter ut ved ulik tetthet av armering og størrelse på tilslag D_{max} . [8, s.2-3].

Siden det ikke er behov for vibrering, blir tiden det tar å støpe ut redusert og det trengs ikke like mange personer til å utføre støpen. Ved å ta vekk vibrering vil det også bli betydelig mindre støy på byggeplass, og det sliter ikke like mye på arbeidernes kropp. En annen fordel med å benytte selvkomprimerende betong kontra vanlig betong, er at det reduserer sjansen for steinreir og luftbobler, noe som er med på å svekke betongkonstruksjonen. Dette kommer av at SKB har motstand mot segregering og selvkomprimerende evne. Sluttresultater ved bruk av SKB er som regel pene overflater, men er noe avhengig av hvilken type forskaling og formolje som benyttes [8, s.4-5].

2.6 Duktilitet

En betongkonstruksjon har mekaniske egenskaper som er av interesse. Fasthet er en viktig mekanisk egenskap og bestemmer betongens stivhet, som sier noe om hvilken nedbøyning en konstruksjon får når den blir belastet [2, s. 99]. Betongen har også en duktil oppførsel.

Duktilitet er blant annet viktig for hvor lett riss kan dannes i betong og betongens egenskap til å lagre om spenninger før brudd. Det er en forskjell i E-modul mellom sementen og tilslaget i en betong, og dette kan forklare noe av hvorfor betong oppfører seg duktilt [9, s. 7].

Materialets duktilitet og en konstruksjons duktilitet er forskjellig. En konstruksjon har en viss geometri, ofte med armering, og måten konstruksjonen belastes på har noe å si på om et eventuelt brudd hadde blitt sprøtt eller duktilt [24, s. 2]. En øking av E-modul eller bruddenergi kan tyde på at betongen vil oppføre seg mer duktilt. Bruddenergien kan økes betraktelig ved å tilsette typer fibere [24, s. 12 og 44].

3. Testmetode

I dette kapitlet beskrives de ulike testene som er gjort før blanding av betong, når betongen er fersk, og når betongen har herdet. Resultatene fra de ulike testene kan sees i kapittel 5: «Resultater».

3.1 Fuktinnhold i tilslag med Speedy test

For å korrigere for fukt i tilslaget Årdal 0-8mm ble speedy-testen benyttet. I denne testen veier man opp riktig mengde sand ved hjelp av vektskålen, og heller så dette inn i beholderen. Deretter tilsettes to måleskjeer med reagenten calcium carbide i topplokket av beholderen. Det er viktig å ta på lokket uten at pulveret blander seg med sanden. Når dette er gjort, festes lokket godt, og man vender beholderen 180 grader frem og tilbake i 20 sekunder. Dette gjentas en gang til før prosent fuktighet er vist i målervinduet. Beskrivelse for prosedyren kan sees i brukermanualen som følger med testen.



Figur 2 - Speedy moisture tester

3.2 Fersk betong

Testene utført i fersk tilstand er synkutbredelse, luftinnhold og densiteten av betongen, og er beskrevet i korte trekk i dette delkapittelet.

3.2.1 Synkutbredelsesmål

Synkutbredelsesmål er målt i henhold til NS-EN 12350 del 8 [10]. Her benyttes en kjegle stående midt på en plate med avstandsringer som fuktes, og kjeglen fylles med betong. Deretter trekkes kjeglen opp og betongen flyter utover platen. Til slutt måles diameter av betongoverflaten først en vei (d_1), og så rettvinklet den andre veien (d_2). Når dette er gjort kan synkutbredelsen regnes ut på følgende måte:

$$\text{Synkutbredelse} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3-1)$$

For at betongen skal kvalifiseres som selvkomprimerende betong må synkutbredelsesmålet være større eller lik 650mm.

3.2.2 Luftinnhold

Luftinnholdet i de ulike betongblandinger blir målt i henhold til NS-EN 12350-7 [11]. Betongblandinger blir fylt opp i en rundt beholder som rommer et volum på 8 liter. For å få lokket med trykkmåleren godt på, blir kanten rundt beholderen tørket av og rengjort. Etter lokket er festet blir kuleventilene på hver side åpnet, og vann tilføres i den ene ventilen helt til det kommer en jevn strøm ut av den andre. Ventilene lukkes og trykket pumpes opp til viseren i måleglasset ligger på null. Deretter holdes spaken ved siden av pumpen nede, og luftinnholdet kan leses av. Luftinnholdet har variert fra 0,8% til 2,3% og resultatene vises i kapittel 5: «Resultater».

3.2.3 Densitet

Måling av densiteten til betongblandingene blir utført i henhold til NS-EN 12350-6 [12]. Beholderen som brukes til måling av luftinnhold blir også brukt i denne testen. Volumet og vekten av beholderen er kjent, og densiteten til betongen kan bli regnet ut ved følgende formel:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3-2)$$

Her er:

- ρ = densiteten til den ferske betongen gitt i kg/m^3 .
- m_1 = vekt av beholder gitt i kg.
- m_2 = vekt av beholder med fersk betong gitt i kg.
- V = volumet av beholder gitt i m^3 . Beholderen rommer 8 liter noe som tilsvarer $0,008\text{m}^3$.

3.3 Herdet betong

Alle testene for den herdete betongen skal normalt bli utført 28 dager etter støp. Alle prøver blir lagt i vannbad dagen etter støp for å herde. Vannet vil holde ca. 20 grader. Resultatene fra de ulike testene kan sees i kapittel 5: «Resultater».

3.3.1 Trykkfasthet

Trykkfastheten til betongen blir bestemt ut ifra NS – EN 12390-3 [13]. For hver betongblanding vil det støpes ut seks terninger med tverrsnitt $100 \times 100 \text{mm}$. Terningene plasseres på en firkantet tykk jernplate med samme tverrsnitt. Terningene blir så utsatt for konstant påføring av last vinkelrett på frem til brudd. Platen rengjøres mellom hver test slik at det ikke ligger rester igjen fra den forrige terningen. Maks belastning blir registrert, og trykkfastheten kan regnes ut etter formelen på neste side:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3-3)$$

Her er:

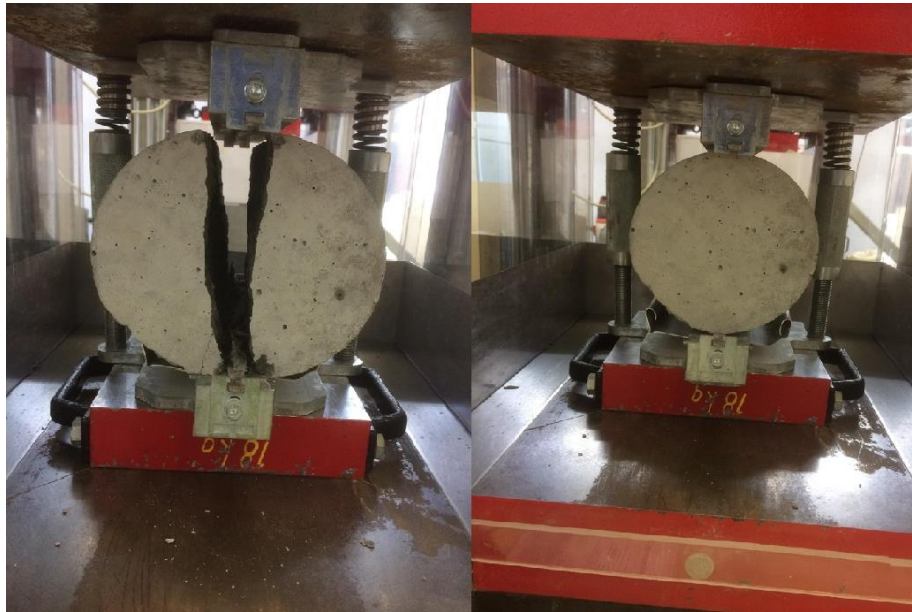
- F = Maksimumlast ved brudd gitt i N
- A_c = Tverrsnittsareal av prøvestykket gitt i mm^2
- f_c = Trykkfastheten gitt i N/mm^2



Figur 3 - Terning ved brudd trykktest

3.3.2 Spaltestrekkfasthet

Betongens spaltestrekkfasthet blir bestemt ut ifra NS – EN 12390-6 [14]. Det vil støpes ut seks sylindere for hver betongblanding hvor fire av disse vil bli brukt til å teste spaltestrekkfasthet. Prøvestykket legges sidelengs i en jig og blir utsatt for trykk kraft i lengderetningen frem til brudd, slik som figur fire under viser:



Figur 4 – Spaltestrekkfasthet ved og før brudd

Viktig at prøvestykket ligger midt i jig, at maskinen er rengjort og at øvre og nedre plate ligger rett over hverandre. Sylindren blir belastet med en konstant kraft som har hastighet 0,5MPa/s, og maksimum last blir notert ved brudd. Maksimum last brukes til å regne ut spaltestrekkfastheten ved bruk av følgende formel:

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times d \times L} \quad (3-4)$$

Her er:

- f_{ct} = spaltestrekkfasthet i MPa
- F = maksimum kraft ved brudd i N
- L = lengden av sylindrens kontaktlinje i mm
- d = fastsatt tverrsnitt i mm

3.3.3 Elastisk modulus

Elastisitetsmodulen til betongen blir bestemt ut ifra NS – EN 12390 – 13 [15]. To av de seks sylindrerne som støpes ut vil bli brukt til å finne elastisk modulus (E-modulus) til betongen. Dette vil være de to sylindrene som har minst ujevnheter og som har fin overflate. En elastisitetmåler blir festet til sylindren, og den blir plassert midt i trykkmaskinen slik som figur fem under viser.



Figur 5 - Prøvestykke i test E-modul

Sylindren vil bli utsatt for aksielt trykk i tre lastsykluser. Spenningen og tøyningen blir registrert og stabilisert E-modul kan finnes ved hjelp av følgende formel:

$$E_{c,s} = \frac{\sigma_a^m - \sigma_b^m}{\varepsilon_{a,3} - \varepsilon_{b,2}} \quad (3-5)$$

Her er:

- σ_a^m = Øvre spenning som kan regnes ut med formelen:

$$\frac{f_c}{3} \quad (3-6)$$

f_c er trykkfasthet til cylinderen. Denne kan finnes ved å ta gjennomsnittet av trykkfastheten til de seks terningene fra samme betongblanding, og gange dette med 0,8.

- σ_b^m = Nedre spenning: $0,10 \times f_c \leq \sigma_b \leq 0,15 \times f_c$
- $\varepsilon_{a,3}$ = gjennomsnittts tøyning ved øvre spenning ved tredje lastsyklus.
- $\varepsilon_{b,2}$ = gjennomsnittts tøyning ved øvre spenning ved andre lastsyklus.

Når testen er ferdig og prøvestykket har blitt utsatt for ulike trykk krefter gis elastisitetsmodulen i en tabell på dataskjermen.

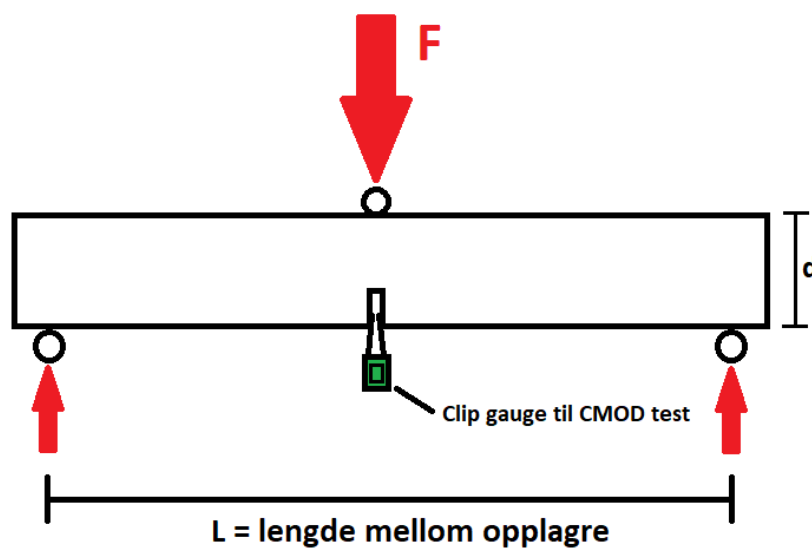
3.3.4 Bøyestrekfasthet

For hver blanding vil det bli støpt bjelker med et tverrsnittsareal på 100 x 100mm, og en lengde på 500mm. Testen utføres i henhold til NS – EN 12390 del 5 [16]. Før testen utføres blir det skjært ett hakk i midten av bjelken på 20mm ved hjelp av en betongsag. Dette hakket blir brukt til å plassere clip gaugen for testing av CMOD, som blir testet samtidig med bøyestrekfasthet. Clip gaugen brukes for å måle utvidelsen av sprekken i midten av bjelken. Bjelken plasseres i midten slik at endene er litt over de runde opplagrene med hakket i bjelken pekende nedover. Noen av bjelkene kan ha ruglete overflate etter ustøping, så det blir viktig å ikke ha denne overflaten ned mot opplagrene, da dette kan gi unøyaktig resultat. Det påføres last i midten av bjelken som øker jevnt frem til brudd. Maksimumlasten ved brudd blir registrert. Bøyestrekfastheten regnes ut ved hjelp av formelen på neste side:

$$f_{ct} = \frac{F \times L}{d_1 \times d_2^2} \quad (3-7)$$

Her er:

- f_{ct} = Bøyestrekfastheten gitt i MPa
- F = Maksimum last ved brudd gitt i N
- d_1 og d_2 = Tverrsnittsmålene gitt i mm. I dette tilfellet er $d_1 = d_2$, så det kunne vært d^3 i formelen ovenfor.
- L = Avstanden mellom opplagene gitt i mm.



Figur 6 - Prinsippskisse bøyestrek og CMOD

3.3.5 CMOD

CMOD står for: Crack Mouth Opening Displacement, og måler utvidelsen av sprekåpningen gjennom lastpåføringen. Utvidelsen av sprekken måles samtidig som test av bøyestrekfasthet utføres og resultatene blir presentert i et Excel ark sammen med krefter. Clip gaugen plasseres i sporet av bjelken som ble kuttet med betongsag. Viktig å passe på at de to stådelene ikke kommer borti hverandre. Deretter nullstilles dataene og settes på direkte oppdatering før testen startes. For at ikke clip gaugen skal ødelegges når bjelken knekker er det plassert en boks under som tar imot de to delene av bjelken.

3.3.6 Bruddenergi

Bruddenergien blir regnet ut ved hjelp kraft og nedbøyningskurven ved test av bøyestrekfasthet. Det er bruddenergien som gir den beste indikasjonen på om betongen er duktil eller ikke. Jo lavere bruddenergi, desto sprøere er betongen og jo høyere bruddenergi, desto seigere er betongen. Seigheten er et mål på duktilitet. Bruddenergien er gitt i N/mm og regnes ut ved hjelp av formelen under fra forelesning i betongteknologi [23, s. 36]:

$$\text{Bruddenergi } Gf = \frac{W_0 + 2 \times \partial_0 \times p \times 9,81 \times 0,4}{b \times h} \quad (3-8)$$

Her er:

- W_0 arealet under kurven til kraft og nedbøyningsgraf gitt i Nmm.
- ∂_0 er nedbøyningen i midten av bjelken i mm.
- P er vekten av bjelken i kg.
- b er lengden av bjelken i mm.
- h er høyden av bjelken i mm.

Arealet under kurven til kraft og nedbøyning kan regnes ut ved hjelp av følgende formel:

$$\text{Areal under kurve} = \left(\frac{y_1 + y_0}{2} \right) \times (x_1 - x_0) \quad (3-9)$$

Her er y_1 , y_0 , x_1 og x_0 punkter fra Excel, der x representerer nedbøyning og y representerer last påført bjelken. Utregningen av arealet starter der kraften starter å belaste bjelken.

4. Prøveplan

Formålet med dette kapittelet er å vise forskjeller mellom de ulike betongblandingene og hvordan de er satt sammen. Målet er å lage selvkomprimerende betongblandinger med fokus på å oppnå god støpelighet og gode mekaniske egenskaper. Disse betongblandingene vil være normalbetonger, modifisert normale densitetsbetonger, og lettbetonger. I dette kapittelet sees det også nærmere på de ulike tilslagene, sementen, v/c tall og tilsetningsstoff som er brukt i denne oppgaven.

4.1 Prøveplan

Tabellen under viser prøveplanen for denne oppgaven. Det vil totalt støpes 14 blandinger. Utgangspunktet var seks blandinger, men det blir totalt støpt 14 blandinger. Forskjellen mellom de ulike blandinger kan sees i tabell 2 under:

Tabell 2 - Forskjeller mellom de ulike betongblandingene

Forskjeller mellom de ulike betongblandingene				
Resept nr.	Betegnelse på betong	v/c tall	% volum av grovt tilslag som er Årdal	% volum av grovt tilslag som er Stalite
Ref. 1	Normalbetong	0,60	100	0
Ref. 2	Normalbetong	0,37	100	0
3	MND	0,37	50	50
4	LWA	0,37	0	100
5	LWA	0,60	0	100
6	MND	0,60	50	50
7	MND	0,60	40	60
8	MND	0,37	40	60
9	MND	0,60	60	40
10	MND	0,37	60	40
11	MND	0,60	50	50
12	MND	0,37	50	50
13 Ref.	Normalbetong	0,60	100	0
14 Ref.	Normalbetong	0,37	100	0

I tabellen ovenfor er forskjellene med de forskjellige blandinger vist. Første kolonne viser de ulike typene betongblandinger som er planlagt støpt. Referansebetong 1, 2, 13 og 14 er normalbetonger, blanding nummer 3 og 6-12 er MND betonger.

MND står for: Modifisert Normal Densitet, og forskjellen fra normalbetongen er at volumprosenten av det grove tilslaget (8-16mm) er delt opp mellom vanlig Årdal og lett tilslag Stalite. Hvis det er en 50/50 fordeling, så vil det si at 50% av Årdal 8-16mm er byttet ut med 50% Stalite 8-16mm, og det blir dermed en mellomting mellom normalbetong og lettbetong. Blanding nummer 4 og 5 er lettbetonger. LWA står for: Light Weight Aggregate, og disse betongblandingene er laget med 100% lett tilslag Stalite 8-16mm istedenfor Årdal 8-16mm. Det planlegges å støpe to blandinger av samme slag, men ved ulikt v/c tall. v/c tallet vil være 0,37 og 0,6. Tabell 3 under viser prøveplanen for betongblandingene:

Tabell 3 - Prøveplan

Resept nr.	Antall liter	Matriksvolum [l/m ³]	Antall sylindere	Antall terninger	Antall bjelker
Ref. 1	60	320	5	6	2
Ref. 2	70	340	6	6	2
3	70	340	6	6	2
4	70	340	6	6	2
5	70	340	6	6	2
6	70	340	6	6	2
7	70	340	6	6	2
8	70	340	6	6	2
9	70	340	6	6	2
10	70	340	6	6	2
11	70	340	6	6	2
12	70	340	6	6	2
13 Ref.	70	340	6	6	2
14 Ref.	70	340	6	6	2

I den første blandingen: Ref. 1, er det benyttet 60 liter betong og 320l/m³ i matriksvolum. Dette viste seg å ikke være nok betong til å fylle alle støpeformene. Derfor ble antall liter økt til 70 og matriksvolumet økt til 340 l/m³.

4.2 Referansebetong

Normalbetong støpt med Anlegg FA, Årdal som tilslag og v/c tall lik 0,37 og 0,6, vil bli brukt som referansebetong i denne oppgaven. Resten av blandingene er blir støpt med samme v/c tall som referansebetongene, men med ulikt innhold av Stalite. Disse vil bli sammenlignet med referansebetongene i de ulike testene som vil bli utført på fersk og herdet betong. Den første referansebetongen som skal støpes (blanding nr. 1), ble støpt med et utgangspunkt på 60l og et matriksvolum 320l/m³. Det viste seg å være for lite betong for å fylle alle formene som skulle støpes ut, så det ble som nevnt tidligere økt til 70l og 340l/m³ i matriksvolum. For å få bedre resultater, riktig antall liter og matriksvolum, blir de to referansebetongene støpt på nytt. Blanding nummer 13 og 14 er derfor tilsvarende blanding 1 og 2.

4.3 Materialer

I dette delkapittelet blir det sett nærmere på de ulike materialene som er brukt i betongblandingene og litt om v/c tall. Tabellen under viser en oversikt over de ulike materialene brukt før videre delkapitler går nærmere inn på hver enkelt.

Tabell 4 - Oversikt over materialer brukt

Material	Type
Sand 0-8 [mm]	Årdal
Grus 8-16 [mm]	Årdal
Lett tilslag 8-16 [mm]	Stalite
Sement	Anlegg FA
Tilsetningsstoff	Dynamon SX-N
Vann	-

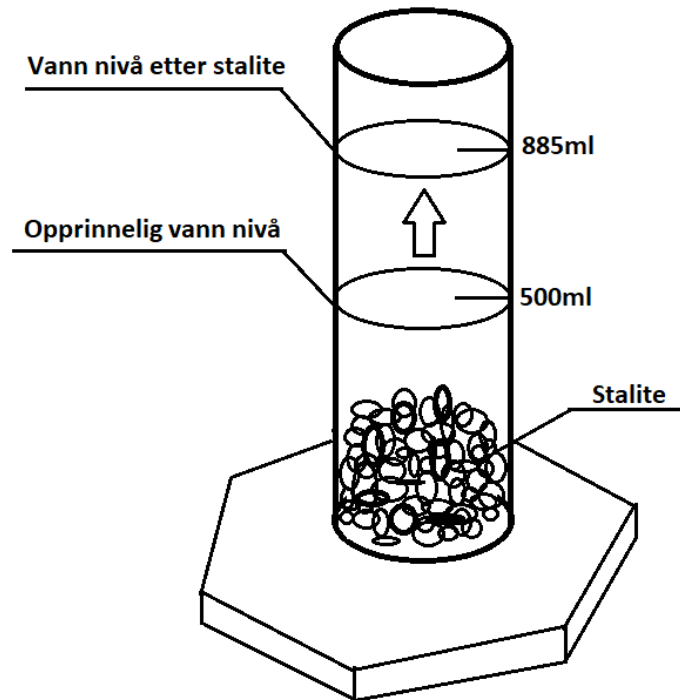
4.3.1 Tilslag

Tilslaget brukt i denne oppgaven er Årdal 0-8mm og 8-16mm, og lett tilslaget Stalite. Årdal 0/8mm er knuste korn fra løsmasse, og består først og fremst av granitt, gneis, feltspatiske bergarter og mørke bergarter. I likhet med Årdal 8/16mm har tilslaget en kubisk form med noen skarpkantede og noen runde korn/ singel. Årdal 8/16mm består av de samme bergartene som Årdal 0/8mm, men har ingen meget svake og ingen forvitrede korn. Årdal 0/8mm har derimot noen veldig svake og noen forvitrede korn (se vedlegg 15 og 17: «Ytelseserklæring Årdal 0/8 og 8/16»). Årdal lages av Norstone AS, og tilslaget blir ofte brukt som referansetilslag i Norge. Siden tilslaget som nevnt ovenfor har noen runde og noen skarpede kanter, bidrar dette både til bedre volumstabilitet og heft [17].

Stalite er det andre tilslaget som blir brukt i denne rapporten. Dette er et lett tilslag som produseres i USA. Skiferen brukt i Stalite er laget av vulkansk aske. Denne type skifer er naturlig sterkere og har høy tetthet i motsetning til leire og andre typer skifer som er formet av mineraler og organiske sedimenter. Skiferen blir hentet ut, og store deler blir knust til mindre deler. Etter dette blir de knust til enda mindre biter til de har en gunstig størrelse for videre behandling. Dette blir så ført inn i en roterende ovn der skiferen blir plastisk nok til at gasser kan forme små celler som ikke sitter sammen. Når skiferen blir kjølt ned, så vil disse cellene vedvare og er med på å gi Stalite lav vekt og vannabsorpsjon. Materialet som nå har oppstått kalles klinker. Klinkeren blir kjølt ned med et luftavkjølingssystem. Deretter blir klinkeren filtrert etter størrelse, og det ferdige tilslaget går så igjennom ulike tester som: fuktinnhold, korngradering, egenvekt og spesifikk gravitasjon (sg) [18].

Den første blandingen som inneholdt 50% Stalite, ble altfor tørr etter blanding. Dette var fordi det var brukt feil densitet for Stalite i proporsjoneringsarket. Derfor ble det utført en test for å finne den riktige densiteten til Staliten brukt i denne rapporten. Den gikk ut på å bruke en kolbe med en gitt mengde vann, og tilføre Stalite med kjent vekt. Det var kjent at Stalite har en densitet på rundt $1,5\text{g/cm}^3$, slik at resultater rundt dette ville være bra.

Kolben ble fylt med 500ml vann. Det ble brukt en stor sylinder som kunne romme opp til én liter vann, slik at vannet ikke skulle renne over når Stalite ble tilsatt.



Figur 7 - Skisse av test densitet Stalite

Det ble veid opp 600g vannmettet Stalite som ble tilsatt kolben med vann. Vannet steg fra 500ml til 885ml. Det vil si at fortrent mengde vann er $885\text{ml} - 500\text{ml} = 385\text{ml}$. Dette tilsvarer 385cm^3 . Vekten av tilsatt Stalite er kjent og fortrent volum er kjent. Dermed kan densiteten regnes ut ved hjelp av følgende formel:

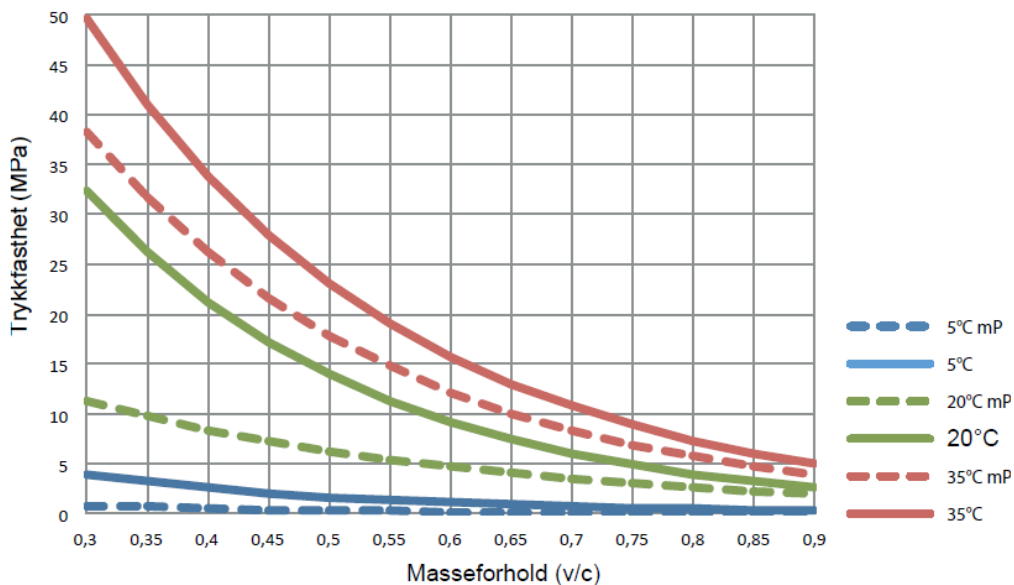
$$\rho_{\text{Stalite}} = \frac{600\text{g}}{385\text{cm}^3} = 1,558\text{g/cm}^3 \quad (4-1)$$

Dette tilsvarer 1558kg/m^3 . Denne densiteten ble lagt inn i proporsjoneringsarket og brukt for blandinger med innhold av Stalite. I tillegg ble det utført en test for å sjekke om tilslaget var vannmettet. Stalite ble lagt i vann og høyden på vannet ble registrert med en gang og etter en tid. Hvis Stalite ikke hadde vært vannmettet ville vannet trengt inn i porene og høyden på vannet måles igjen. Det går også an å veie Staliten før og etter. Stalite var vannmettet.

4.3.2 Sement, Anlegg FA

Det er anleggssement FA som er brukt i denne oppgaven. Den er laget for anleggskonstruksjoner og produseres av Norcem. Den lages ved Brevik og består av kalkstein og diverse tilsetningsmaterialer. Kalksteinen blir tatt ut av gruve og knust i første omgang. Deretter blir det tilsatt korreksjonsmaterialer, og kalksteinen males og brennes ved høy temperatur. Produktet av dette kalles klinker, og den finmales til sement. Under denne prosessen tilsettes det små mengder med blant annet: gips, flygeaske og jernsulfat [21].

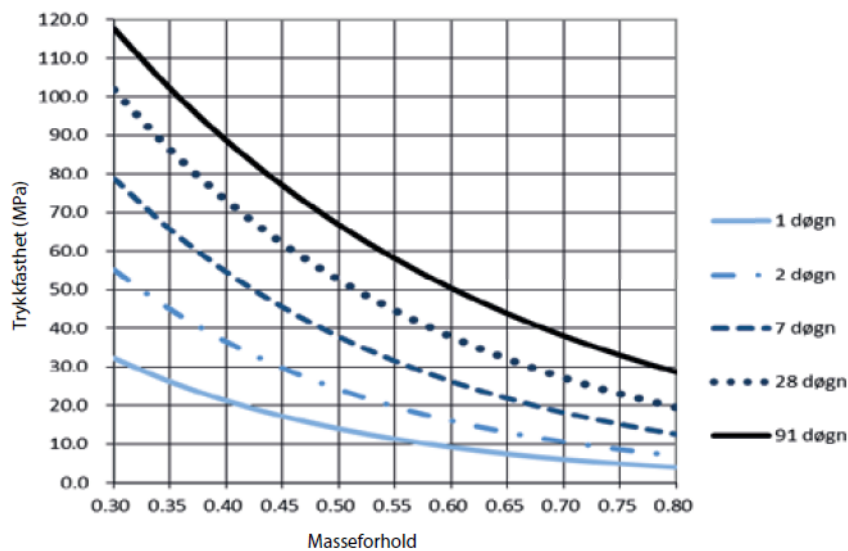
Norcem anlegg FA gir veldig god støpelighet og har høy bestandighet [20]. Gode støpelighetsegenskaper er viktig når det er selvkompimerende betong som skal lages, slik at betongen får god synkutbredelse. På grunn av mer innhold av mineralet: dikalsiumsilikat, og mindre innhold av trikalsiumsilikat gjør dette at den tidlige fastheten til sementen blir lav og den endelige fastheten høy [19, s. 30]. Figuren under er tatt fra produktinformasjon for anlegg FA [20], og viser tidligfastheten til Norcem anlegg FA ved ett døgn:



Figur 8 - Tidligfasthet ved ett døgn Norcem Anlegg FA

I denne oppgaven er betongblandingene støpt med et masseforhold på 0,37 og 0,6. Ser ut ifra grafen at den tidlige trykkfastheten til masseforholdet 0,37 = 23MPa, og 0,6 = 9MPa ved en lagringstemperatur på 20°C i vannbad.

Fasthetsutviklingen til Norcem anlegg FA er vist i figuren under tatt fra produktinformasjon for anlegg FA [20]:



Figur 9 - Fasthetsutvikling Norcem Anlegg FA

Figuren over er basert på lagring i vannbad med temperatur 20°C. Betongen i denne oppgaven vil bli testet etter 28 døgn med herding. Ser at masseforholdet 0,6 skal gi en trykkfasthet på litt under 40MPa og masseforholdet 0,37 skal gi en trykkfasthet på rundt 80MPa etter 28 dager herding. Anlegg FA kan brukes der god bestandighet og høy slutfasthet er ønskelig. Eksempler på bruksområder er: Brukonstruksjoner, oljeplattformer og slidedekke til veier. [19, s. 31].

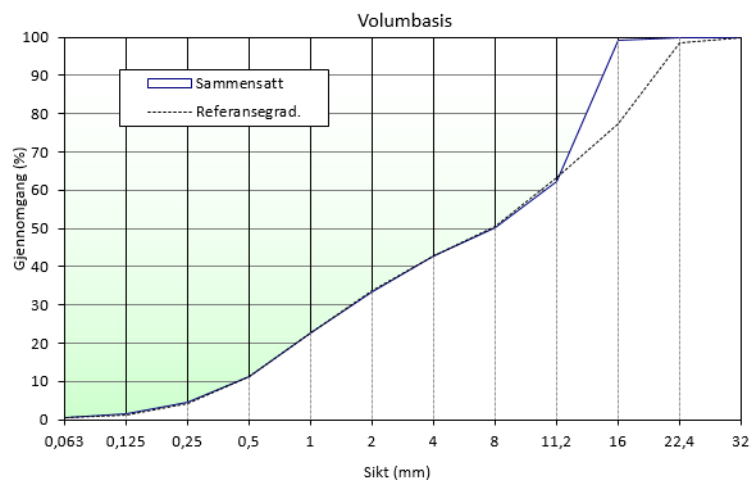
4.3.3 Tilsetningsstoff

Det er først og fremst det superplastifiserende stoffet: Dynamon SX – N som blir brukt i denne oppgaven. Dette er en gulbrun væske, og er laget av Mapei som lager byggeprodukter for et nordisk klima [22]. Under blanding av den selvkompimerende betongen og testing av synkutbredelse vil SP stoffet være et godt hjelpemiddel. Hvis den ferske betongen ikke gir ønsket synkutbredelse, kan SP stoff bli tilsatt, og blandingen blir da mer flytende.

4.4 Betongresepter

De forskjellige reseptene er laget ved hjelp av proporsjoneringsarket: «proporsjonering av betong» som er utviklet av Sverre Smeplass. Å proporsjonere en betong vil si å velge materialer slik at den ferdige betongen oppnår ønskede egenskaper og kriterier. Når betongresept blir laget er det nyttig å dele den opp i to deler: en matriks- og en tilslags sammensetning. Matriksdelen har størst påvirkning på den ferdige herdede betongen, og kravene til betongens fasthet og bestandighet bestemmes av sammensetningen matriks. Tilslagsdelen har med egenskapene i fersk betong å gjøre, og matriksmengden som må brukes for å gi rett støpelighet bestemmes her [2, s. 67-69]. Ved proporsjonering av SKB er det viktig å få de rette matriksegenskapene og stort nok matriksvolum uten at dette har noe å si på egenskapene betongen har etter herding. Betongen i denne rapporten skulle ha fasthetsklasse B35 og bestandighetsklasse MF40. Sementen Norcem Anlegg FA vil bli benyttet. Denne sementen har høyt fasthetspotensiale, og egner seg når fasthetsklassen er B35 [2, s. 75 og 79]. For å få et effektivt matriksoverskudd, så er tett gradering av tilslaget det beste, da hulrommet i samlet tilslag blir lavt. Forholdet mellom sand og grovt tilslag påvirker dette hulrommet og SKB har større andel av sand og mindre størrelse på grus. Derfor blir størrelsen på grusen benyttet i denne rapporten 8-16mm. Ved å bruke mindre stein, gir det bedre sjanse til å unngå blokkering ved utstøping av SKB, og sjansen for mørtelseparasjon blir lavere. Ved å benytte en større andel sand får man mer filler, noe som igjen gir et større matriksvolum og en bedre stabilitet. [2, s. 83-84].

De ulike siktekurvene ble lagt inn i proporsjoneringsarket i Excel, og den samlede siktekurven ble slik som vist i figur 10 under:



Figur 10 - Sammensatt siktekurve

Ut fra figuren ser vi at siktekurven stemmer ganske bra overens med referansekurven for gradering. Grunnet til avviket fra kurven i toppen kan være at det grove tilslaget er i korngraderingen 8-16mm, og dermed gjør kurven et hopp opp til 16mm. Figur 11 under viser fordelingen av tilslagsfraksjonene. Sandfraksjonen Årdal 0/8mm står for ca. 50% av tilslagsvolumet, mens de resterende 50% består av Årdal og Stalite 8-16mm.

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m ³]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. Sv[%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Årdal 0/8 mm nat. vask	2650	1,0	0,0	0,00	0,510	0,553	ok
II	Årdal 0/2 mm nat. vask	2650	0,5	0,0	0,00	0,000	0,000	
III	Årdal 8/16mm	2700	0,5	0,0	0,00	0,293	0,322	ok
IV	Årdal 16/22 mm	2700	0,5	0,0	0,00	0,000	0,000	
V	Stalite	1558	0,0	0,0	0,00	0,198	0,125	ok
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	
Sammensatt		2450		0,0	0,00	1,000	1,000	

Figur 11 - Fordeling tilslagsfraksjoner

Tilslagsfraksjonene over er basert på en av MND betongene, der 50% av det grove tilslagsvolumet består av Årdal og 50% består av Stalite. For normalbetongene som brukes som referansebetong hadde 50% av totalt tilslagsvolum vært Årdal 8/16mm. For LWA vil det være 50% som er Stalite, og for de andre MND betongene vil fordelingen bli ulik dette igjen. Følgende fremgangsmåte ble benyttet for å finne riktig fordeling av volumet til grovt tilslag, og er vist med et eksempel:

MND betong med 60/40 fordeling Årdal/Stalite med v/c tall = 0,6:

Finner vekt %:

- 0/8 Årdal: 61,75kg
- 8/16 Årdal: $59,625\text{kg}/2,7\text{kg/l} = 22,08\text{ l}$

$$22,08 \times 0,6 = 13,25\text{ l, som tilsvarer: } 13,25\text{ l} \times 2,7 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 35,775\text{kg Årdal}$$

$$22,08 \times 0,4 = 8,83\text{ l, som tilsvarer: } 8,83\text{ l} \times 1,558 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 13,76\text{kg Stalite}$$

$$\text{Total masse} = 61,75 + 35,775 + 13,76 = 111,285\text{kg}$$

Vekt prosenten blir da:

$$\text{Årdal 0 - 8: } \frac{61,75}{111,285} = 0,554$$

$$\text{Årdal 8 - 16: } \frac{35,775}{111,285} = 0,32$$

$$\text{Stalite 8 - 16: } \frac{13,76}{111,285} = 0,124$$

Når disse vektprosentene blir lagt inn i proporsjoneringsarket, blir volumet fordelt slik som vist i figur 11 «*Fordeling tilslagsfraksjoner*». Med litt justering blir prosent volum og vekt lik 1,0. Tilsvarende metode brukes for MND 50/50, men ganger da med 0,5.

4.5 Blande og utstøpningsprosess

Etter å ha veid opp aktuelle mengder tilslag og sement, korrigert for fukt i tilslag og veid opp aktuell mengde vann vil støpningen bli utført. SP stoff blir veid opp på forhånd og tilsettes underveis i blandingen ved behov. Det første som gjøres er å tørrblande i ca. ett minutt. Etter dette tilsettes vann og SP stoff. Blandetiden er fem til seks minutter etter vann og SP stoff er tilsatt. Klokkeslettet for når vannet tilsettes noteres ned. For blandinger med v/c tall = 0,6 blir det veid opp 300g SP stoff, og for blandinger med v/c tall som oftest 500g. Etter SP stoffet tilsettes blir resterende mengde trukket fra oppveid mengde.

Synkutbredelse er første test som blir gjort. Hvis denne er i henhold til kravet med SKB, så tas tester av luft og densitet. Hvis ikke, legges betongen tilbake i blandingen, og det vil bli vurdert å tilsette mer SP stoff. Når luft og densitet testen er gjort blir fylles betongen i formene som er vist på neste side i figur 12:



Figur 12 - Støpeformer

Seks sylindere, to bjelker og seks terninger er formene som skal fylles med betong. Bildet til venstre i figur 12 viser former før de blir fylt med betong. Fylte former er vist i bildet til høyre i figur 12. Sylindrene ble lagt for å få en så jevn topp og bunnoverflate som mulig. Ternings- og sylinder- formene ble fylt til kanten og deretter skrapet av med korte bevegelser frem og tilbake. Avforming skjer dagen etter støp, og betongen legges i vannbad. Deretter rengjøres formene, så de er klare til neste støp.

5. Resultat

For fersk betong har fokuset under blanding og testing vært å oppnå selvkompimerende betonger som tilfredsstillter synkutbredelseskravet for SKB gitt under kapittel: 3.2.1

«Synkutbredelse», og som senere får gode mekaniske egenskaper. Dette uavhengig av om det er normalbetong, MND betong eller lettbetong (LWA) som skulle blandes. Det er sett på forskjeller i egenskapene til de ferske og de herdede betongene, og resultatene er presentert i felles tabeller.

Virkelig oppmålt mengde av de ulike komponentene i betongblandingene kan sees i tabell: «Materialer oppveid kg/m^3 ». Justerte tall av antall gram av SP stoff Dynamon SX-N, kan sees under vedlegg 30. Videre følger observasjoner gjort av de ulike blandingene i fersk tilstand sammen med en beskrivelse av hvordan utstøpingen gikk.

5.1 Observasjoner under blanding og utstøping av betong

Tabell 5 - Materialer oppveid kg/m^3

Sammensetning av betong					
Resept nr.	Anlegg FA [kg/m^3]	Årdal 0- 8mm [kg/m^3]	Årdal 8- 16mm [kg/m^3]	Stalite 8- 16mm [kg/m^3]	Vann [kg/m^3]
1: Ref. betong v/c = 0,60	333,7	885,7	842,7	0	176,4
2: Ref. betong v/c = 0,37	437,5	859,7	815,9	0	139,5
3: MND 50/50 v/c = 0,37	440,4	880,6	438,0	251,9	144,9
4: LWA v/c = 0,37	438,1	925,5	0	483,4	140,9
5: LWA v/c = 0,60	331,1	927,3	0	483,4	179,8
6: MND 50/50 v/c = 0,60	333,9	892,7	438,0	251,9	181,9
7: MND 40/60 v/c = 0,60	353,0	901,0	344,4	298,5	185,7
8: MND 40/60 v/c = 0,37	468,3	902,8	344,4	298,5	144,7
9: MND 60/40 v/c = 0,60	353,7	916,6	515,8	200,2	167,8
10: MND 60/40 v/c = 0,37	469,2	915,7	515,8	200,2	129,3
11: MND 50/50 v/c = 0,60	333,9	885,8	438,0	251,9	188,8
12: MND 50/50 v/c = 0,37	440,4	886,6	438,0	251,9	138,8
13: Ref. betong v/c = 0,60	355,0	902,4	856,0	0	186,1
14: Ref. betong v/c = 0,37	469,7	904,2	856,0	0	137,6

Tabellen ovenfor viser sammensetning av betongblandingene. Alle blandingene er veid opp for å romme et volum på 70l eller tilsvarende $0,07\text{m}^3$. Sementmengden har ligget på rundt $331,1\text{kg/m}^3$ – $355,0\text{kg/m}^3$ for blandingene med v/c tall 0,6, og $437,5\text{kg/m}^3$ – $469,7\text{kg/m}^3$ for blandinger med v/c tall 0,37. Vannmengden her er tilsatt vann etter korreksjon fra fukt i tilslag. Oversikt over de ulike reseptene ligger under vedlegg, resepter. I tillegg til dette blir det tilsatt Dynamon SX-N under blanding. Antall gram tilsatt kan sees i vedlegg 30.

Tabell 6 - Samlet resultat SU, Densitet og luft

Blanding nr.	Synkutbredelse [mm]	Densitet [kg/m^3]	Luftinnhold [%]
1: Ref. betong v/c = 0,60	580	2350	1,5
2: Ref. betong v/c = 0,37	800	2428	1,4
3: MND 50/50 v/c = 0,37	700	2127	0,9
4: LWA v/c = 0,37	630	1984	2,0
5: LWA v/c = 0,60	620	1961	2,3
6: MND 50/50 v/c = 0,60	600	2104	1,5
7: MND 40/60 v/c = 0,60	645	2055	1,5
8: MND 40/60 v/c = 0,37	745	2089	0,8
9: MND 60/40 v/c = 0,60	610	2165	1,0
10: MND 60/40 v/c = 0,37	740	2231	1,2
11: MND 50/50 v/c = 0,60	680	2122	1,2
12: MND 50/50 v/c = 0,37	670	2210	1,2
13: Ref. betong v/c = 0,60	630	2362	0,6
14: Ref. betong v/c = 0,37	720	2436	0,8

Tabellen ovenfor viser en samlet oversikt over resultatene fra testene gjort for fersk betong i de forskjellige blandingene. Resultatene vil bli diskutert under kapittel 6: «Diskusjon» og resultatene blir presentert i grafer. Videre følger observasjoner gjort under blanding og utstøpning av de ulike blandingene.

5.1.1 Blanding 1

Tabell 7 - Blanding 1

Blanding 1	Referansebetong, Normalbetong
Støpe dato	22.01.2019
Antall liter	60
Matriks [l/m^3]	320
v/c tall	0,60
Korreksjon for fukt [%]	2,0
SP Stoff [% av sementvekt]	0,4

Blanding nummer 1 er en av to referansebetonger. Denne blandingen ble støpt med utgangspunkt i 60 liter og en matriks på $320l/m^3$. Dette viste seg å være for lite betong til å fylle alle formene, så det ble besluttet å bruke 70 liter og matriks $340l/m^3$ ved blandingene fremover. Synkutbredelsen ble målt til 580mm, og selv om dette ikke tilfredsstillter kravene til SKB, ble det besluttet å ikke tilsette mer SP stoff siden blandingen var på grensen til å skille seg. Synkmål ble målt til 250mm.

5.1.2 Blanding 2

Tabell 8 - Blanding 2

Blanding 2	Referansebetong, Normalbetong
Støpe dato	05.02.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m^3]	340
v/c tall	0,37
Korreksjon for fukt [%]	2,3
SP Stoff [% av sementvekt]	2,39

Blanding nummer to er den andre referansebetongen. Det ble nok tilsatt litt mye SP stoff. Det var beregnet 2,65% av sementvekt, men ble tilsatt 2,39%, noe som var litt mye.

Synkutbredelsen ble målt til 800mm og betongen var tynn.

Det ble derfor besluttet å vente for å se om blandingen ble bedre. Etter seks minutter så blandingen bedre ut og det ble støpt fire sylindere, seks terninger og to bjelker før den størknet.

5.1.3 Blanding 3

Tabell 9 - Blanding 3

Blanding 3	MND 50/50 Årdal/Stalite
Støpe dato	15.02.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m^3]	340
v/c tall	0,37
Korreksjon for fukt [%]	1,7
SP Stoff [% av sementvekt]	1,6

Støpen gikk ganske bra, men blandingen var litt steinrik. I denne blandingen var 50% av volumet til grovt tilslag byttet ut med Stalite, og man kunne se at det lette tilslaget steg opp mot overflaten når blandemaskinen stanset. Da betongen skulle fylles i formene, ble det passet på å grave godt ned i blandemaskinen for å få med det tyngre tilslaget også.

5.1.4 Blanding 4

Tabell 10 - Blanding 4

Blanding 4	LWA betong (100% Stalite)
Støpe dato	20.02.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m^3]	340
v/c tall	0,37
Korreksjon for fukt [%]	2,3
SP Stoff [% av sementvekt]	0,6

Det var noen tørre klumper som samlet seg under blanding som ble hakket løs før blandingen fortsatte. Merkbart lettere å håndtere LWA betong. Synkmål ble målt til 250mm og synkutbredelsen ble 630mm, noe som er i nærheten av kravet på 650mm. Tettheten gikk også merkbart ned i forhold til betong med vanlig tilslag.

5.1.5 Blanding 5

Tabell 11 - Blanding 5

Blanding 5	LWA betong (100% Stalite)
Støpe dato	28.02.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m ³]	340
v/c tall	0,60
Korreksjon for fukt [%]	2,5
SP Stoff [% av sementvekt]	0,5

Her ble det også dannet tørre klumper under blanding og disse måtte hakkes løs og deles. Synkmål ble 250mm og synkutbredelsen ble 620mm noe som er nære kravet på 650mm.

5.1.6 Blanding 6

Tabell 12 - Blanding 6

Blanding 6	MND 50/50 Årdal/ Stalite
Støpe dato	01.03.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m ³]	340
v/c tall	0,60
Korreksjon for fukt [%]	3,1
SP Stoff [% av sementvekt]	0,7

I denne blandingen var det også tørre klumper som måtte hakkes løs under blanding. Staliten fordelte seg bedre denne gangen og fløt ikke opp når blandemaskinen stanset. Synkmål ble målt til 245mm og synkutbredelsen ble 600mm.

5.1.7 Blanding 7

Tabell 13 - Blanding 7

Blanding 7	MND 40/60 Årdal/ Stalite
Støpe dato	14.03.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m ³]	340
v/c tall	0,60
Korreksjon for fukt [%]	2,5
SP Stoff [% av sementvekt]	0,37

Nok en modifisert normal densitetsbetong, men med en fordeling av volumet til grovt tilslag på 40/60%, mellom Årdal og Stalite. Ser at densiteten ligger under tidligere MND blandinger med en 50/50% fordeling, noe som stemmer bra. Synkmål på denne blandingen ble 260mm og synkutbredelsen 645mm.

5.1.8 Blanding 8

Tabell 14 - Blanding 8

Blanding 8	MND 40/60 Årdal/ Stalite
Støpe dato	15.03.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m ³]	340
v/c tall	0,37
Korreksjon for fukt [%]	2,7
SP Stoff [% av sementvekt]	1,43

Mengde SP Stoff blir vurdert i forhold til tidligere blandinger. Her ble det veid opp 500g og 470g ble brukt. Synkutbredelsen i denne blandingen ble 745mm, noe som er godt over kravet for SKB på 650mm. Staliten fordelte seg fint under blanding, men det ble passet på å grave godt ned i blandemaskinen når betongen skulle i formene.

5.1.9 Blanding 9

Tabell 15 - Blanding 9

Blanding 9	MND 60/40 Årdal/ Stalite
Støpe dato	21.03.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m ³]	340
v/c tall	0,60
Korreksjon for fukt [%]	4,5
SP Stoff [% av sementvekt]	0,51

Fuktigheten i tilslaget brukt til denne blandingen var høy. Det skyldes at sanden som ble brukt ble tatt fra bunn i sekken der fuktigheten er høyest. Synkmål ble 270mm og synkutbredelsen ble 610mm. Under test av synk ble det observert at mye stein samlet seg i midten av sirkelen på platen slik som figur 13 under viser. Dette skyldes nok 60/40 fordelingen mellom Årdal og Stalite.



Figur 13 - Steinrik synkutbredelse

5.1.10 Blanding 10

Tabell 16 - Blanding 10

Blanding 10	MND 60/40 Årdal/ Stalite
Støpe dato	22.03.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m ³]	340
v/c tall	0,37
Korreksjon for fukt [%]	4,4
SP Stoff [% av sementvekt]	1,2

Det ble benyttet samme sand som forrige blanding og korreksjonen for fuktighet er dermed høy. Synkutbredelsen ble målt til 740mm noe som er godt over kravet på 650mm.

5.1.11 Blanding 11

Tabell 17 - Blanding 11

Blanding 11	MND 50/50 Årdal/ Stalite
Støpe dato	28.03.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m ³]	340
v/c tall	0,6
Korreksjon for fukt [%]	2,3
SP Stoff [% av sementvekt]	0,6

Sammenlignet med blanding nummer seks, som også var MND betong med en fordeling på 50/50 Årdal/Stalite, så gir denne blandingen et bedre resultat på synkutbredelse. Den ble målt til 680mm, mens den tilsvarende betongen hadde 600mm. Densiteten er ganske lik med blanding seks.

5.1.12 Blanding 12

Tabell 18 - Blanding 12

Blanding 12	MND 50/50 Årdal/ Stalite
Støpe dato	29.03.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m^3]	340
v/c tall	0,37
Korreksjon for fukt [%]	2,4
SP Stoff [% av sementvekt]	1,6

Denne blandingen er tilsvarende blanding nummer tre. Synkutbredelse for denne blandingen ble målt til 670mm, mens blanding tre ble målt til 700mm. For blanding tre kom staliten til overflaten når blandemaskinen stanset. Det gjorde den ikke denne gangen, men ble bra fordelt i blandemaskinen.

5.1.13 Blanding 13

Tabell 19 - Blanding 13

Blanding 13	Referansebetong, Normalbetong
Støpe dato	04.04.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m^3]	340
v/c tall	0,60
Korreksjon for fukt [%]	2,3
SP Stoff [% av sementvekt]	0,53

Denne blandingen er tilsvarende blanding nummer 1. Forskjellen er at denne blandingen tok sikte på 70 liter og matriks $340l/m^3$, noe som ble endret etter første blanding. Synkmålet ble målt til 260mm noe som er høyere enn synkmålet til blanding nummer 1 på 250mm. Synkutbredelsen til denne blandingen var på 630mm noe som er bedre enn blanding én på 580mm.

5.1.14 Blanding 14

Tabell 20 - Blanding 14

Blanding 14	Referansebetong, Normalbetong
Støpe dato	05.04.2019
Antall liter	70
Matriks [l/m^3]	340
v/c tall	0,37
Korreksjon for fukt [%]	2,5
SP Stoff [% av sementvekt]	1,35

Dette er en referansebetong tilsvarende blanding nummer to. Blanding nummer to var på grensen til å skille seg, men det gikk bedre med denne blandingen. Synkutbredelsen til blanding to var på 800mm, mens denne var på 720mm, noe som er bedre. Betongen størknet fort, så det ble støpt en bjelke og en sylinder mindre.

5.2 Test av herdet betong

De første blandningene ble testet for seg, men blandningene som ble støpt med en dag imellom ble testet samme dag. Dato for når de ulike testene ble gjennomført og alder er vist i tabellen under:

Tabell 21 - Dato for når de ulike testene ble utført

Blanding nr.	Type	Dato testet	Alder [dager herdet]
1	Referansebetong, normalbetong v/c = 0,60	20.02.2019	29
2	Referansebetong, normalbetong v/c = 0,37	06.03.2019	29
3	MND 50/50 v/c = 0,37	15.03.2019	28
4	LWA v/c = 0,37	22.03.2019	30
5	LWA v/c = 0,60	29.03.2019	29
6	MND 50/50 v/c = 0,60	29.03.2019	28
7	MND 40/60 v/c = 0,60	11.04.2019	28
8	MND 40/60 v/c = 0,37	11.04.2019	28
9	MND 60/40 v/c = 0,60	24.04.2019	34
10	MND 60/40 v/c = 0,37	26.04.2019	35
11	MND 50/50 v/c = 0,60	03.05.2019	36
12	MND 50/50 v/c = 0,37	03.05.2019	35
13	Referansebetong, normalbetong v/c = 0,60	10.05.2019	36
14	Referansebetong, normalbetong v/c = 0,37	10.05.2019	35

Ut ifra tabellen ser en at de fleste prøvene ble testet etter 28 dagers herding, med unntak av blanding 9-14. Disse ligger 4-5 dager over det som er ok, og dette kan ha påvirket resultatene for herdet betong. Grunnen til at noen av blandningene ble testet senere enn 28 dager er at noen av dagene passet bedre å teste på enn andre. Videre følger resultater fra trykktest, spaltestrekk, E-modul, bøyestrekfasthet og CMOD.

5.2.1 Trykktest

Resultater fra trykktestene av terningene er samlet i tabellen under. Her er resultatene fra hver terning gitt, samt gjennomsnittet av trykkfasthet som brukes for å finne spenning til sylinder, som igjen brukes til input for E-modul testen. Trykktestdataene er etter 28 dagers herding og i henhold til tabell 21.

Tabell 22 - Bruddstyrke

Blanding nr.	Terning 1 [kN]	Terning 2 [kN]	Terning 3 [kN]	Terning 4 [kN]	Terning 5 [kN]	Terning 6 [kN]	Snitt Bruddstyrke [kN]
1. Ref. $v/c = 0,60$	336	249	302	292	262	297	289
2. Ref. $v/c = 0,37$	822	885	846	849	832	792	838
3. MND $v/c = 0,37$	670	626	323	652	625	475	610
4. LWA $v/c = 0,37$	440	417	436	423	449	424	431
5. LWA $v/c = 0,60$	351	332	352	340	337	329	340
6. MND $v/c = 0,60$	308	332	320	329	316	318	320
7. MND $v/c = 0,60$	336	323	332	329	332	307	326
8. MND $v/c = 0,37$	694	667	692	696	671	646	678
9. MND $v/c = 0,60$	347	347	347	358	341	360	350
10. MND $v/c = 0,37$	730	694	737	704	718	702	714
11. MND $v/c = 0,60$	296	307	303	314	295	308	304
12. MND $v/c = 0,37$	751	709	753	767	715	719	736
13. Ref. $v/c = 0,60$	422	401	416	397	412	414	410
14. Ref. $v/c = 0,37$	924	884	887	912	902	860	901

Blanding nummer 2,3,4,8,10,12 og 14 har alle et v/c tall på 0,37. Ser ut ifra tabellen at disse har som ventet høyere last ved brudd enn blandinger med v/c tall = 0,6. Trykktestdataene er regnet ut ved hjelp av formel (3-3) under kapittel 3.3.1 «Trykkfasthet». Normal og referansebetongene 2 og 14 har den høyeste trykkfastheten som vist i tabell 24 og 25 på neste side:

Tabell 23 - Trykkfasthet del 1

Blanding nr.	1	2	3	4	5	6	7
Trykkfasthet [MPa]	28,9	83,8	61,0	43,1	34,0	32,0	32,6

Tabell 24 - Trykkfasthet del 2

Blanding nr.	8	9	10	11	12	13	14
Trykkfasthet [MPa]	67,8	35,0	71,4	30,4	73,6	41,0	90,1



Figur 14 - Terning etter brudd trykktest

Tabell 25 – Resultat trykkfasthet alle prøver.

Blanding nr.	Terning 1 [MPa]	Terning 2 [MPa]	Terning 3 [MPa]	Terning 4 [MPa]	Terning 5 [MPa]	Terning 6 [MPa]	Snitt Trykkfasthet [MPa]
1. Ref. v/c = 0,60	33,6	24,9	30,2	29,2	26,2	29,7	28,9
2. Ref. v/c = 0,37	82,2	88,5	84,6	84,9	83,2	79,2	83,8
3. MND v/c = 0,37	67,0	62,6	32,3	65,3	62,5	47,5	61,0
4. LWA v/c = 0,37	44,0	41,7	43,6	42,3	44,9	42,4	43,1
5. LWA v/c = 0,60	35,1	33,2	35,2	34,0	33,7	32,9	34,0
6. MND v/c = 0,60	30,8	33,2	32,0	32,9	31,6	31,8	32,0
7. MND v/c = 0,60	33,6	32,3	33,2	32,9	33,2	30,7	32,6
8. MND v/c = 0,37	69,3	66,7	69,2	69,6	67,1	64,6	67,8
9. MND v/c = 0,60	34,7	34,7	34,7	35,8	34,1	36,0	35,0
10. MND v/c = 0,37	72,9	69,4	73,7	70,4	71,8	70,2	71,4
11. MND v/c = 0,60	29,6	30,7	30,3	31,4	29,5	30,8	30,4
12. MND v/c = 0,37	75,1	70,9	75,3	76,7	71,5	71,9	73,6
13. Ref. v/c = 0,60	42,2	40,1	41,6	39,7	41,2	41,4	41,0
14. Ref. v/c = 0,37	92,4	88,4	88,7	91,2	90,2	89,6	90,1

For blanding tre, ble terning nummer tre målt til 323 kN ved brudd. Denne terningen var dårlig støpt og dermed svakere enn de andre testene. Denne ble derfor ikke tatt med i beregningen av gjennomsnittet av trykkfasthet og gjennomsnittlig bruddstyrke.

5.2.2 Resultater fra spaltestrek

Resultater fra spaltestrek tester etter 28 dagers herding og i henhold til tabell 21, er gitt i tabell 26 på neste side, og spaltestrek er i henhold til metode gitt i kapittel 3.3.2 «Spaltestrekfasthet».

Tabell 26 - Resultater spaltestrekk

Blanding nr.	Sylinder1 Bruddlast [kN]	Sylinder 2 Bruddlast [kN]	Sylinder 3 Bruddlast [kN]	Sylinder 4 Bruddlast [kN]	Gjennom- snitt bruddlast [kN]	Spaltestrekk [MPa]
1. Ref. v/c = 0,60	135	141	115	-	130	1,8
2. Ref. v/c = 0,37	311	316	307	-	311	4,4
3. MND v/c = 0,37	204	276	279	294	263	3,7
4. LWA v/c = 0,37	156	163	133	-	151	2,1
5. LWA v/c = 0,60	185	195	149	209	184	2,6
6. MND v/c = 0,60	147	196	118	-	154	2,2
7. MND v/c = 0,60	92,0	108	137	186	131	1,9
8. MND v/c = 0,37	291	322	290	337	310	4,4
9. MND v/c = 0,60	201	193	192	160	187	2,6
10. MND v/c = 0,37	297	289	311	163	265	3,8
11. MND v/c = 0,60	133	125	199	177	159	2,2
12. MND v/c = 0,37	200	231	253	326	253	3,6
13. Ref. v/c = 0,60	225	158	114	227	181	2,6
14. Ref. v/c = 0,37	269	291	324	-	295	4,2

For blanding nummer åtte MND 40/60 støpt den 15.03, ble den ene sylindere glemte, og funnet ved test av blanding MND 50/50 den 03.05. Derfor ble det en høyere verdi på denne sylindere, da denne har hatt lenger tid å herde på. Noen av sylindere mangler i denne tabellen. Grunnen er at for noen blandinger størknet betongen for raskt, før alle sylindere var fylt. For blanding nummer 12, er sylindere nummer én svakere enn de andre. Dette skyldes dårlig utstøpning (se figur 15 under).



Figur 15 - Dårlig utstøpt sylinder

5.2.3 Resultater Elastisitetens modulus

Resultatene fra test for E-modul etter 28 dagers herding og i henhold til tabell 21 er gitt i tabell 27 under. Resultatene vil bli diskutert under kapittel 6: «Diskusjon».

Tabell 27 - Resultater E-modul

Blanding nr.	E – Modul Sylinder 1 [GPa]	E – Modul Sylinder 2 [GPa]	Gjennom- snitt [GPa]
1. Ref. v/c = 0,60	26	24	25
2. Ref. v/c = 0,37	20	30	25
3. MND v/c = 0,37	28	34	32
4. LWA v/c = 0,37	24	22	23
5. LWA v/c = 0,60	24	23	24
6. MND v/c = 0,60	24	23	24
7. MND v/c = 0,60	23	24	24
8. MND v/c = 0,37	28	28	28
9. MND v/c = 0,60	26	24	25
10. MND v/c = 0,37	29	29	29
11. MND v/c = 0,60	24	25	24
12. MND v/c = 0,37	29	30	30
13. Ref. v/c = 0,60	28	27	28
14. Ref. v/c = 0,37	35	37	36

5.2.4 Bøyestrekfasthet

Resultatene fra bøyestrek testen vises i tabellen under etter 28 dagers herding og i henhold til tabell 21. Utregningen av bøyestrekfasthet kan sees i vedlegg 28 «Utregning bøyestrekfasthet».

Tabell 28 - Bøyestrekfasthet [MPa]

Blanding nr.	Last ved brudd bjelke 1 [kN]	Last ved brudd bjelke 2 [kN]	Gjennom- snitt Last ved brudd [kN]	Bøyestrek- fasthet [MPa]
1. Ref. v/c = 0,60	4,0	5,6	4,8	2,4
2. Ref. v/c = 0,37	0,5	5,5	5,5	2,8
3. MND v/c = 0,37	4,6	3,2	3,9	2,0
4. LWA v/c = 0,37	2,8	3,3	3,0	1,5
5. LWA v/c = 0,60	2,9	3,2	3,1	1,6
6. MND v/c = 0,60	3,1	3,6	3,3	1,7
7. MND v/c = 0,60	3,7	3,6	3,6	1,8
8. MND v/c = 0,37	4,9	5,3	5,1	2,6
9. MND v/c = 0,60	3,8	4,0	3,9	2,0
10. MND v/c = 0,37	4,8	4,9	4,8	2,4
11. MND v/c = 0,60	-	3,3	3,3	1,7
12. MND v/c = 0,37	4,8	-	4,8	2,4
13. Ref. v/c = 0,60	4,2	4,1	4,1	2,1
14. Ref. v/c = 0,37	6,0	-	6,0	3,0

For bjelke nummer 1 i blanding 11, og bjelke nummer 2 i blanding 12 og 14 er det ikke vist noen last. Dette skyldes at nedgangen av den midtre lasten ble for brå, slik at prøvestykket knakk før testen hadde begynt. Det skulle lite til før bjelkene gikk til brudd. Ser fra resultatene i tabellen at bøyestrekfastheten er nokså lik i alle blandingene med unntak av blanding nummer 2, 8 og 14. Blanding 2 og 14 er normalbetong med v/c tall 0,37, og blanding 8 er MND med en 40/60 fordeling av grovt tilslag og v/c tall = 0,37. Ut ifra resultatet er det LWA betongene 4 og 5 som ligger nederst med bøyestrek 1,5MPa og 1,6MPa.

5.2.5 Crack Mouth Opening Displacement (CMOD)

Tabell 29 - CMOD og areal under kurve

Blanding	CMOD Bjelke 1 [mm]	CMOD Bjelke 2 [mm]	Areal under kurve Bjelke 1 [Nmm]	Areal under kurve Bjelke 2 [Nmm]
1. Ref. v/c = 0,60	-	-	-	-
2. Ref. v/c = 0,37	-	-	-	-
3. MND v/c = 0,37	0,047	0,032	49,4	27,7
4. LWA v/c = 0,37	0,024	0,035	19,2	40,1
5. LWA v/c = 0,60	0,026	0,039	25,0	31,7
6. MND v/c = 0,60	0,032	0,047	26,7	29,6
7. MND v/c = 0,60	0,036	0,031	55,0	32,4
8. MND v/c = 0,37	0,038	0,036	59,0	56,1
9. MND v/c = 0,60	0,021	0,035	16,9	44,1
10. MND v/c = 0,37	0,28	0,026	43,4	8,7
11. MND v/c = 0,60	-	0,037	-	21,5
12. MND v/c = 0,37	-	0,046	-	75,6
13. Ref. v/c = 0,60	0,031	0,25	44,8	266,7
14. Ref. v/c = 0,37	0,037	-	88,2	-

Ser at den interne variasjonen i resultatene mellom hver blanding er stor. Bjelke 1 fra blanding 9, har en CMOD verdi på 0,021, mens for bjelke 2 er verdien 0,035. Blanding 13, bjelke nummer 2 har et resultat som er mye høyere enn alle de andre verdiene, så her har det nok skjedd en feil ved måling. Normalbetongene 1 og 2 ga kun resultater i kraft og ikke utvidelse av sprekk, men blanding 13 og 14 er tilsvarende 1 og 2, så det ble registrert utvidelse av sprekk i disse. En mulig årsak til dette kan være at clip gaugen ikke var montert riktig, ved at de to stålplatene kom borti hverandre. Areal under kurven er regnet ut ifra registreringer av utvidelse sprekk, og referansebetong nummer 13 bjelke 2 har et areal under kurven på 266,7Nmm, noe som er mye mer enn tilsvarende bjelke 1 som har 44,8Nmm. Blanding nummer 8 som er MND betong med v/c tall 0,37 og en fordeling av volumet 8-16mm på 40/60, har det mest troverdige resultatet her med CMOD 0,038 og 0,036mm. Det vises ut ifra tabellen at det ikke er noen klare skiller mellom de ulike betongene, med unntak av som nevnt bjelke 2 av blanding 13.

5.2.6 Bruddenergi

Resultatet fra utregning bruddenergi er vist i tabellene under. Det var to bjelker som ble testet for hver betongblanding, og siden det var forskjeller internt mellom bjelkene i samme blanding, velges det å presentere resultatet i to tabeller. En tabell for bjelke nummer 1, og en for bjelke nummer 2. Utregninger for vekt og bruddenergi kan sees i vedlegg 31.

Tabell 30 - Bruddenergi bjelke 1

Blanding	Nedbøyning ved brudd bjelke 1 [mm]	Areal under kurve bjelke 1 [Nmm]	Bruddenergi bjelke 1 [N/mm]
1. Ref. v/c = 0,60	3,89	1140,7	0,150
2. Ref. v/c = 0,37	-	-	-
3. MND 50/50 v/c = 0,37	-	-	-
4. LWA v/c = 0,37	0,29	432,3	0,045
5. LWA v/c = 0,60	-	-	-
6. MND 50/50 v/c = 0,60	-	-	-
7. MND 40/60 v/c = 0,60	-	-	-
8. MND 40/60 v/c = 0,37	-	-	-
9. MND 60/40 v/c = 0,60	1,01	1060,8	0,110
10. MND 60/40 v/c = 0,37	1,23	1251,8	0,136
11. MND 50/50 v/c = 0,60	0,09	-	-
12. MND 50/50 v/c = 0,37	0,82	1351,9	0,142
13. Ref. v/c = 0,60	1,56	1288,2	0,143
14. Ref. v/c = 0,37	1,63	2099,1	0,225

Tabell 31 - Bruddenergi bjelke 2

Blanding	Nedbøyning ved brudd bjelke 2 [mm]	Areal under kurve bjelke 2 [Nmm]	Bruddenergi bjelke 2 [N/mm]
1. Ref. v/c = 0,60	1,85	1672,2	0,184
2. Ref. v/c = 0,37	0,66	1773,0	0,183
3. MND 50/50 v/c = 0,37	0,96	475,7	0,056
4. LWA v/c = 0,37	2,01	396,7	0,055
5. LWA v/c = 0,60	-	-	-
6. MND 50/50 v/c = 0,60	-	-	-
7. MND 40/60 v/c = 0,60	-	-	-
8. MND 40/60 v/c = 0,37	-	-	-
9. MND 60/40 v/c = 0,60	2,33	1161,5	0,136
10. MND 60/40 v/c = 0,37	2,64	1871,6	0,210
11. MND 50/50 v/c = 0,60	0,82	1032,3	0,110
12. MND 50/50 v/c = 0,37	0,83	-	-
13. Ref. v/c = 0,60	1,34	1243,8	0,137
14. Ref. v/c = 0,37	-	-	-

Ut ifra tabellen ovenfor og på forrige side er det vist at det er flere bjelker som det ikke er registrert resultat på nedbøyning, areal under kurve og bruddenergi. I vedlegg 27 er registreringer for nedbøyning og kraft under bjelketest vist. Blanding 5 og 6 har null verdi for nedbøyning, og er ikke registrert underveis i testen. Underveis i perioden med testing ble PC på laboratoriet der testene ble registrert byttet ut, og dette kan forklare hvorfor dataene til blanding 7 og 8 ikke er registrert. Bruddenergiene er relativt lave, men gir en indikasjon på forskjellene i de ulike blandingene.

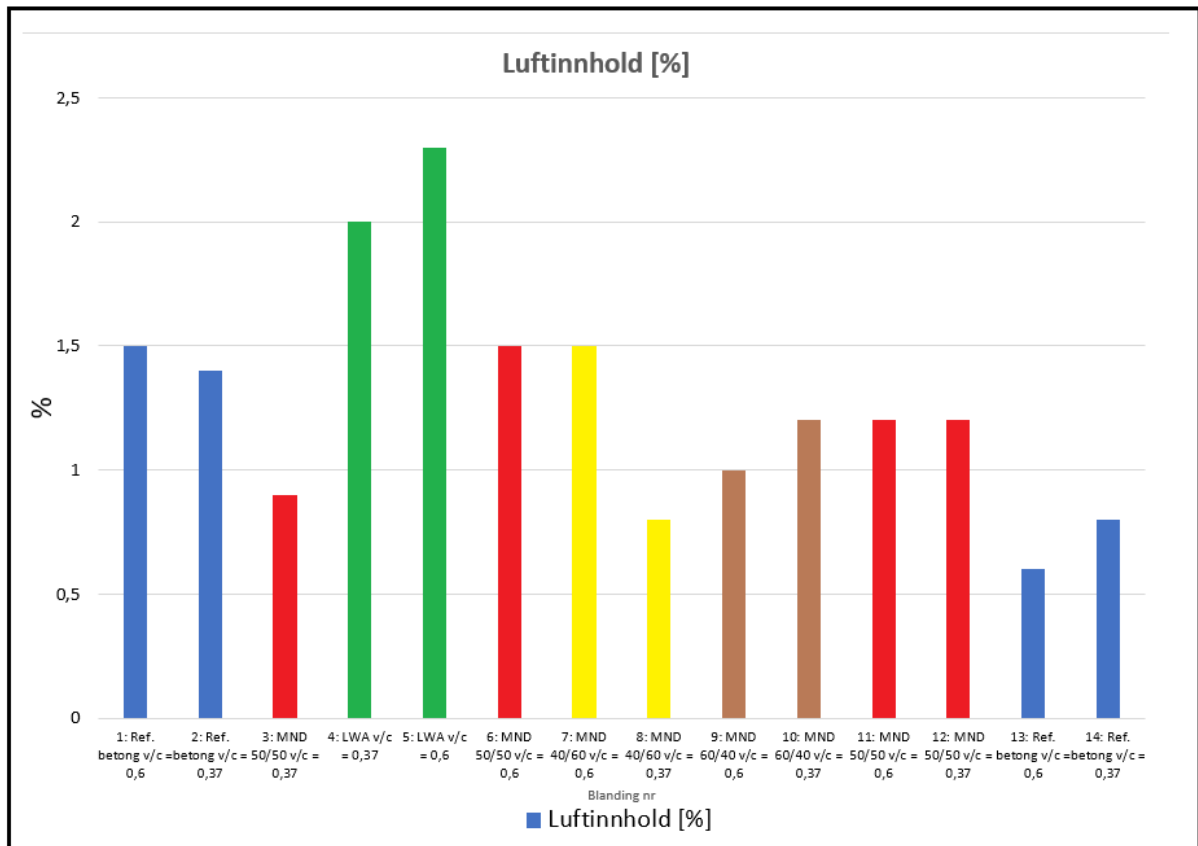
6. Diskusjon

I denne delen blir den ferske betongen diskutert først. Målet var å lage en selkomprimerende betong med ulikt innhold av Stalite med god støpelighet for å tilfredsstille kravet med en synkutbredelse på 650mm, og som ikke separerer. Forventningen var at det ville være enklere å lage en god SKB med normalbetong som ikke separerer enn med MND og lettbetong. Densitetene til normalbetongene forventes å ligge rundt 2400kg/m^3 , MND betongene rundt 2200kg/m^3 og lettbetongene (LWA) rundt 2000kg/m^3 . For herdet betong vil de ulike mekaniske egenskapene som: Trykkfasthet, spaltestrekfasthet, E-modul, bøyestrek og bruddenergi bli diskutert. Det forventes at trykkfastheten er høyere for normalbetong og blandinger med v/c tall = 0,37, enn blandinger med høyt innhold av Stalite, og v/c tall = 0,6. [7, s.24, figur 2]. I figur 9 under delkapittel 4.3.2 Sement, Anlegg FA er det vist at etter 28 dagers herding vil trykkfastheten til v/c = 0,37 være rundt 80MPa, mens for v/c = 0,6 vil det ligge nærmere 35-40MPa. Kravet til trykkfasthet for terninger i normalbetong er ifølge tabell NA.2 fra NS – EN 206-1 45MPa, og for lettbetonger 38 MPa vist i tabell NA.3. Når det gjelder E-modul, spaltestrek og bruddenergi forventes det også at normalbetong vil ha høyere verdier enn MND og lettbetong. Resultatene for testene blir presentert i grafer for å få en mer visuell oversikt over forskjellene. I de ulike grafene representerer: Blå farge normal/referanse betongene, rød farge MND med 50/50 fordeling, grønn farge lettbetongene (LWA), gul farge MND med 40/60 fordeling og brun farge MND med 60/40 fordeling. For E-modul er resultatene presentert litt annerledes, men blå farge for sylinder 1 og oransje for sylinder to, mens grått er gjennomsnittet av de to.

6.1 Fersk betong

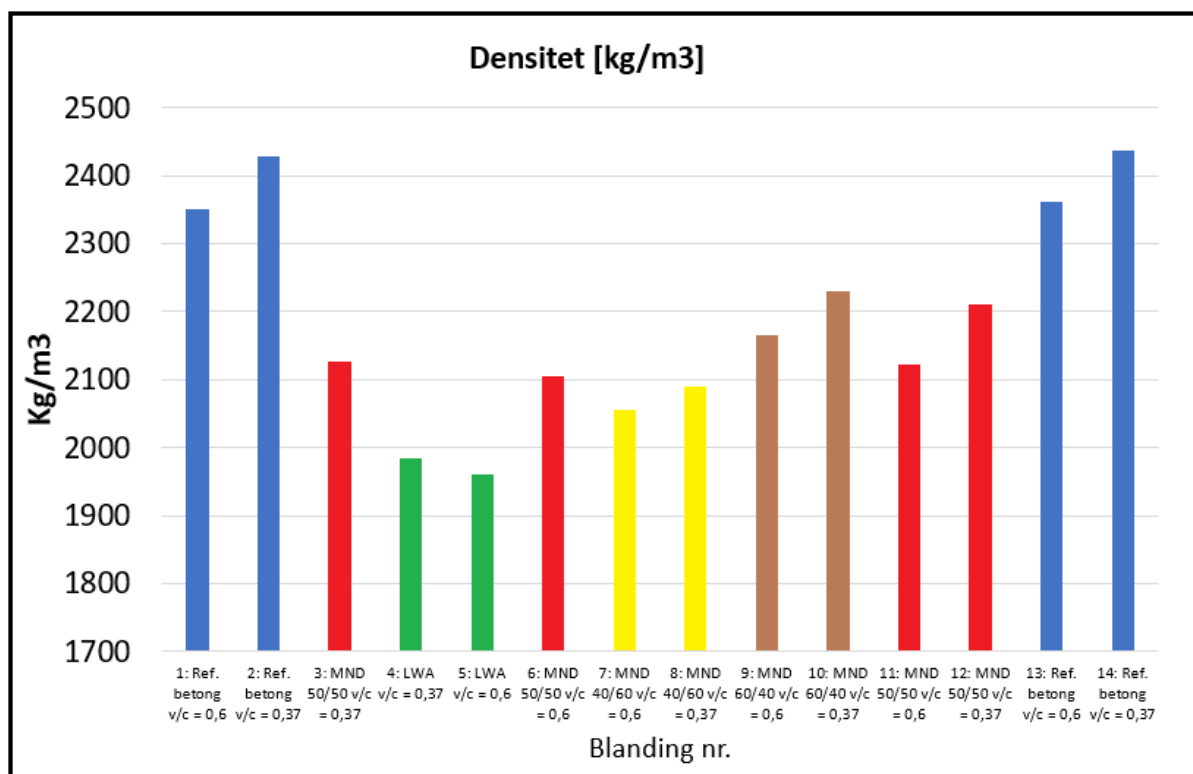
Det ble totalt støpt 14 blandinger. Blanding nummer 1 og 2 er referansebetonger, og var de første som ble blandet og støpt ut. Etter blanding 1 ble det besluttet å øke volumet til 70l betong og matriksvolum til 340l/m^3 for å kunne fylle alle formene. De første blandningene, inkludert MND med 50/50 fordeling av grovt tilslag og v/c tall 0,37 og 0,6 ble støpt på ny på slutten sammen med referansebetongene. Grunnen til dette var at det var de første støpene med Stalite, og det tok noen blandinger før man ble trygg på oppførselen og hvordan det var å støpe med Stalite. Det ble blant annet merket at Staliten separerte seg og steg til overflaten for noen av blandningene.

Testene som ble gjort når betongen var fersk var Synkutbredelsesmål (SU tall), densitet og luftinnhold. Luftinnholdet kan sees i figur 16 under:



Figur 16 - Luftinnhold [%]

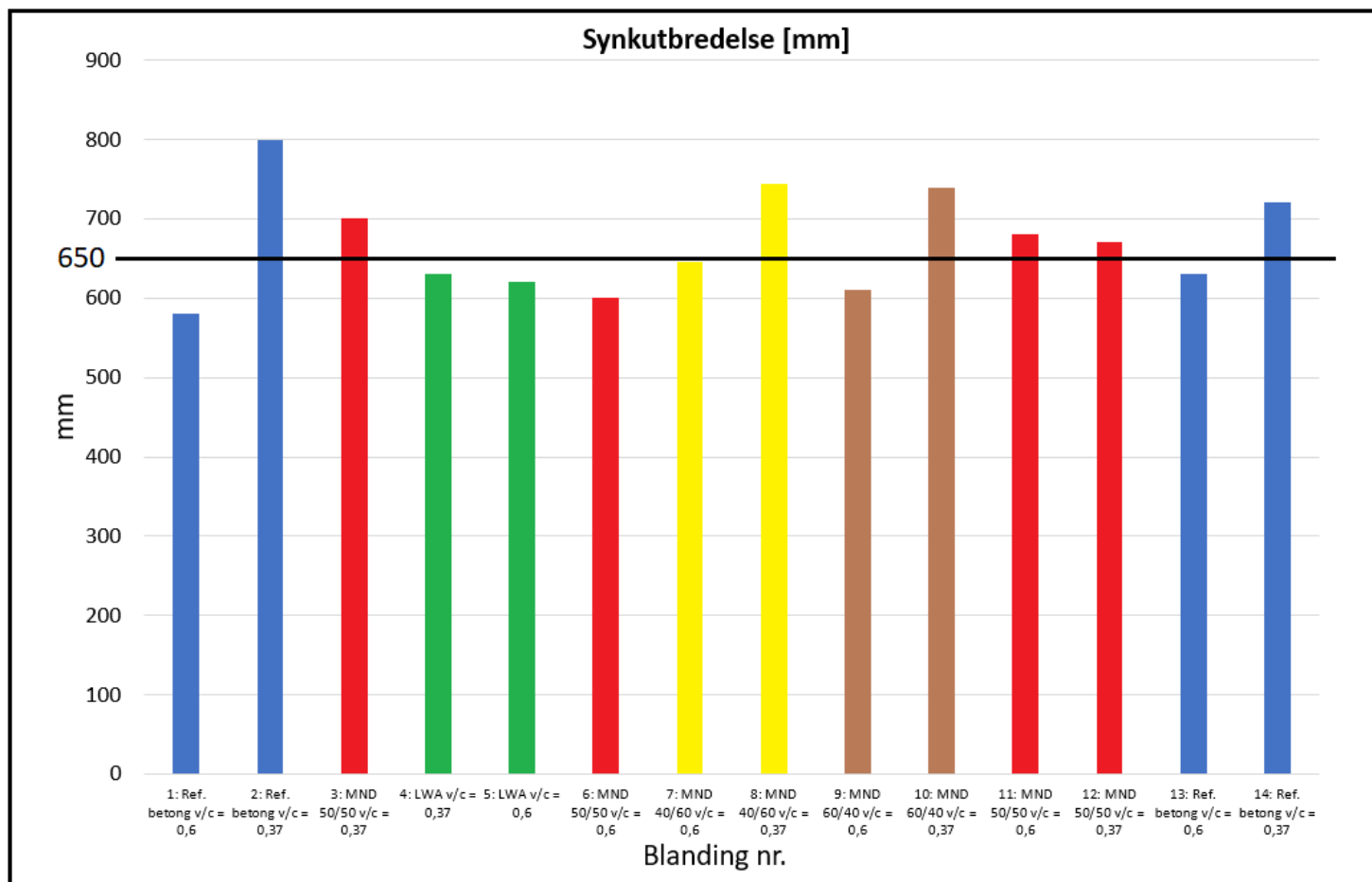
Ser at luftinnholdet har variert fra 0,8% til 2,3% for de ulike blandingene. Blanding 4 og 5 er lettbetong og har høyt innhold av luft. MND betongene har relativt likt innhold av luft og ligger mellom 0,8 og 1,5%. Luftinnholdet i referansebetongene 13 og 14 er ca. halvparten av luftinnholdet i referansebetongene 1 og 2.



Figur 17 - Densitet [kg/m³]

Figur 17 over viser densitetene til betongene. Ser at densiteten for normalbetongene ligger som forventet mellom 2350kg/m³ og 2436kg/m³, lettbetongene med 100% innhold av Stalite 8-16mm ligger på under 2000kg/m³, og de ulike MND betongene har en tetthet på mellom 2055kg/m³ og 2231kg/m³. Så densitetene er som forventet.

Den viktigste testen gjort med den ferske betongen er synkutbredelsesmålet. Det var SKB som skulle lages, og det er krav om et synkutbredelsesmål på minimum 650mm. Det er dermed viktig å oppnå god nok støpelighet og unngå separering. Resultatene fra testen kan sees i figur 18 på neste side:

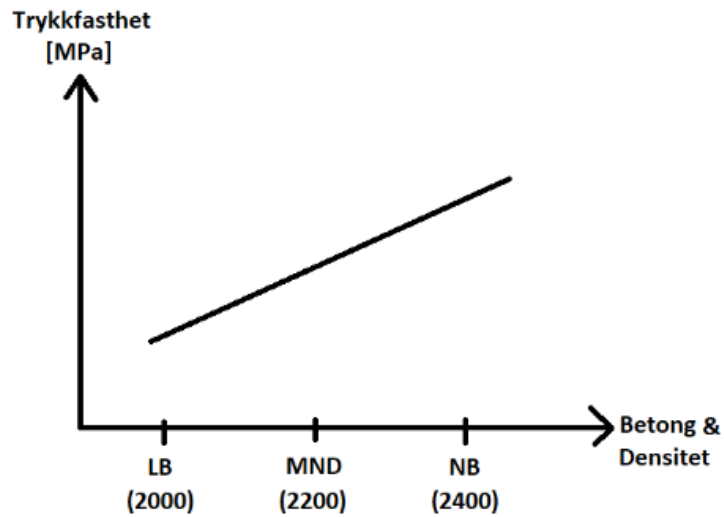


Figur 18 - Synkutbredelse [mm]

Det er ikke alle blandningene som har nådd kravet på minimum 650mm i synkutbredelse. Blanding nummer 1,4,5,6,7,9 og 13 ligger alle under kravet, men hadde det blitt tilsatt mer SP stoff ville sjansen for separasjon vært stor i disse blandningene. Blanding nummer 2 er i høyeste laget med en synkutbredelse på 800mm, mens blanding 7 ligger akkurat under kravet på 650mm. Ser at MND betongene har nådd kravet med unntak av blanding 6 og 9. Disse blandningene har v/c tall 0,6 og det kan virke som de fleste blandningene som ikke nådde kravet har v/c tall 0,6. For referansebetong nummer 1 og 13 har begge 0,6 i v/c tall og ingen av de nådde kravet. Når det gjelder den første blandingen kan dette skyldes nybegynner utfordringer siden det var den første blandingen som ble blandet. Når det gjelder blanding 4 og 5, som er lettbetonger nådde ingen av de kravet på 650mm. Blanding 7 har 60% innhold av Stalite 8-16mm, og nådde akkurat ikke opp til kravet den heller. Blanding 6 med 50% innhold av Stalite 8-16mm og blanding 9 med 40% innhold av Stalite 8-16mm nådde heller ikke kravet. På bakgrunn av dette kan en si at det ikke er lett å lage en selvkomprimerende lettbetong med god støpelighet som ikke separerer. Et tiltak på å minske sjansen for separasjon kan være å øke fillerinnholdet.

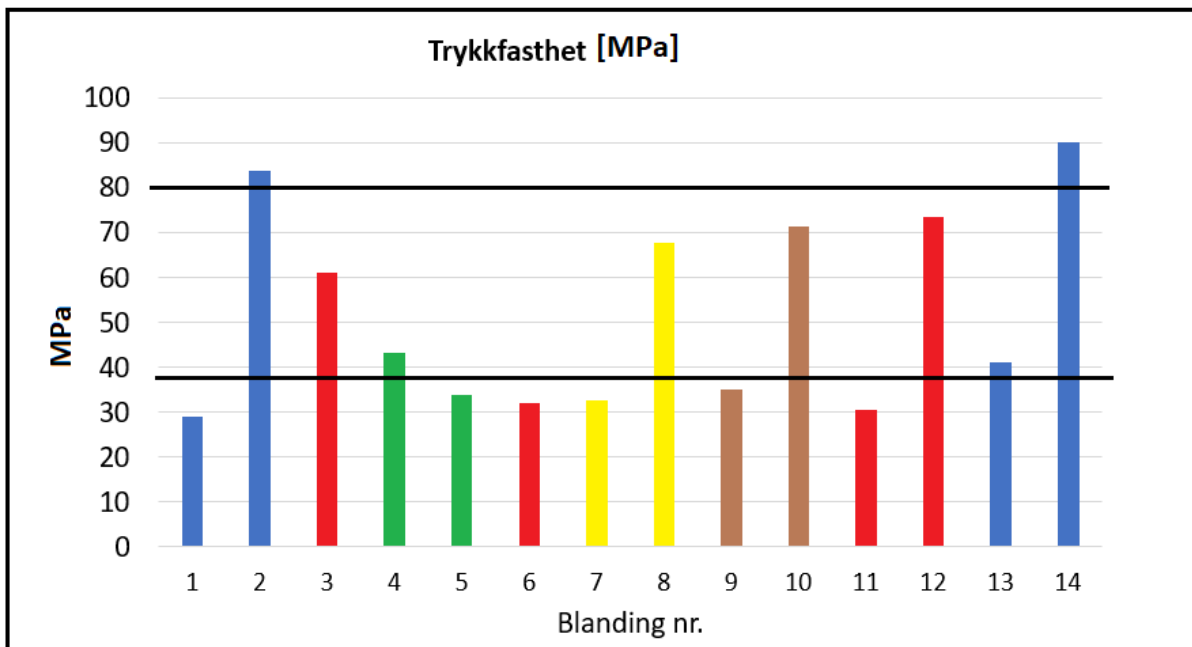
6.2 Herdet betong

Trykkfastheten måler styrken i betongen og forventet fordeling av trykkfastheten mellom de ulike betongblandingene er slik som skissen i figur 19 viser:



Figur 19 - Forventet trykkfasthet

Figur 20 under viser resultatene i trykkfasthet for de forskjellige betongblandingene:

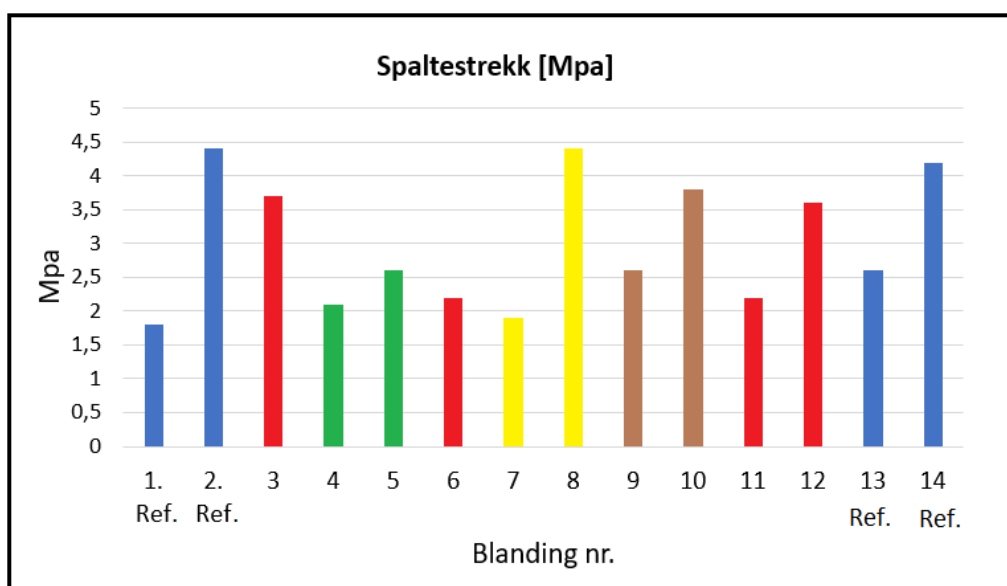


Figur 20 - Trykkfasthet terninger [MPa]

Ut ifra grafen over ser man at referansebetongene 2 og 14 som er normalbetonger med v/c tall 0,37 er oppe i over 80MPa som ifølge figur 9 i delkapittel 4.3.2 stemmer bra. For blanding 13 med v/c tall = 0,6 skulle trykkfastheten ifølge samme figur være omtrent 35-40MPa noe som stemmer ganske bra. Blanding nummer 1 som er tilsvarende blanding 13 skulle vært litt høyere, men dette kan skyldes at det var den første blandingen som var gjennomført og bærer preg av nybegynnerfeil. Ser at blandingene med v/c tall = 0,37 er høyere enn de med v/c tall = 0,6. Dette er som forventet da v/c tallet har mye å si på fastheten til herdet betong. Trykkfasthet på 38MPa som gjelder for B35 lettbetong ser ut til å være nådd for blanding 4 og nesten blanding 5.

For blandingene med v/c tall 0,37 stemmer forventningen og figur 19 bra. Her har normalbetongene den høyeste trykkfastheten, deretter følger MND blandingene og så lettbetongen (LWA) med 100% innhold av Stalite 8-16mm med den laveste trykkfastheten. Hvis man ser på blandingene med v/c tall 0,6, så er det litt overaskende at blanding 5, som er lettbetong med v/c tall 0,6 har høyere trykkfasthet enn MND blandingene 6,7,11 og har omtrent lik fasthet som blanding 9. Så forventning og figur 19 passer ikke helt overens med resultatene for blandingene med v/c tall 0,6. Siden trykkfastheten er større for blanding 5, kan det virke som om innholdet av Stalite ikke har så mye å si på trykkfastheten ved høyt v/c tall, men ved v/c tall 0,37 viser resultatet at referansebetongene og MND betongene har betydelig høyere trykkfastheter.

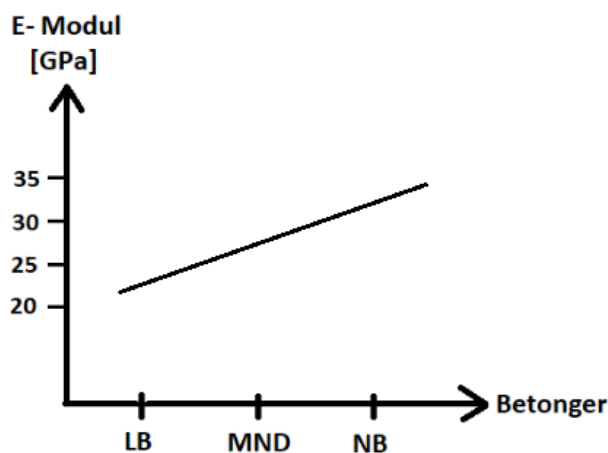
Resultatene fra spaltstrekk testen kan sees i figur 21 under:



Figur 21 - Resultater spaltstrekk

Resultatene for spaltestrekk viser at det er referansebetongene 2 og 14 med v/c tall 0,37, og MND betongen 8 med 40/60 fordeling av Årdal /Stalite og et v/c tall = 0,37 som har de høyeste verdiene av spaltestrekk. Ser ut ifra tabell 26 «Resultater spaltestrekk» at resultatene har vært varierende for sylindrene som er testet. Blanding 7 har en variasjon i bruddlast fra 92kN for den første sylindren til 186kN for den siste sylindren noe som er dobbelt så mye. Her er det med andre ord vært noe å hente i måten sylindrene ble støpt ut på. Det ble merket at for MND betongene, så hendte det at Staliten steg opp til overflaten etter betongen ble blandet (separering). Dette kan være tilfelle etter å ha fylt formene også, og dette kan være med på å påvirke resultatene for testen. For alle blandinger er det den blandingen med v/c tall 0,37 som har høyest spaltestrekfasthet, med unntak av lettbetongene 4 og 5. Her er det blanding 5 med v/c tall 0,6 som har den høyeste spaltestrekfastheten, noe som ikke ble forventet.

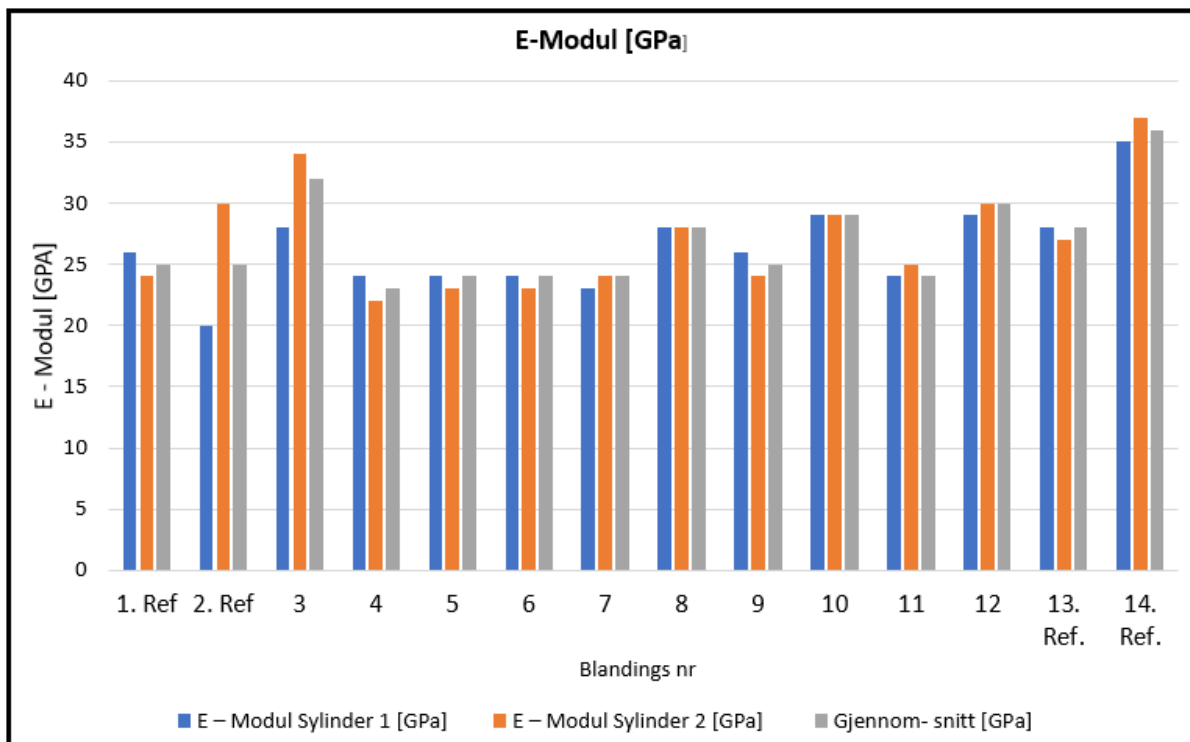
For den mekaniske egenskapen elastisitetsmodul, eller E-modul, er det forventet at lettbetongene og MND betongene har en lavere verdi enn referansebetongene. Det er forventet noe slikt som skissen i figur 22 under viser:



Figur 22 - Forventede resultater E-modul

Videre følger figur 23 med en graf som viser resultatene for E-modul testen.

Normalbetongene ligger normalt rundt 28-36 GPa, og lettbetonger er forventet å ligge rundt 22-24GPa. Grafen under viser resultater fra sylinder 1 i blått, sylinder to i oransje og gjennomsnittet mellom de to sylindrene i grått.



Figur 23 - Resultater E-modul [GPa]

Ser ut ifra grafen at blanding 14. som er referansebetong med v/c tall 0,37 har en gjennomsnittlig E-modul på 36GPa, som er i området for normalbetong på 28-36GPa. Resten av normalbetongene ligger under forventet verdi. Referansebetong 2 med v/c tall 0,37, har stor variasjon i resultat fra sylinder 1 og 2. Sylinder nummer to ligger i forventet område for normalbetong, mens sylinder 1 ligger lavt på 20GPa. De to lettbetongene, blanding 4 og 5, har E-modul på henholdsvis 23GPa og 24GPa. Dette ligger i sjiktet 22-24GPa, som er forventet for lettbetong. MND betongene 3 og 12 med 50/50 fordeling av volum grovt tilslag Årdal/Stalite og v/c tall 0,37, ligger på 32GPa og 30GPa, mens blanding 6 og 11 med v/c tall 0,6 ligger på 24GPa. MND betongene 9 og 10 som har en 60/40 fordeling mellom volum grovt tilslag Årdal/ Stalite og v/c har for v/c tall 0,37 en E-modul på 29GPa, og for v/c tall 0,6 en E-modul på 25GPa. For MND betongene med fordeling av volum grovt tilslag på 40/60 mellom Årdal og Stalite ligger E-modulen på 24GPa for v/c tall 0,6 og 28GPa for v/c tall 0,37. Dette er hakket under MND med 60/40 fordeling av 8-16mm.

Fordeling av det grove tilslaget har noe å si på E-modulen. Det er vist ut ifra resultatene at blanding 14 med normalt tilslag har en E-modul på 36GPa, mens blandingene med en 60/40 fordeling av volumet i det grove tilslaget har E-modul på 29GPa for v/c tall 0,37, og 25GPa for v/c tall 0,6. Etter det følger blanding 7 og 8 med mer innhold av Stalite og en fordeling på 40/60 av det grove tilslaget og med E-modul på 28GPa for v/c tall 0,37 og 24 for v/c tall 0,6. Deretter kommer lettbetongene med E-modul på 23GPa og 24GPa. Det som ikke er som forventet er at MND betong med 50/50 fordeling av grovt tilslag har såpass høy E-modul. En skulle tro at MND med 60/40 fordeling ville hatt høyere E-modul, men ut ifra testene er ikke dette tilfelle da MND med 50/50 ligger på 30GPa og 31GPa. Ser også at blandingene med lavere v/c tall har generelt høyere E-modul enn tilsvarende blandinger med v/c tall 0,6 med unntak av blanding 4 og 5 der det er høyest E-modul med v/c tall 0,6.

For bøyestrekfastheten ser man ut ifra tabell 28 «Bøyestrekfasthet [MPa]» at referansebetongene 1,2,13 og 14 ligger i det øvre sjiktet med en bøyestrekfasthet på 2,1MPa og 2,4MPa for v/c tall 0,6MPa og 2,8MPa og 3,0MPa for v/c tall 0,37. Lettbetongene 4 og 5 ligger lavest med en bøyestrekfasthet på 1,5MPa og 1,6MPa, mens MND betongene fordeler seg fra 1,7-2,6MPa.

Ut ifra tabell 29 for CMOD ser vi at resultatene varierer mye fra bjelker i samme blanding. Blanding 13 har en CMOD for bjelke 1 på 0,031mm, og CMOD for bjelke 2 på 0,25mm. Dette er stor forskjell, og disse verdiene skulle i utgangspunktet vært omtrent like. Som nevnt tidligere skulle det lite til for at bjelkene gikk til brudd.

Når det gjelder bruddenergien så ble ikke nedbøyningen registrert for blanding 5 som var LWA betong, og 6 som var MND med en 50/50 fordeling av volumet 8-16mm tilslag, begge med et v/c tall på 0,6. Blanding 7 og 8 som begge er MND betong med en fordeling av volumet til 8-16mm tilslag på 40/60 er heller ikke registrert. Bytte av PC på laboratoriet som lagrer resultater underveis i test perioden kan være en grunn til dette. Bruddenergiene som ble regnet ut var lave.

For referansebetongene med v/c tall 0,6 er det regnet ut fire bruddenergier: 0,150, 0,184, 0,143 og 0,137N/mm. MND betongene med v/c tall 0,6 som er registrert er blanding 9 med en 60/40 fordeling mellom volum Årdal/ Stalite 8-16mm, og blanding 11 som er MND med en 50/50 fordeling. Blanding 9 har bruddenergier 0,110N/mm og 0,136N/mm, og blanding nummer 11 har bruddenergi på 0,110N/mm. Ut ifra disse resultatene så har normalbetongene høyere bruddenergi enn MND betongene og MND med mest innhold av vanlig tilslag 8-16mm (MND 60/40), har større bruddenergi enn MND med 50/50 fordeling. Resultat for LWA betong med v/c tall 0,6 er ikke registrert og gir derfor ingen klar indikasjon på om bruddenergien hadde vært lavere, men tendensen i resultatene ovenfor viser at bruddenergien til lettbetong kunne vært lavere.

For referansebetongene med v/c tall 0,37 er det registrert to bruddenergier på 0,183 og 0,225N/mm. Blanding nummer 10 som er MND betong med 60/40 fordeling av volum Årdal/Stalite 8-16mm og v/c tall 0,37, har bruddenergier på 0,210 og 0,136N/mm. Blanding 3 og 11 som er MND betong med en 50/50 fordeling og v/c tall 0,37, har bruddenergier på 0,142 og 0,056N/mm. LWA betong med v/c tall 0,37 har bruddenergier 0,045 og 0,055N/mm noe som ligger godt under de andre betongene nevnt med unntak av blanding 3 som har bruddenergi 0,056. Ut ifra disse resultatene så er tendensen at mer innhold av Stalite gir lavere bruddenergi. Lav bruddenergi tyder på at betongen er sprø, mens høy bruddenergi tyder på en seigere og mer duktil betong. Det skulle lite til før bjelkene gikk til brudd under testen, og det var ikke lett å få gode resultater. Å tilsette fiber i blandinger kunne gjort at det skulle mer til før bjelkene gikk til brudd og det kunne blitt registrert flere data på kraft og nedbøyning. Resultatene for blandinger med v/c tall 0,37 og 0,6 ovenfor viser allikevel en tendens til at bruddenergien synker med mer innhold av Stalite.

6.3 Mulige feilkilder

Det er flere ting som har spilt inn på resultatene i denne oppgaven. For blanding av de første blandingerne av betong, er det mulig at erfaringen til lab personalet og blandeegenskapene ikke var optimale, noe som kan føre til en mulig feilkilde. For de første blandingerne med Stalite var også nytt og det tok tid før man ble kjent med oppførselen til Stalite. Stalite steg for noen av blandingerne opp til overflaten, noe som kan ha gjort at fordelingen i de utstøpte formene ikke blir jevn, men at Stalite trekker opp og kan legge seg øverst i formen (separasjon). For å få mer pålitelige resultater ble de første blandingerne støpt på nytt på slutten av dette programmet. Noen av blandingerne herdet også over tiden på 28 dager, noe fører til en mulig feilkilde.

Det ble støpt en del blandinger, og underveis i arbeidet på laboratoriet ble det mange utstøpte blandinger som skulle herde i vannbad. På det meste var det fylt tre kar med vann som blandingerne skulle herde i. Med andre ord var det en del sylindere, terninger og bjelker å holde styr på. Dette førte til at blant annet en sylinder ble glemt og testet senere da den ble funnet igjen.

Når det gjelder testen med bjelker så skulle det lite til før bjelkene knakk, og noen av bjelkene knakk før testen var i gang. Så nedgang av last i midten var for brå for noen av bjelkene. Det var også litt problemer med clip gaugen i starten og resultatene ble ikke registrert.

Nedbøyning ble ikke registrert for et par av blandingerne, noe som er en feilkilde. PC på laboratoriet ble også byttet ut underveis og midt i testperioden. Derfor havnet noen resultater på den gamle dataen, og noen på den nye.

7. Konklusjon

Densiteten til de ulike betongblandingene ble som forventet rundt 2400kg/m^3 for normalbetong som også ble brukt som referanse, MND betongene som er en mellomting mellom normal og lettbetong ligger på rundt 2200kg/m^3 , og lettbetongene (LWA) rundt 2000kg/m^3 .

I oppgaven ble det fokusert på å støpe SKB med god støpelighet og godkjent synkutbredelse på minimum 650mm som ikke separerer. Det viste seg at det er vanskelig å støpe en selvkomprimerende lettbetong med bra støpelighet og som ikke separerer. Blanding 4 og 5 som er de to betongene med 100% innhold av Stalite 8-16mm, nådde ikke kravet til synkutbredelse (SU) på 650mm. I tillegg var det tre av MND betongene, hhv: blanding 6, 7 og 9 som heller ikke nådde kravet til SU. Hadde det blitt forsøkt å tilsette mer SP stoff, så ville sjansen for separering vært rimelig stor for disse blandingene.

Trykkfastheten i terningene stemmer med forventingen med høyere trykkfasthet for normalbetong, lavere trykkfasthet for MND betong, og lavest for lettbetong med 100% innhold av Stalite 8-16mm. Dette gjelder blandingene med v/c tall 0,37. For blandingene med v/c tall 0,6, så viser resultatet at blanding 5 som er lettbetong med 100% innhold av Stalite 8-16mm ikke ble som forventet da denne betongen oppnådde en høyere trykkfasthet enn noen av MND betongene.

For testen med spaltestrekkfasthet har resultatene vært varierende noe som kan skyldes at Stalite tilslag stiger opp ved blanding av betong og kan ha fordelt seg ujevnt i sylinder formene. Referansebetongene med v/c tall 0,37 har den høyeste spaltestrekkfastheten sammen med blanding 8 som er MND betong med en 40/60 fordeling av volumet Årdal/Stalite 8-16mm. Blandingene med v/c tall 0,37, har større spaltestrekkfasthet enn tilsvarende blandinger med v/c tall 0,6, med unntak av blanding 5, som er LWA betong, noe som ikke ble forventet.

For resultatene for E-modul er det som delvis som forventet at normalbetong har den høyeste E-modulen. Dette gjelder hvis vi ser på blanding nummer 14. Deretter følger MND blanding med 60/40 fordeling av volum grovt tilslag Årdal/Stalite etterfulgt av MND betonger med 40/60 fordeling av volum grovt tilslag, og tilslutt LWA betongene. Det er også vist fra testene at MND betong med 50/50 fordeling av volum grovt tilslag har høyere E-modul enn MND med 60/40 fordeling, noe som ikke er som forventet.

Så her kan det virke som økt innhold av Stalite har noe å si på E-modul, siden de fleste blandningene er som forventet. Økt innhold av Stalite gir lavere E-modul.

Test for bøyestrekfasthet viser at referansebetongene har høye resultater der de blandningene med v/c tall 0,37 har bøyestrekfasthet på 2,8 og 3,0MPa. LWA betongene har bøyestrekfasthet på 1,5 og 1,6MPa og er lavest av de registrerte testene. MND betongene fordeler seg fra 1,7 – 2,6MPa. Ut ifra disse resultatene virker det som om innhold av Stalite har noe å si på bøyestrekfastheten og jo mer innhold desto lavere bøyestrekfasthet.

For resultatene fra CMOD testen viser det seg at det er store variasjoner internt i betongene.

Resultater fra utregning bruddenergi viser at det er en tendens til at mer innhold av Stalite gir lavere bruddenergi og dermed et sprøere materiale. Resultatene var ikke de beste da nedbøyning ikke ble registrert for blanding 5 og 6, og at blanding 7 og 8 ikke ble registrert. Blandinger med v/c tall 0,6 viser at bruddenergien er høyere i normalbetong og ligger mellom: 0,150, 0,184, 0,143 og 0,137N/mm. Registrerte MND betonger har bruddenergi 0,110 og 0,136. LWA betong ble ikke registrert.

Normalbetong med v/c tall 0,37 hadde bruddenergi 0,183 og 0,225N/mm. MND betong med v/c tall 0,37 og 60/40 fordeling mellom Årdal/Stalite 8-16 hadde bruddenergi på 0,210 og 0,136N/mm. MND 50/50 med mer innhold av Stalite har bruddenergi 0,142 og 0,056N/mm, og LWA betong med v/c tall 0,37 har bruddenergi 0,045 og 0,055N/mm. Resultatene viser en tendens til at mer innhold av Stalite gir lavere bruddenergi og det kan tyde på at betong med mer innhold av Stalite er sprøere enn betong med normalt tilslag.

8. Referanser

8.1 Kilder fra teori

[1] *Tilslag for betong*, NS – EN 12620:2002+A1:2008+NA:2009

[2] P. Gjerp, M. Opsahl og S. Smepllass, *Grunnleggende betongteknologi*, 2. Oslo/Lillestrøm: Byggenæringens forlag, 2004

[3] A.M. Neville, *Properties of concrete*, 5th edition. London: Pearson, 2011.

[4] Mapei, *Dynamon SX – N*. Hentet fra: https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider60/products-documents/6392-dynamonsxn-no.pdf?sfvrsn=2c621c85_0. Lastet ned 18.05.2019.

[5] Mari Gisvold Garathun, Denne brua krevde utvikling av en ny type lettbetong, Nov.2015. Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/denne-brua-krevde-utvikling-av-en-ny-type-lettbetong/275956>. Lastet ned: 19.05.2019.

[6] Stalite lightweight aggregate, *Why stalite?*. Hentet fra: <https://www.stalite.com/lwa-benefits>. Lastet ned 19.05.2019.

[7] *Spesial betonger*, 1 opplag, 2 utgave, hefte 5, Institutt for bygg og anleggsteknikk, Ullandhaug, 1992

[8] L. Coppola, «Selvkomprimerende betong», Rescon Mapei AS – Betongindustri, 2002.[Online]. Hentet fra: http://www.mapei.com/public/NO/linedocument/selvkomprimerende_betong_2002.pdf. Lastet ned: 25.05.2019

[9] B. Pedersen, «Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper», Statens vegvesen rapporter, nr. 181, s. 1-47, jan. 2019.

[24] E.A. Hansen, «Duktilitet i høyfast betong» NTNf- Prosjekt, Norsk industri og forskningsinstitusjoner. Norge, 13.10.1989.

8.2 Kilder fra testmetode

[10] Standard Norge (NS-EN 12350), «Prøving av fersk betong – Del 8: Selvkomprimerende betong – Synkutbredelsesmetode,» Standard Norge, Norge, 2010.

[11] Standard Norge (NS-EN 12350), «Prøving av fersk betong – Del 7: Luftinnhold – Trykkmetoder,» Standard Norge, Norge, 2010.

[12] Standard Norge (NS-EN 12350), «Prøving av fersk betong – Del 6: Densitet,» Standard Norge, Norge, 2010.

[13] Standard Norge (NS-EN 12390), «Prøving av herdnet betong – Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet,» Standard Norge, Norge, 2009.

[14] Standard Norge (NS-EN 12390), «Prøving av herdnet betong – Del 6: Prøvelegemers spaltestrekfasthet,» Standard Norge, Norge, 2009.

[15] Standard Norge (NS-EN 12390), «Prøving av herdnet betong – Del 13: Bestemmelse av sekantmodul for elastisitet under trykk,» Standard Norge, Norge, 2014.

[16] Standard Norge, «Prøving av herdnet betong – Del 5: Prøvelegemers bøyestrekfasthet,» Standard Norge, 2009

[23] Universitetet i Stavanger, «Mekaniske egenskaper» Forelesning fra Betongteknologi. Høst 2018.

8.3 Kilder fra prøveplan

[17] Norstone, *Betongtilslag*. Hentet fra: <https://www.norstone.no/no/betongtilslag>. Lastet ned: 01.06.2019.

[18] Stalite lightweight aggregate, *Production*, 2019. Hentet fra: <https://www.stalite.com/production>. Lastet ned 01.06.2019.

[19] P. Gjerp, M. Opsahl og S. Smeplass, *Grunnleggende betongteknologi*, 2. Oslo/Lillestrøm: Byggenæringens forlag, 2004

[20] Produktinfo_anleggsement_fa.no.pdf fra nettsted: <https://www.norcem.no/no/AnleggFA>

[21] Norcem AS Brevik, *Environmental product declaration EPD CEM II*, 16.04.2015. Hentet fra: <https://www.norcem.no/no/AnleggFA>. Lastet ned 18.05.2019.

[22] Mapei, *Dynamon SX – N*. Hentet fra: https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider60/products-documents/6392-dynamonsxn-no.pdf?sfvrsn=2c621c85_0. Lastet ned 18.05.2019.

Vedlegg

Vedlegg 1: Blanding 1, referansebetong: Normalbetong v/c = 0,6	70
Vedlegg 2: Blanding 2, referansebetong: Normalbetong v/c = 0,37	71
Vedlegg 3: Blanding 3, MND 50/50 årdal/stalite v/c = 0,37.....	72
Vedlegg 4: Blanding 4: LWA v/c tall = 0,37.....	73
Vedlegg 5: Blanding 5: LWA v/c = 0,6.....	74
Vedlegg 6: Blanding 6: MND 50/50 årdal/stalite v/c = 0,6	75
Vedlegg 7: Blanding 7: MND 40/60 årdal/stalite v/c = 0,6	76
Vedlegg 8: Blanding 8: MND 40/60 årdal/stalite v/c = 0,37	77
Vedlegg 9: Blanding 9: MND 60/40 årdal/stalite v/c = 0,6	78
Vedlegg 10: Blanding 10: MND 60/40 årdal/stalite v/c = 0,37	79
Vedlegg 11: MND 50/50 årdal/stalite v/c = 0,6.....	80
Vedlegg 12: Blanding 12: MND 50/50 årdal/stalite v/c = 0,37	81
Vedlegg 13: Blanding 13: Referansebetong normalbetong v/c = 0,6	82
Vedlegg 14: Blanding 14: Referansebetong normalbetong v/c = 0,37	83
Vedlegg 15 - Ytelseserklæring Årdal 0/8	84
Vedlegg 16 - CE merking Årdal 0/8	85
Vedlegg 17 - Ytelseserklæring Årdal 8/16.....	86
Vedlegg 18 - CE merking Årdal 8/16	87
Vedlegg 19 - Produktdatablad Anleggsement FA	88
Vedlegg 20 - Dynamon SX-N beskrivelse.....	89
Vedlegg 21 - Resultater trykktest 100x100 første del.....	90
Vedlegg 22 – Resultater trykktest 100x100 andre del	92
Vedlegg 23 - Resultater spaltestrekk første del.....	94
Vedlegg 24 - Resultater spaltestrekk andre del.....	96
Vedlegg 25 - Resultater E - modul første del	98
Vedlegg 26 - Resultater E - modul andre del	99
Vedlegg 27 – Nedbøyning og kraft test med bjelker	101
Vedlegg 28 - Utrekning bøyestrekkefasthet.....	103
Vedlegg 29 - Beskrivelse av resultater i fuktinnhold ved Speedy test.....	104
Vedlegg 30 - Antall gram SP stoff tilsatt.....	104
Vedlegg 31 - Utrekninger vekt bjelke og bruddenergi.....	105

Vedlegg 1: Blanding 1, referansebetong: Normalbetong v/c = 0,6

Blandeskjema	SKANSKA
---------------------	----------------

Prosjekt	Masteroppgave vår 2019
Reseptnummer	Referanse betong: normalbetong v/c = 0,6
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40

Blandevolum	60 liter
Dato:	22.01.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Anlegg FA	333,7	20,023			20,023
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	200,2	12,014		-1,428	10,586
Absorbent vann	12,9	0,773			0,773
Årdal 0/8 mm nat. vask.	868,4	52,102	2,0	1,042	53,144
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	838,5	50,308	0,5	0,252	50,559
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	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
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	2,7	0,160	84	0,135	0,160
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

11,358

Vedlegg 2: Blanding 2, referansebetong: Normalbetong v/c = 0,37

Blandeskjema **SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave vår 2019
Reseptnummer	Referansebetong: Normalbetong v/c = 0,37
Tilsiktet kvalitet	0

Blandevolum	70 liter
Dato:	05.02.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Anlegg FA	437,5	30,624			30,624
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	172,2	12,054		-2,293	9,762
Absorbent vann	12,5	0,873			0,873
Årdal 0/8 mm nat. vask.	840,8	58,856	2,3	1,324	60,180
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	811,8	56,829	0,5	0,284	57,113
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	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
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	11,6	0,814	84	0,684	0,814
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

10,634

Blandeskjema	SKANSKA
---------------------	----------------

Prosjekt	Masteroppgave Even Kravik
Reseptnummer	MND Betong 50 % grovt tilslag v/c = 0,37
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40

Blande volum	70 liter
Dato:	15.02.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Anlegg FA	440,4	30,830			30,830	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Fritt vann	171,5	12,007		-1,864	10,143	
Absorbent vann	10,8	0,759			0,759	10,902
Årdal 0/8 mm nat. vask.	865,8	60,609	1,7	1,030	61,639	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 8/16mm	435,9	30,510	0,5	0,153	30,662	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Stalite	251,9	17,631	0,0	0,000	17,631	
	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	
Mapei Dynamon SX-N	11,6	0,811	84	0,682	0,811	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

Vedlegg 4: Blanding 4: LWA v/c tall = 0,37

Blandeskjema **SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave Even Kravik
Reseptnummer	Stalite LWA betong med v/c = 0,37
Tilskattet kvalitet	B35 MF40

Blandevolum	70 liter
Dato:	20.02.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Anlegg FA	438,1	30,666			30,666
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	170,6	11,944		-2,080	9,864
Absorbert vann	9,0	0,633			0,633
Årdal 0/8 mm nat. vask.	904,7	63,328	2,3	1,457	64,785
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Stalite	483,4	33,839	0,0	0,000	33,839
	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
Mapei Dynamon SX-N	10,6	0,742	84	0,624	0,742
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

10,497

Blandeskjema	SKANSKA
---------------------	----------------

Prosjekt	Masteroppgave Even Kravik
Reseptnummer	Stalite LWA betong med v/c = 0,6
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40

Blande volum	70 liter
Dato:	28.02.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Anlegg FA	331,1	23,179			23,179	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	17,4	1,220	0,0	0,000	1,220	
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Fritt vann	209,1	14,639		-2,055	12,585	13,218
Absorbert vann	9,0	0,633			0,633	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	904,7	63,328	2,5	1,583	64,912	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 8/16mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Stalite	483,4	33,839	0,0	0,000	33,839	
	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	
Mapei Dynamon SX-N	8,0	0,561	84	0,471	0,561	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

Vedlegg 6: Blanding 6: MND 50/50 årdal/stalite v/c = 0,6

Blandeskjema	SKANSKA
---------------------	----------------

Prosjekt	Masteroppgave Even Kravik
Reseptnummer	MND Betong 50 % grovt tilslag v/c = 0,6
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40

Blandevolum	70 liter
Dato:	01.03.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Anlegg FA	333,9	23,374			23,374	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	17,6	1,230	0,0	0,000	1,230	
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Fritt vann	210,9	14,762		-2,031	12,731	13,490
Absorbert vann	10,8	0,759			0,759	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	865,8	60,609	3,1	1,879	62,487	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 8/16mm	435,9	30,510	0,5	0,153	30,662	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Stalite	251,9	17,631	0,0	0,000	17,631	
	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	
Mapei Dynamon SX-N	0,0	0,000	84	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

Vedlegg 7: Blanding 7: MND 40/60 årdal/stalite v/c = 0,6

Blandeskjema	SKANSKA
---------------------	----------------

Prosjekt	Masteroppgave vår 2019
Reseptnummer	Normalbetong v/c = 0,6
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40

Blandevolum	70 liter
Dato:	14.03.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Anlegg FA	353,0	24,708			24,708	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Fritt vann	211,8	14,825		-1,824	13,000	13,736
Absorbent vann	10,5	0,735			0,735	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	879,1	61,534	2,5	1,538	63,072	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 8/16mm	342,7	23,990	0,5	0,120	24,110	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Stalite	298,5	20,895	0,0	0,000	20,895	
	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	
Mapei Dynamon SX-N	2,8	0,198	84	0,166	0,198	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

Vedlegg 8: Blanding 8: MND 40/60 årdal/stalite v/c = 0,37

Blandeskjema	SKANSKA
---------------------	----------------

Prosjekt	Masteroppgave vår 2019
Reseptnummer	Normalbetong v/c = 0,37
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40

Blandevolum	70 liter
Dato:	15.03.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Anlegg FA	468,3	32,778			32,778	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Fritt vann	173,3	12,128		-2,002	10,126	10,861
Absorbent vann	10,5	0,735			0,735	
Årdal 0/8 mm nat. vask.	879,1	61,534	2,7	1,661	63,195	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 8/16mm	342,7	23,990	0,5	0,120	24,110	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Stalite	298,5	20,895	0,0	0,000	20,895	
	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	
Mapei Dynamon SX-N	3,7	0,262	84	0,220	0,262	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

Blandeskjema **SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave vår 2019
Reseptnummer	MND 60/40 v/c tall = 0,6
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40

Blande volum	70 liter
Dato:	21.03.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Anlegg FA	353,7	24,757			24,757
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	212,2	14,854		-3,109	11,745
Absorbent vann	11,3	0,794			0,794
Årdal 0/8 mm nat. vask.	877,1	61,396	4,5	2,763	64,159
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	513,3	35,928	0,5	0,180	36,107
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Stalite	200,2	14,017	0,0	0,000	14,017
	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
Mapei Dynamon SX-N	2,8	0,198	84	0,166	0,198
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

12,539

Vedlegg 10: Blanding 10: MND 60/40 årdal/stalite v/c = 0,37

Blandeskjema SKANSKA

Prosjekt	Masteroppgave vår 2019
Reseptnummer	MND 60/40 v/c tall = 0,37
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40

Blande volum	70 liter
Dato:	22.03.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Anlegg FA	469,2	32,842			32,842
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	173,6	12,152		-3,102	9,050
Absorbert vann	11,3	0,794			0,794
Årdal 0/8 mm nat. vask.	877,1	61,396	4,4	2,701	64,098
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	513,3	35,928	0,5	0,180	36,107
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Stalite	200,2	14,017	0,0	0,000	14,017
	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
Mapei Dynamon SX-N	3,8	0,263	84	0,221	0,263
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

9,843

Blandeskjema **SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave Even Kravik
Reseptnummer	MND Betong 50 % grovt tilslag v/c = 0,6
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40

Blandevolum	70 liter
Dato:	28.03.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Anlegg FA	333,9	23,374			23,374
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	210,9	14,762		-1,547	13,216
Absorbent vann	10,8	0,759			0,759
Årdal 0/8 mm nat. vask.	865,8	60,609	2,3	1,394	62,003
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	435,9	30,510	0,5	0,153	30,662
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Stalite	251,9	17,631	0,0	0,000	17,631
	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
Mapei Dynamon SX-N	0,0	0,000	84	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

13,974

Blandeskjema	SKANSKA
---------------------	----------------

Prosjekt	Masteroppgave Even Kravik
Reseptnummer	MND Betong 50 % grovt tilslag v/c = 0,37
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40

Blande volum	70 liter
Dato:	29.03.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Anlegg FA	440,4	30,830			30,830
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	171,5	12,007		-2,289	9,719
Absorbent vann	10,8	0,759			0,759
Årdal 0/8 mm nat. vask.	865,8	60,609	2,4	1,455	62,063
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	435,9	30,510	0,5	0,153	30,662
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Stalite	251,9	17,631	0,0	0,000	17,631
	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
Mapei Dynamon SX-N	11,6	0,811	84	0,682	0,811
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

10,477

Vedlegg 13: Blanding 13: Referansebetong normalbetong v/c = 0,6

Blandeskjema	SKANSKA
---------------------	----------------

Prosjekt	Masteroppgave vår 2019
Reseptnummer	Normalbetong v/c = 0,6
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40

Blande volum	70 liter
Dato:	04.04.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Anlegg FA	355,0	24,849			24,849
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	213,0	14,910		-1,885	13,024
Absorbent vann	13,1	0,916			0,916
Årdal 0/8 mm nat. vask.	882,1	61,750	2,3	1,420	63,170
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	851,8	59,624	0,5	0,298	59,922
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	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
Mapei Dynamon SX-N	2,8	0,199	84	0,167	0,199
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

13,940

Vedlegg 14: Blanding 14: Referansebetong normalbetong v/c = 0,37

Blandeskjema **SKANSKA**

Prosjekt	Masteroppgave vår 2019
Reseptnummer	Normalbetong v/c = 0,37
Tilsiktet kvalitet	B35 MF40 0

Blandevolum	70 liter
Dato:	05.04.2019
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	
Utført av:	Even Kravik

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Anlegg FA	469,7	32,876			32,876
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Fritt vann	173,8	12,164		-2,532	9,632
Absorbert vann	13,1	0,916			0,916
Årdal 0/8 mm nat. vask.	882,1	61,750	2,5	1,544	63,294
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	851,8	59,624	0,5	0,298	59,922
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	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
Mapei Dynamon SX-N	11,7	0,822	84	0,690	0,822
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000



10,547


Vedlegg 15 - Ytelseserklæring Årdal 0/8

Ytelseserklæring



I henhold til forordning (EU) nr. 305/2011 (byggevarer), vedlegg III

Side - 3 -

Ytelseserklæring nr: 101718-115 008						
100 Knust-Natur 0/8mm (B)	Gneis-Granitt	Vare nr:	101718-115			
Bruksområder for byggevaren(e):		Tilslag for betong		NorStone Årdal		
Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse		System 2+		NorStone Årdal, 4137 Årdal, Norge		
Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert Standard		NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016		www.norstone.no		
Sertifiseringsorganet:		Kontrollrådet-1111		TIF:0047-51754200		
har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med		System 2+				
basert på førstegangsrevisjon av produksjons-anlegget og produksjonskontrollen:		1111-CPD-0007				
Ytelseserklæring arkiveres i ti år.						
Harmonisert teknisk spesifisering	Standarder	Vesentlige egenskaper	Verdier	Ytelse		
NS EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016	NS EN 933-1	Kornstørrelse Gradering Toleransekategori		0/8 G ₉₀ -		
	NS EN 933-3	Kornform Flisighetsindeks	-	-		
	NS EN 933-4	Shape indeks	-	NPD		
	NS EN 1097-6	Korndensitet	2,68 Mg/m ³	2,66 Mg/m ³	-	2,70 Mg/m ³
	NS EN 1097-6 §8	Vannabsorpsjon	0,3%		WA ₂₄ 1	
	NSEN 12620 F.2.3	Motstand mot frysing og tining	0,3		F ₁	
		Renhet				
	NS EN 933-1	Finstoffinnhold	3 %		f ₁₀	
	NS EN 933-7	Skjellinnhold			NPD	
		Motstand mot knusing				
	NS EN 1097-2 §5	Los Angeles-prøving	22		LA ₃₀	
	NS EN 1097-2 §6	Slagprøving			NPD	
		Motstand mot polering/siltasje				
	NS EN 1097-8	Poleringsverdi			NPD	
	NS EN 1097-1	Motstand mot siltasje for grovt tilslag			NPD	
	NS EN 1097-9	Motstand mot piggdekk/siltasje			NPD	
		Sammensetning / innhold				
	NS EN 1744-1§ 7	Klorider			Cl _{0,02}	
	NS EN 1744-1§ 11	Totalt innhold av svovel	0,02			
	NS EN 1744-1§ 12	Syreløselige sulfater	0,01		AS _{0,1}	
NS EN 1744-1§ 15	Bestanddelene som endrer styrknings- og herdingstiden av betong			Lysere		
NB21	Alkalireaktivitet (sammelningsverdi)	4,8%				
ASTM C1260-14	Accelerert m_rtelprismeekspansjon	0,01%		<0.10%		
NS-EN 932-3	Innhold av kalkstein	0,0%				
NS EN 932-3	Petrografisk beskrivelse	Sand med knuste korn fra lysmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av granitt, gneis, feltspatiske bergarter og mørke bergarter. Løst belegg på kornoverflater, enkelte forvitrede korn og enkelte meget svake korn.				
Ytelsen for denne varen som angitt ovenfor, er i samsvar med spesifikasjonene for produktet angitt i tabellen. Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, NorStone Årdal. Undertegnet for og på vegne av produsenten av:						
Årdal 31.03.2019 (Sted og utstedelsesdato)		Svein Johan Mæland, Site Manager (navn og stilling)		 (Underskrift)		

 1111			
NorStone Årdal, 4137 Årdal, Norge			
18			
NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016			
Tilslag for betong			
Ytelseserklæring nr / 101718-115 008		Entydig identifikasjonskode 100 Knust-Natur 0/8mm (B) Gneis-Granitt	
<u>Standarder</u>		<u>Verdier</u>	<u>Kategorier</u>
NS EN 933-1	Kornstørrelse Gradering Toleransekategori		0/8 G _{NG} 90 -
NS EN 933-3	Kornform Flisighetsindeks	-	
NS EN 1097-6	Korndensitet	2,68 Mg/m ³	2,66 Mg/m ³ - 2,70 Mg/m ³
NS EN 1097-6	Vannabsorpsjon	0,3%	WA ₂₄ 1
NS-EN12620 F.2.3	Motstand mot frysing og tining	0,3	F ₁
	Renhet		
NS EN 933-1	Finstoffinnhold	3%	f ₁₀
NS EN 933-7	Skjellinnhold		-
NS EN 933-5	Prosentandel knuste korn		C _{IK}
	Sammensetning / innhold		
NS EN 1744-1§ 7	Klorider		Cl _{0,02}
NS EN 1744-1§ 11	Totalt innhold av svovel	0,02	
NS EN 1744-1§ 12	Syreløselige sulfater	0,01	AS _{0,1}
NS-EN 1744-1§ 15	Bestanddelene som endrer størknings- og herdingstiden av betong		Lysere
NB 21	Alkalireaktivitet (sammeligningsverdi)	4,8%	
ASTM C1260-14	Accelerert mortelprismeeksponasjon	0,01%	<0.10%
NS EN 932-3	Petrografisk beskrivelse	Sand med knuste korn fra løssmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av granitt, gneis, feltspatiske bergarter og mørke bergarter. Løst belegg på kornoverflater, enkelte forvitrede korn og enkelte meget svake korn.	

Vedlegg 17 - Ytelseserklæring Årdal 8/16

Ytelseserklæring nr: 101711-160 007				 <p>NorStone Årdal NorStone Årdal, 4137 Årdal, Norge www.norstone.no Tlf:0047-51754200</p>	
100 Knust-Natur 8/16mm (B)	Gneis-Granitt	Vare nr:	101711-160		
Bruksområder for byggevaren(e):		Tilslag for betong			
Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert Standard Sertifiseringsorganet: har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med basert på førstegangsrevisjon av produksjons-anlegget og produksjonskontrollen: Ytelseserklæring arkiveres i ti år.		System 2+ NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 Kontrollrådet-1111 System 2+ 1111-CPD-0007			
NS EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016	Harmonisert teknisk spesifisering	Standarder	Vesentlige egenskaper	Ytelse	
			Verdier	Kategorier	
		NS EN 933-1	Kornstørrelse Gradering Toleransekategori		8/16 G _C 85/15 G _{20/15}
		NS EN 933-3	Kornform Flisighetsindeks	3%	FI ₁₅
		NS EN 933-4	Shape indeks	-	SI _{NR}
		NS EN 1097-6	Korndensitet	2,71 Mg/m ³	2,67 Mg/m ³ - 2,71 Mg/m ³
		NS EN 1097-6 §8	Vannabsorpsjon	0,4%	WA ₂₄₁
		NSEN 12620 F.2.3	Motstand mot frysing og tining	0,4	F ₁
			Renhet		
		NS EN 933-1	Finstoffinnhold	0,4 %	f _{1,5}
		NS EN 933-7	Skjellinnhold		SC ₁₀
			Motstand mot knusing		
		NS EN 1097-2 §5	Los Angeles-prøving	22	LA ₃₀
		NS EN 1097-2 §6	Slagprøving		NPD
			Motstand mot polering/slitasje		
		NS EN 1097-8	Poleringsverdi		NPD
		NS EN 1097-1	Motstand mot slitasje for grovt tilslag		NPD
		NS EN 1097-9	Motstand mot piggdekksslitasje		NPD
			Sammensetning / innhold		
		NS EN 1744-1§ 7	Klorider		Cl _{0,02}
	NS EN 1744-1§ 11	Totalt innhold av svovel	0,02		
	NS EN 1744-1§ 12	Syreløselige sulfater	0,01	AS _{0,2}	
	NS EN 1744-1§ 15	Bestanddelene som endrer styrknings- og herdingstiden av betong		Lysere	
	NB21	Alkalireaktivitet (sammelningsverdi)	5,0%		
	ASTM C1260-14	Accelerert m,rtelprismøkkspansjon	0,01%	<0.10%	
	NS-EN 932-3	Innhold av kalkstein	0,0%		
	NS EN 932-3	Petrografisk beskrivelse	Singel med knuste korn fra lyssmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av granitt, gneis, feltspatiske bergarter og mørke bergarter. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.		
Ytelsen for denne varen som angitt ovenfor, er i samsvar med spesifikasjonene for produktet angitt i tabellen. Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, NorStone Årdal. Undertegnet for og på vegne av produsenten av:					
Årdal 31.03.2019 (Sted og utstedelsesdato)		Svein Johan Mæland, Site Manager (navn og stilling)		 (Underskrift)	



1111

NorStone Årdal, 4137 Årdal, Norge

18

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

Tilslag for betong

Ytelseserklæring nr / Entydig identifikasjonskode			
101711-160 007		100 Knust-Natur	8/16mm (B) Gneis-Granitt
Standarder		Verdier	Kategorier
NS EN 933-1	Kornstørrelse Gradering Toleransekategori		8/16 G _C 85/15 G _{20/15}
NS EN 933-3	Kornform Flisighetsindeks	3%	Fl ₁₅
NS EN 1097-6	Korndensitet	2,71 Mg/m ³	2,67 Mg/m ³ - 2,71 Mg/m ³
NS EN 1097-6	Vannabsorpsjon	0,4%	WA ₂₄ 1
NS-EN12620 F.2.3	Motstand mot frysing og tining	0,4	F ₁
	Renhet		
NS EN 933-1	Finstoffinnhold	0,4%	f _{1,5}
NS EN 933-7	Skjellinnhold		SC ₁₀
NS EN 933-5	Prosentandel knuste korn		C _{IK}
	Sammensetning / innhold		
NS EN 1744-1§ 7	Klorider		Cl _{0,02}
NS EN 1744-1§ 11	Totalt innhold av svovel	0,02	
NS EN 1744-1§ 12	Syreløselige sulfater	0,01	AS _{0,2}
NS-EN 1744-1§ 15	Bestanddelene som endrer størknings- og herdingstiden av betong		Lysere
NB 21	Alkalireaktivitet (sammelningsverdi)	5,0%	
ASTM C1260-14	Accellerert m_rtelprismeeekspansjon	0,01%	<0.10%
NS EN 932-3	Petrografisk beskrivelse	Singel med knuste korn fra løssmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av granitt, gneis, feltspatiske bergarter og mørke bergarter. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.	

PRODUKTDATABLAD

ANLEGGSEMENT FA

CEM IIA-V

SIST REVIDERT MARS 2019

Sementen tilfredsstiller kravene i NS-EN 197-1:2011 til Portland-flygeaskesement CEM IIA-V 42,5 N.

Egenskap		Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1:2011
Finhet (Blaine m ² /kg)		390	
Spesifikk vekt (kg/dm ³)		3,02	
Volumbestandighet (mm)		1	≤ 10
Begynnende størkning (min)		165	≥ 60
Trykkfasthet (MPa)	1 døgn	12	
	2 døgn	21	≥ 10
	7 døgn	37	
	28 døgn	53	≥ 42,5 ≤ 62,5
Sulfat (% SO ₃)		≤ 3,5	≤ 3,5
Klorid (% Cl ⁻)		≤ 0,085	≤ 0,10
Vannløselig krom (ppm Cr ⁶⁺)		≤ 2	≤ 2 ¹
Alkalier (% Na ₂ Oekv) ²		0,9	
Klinker (%)		81	80-94
Flygeaske (%)		15	6-20
Kalkmel (sekundær bestanddel %)		4	< 5

1. I henhold til EU forordning REACH Vedlegg XVII punkt 47 krom VI forbindelser.
2. Sementens totale innhold av alkalier. I betong beregnes alkalibidraget fra sementdelen slik: Sementmengde (kg/m³) x 0,9%

NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group

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



Dynamon SX-N

Superplastiserende tilsetningsstoff



BESKRIVELSE

Dynamon SX-N er et svært effektivt superplastiserende tilsetningsstoff basert på modifiserte akrylpolymerer. Produktet tilhører **Dynamon-systemet** basert på den Mapei-utviklede DPP-teknologien (DPP = Designed Performance Polymers), der tilsetningsstoffenes egenskaper skreddersys til ulike betongformål. **Dynamon-systemet** er utviklet på basis av Mapeis egen sammenstilling og produksjon av monomerer.

BRUKSOMRÅDER

Dynamon SX-N er et tilnærmet allround-produkt som er anvendelig i all betong for å øke støpeligheten og/eller redusere tilsatt vannmengde.

Noen spesielle bruksområder er:

- Vann tett betong med krav til høy eller svært høy fasthet og med strenge krav til bestandighet i aggressive miljøer.
- Betong med særlige krav til høy støpelighet; i konsistensklasser S4 og S5 etter NS-EN 206.
- Selvkomprimerende betong med ønske om lengre åpentid. Om nødvendig kan SKB stabiliseres med en viskositetsøker - **Viscofluid** eller **Viscostar**.
- Til produksjon av frostbestandig betong - da i kombinasjon med luftinnførende tilsetningsstoffer - **Mapeair**. Valg av type luftinnførende stoff gjøres ut

fra egenskapene til de andre delmaterialer som er tilgjengelige.

- Til golvstøp for å oppnå en smidig betong med bedret støpelighet. Store doseringer og lave temperaturer kan retardere betongen noe.

EGENSKAPER

Dynamon SX-N er en vannløsning av aktive akrylpolymerer som effektivt dispergerer (løser opp) sementklaser.

Denne effekten kan prinsipielt uttrykkes på tre måter:

1. For å redusere mengden tilsatt vann, men samtidig beholde betongens støpelighet. Lavere v/c-forhold gir høyere fasthet, tetthet og bestandighet i betongen.
2. For å forbedre støpeligheten sammenlignet med betonger med samme w/c-forhold. Fastheten forblir dermed den samme, men muliggjør forenklet utstøping.
3. For å redusere både vann og sementmengde uten å forandre betongens mekaniske styrke. Gjennom denne metoden kan en blant annet redusere kostnadene (mindre sement), redusere betongens svinnpotensial (mindre vann) og redusere faren for temperaturgradienter på grunn av lavere hydrasjonsvarme. Spesielt er denne siste effekten viktig ved betonger med større sementmengder.

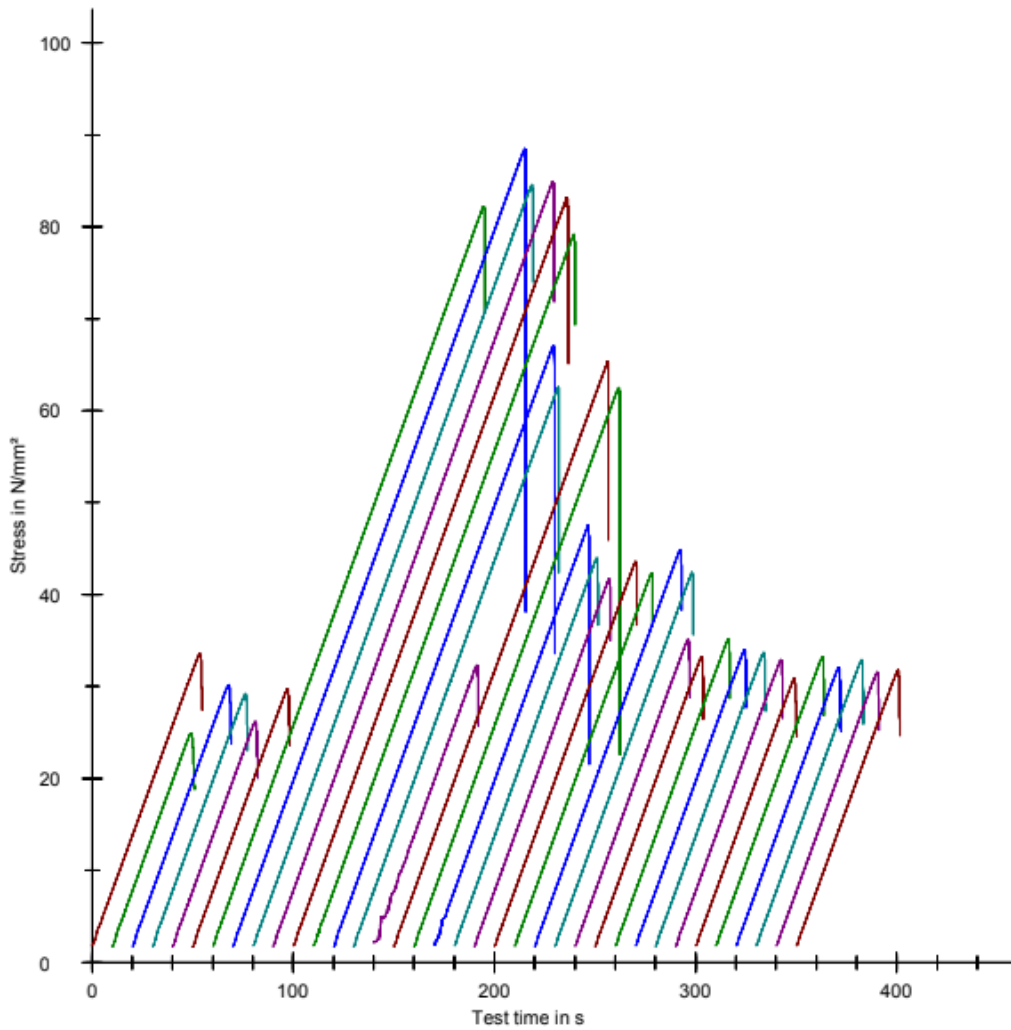
Parameter table:

Test protocol	: Geopolymer	Type strain extensometer:	
Tester	: Børge Kallesten	Machine data	:
Customer	:		
Test standard	:		
Strength grade:	:		
Other	:		

Results:

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F _m kN	Clock time	σ _m N/mm ²
1	20.02.2019	normalbetong v/c = 0,6	100,0	100,0	335,50	14:17:44	33,55
2	20.02.2019	normalbetong v/c = 0,6	100,0	100,0	249,10	14:23:22	24,91
3	20.02.2019	normalbetong v/c = 0,6	100,0	100,0	301,69	14:25:55	30,17
4	20.02.2019	normalbetong v/c = 0,6	100,0	100,0	291,74	14:28:20	29,17
5	20.02.2019	normalbetong v/c = 0,6	100,0	100,0	261,99	14:30:27	26,20
6	20.02.2019	normalbetong v/c = 0,6	100,0	100,0	297,44	14:32:35	29,74
7	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	100,0	100,0	822,44	13:49:28	82,24
8	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	100,0	100,0	885,20	13:53:07	88,52
9	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	100,0	100,0	846,02	13:56:34	84,60
10	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	100,0	100,0	849,44	14:00:24	84,94
11	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	100,0	100,0	832,22	14:03:40	83,22
12	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	100,0	100,0	791,63	14:06:53	79,16
13	15.03.2019	MND 50/50 v/c = 0,37	100,0	100,0	670,08	13:34:18	67,01
14	15.03.2019	MND 50/50 v/c = 0,37	100,0	100,0	625,66	13:36:55	62,57
15	15.03.2019	MND 50/50 v/c = 0,37	100,0	100,0	323,04	13:39:19	32,30
16	15.03.2019	MND 50/50 v/c = 0,37	100,0	100,0	652,90	13:42:08	65,29
17	15.03.2019	MND 50/50 v/c = 0,37	100,0	100,0	625,41	13:44:46	62,54
18	15.03.2019	MND 50/50 v/c = 0,37	100,0	100,0	474,92	13:47:42	47,49
19	22.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,37	100,0	100,0	439,45	10:00:25	43,95
20	22.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,37	100,0	100,0	416,65	10:02:52	41,66
21	22.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,37	100,0	100,0	435,98	10:04:54	43,60
22	22.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,37	100,0	100,0	423,15	10:07:03	42,31
23	22.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,37	100,0	100,0	448,85	10:09:14	44,88
24	22.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,37	100,0	100,0	423,91	10:11:23	42,39
25	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6	100,0	100,0	351,21	12:45:18	35,12
26	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6	100,0	100,0	331,84	12:47:11	33,18
27	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6	100,0	100,0	351,62	12:49:09	35,16
28	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6	100,0	100,0	339,99	12:50:54	34,00
29	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6	100,0	100,0	336,98	12:52:50	33,70
30	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6	100,0	100,0	329,16	12:54:37	32,92
31	29.03.2019	MND 50/50 v/c tall = 0,6 støpt 01.03	100,0	100,0	308,00	14:58:27	30,80
32	29.03.2019	MND 50/50 v/c tall = 0,6 støpt 01.03	100,0	100,0	331,75	15:00:05	33,17
33	29.03.2019	MND 50/50 v/c tall = 0,6 støpt 01.03	100,0	100,0	320,39	15:01:40	32,04
34	29.03.2019	MND 50/50 v/c tall = 0,6 støpt 01.03	100,0	100,0	328,81	15:03:40	32,88
35	29.03.2019	MND 50/50 v/c tall = 0,6 støpt 01.03	100,0	100,0	315,70	15:05:30	31,57
36	29.03.2019	MND 50/50 v/c tall = 0,6 støpt 01.03	100,0	100,0	317,62	15:07:12	31,76

Series graphics:

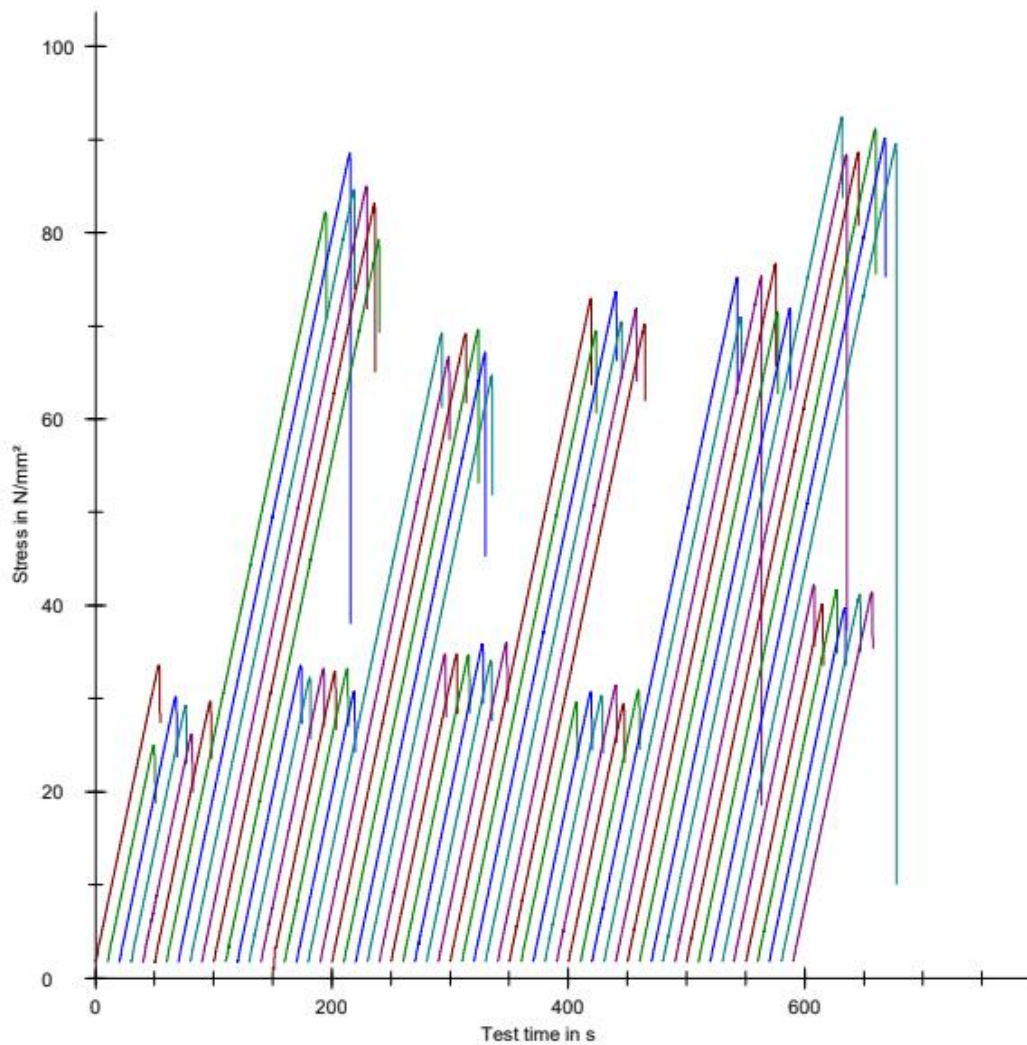


Statistics:

Series	a	b	F _m	σ _m
n = 36	mm	mm	kN	N/mm ²
n	36	36	36	36
x	100,0	100,0	463,54	46,35
s	0,0	0,0	200,33	20,03
max.	100,0	100,0	885,20	88,52
min	100,0	100,0	249,10	24,91
med	100,0	100,0	351,41	35,14
v	0,00	0,00	43,22	43,22

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F _m kN	Clock time	σ _m N/mm ²
13	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,6 støpt 14.03	100,0	100,0	335,62	13:20:57p.m.	33,56
14	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,6 støpt 14.03	100,0	100,0	322,61	13:22:50p.m.	32,26
15	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,6 støpt 14.03	100,0	100,0	331,71	13:24:26p.m.	33,17
16	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,6 støpt 14.03	100,0	100,0	329,10	13:25:48p.m.	32,91
17	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,6 støpt 14.03	100,0	100,0	332,31	13:27:21p.m.	33,23
18	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,6 støpt 14.03	100,0	100,0	306,89	13:28:57p.m.	30,69
19	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,37 støpt 15.03	100,0	100,0	692,66	13:32:01p.m.	69,27
20	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,37 støpt 15.03	100,0	100,0	667,27	13:34:35p.m.	66,73
21	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,37 støpt 15.03	100,0	100,0	691,87	13:37:10p.m.	69,19
22	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,37 støpt 15.03	100,0	100,0	695,73	13:39:50p.m.	69,57
23	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,37 støpt 15.03	100,0	100,0	671,40	13:42:20p.m.	67,14
24	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,37 støpt 15.03	100,0	100,0	646,24	13:44:47p.m.	64,62
25	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,6 støpt 21.03	100,0	100,0	347,41	11:01:15a.m.	34,74
26	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,6 støpt 21.03	100,0	100,0	347,16	11:03:25a.m.	34,72
27	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,6 støpt 21.03	100,0	100,0	346,50	11:05:11a.m.	34,65
28	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,6 støpt 21.03	100,0	100,0	357,73	11:06:56a.m.	35,77
29	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,6 støpt 21.03	100,0	100,0	341,03	11:10:10a.m.	34,10
30	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,6 støpt 21.03	100,0	100,0	360,31	11:12:08a.m.	36,03
31	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,37 støpt 22.03	100,0	100,0	729,55	11:15:18a.m.	72,95
32	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,37 støpt 22.03	100,0	100,0	694,32	11:18:07a.m.	69,43
33	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,37 støpt 22.03	100,0	100,0	736,76	11:21:00a.m.	73,68
34	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,37 støpt 22.03	100,0	100,0	704,30	11:23:43a.m.	70,43
35	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,37 støpt 22.03	100,0	100,0	717,97	11:26:36a.m.	71,80
36	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,37 støpt 22.03	100,0	100,0	701,65	11:29:20a.m.	70,17
37	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,6 støpt 28.03	100,0	100,0	295,63	11:04:58a.m.	29,56
38	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,6 støpt 28.03	100,0	100,0	306,90	11:06:44a.m.	30,69
39	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,6 støpt 28.03	100,0	100,0	303,17	11:09:50a.m.	30,32
40	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,6 støpt 28.03	100,0	100,0	314,05	11:11:41a.m.	31,41
41	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,6 støpt 28.03	100,0	100,0	294,64	11:13:11a.m.	29,46
42	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,6 støpt 28.03	100,0	100,0	308,05	11:14:51a.m.	30,81
43	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,37 støpt 29.03	100,0	100,0	751,22	11:20:06a.m.	75,12
44	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,37 støpt 29.03	100,0	100,0	709,11	11:22:59a.m.	70,91
45	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,37 støpt 29.03	100,0	100,0	753,42	11:25:53a.m.	75,34
46	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,37 støpt 29.03	100,0	100,0	766,54	11:29:44a.m.	76,65
47	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,37 støpt 29.03	100,0	100,0	715,32	11:32:58a.m.	71,53
48	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,37 støpt 29.03	100,0	100,0	718,89	11:35:53a.m.	71,89
49	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,37 støpt 05.04.2019	100,0	100,0	924,42	09:59:44a.m.	92,44
50	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,37 støpt 05.04.2019	100,0	100,0	883,74	10:03:14a.m.	88,37
51	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,37 støpt 05.04.2019	100,0	100,0	886,86	10:07:11a.m.	88,69
52	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,37 støpt 05.04.2019	100,0	100,0	911,60	10:12:27a.m.	91,16
53	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,37 støpt 05.04.2019	100,0	100,0	901,60	10:16:42a.m.	90,16
54	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,37 støpt 05.04.2019	100,0	100,0	895,54	10:21:26a.m.	89,55
55	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,6 støpt 04.04.2019	100,0	100,0	421,60	10:23:50a.m.	42,16
56	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,6 støpt 04.04.2019	100,0	100,0	401,01	10:26:29a.m.	40,10
57	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,6 støpt 04.04.2019	100,0	100,0	415,79	10:31:48a.m.	41,58
58	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,6 støpt 04.04.2019	100,0	100,0	396,70	10:33:36a.m.	39,67
59	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,6 støpt 04.04.2019	100,0	100,0	411,96	10:35:36a.m.	41,20
60	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,6 støpt 04.04.2019	100,0	100,0	414,02	10:37:47a.m.	41,40

Series graphics:



Statistics:

Series	a	b	F _m	σ _m
n = 60	mm	mm	kN	N/mm ²
n	60	60	60	60
x	100,0	100,0	554,57	55,46
s	0,0	0,0	230,92	23,09
max.	100,0	100,0	924,42	92,44
min	100,0	100,0	249,10	24,91
med	100,0	100,0	533,92	53,39
v	0,00	0,00	41,64	41,64

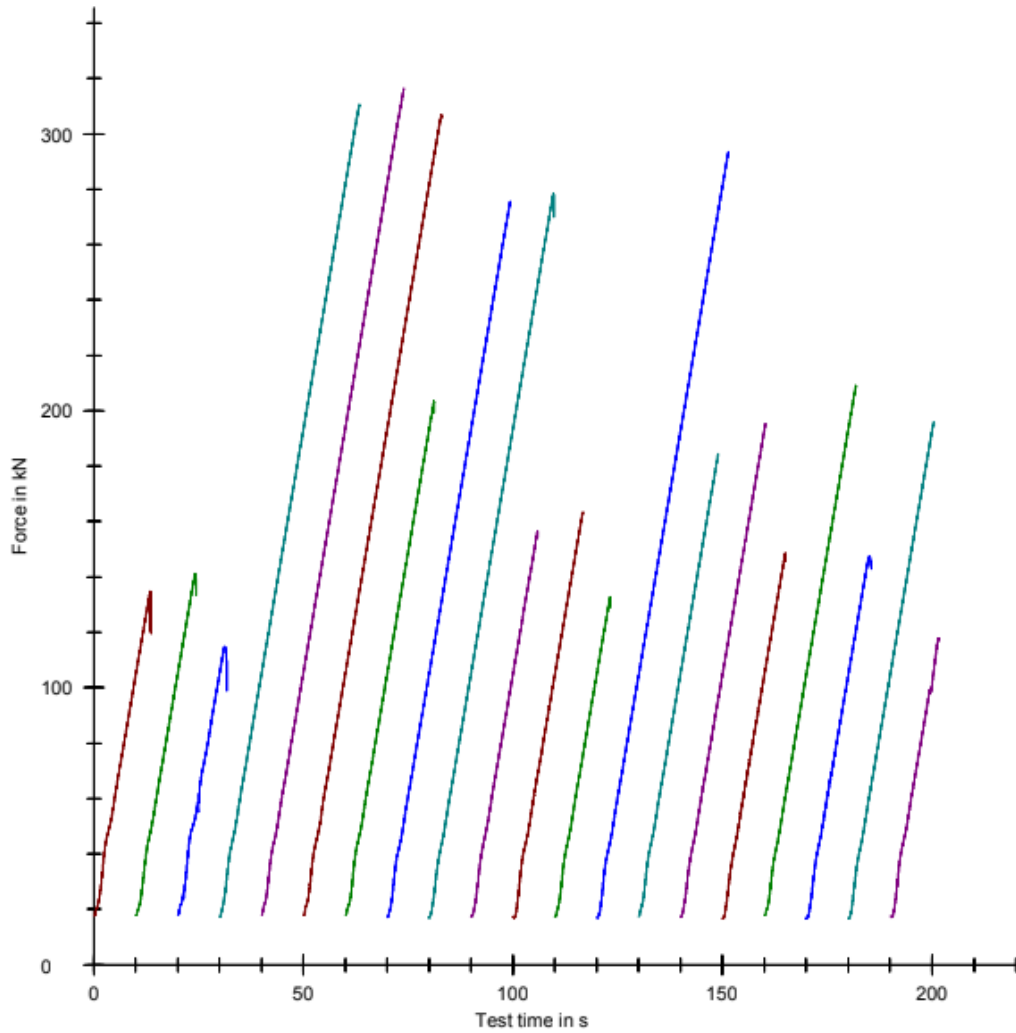
Parameter table:

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

Results:

Nr	Date	ID	Break	F _m kN
1	20.02.2019	D_OKB	0,00	134,72
2	20.02.2019	D_OKB	1,00	141,24
3	20.02.2019	D_OKB	0,00	114,84
4	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	0,00	310,58
5	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	1,00	316,43
6	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	0,00	306,74
7	15.03.2019	MND 50/50 v/c = 0,37	1,00	203,48
8	15.03.2019	MND 50/50 v/c = 0,37	0,00	275,62
9	15.03.2019	MND 50/50 v/c = 0,37	0,00	278,60
10	22.03.2019	LWA 100% stalite v/c = 0,37	0,00	156,37
11	22.03.2019	LWA 100% stalite v/c = 0,37	1,00	163,36
12	22.03.2019	LWA 100% stalite v/c = 0,37	1,00	132,87
13	29.03.2019	MND 50/50 fra 15.02 v/c = 0,37	1,00	293,47
14	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6	0,00	184,60
15	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6	1,00	195,42
16	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6	1,00	148,65
17	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6	0,00	209,06
18	29.03.2019	MND 50%50 v/c tall = 0,6	1,00	147,28
19	29.03.2019	MND 50%50 v/c tall = 0,6	1,00	195,70
20	29.03.2019	MND 50%50 v/c tall = 0,6	1,00	117,81
21		MND 50%50 v/c tall = 0,6	-	-

Series graphics:



Statistics:

Series	Break	F _m
n = 20		kN
n	20	20
x	0,55	201,34
s	0,51	69,98
max.	1,00	316,43
min	0,00	114,84
med	1,00	190,01
v	-	34,75

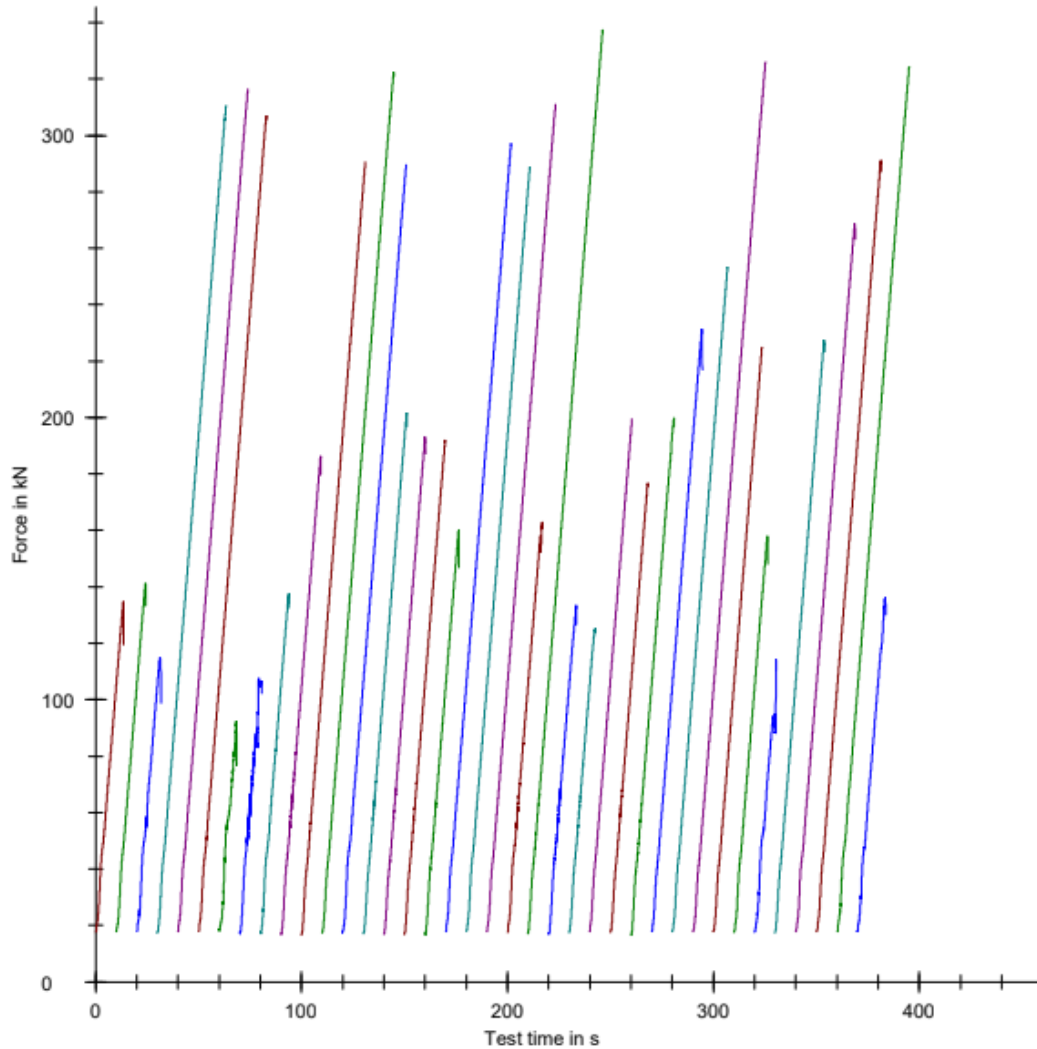
Parameter table:

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

Results:

Nr	Date	ID	Break	F _m kN
1	20.02.2019	D_OKB	0,00	134,72
2	20.02.2019	D_OKB	1,00	141,24
3	20.02.2019	D_OKB	0,00	114,84
4	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	0,00	310,58
5	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	1,00	316,43
6	06.03.2019	normalbetong v/c = 0,37	0,00	306,74
7	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,6 støpt 14.03	0,00	92,16
8	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,6 støpt 14.03	1,00	107,49
9	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,6 støpt 14.03	1,00	137,44
10	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,6 støpt 14.03	0,00	186,29
11	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,37 støpt 15.03	0,00	290,63
12	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,37 støpt 15.03	1,00	322,27
13	11.04.2019	MND 40/60 v/c = 0,37 støpt 15.03	0,00	289,53
14	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,6 støpt 21.03	1,00	201,41
15	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,6 støpt 21.03	0,00	193,19
16	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,6 støpt 21.03	1,00	191,81
17	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,6 støpt 21.03	0,00	160,08
18	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,37 støpt 22.03	1,00	297,04
19	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,37 støpt 22.03	0,00	288,54
20	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,37 støpt 22.03	1,00	311,12
21	26.04.2019	MND 60/40 v/c = 0,37 støpt 22.03	1,00	162,82
22	03.05.2019	MND 40/60 v/c = 0,37 støpt 15.03	1,00	337,33
23	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,6 støpt 28.03	1,00	133,29
24	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,6 støpt 28.03	1,00	125,01
25	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,6 støpt 28.03	1,00	199,41
26	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,6 støpt 28.03	1,00	176,69
27	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,37 støpt 29.03	1,00	199,77
29	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,37 støpt 29.03	0,00	231,17
30	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,37 støpt 29.03	0,00	253,26
31	03.05.2019	MND 50/50 v/c = 0,37 støpt 29.03	0,00	326,12
32	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,6 støpt 04.04.2019	0,00	224,77
33	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,6 støpt 04.04.2019	0,00	157,95
34	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,6 støpt 04.04.2019	1,00	114,21
35	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,6 støpt 04.04.2019	0,00	227,27
36	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,37 støpt 05.04.2019	1,00	268,72
37	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,37 støpt 05.04.2019	0,00	291,18
38	10.05.2019	Normalbetong v/c = 0,37 støpt 05.04.2019	1,00	324,31
39	10.05.2019	MND v/c = 0,6 støpt 01.03? Ekstra	1,00	136,06
40		MND v/c = 0,6 støpt 01.03? Ekstra	-	-

Series graphics:



Statistics:

Series n = 38	Break	F _m kN
n	38	38
\bar{x}	0,53	217,97
s	0,51	77,16
max.	1,00	337,33
min	0,00	92,16
med	1,00	200,59
v	-	35,40

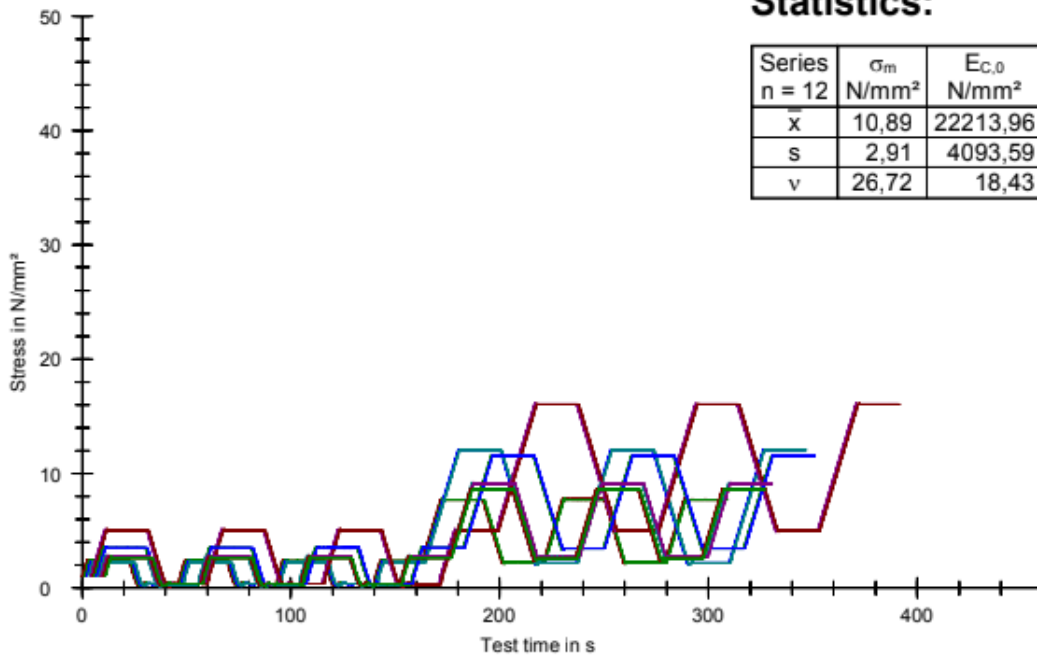
Parameter table:

Test protocol :	Type strain extensometer :
Tester :	Machine data :
Customer :	
Test standard : EN12390-13 method A	
Strength grade :	
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

Results:

Nr	$\epsilon_{b2,E1}$ mm	$\epsilon_{b2,E2}$ mm	$\epsilon_{b3,E1}$ mm	$\epsilon_{b3,E2}$ mm	$\Delta\epsilon_{b23,1}$ %	$\Delta\epsilon_{b23,2}$ %	$\Delta\epsilon_{b3,E}$ %	$\sigma_{m a,1}$ N/mm	$\sigma_{m b,0}$ N/mm	$\epsilon_{a,1}$ mm	$\epsilon_{b,0}$ mm	$E_{C,0}$ N/mm	$\sigma_{m a,3}$ N/mm	$\sigma_{m b,2}$ N/mm	$\epsilon_{a,3}$ mm	$\epsilon_{b,2}$ mm	$E_{C,S}$ N/mm
max.					10,0	10,0	20,0										
min					-10,0	-10,0	-20,0										
1	0,013	0,015	0,013	0,015	0,4	0,1	3,4	7,69	2,33	0,066	0,015	2086	7,69	2,25	0,065	0,023	2375
2	0,016	0,015	0,016	0,015	0,1	0,1	2,6	7,68	2,31	0,061	0,015	2334	7,69	2,23	0,062	0,021	2626
3	0,011	0,012	0,011	0,012	1,2	0,7	0,7	12,02	2,21	0,088	0,012	2570	12,01	2,14	0,090	0,025	3047
4	0,016	0,016	0,017	0,016	0,4	0,2	1,2	12,02	2,22	0,115	0,016	1894	12,03	2,15	0,125	0,027	2015
5	0,036	0,020	0,035	0,021	0,8	0,7	12,7	16,02	5,02	0,088	0,021	3265	16,02	4,96	0,090	0,026	3429
6	0,028	0,039	0,028	0,039	0,0	0,1	8,4	16,02	5,03	0,128	0,039	2479	16,02	4,96	0,131	0,053	2849
7	0,030	0,021	0,031	0,021	0,5	0,6	9,5	11,53	3,47	0,094	0,020	2197	11,53	3,41	0,090	0,030	2447
8	0,027	0,027	0,026	0,027	0,4	0,0	1,1	11,51	3,49	0,108	0,028	1992	11,52	3,41	0,111	0,037	2211
9	0,017	0,017	0,018	0,017	0,3	0,3	1,0	9,10	2,74	0,084	0,017	1885	9,09	2,67	0,087	0,033	2412
10	0,029	0,014	0,030	0,014	0,2	0,4	18,3	9,09	2,74	0,073	0,014	2132	9,09	2,68	0,070	0,021	2359
11	0,012	0,021	0,012	0,021	0,7	0,2	14,5	8,55	2,58	0,090	0,021	1738	8,57	2,49	0,092	0,042	2413
12	0,019	0,017	0,019	0,017	0,4	0,2	3,0	8,57	2,59	0,074	0,017	2079	8,56	2,52	0,070	0,023	2307

Series graphics:



Statistics:

Series n = 12	σ_m N/mm ²	$E_{C,0}$ N/mm ²	$E_{C,S}$ N/mm ²
x	10,89	22213,96	25413,43
s	2,91	4093,59	3919,12
v	26,72	18,43	15,42

Parameter table:

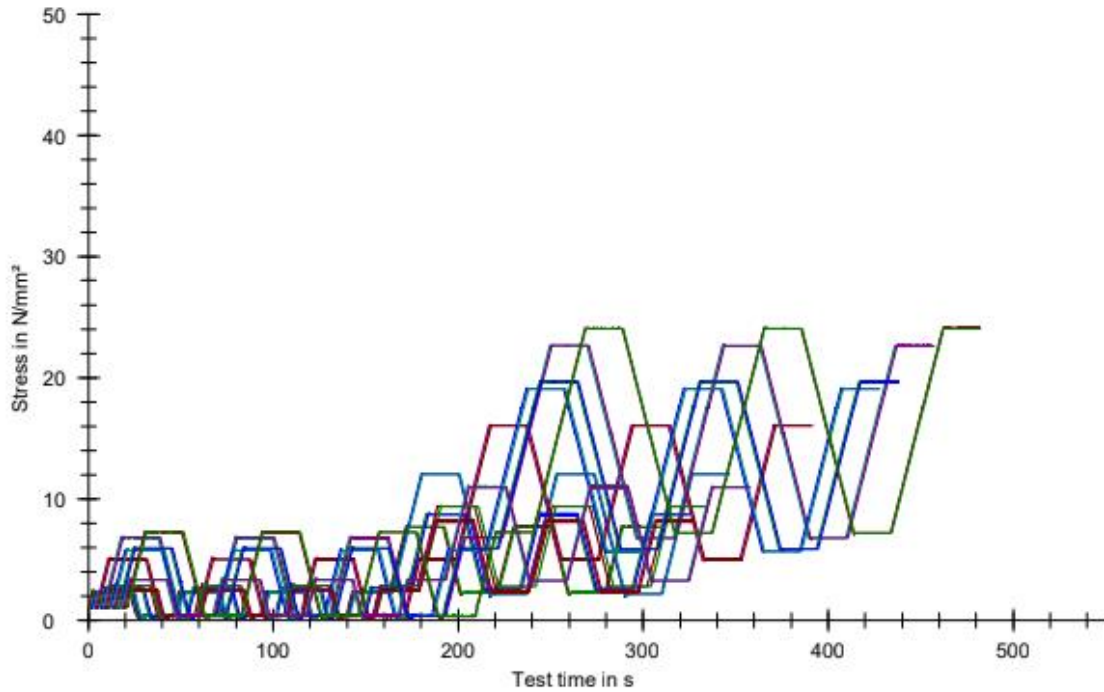
Test protocol :
 Tester :
 Customer :
 Test standard : EN12390-13 method A
 Strength grade:
 Creation date :
 Age : 0 T
 Other :

Type strain extensometer:
 Machine data : Controller TT0322
 PistonStroke
 LoadCell 3 MN
 Extensometer
 Extensometer2

Results:

Nr	$\epsilon_{b2,E1}$ mm	$\epsilon_{b2,E2}$ mm	$\epsilon_{b3,E1}$ mm	$\epsilon_{b3,E2}$ mm	$\Delta\epsilon_{b23,1}$ %	$\Delta\epsilon_{b23,2}$ %	$\Delta\epsilon_{b3,E}$ %	$\sigma_{m a,1}$ N/mn	$\sigma_{m b,0}$ N/mn	$\epsilon_{a,1}$ mm	$\epsilon_{b,0}$ mm	$E_{C,0}$ N/mn	$\sigma_{m a,3}$ N/mn	$\sigma_{m b,2}$ N/mn	$\epsilon_{a,3}$ mm	$\epsilon_{b,2}$ mm	$E_{C,S}$ N/mn
max.					10,0	10,0	20,0										
min					-10,0	-10,0	-20,0										
1	0,013	0,015	0,013	0,015	0,4	0,1	3,4	7,65	2,33	0,066	0,015	2086	7,69	2,25	0,069	0,023	2375
2	0,016	0,015	0,016	0,015	0,1	0,1	2,6	7,65	2,31	0,061	0,015	2334	7,69	2,23	0,062	0,021	2626
3	0,011	0,012	0,011	0,012	1,2	0,7	0,7	12,02	2,21	0,088	0,012	2570	12,01	2,14	0,090	0,025	3047
4	0,016	0,016	0,017	0,016	0,4	0,2	1,2	12,02	2,22	0,115	0,016	1894	12,03	2,15	0,125	0,027	2015
5	0,036	0,020	0,035	0,021	0,8	0,7	12,7	16,02	5,02	0,088	0,021	3265	16,02	4,96	0,090	0,026	3429
6	0,028	0,035	0,028	0,035	0,0	0,1	8,4	16,02	5,03	0,128	0,039	2479	16,02	4,96	0,131	0,053	2849
7	0,021	0,018	0,021	0,018	0,2	0,3	4,1	8,71	2,63	0,073	0,018	2204	8,72	2,57	0,074	0,023	2378
8	0,016	0,021	0,016	0,020	0,2	0,2	6,2	8,72	2,63	0,081	0,020	1984	8,72	2,57	0,083	0,030	2332
9	0,037	0,047	0,038	0,046	0,7	0,6	4,7	22,61	6,80	0,180	0,045	2346	22,61	6,76	0,186	0,073	2805
10	0,052	0,045	0,052	0,045	0,1	0,1	3,7	22,63	6,80	0,177	0,045	2406	22,60	6,74	0,182	0,068	2781
11	0,018	0,015	0,018	0,015	0,1	0,2	4,7	9,36	2,81	0,075	0,015	2043	9,35	2,76	0,081	0,027	2422
14	0,027	0,013	0,027	0,013	0,0	0,6	17,5	9,36	2,81	0,065	0,013	2317	9,36	2,76	0,071	0,021	2620
15	0,041	0,040	0,041	0,035	0,3	0,2	1,1	19,07	5,75	0,146	0,039	2486	19,05	5,68	0,150	0,057	2882
17	0,046	0,041	0,046	0,040	0,0	0,2	3,3	19,06	5,73	0,151	0,040	2400	19,06	5,69	0,155	0,064	2924
18	0,016	0,020	0,016	0,020	0,7	0,8	5,3	8,12	2,42	0,077	0,019	1987	8,13	2,36	0,078	0,031	2445
19	0,017	0,017	0,017	0,015	0,1	3,2	3,3	8,12	2,43	0,065	0,013	2020	8,12	2,35	0,069	0,020	2351
20	0,038	0,040	0,038	0,040	0,1	0,3	1,5	19,64	5,92	0,148	0,041	2554	19,64	5,86	0,152	0,060	2999
21	0,028	0,045	0,029	0,048	0,4	0,2	12,6	19,65	5,92	0,161	0,048	2418	19,64	5,87	0,166	0,072	2932
22	0,021	0,024	0,020	0,024	0,4	0,4	4,3	10,97	3,30	0,091	0,024	2272	10,96	3,25	0,093	0,036	2707
25	0,023	0,015	0,024	0,015	0,3	0,0	5,5	10,95	3,30	0,082	0,019	2403	10,95	3,23	0,085	0,030	2833
26	0,048	0,034	0,048	0,034	0,0	0,2	8,3	24,06	7,23	0,145	0,034	3037	24,06	7,16	0,149	0,058	3736
27	0,034	0,043	0,035	0,042	0,8	0,5	4,4	24,03	7,22	0,153	0,041	2995	24,05	7,16	0,157	0,059	3453

Series graphics:



Statistics:

Series n = 22	σ_m N/mm ²	$E_{c,0}$ N/mm ²	$E_{c,s}$ N/mm ²
\bar{x}	14,46	23867,68	27706,34
s	5,94	3525,26	4116,12
v	41,10	14,77	14,86

Vedlegg 27 – Nedbøyning og kraft test med bjelker

Parameter table:

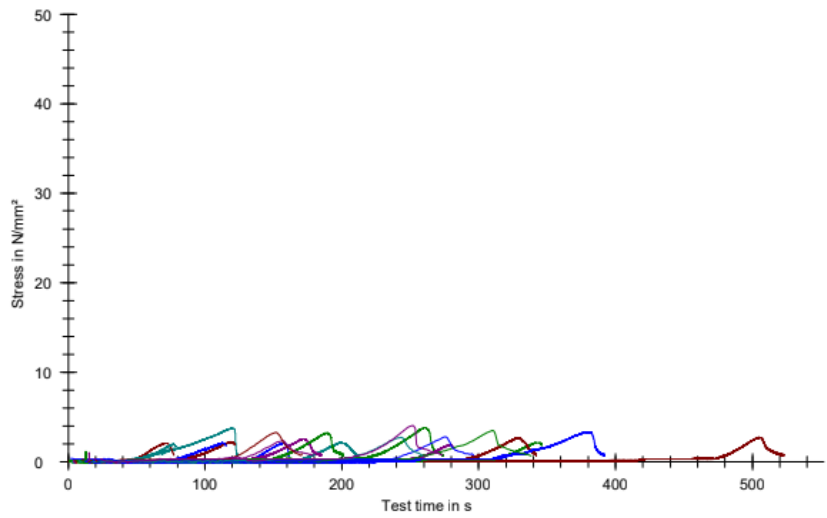
Test protocol :	Type strain extensometer :
Tester :	Machine data :
Customer :	Controller TT1412
Test standard :	PistonStroke
Strength grade :	LoadCell 250 kN
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

Results:

Nr	Date	ID	b mm	A mm ²	h mm	F _m kN	ε _m mm
1	01.03.2019	Normal betong v/c :0,6	500,0	50000,0	100,0	4,00	3,89
2	06.03.2019	Normal betong v/c :0,6	500,0	50000,0	100,0	5,62	1,85
3	06.03.2019	Normal betong v/c :0,37?	500,0	50000,0	100,0	0,51	0,00
4	06.03.2019	Normal betong v/c :0,37?	500,0	50000,0	100,0	5,54	0,66
5	22.03.2019	100% stalite v/c tall = 0,37	500,0	50000,0	100,0	-	0,68
6	22.03.2019	100% stalite v/c tall = 0,37	500,0	50000,0	100,0	3,04	0,22
7	22.03.2019	MND 50/50 v/c = 0,37	500,0	50000,0	100,0	-1,31	-0,59
8	22.03.2019	MND 50/50 v/c = 0,37	500,0	50000,0	100,0	3,05	0,96
9	22.03.2019	LWA 100% stalite v/c = 0,37	500,0	50000,0	100,0	2,88	0,29
10	22.03.2019	LWA 100%stalite v/c = 0,37	500,0	50000,0	100,0	2,79	2,01
11	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6	500,0	50000,0	100,0	3,25	0,00
12	29.03.2019	LWA 100% stalite v/c tall = 0,6 bjelke 2	500,0	50000,0	100,0	3,13	0,00
13	29.03.2019	MND 50%50 v/c tall = 0,6 bjelke 1	500,0	50000,0	100,0	3,06	0,00
14	29.03.2019	MND 50/50 v/c tall = 0,6 bjelke 2	500,0	50000,0	100,0	3,12	0,00
15	26.04.2019	MND 60/40 v/c tall = 0,6 støpt 21.03 bjelke 1	500,0	50000,0	100,0	3,77	1,01
16	26.04.2019	MND 60/40 v/c tall = 0,6 støpt 21.03 bjelke 2	500,0	50000,0	100,0	3,95	2,33
17	26.04.2019	MND 60/40 v/c tall = 0,37 støpt 22.03 bjelke 1	500,0	50000,0	100,0	4,73	1,23
18	26.04.2019	MND 60/40 v/c tall = 0,37 støpt 22.03 bjelke 1	500,0	50000,0	100,0	4,91	2,64
19	03.05.2019	MND 50/50 v/c tall = 0,6 støpt 28.03 bjelke 1	500,0	50000,0	100,0	0,09	0,09
20	03.05.2019	MND 50/50 v/c tall = 0,6 støpt 28.03 bjelke 2	500,0	50000,0	100,0	3,41	0,82
21	03.05.2019	MND 50/50 v/c tall = 0,37 støpt 29.03 bjelke 1	500,0	50000,0	100,0	4,79	0,83
22	03.05.2019	MND 60/40 v/c tall = 0,37 støpt 22.03 bjelke 2	500,0	50000,0	100,0	5,14	2,01
23	10.05.2019	Normalbetong v/c tall = 0,6 støpt 04.04.2019 bjelke 1	500,0	50000,0	100,0	4,10	1,56
24	10.05.2019	Normalbetong v/c tall = 0,6 støpt 04.04.2019 bjelke 2	500,0	50000,0	100,0	4,01	1,34
25	10.05.2019	Normalbetong v/c tall = 0,37 støpt 05.04.2019 bjelke 1	500,0	50000,0	100,0	6,01	1,63

Nr	F _m kN
1	4,00
2	5,62
3	0,51
4	5,54
5	-
6	3,04
7	-1,31
8	3,05
9	2,88
10	2,79
11	3,25
12	3,13
13	3,06
14	3,12
15	3,77
16	3,95
17	4,73
18	4,91
19	0,09

Series graphics:

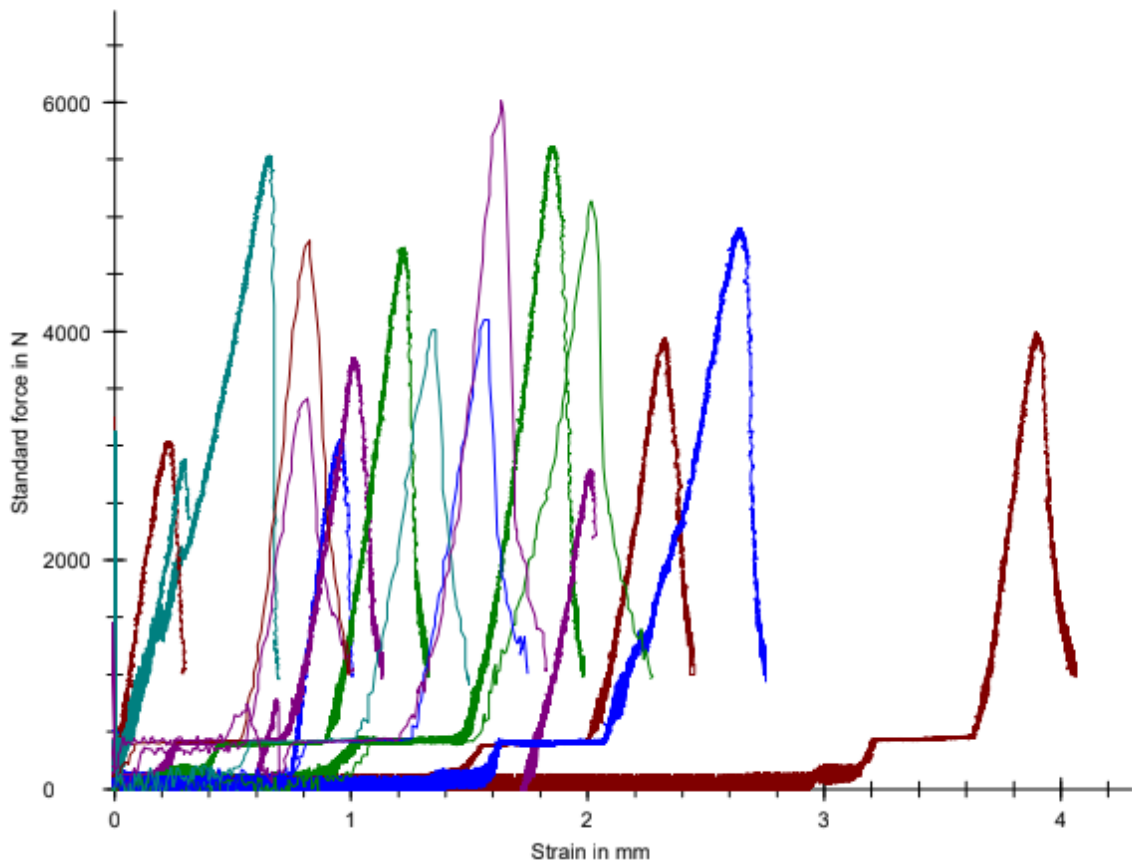


Toni / Technik Simple

Nr	F _m kN
20	3,41
21	4,79
22	5,14
23	4,10
24	4,01
25	6,01

Statistics:

Series n = 25	a mm	b mm	A mm ²	h mm	F _m kN
x	100,0	500,0	50000,0	100,0	3,48
s	0,0	0,0	0,0	0,0	1,74
v	0,00	0,00	0,00	0,00	-



Vedlegg 28 - Utregning bøyestrekfasthet

$$f_{cf\ 1} = \frac{4,8 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 2,40MPa$$

$$f_{cf\ 2} = \frac{5,5 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 2,75MPa$$

$$f_{cf\ 3} = \frac{3,9 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 1,95MPa$$

$$f_{cf\ 4} = \frac{3,0 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 1,50MPa$$

$$f_{cf\ 5} = \frac{3,1 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 1,55MPa$$

$$f_{cf\ 6} = \frac{3,3 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 1,65MPa$$

$$f_{cf\ 7} = \frac{3,6 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 1,80MPa$$

$$f_{cf\ 8} = \frac{5,1 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 2,55MPa$$

$$f_{cf\ 9} = \frac{3,9 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 1,95MPa$$

$$f_{cf\ 10} = \frac{4,8 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 2,40MPa$$

$$f_{cf\ 11} = \frac{3,3 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 1,65MPa$$

$$f_{cf\ 12} = \frac{4,8 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 2,40MPa$$

$$f_{cf\ 13} = \frac{4,1 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 2,05MPa$$

$$f_{cf\ 14} = \frac{6,0 \times 10^3 \times 500}{100 \times 100^2} = 3,0MPa$$

Vedlegg 29 - Beskrivelse av resultater i fuktinnhold ved Speedy test

Resultatene har vært varierende: fra 1,2 – 4,0% fukt, men de fleste reseptene har ligget på rundt 2,0%. Det er to tester som skiller seg ut, og er oppe i 3,9 og 4,0% på denne testen. Dette gjelder reseptene for MND betong med en 60/40 fordeling av Årdal/ Stalite. Grunnet til at det var høy fuktighet her var at tilslaget som ble brukt ble tatt fra bunn av sekken der fuktigheten er høy. Prosent fuktighet fra Speedy testen ble lagt inn i blandeskjemaene i proporsjoneringsarkene og det ble lagt til 0,5% fukt for overflatefukt. Deretter ble det lagt til eller trukket fra sand på oppmålt mengde for å korrigere for fukten i tilslaget.

Vedlegg 30 - Antall gram SP stoff tilsatt

Resept nr.	Type betong	SP stoff [g]	SP stoff/sement [%]
Ref. 1	Normalbetong v/c = 0,6	80	0,4
Ref. 2	Normalbetong v/c = 0,37	734	2,4
3	MND 50/50 v/c = 0,37	490	1,6
4	LWA v/c = 0,37	185	0,6
5	LWA v/c = 0,6	115	0,5
6	MND 50/50 v/c = 0,6	160	0,7
7	MND 40/60 v/c = 0,6	91	0,4
8	MND 40/60 v/c = 0,37	470	1,4
9	MND 60/40 v/c = 0,6	126	0,5
10	MND 60/40 v/c = 0,37	402	1,2
11	MND 50/50 v/c = 0,6	140	0,6
12	MND 50/50 v/c = 0,37	497	1,6
13 Ref.	Normalbetong v/c = 0,6	132	0,5
14 Ref.	Normalbetong v/c = 0,37	445	1,4

Tabellen viser at blandingene med v/c tall = 0,6 har en SP/b-fordeling fra 0,4 – 0,7%, og blandinger med v/c tall = 0,37 har som oftest en SP/b-fordeling fra 1,2 – 1,6% med unntak av blanding nr. 2 som er oppe i 2,4%, og blanding nr. 4 som er nede i 0,6%.

Vedlegg 31 - Utregninger vekt bjelke og bruddenergi

Blanding	Nedbøyning Bjelke 1 [mm]	Nedbøyning Bjelke 2 [mm]	Vekt bjelker [kg]	Areal kraft og nedbøyningsgraf bjelke 1 [Nmm]	Areal kraft og nedbøyningsgraf bjelke 2 [Nmm]
1. Ref. v/c = 0,60	3,89	1,85	11,75	1140,7	1672,2
2. Ref. v/c = 0,37	-	0,66	12,14	-	1773,0
3. MND 50/50 v/c = 0,37	-	0,96	10,64	-	475,7
4: LWA v/c = 0,37	0,29	2,01	9,92	432,3	396,7
5. LWA v/c = 0,60	-	-	9,81	-	-
6. MND 50/50 v/c = 0,60	-	-	10,52	-	-
7. MND 40/60 v/c = 0,6	-	-	10,28	-	-
8. MND 40/60 v/c = 0,37	-	-	10,45	-	-
9. MND 60/40 v/c = 0,60	1,01	2,33	10,83	1060,8	1161,5
10. MND 60/40 v/c = 0,37	1,23	2,64	11,16	1251,8	1871,6
11. MND 50/50 v/c = 0,60	0,09	0,82	10,61	-	1032,3
12. MND 50/50 v/c = 0,37	0,82	0,83	11,05	1351,9	-
13. Ref. v/c = 0,60	1,56	1,34	11,81	1288,2	1243,8
14. Ref. v/c = 0,37	1,63	-	12,18	2099,1	-

Vekt er regnet ut ved hjelp av densiteten til de ulike betongblandingene og ganget dette med volumet av formen til bjelken. Utregning av de ulike vektene er vist under:

$$Vekt\ 1 = \frac{2350kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 11,75kg$$

$$Vekt\ 2 = \frac{2428kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 12,14kg$$

$$Vekt\ 3 = \frac{2127kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 10,64kg$$

$$Vekt\ 4 = \frac{1984kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 9,92kg$$

$$Vekt\ 5 = \frac{1961kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 9,81kg$$

$$Vekt\ 6 = \frac{2104kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 10,52kg$$

$$Vekt\ 7 = \frac{2055kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 10,28kg$$

$$Vekt\ 8 = \frac{2089kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 10,45kg$$

$$Vekt 9 = \frac{2165kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 10,83kg$$

$$Vekt 10 = \frac{2231kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 11,16kg$$

$$Vekt 11 = \frac{2122kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 10,61kg$$

$$Vekt 12 = \frac{2210kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 11,05kg$$

$$Vekt 13 = \frac{2362kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 11,81kg$$

$$Vekt 14 = \frac{2436kg}{m^3} \times (0,5 \times 0,1 \times 0,1) = 12,18kg$$

Utgning av bruddenergi:

$$Gf \text{ blanding 1 bjelke 1} = \frac{1140,7Nmm + 2 \times 3,89mm \times 11,75 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)mm} = 0,150N/mm$$

$$Gf \text{ blanding 1 bjelke 2} = \frac{1672,2Nmm + 2 \times 1,85mm \times 11,75 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)mm} = 0,184N/mm$$

$$Gf \text{ blanding 2 bjelke 2} = \frac{1773,0Nmm + 2 \times 0,66mm \times 12,14 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)mm} = 0,183N/mm$$

$$Gf \text{ blanding 3 bjelke 2} = \frac{475,7Nmm + 2 \times 0,96mm \times 10,64 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)mm} = 0,056N/mm$$

$$Gf \text{ blanding 4 bjelke 1} = \frac{432,3Nmm + 2 \times 0,29mm \times 9,92 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)mm} = 0,045N/mm$$

$$Gf \text{ blanding 4 bjelke 2} = \frac{396,7Nmm + 2 \times 2,01mm \times 9,92 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)mm} = 0,055N/mm$$

$$Gf \text{ blanding 9 bjelke 1} = \frac{1060,8Nmm + 2 \times 1,01mm \times 10,83 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)mm} = 0,115N/mm$$

$$Gf \text{ blanding 9 bjelke 2} = \frac{1161,5Nmm + 2 \times 2,33mm \times 10,83 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)mm} = 0,136N/mm$$

$$Gf \text{ blanding 10 bjelke 1} = \frac{1251,8Nmm + 2 \times 1,23mm \times 11,16 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)mm} = 0,136N/mm$$

$$Gf \text{ blanding 10 bjelke 2} = \frac{1871,6\text{Nmm} + 2 \times 2,64\text{mm} \times 11,16 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)\text{mm}} = 0,210\text{N/mm}$$

$$Gf \text{ blanding 11 bjelke 2} = \frac{1032,3\text{Nmm} + 2 \times 0,82\text{mm} \times 10,61 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)\text{mm}} = 0,110\text{N/mm}$$

$$Gf \text{ blanding 12 bjelke 1} = \frac{1351,9\text{Nmm} + 2 \times 0,82\text{mm} \times 11,05 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)\text{mm}} = 0,142\text{N/mm}$$

$$Gf \text{ blanding 13 bjelke 1} = \frac{1288,2\text{Nmm} + 2 \times 1,56\text{mm} \times 11,81 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)\text{mm}} = 0,143\text{N/mm}$$

$$Gf \text{ blanding 13 bjelke 2} = \frac{1243,8\text{Nmm} + 2 \times 1,34\text{mm} \times 11,81 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)\text{mm}} = 0,137\text{N/mm}$$

$$Gf \text{ blanding 14 bjelke 1} = \frac{2099,1\text{Nmm} + 2 \times 1,63\text{mm} \times 12,18 \times 9,81 \times 0,4}{(100 \times 100)\text{mm}} = 0,225\text{N/mm}$$