



UiT Norges arktiske universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

**Evaluering av optimal erstatning av naturlig tilslag med resirkulert  
betongtilslag for å oppnå tilstrekkelig bestandighet**

Evaluation of optimal replacement of natural aggregates by recycled aggregate to achieve  
sufficient durability

Jørgen Johnsen Sjøfjell

Masteroppgave i Integrert bygningsteknologi BYG-3900, mai 2021



## MASTEROPPGAVE

for

**Jørgen Johnsen Sjøfjell**

(Studentnummer 140192)

Vår 2021

### **Evaluering av optimal erstatning av naturlige aggregater med resirkulerte betongaggregater for å oppnå tilstrekkelig holdbarhet**

(Evaluation of optimal replacement of natural aggregates by recycled concrete aggregates to achieve sufficient durability)

#### **Bakgrunn**

The building industry has one of the most significant contributions to global warming due to the production of building materials, transportation, building activities and demolition of structures, when they reach the end of their life. Implementation of circularity of material and circular economy can significantly reduce pollution and reduce the need for natural resources. The use of recycled concrete aggregates (RCA) is one of the possibilities of how to reduce the depletion of raw materials for concrete production. Concrete is the most used building material worldwide, and aggregates constitute 70% of its volume. RCA can replace a certain amount of natural aggregates (NA), and concrete will still perform as required. Aim of this master thesis will be the evaluation of RCA itself, concrete with RCA and its durability performance, particularly freeze-thaw resistance and shrinkage. Performance of concrete with RCA will be compared to reference concrete with NA, and maximum possible replacement of RCA established.

Oppgaven går ut på vurdering av bruk av massivtre i passivhus/lavenergihus generelt og UiT nybygg for lærerutdannings spesielt.

#### **Begrensning av oppgaven**

Ingen spesielle.

#### **Arbeidet skal omfatte (men ikke nødvendigvis avgrenses til):**

1. Introductory work / literature study with boundaries and definitions.
2. The theoretical part consists of point 3. and 4.
3. Description of durability methods
4. Replacement ratio of natural aggregates by recycled aggregates (RA) according to EN206 and all requirements on concrete and aggregates

5. The practical part consists of points 6., 7. and 8
6. Evaluation of input materials, eventually their testing for the acquirement of their properties
7. Testing of fresh concrete focused on changes due to replacement of natural aggregates by recycled concrete aggregates (RCA, and testing of hardened concrete focused on durability.
8. Processing of measured data and their evaluation.
9. Conclusion with a suggestion of further work and description of limitations connected with the use of RCA.
10. A scientific article/paper must be prepared based on the answer, a maximum of 10 pages. (The article can be seen as a short version of the entire answer and should be in English).
11. What is the academic and social relevance of the thesis? Does the thesis have relevance in relation to the UN's sustainability goals.

### Samarbeidspartner

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Circulus-prosjektet and DeConcrete prosjektet.

### Generelt

Senest 14 dager etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven. Det innledende arbeid skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Definisjon i forhold til begrensinger og omfang av oppgaven.
- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavens innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk, kildehenvisninger etc. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.



Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

Utleveringsdato:	11.01.2021
Innleveringsdato:	15.05.2021 kl. 12:00
Kontaktperson bedrift:	Iveta Nováková Telefon: +47 93 95 94 92 E-post: iveta.novakova@uit.no
Veileder UiT - IVT:	Førstelektor Iveta Nováková Telefon: +47 93 95 94 92 E-post: iveta.novakova@uit.no

UiT – Norges Arktiske Universitet  
Institutt for bygg, energi og materialteknologi



---

Iveta Nováková  
Faglig ansvarlig/veileder



## Forord

Denne oppgaven er skrevet som en avsluttende oppgave på masterstudiet «integrert bygningsteknologi». Oppgaven er skrevet ved institutt for bygg, energi og materialteknologi ved UiT avd. Narvik. Omfanget er på 30 studiepoeng og er skrevet vårsemesteret 2021. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Nordland Betong og betong- og tilslagslaboratoriet ved UiT Narvik. Oppgaven er en del av CIRCULUS prosjektet.

Det praktiske arbeidet ble gjennomført ved betong og tilslagslaboratoriet ved UiT Narvik. Gjennom arbeidet har jeg fått et godt teoretisk grunnlag for betong og viktigheten av gjenbruk av materiale.

Jeg ønsker å rette en stor takk til hovedveileder Ph.D Iveta Novakova for gode innspill og tilbakemeldinger gjennom hele forløpet. Videre ønsker jeg å gi en stor takk til alle på betonglaboratoriet for all hjelp og gjestfrihet. Til slutt gir jeg en takk til Nordland Betong for muligheten til gjennomføring av denne oppgaven.

Narvik, 15.mai 2021.



Jørgen Johnsen Sjøfjell





## Sammendrag

Bygg- og anleggsindustrien er en stor bidragsyter til global oppvarming grunnet produksjon av bygningsmateriale, transport samt bygnings- og rivningsaktivitet. Materialets kretsløp og sirkulær økonomi kan drastisk redusere forurensning og etterspørselen av naturlige ressurser. Bruk av resirkulert tilslag (RCA) er en av mulighetene til hvordan en kan redusere forbruket av naturlige ressurser for betongproduksjon. Betong er det mest brukte bygningsmaterialet i verden, og tilslag tar opp 70% av volumet i betongen. RCA kan erstatte en viss andel av naturlig tilslaget (NA), og betongen vil fortsatt opprettholde kvaliteten.

Hensikten med denne masteroppgaven er å evaluere egenskapene til det resirkulerte tilslaget, egenskapene til betong med resirkulert materiale og spesielt dens bestandighet. Betongen med resirkulert materiale vil bli sammenlignet med en referansebetong uten resirkulert innhold. Maks erstatningsgrad av resirkulert tilslag vil bli evaluert.

I fersk tilstand hadde resirkulert tilslag en luftinnførende og vannreducerende effekt på betongen. I herdet form fikk betong med høy andel resirkulert materiale lavere bestandighet. Selv med redusert bestandighet opprettholder betong med høy andel resirkulert tilslag samtlige undersøkte krav i Norsk Standard. Fra laboratorieundersøkelsene ble det bevist at resirkulert tilslags geometriske og fysiske krav er tilfredsstillende.

## **Abstract**

The building industry has one of the most significant contributions to global warming due to the production of building materials, transportation, building activities and demolition of structures, when they reach the end of their life. Implementation of circularity of material and circular economy can significantly reduce pollution and reduce the need for natural resources. The use of recycled concrete aggregates (RCA) is one of the possibilities of how to reduce the depletion of raw materials for concrete production. Concrete is the most used building material worldwide, and aggregates constitute 70% of its volume. RCA can replace a certain amount of natural aggregates (NA), and concrete will still perform as required.

Aim of this master thesis will be the evaluation of RCA itself, concrete with RCA and its durability performance, particularly capillary absorption, and shrinkage. Performance of concrete with RCA will be compared to reference concrete with NA, and maximum possible replacement of RCA established.

In its fresh state, recycled aggregates had an air-introducing and water-reducing effect on the concrete. In hardened form, concrete with a high proportion of recycled material had lower durability. Even with reduced durability, concrete with a high proportion of recycled aggregate maintains all the researched requirements of the Norwegian Standard. From the laboratory research, it was proven that the recycled aggregate geometric and physical requirements are satisfactory.

# Innholdsfortegnelse

1	Innledning .....	1
1.1	Bakgrunn .....	1
1.2	Mål.....	2
1.3	Avgrensning .....	2
1.4	Metodikk .....	3
1.5	Avvik fra oppgaveteksten .....	3
2	Teori .....	5
2.1	Sement .....	5
2.2	Tilslag .....	8
2.3	Resirkulert tilslag .....	9
2.4	Betongtilslags egenskaper .....	11
2.5	Tilsetningsstoffer .....	13
2.6	Betongens faser .....	13
2.7	Fersk betong .....	14
2.8	Herdet betong.....	15
3	Laboratorieundersøkelser.....	21
3.1	Geometriske egenskaper .....	21
3.2	Fysiske egenskaper.....	24
3.3	Betongreseptene .....	27
3.4	Utstøping av fersk betong.....	29
3.5	Fersk betong .....	31
3.6	Herdet betong.....	33
4	Resultater.....	39
4.1	Tilslag egenskaper .....	39

4.2	Geometriske egenskaper .....	40
4.3	Mekaniske egenskaper.....	44
4.4	Fersk betong .....	45
4.5	Undersøkelser – herdet betong .....	46
4.6	Sammendrag resultater .....	53
5	Diskusjon.....	55
5.1	Tilslagets geometriske og fysiske egenskaper .....	55
5.2	Fersk betong .....	56
5.3	Herdet betong.....	57
5.4	Samlet vurdering .....	59
6	Konklusjon.....	61
7	Videre arbeid .....	63
	Referanseliste .....	64
	Vedlegg A-P .....	70

## Tabelliste

Tabell 2.1-1: De fire hovedkomponentene i portlandsement (Maage et al., 2016).....	5
Tabell 2.3-1: Minimums mineralske innhold i type AN og BN (Standard Norge, 2020a).....	10
Tabell 2.8-1: Trykkfasthetsklassene for normalbetong (Standard Norge, 2020a).....	16
Tabell 3.1-1: Spaltebredde for stavsikter og tilhørende fraksjon (Vegdirektoratet, 2016).....	22
Tabell 3.1-2: Minimumsmengder for gjennomføring av sikteanalyse (Standard Norge, 2012a). .....	23
Tabell 3.1-3: Tilslagets kategorier etter innhold av finstoff (Standard Norge, 2008b).....	23
Tabell 3.2-1: Metallkonus og stamper til å finne overflatetørr tilstand (Vegdirektoratet, 2016). .....	26
Tabell 3.3-1: Masseforhold fint og resirkulert tilslag i de forskjellige blandinger.....	28
Tabell 3.4-1: Blandingers nummer og hvilken tester de er benyttet til.....	29
Tabell 3.4-2: Form og antall prøvelegemer.....	30
Tabell 3.5-1: Konsistensklasse uttrykt fra synkmål(Standard Norge, 2020a).....	31



Tabell 4.2-1: Resirkulerts Fl-verdi. ....	40
Tabell 4.2-2: Resirkulert tilslags deklarererte kategori iht. NS-EN 12620.....	42
Tabell 4.2-3: Finstoffinnhold tilslag og tilhørende kategori. ....	42
Tabell 4.3-1: Korndensitet og vannabsorpsjon til tilslagene.....	44
Tabell 4.3-2: LA-verdi resirkulert tilslag. ....	44
Tabell 4.4-1: Synkmål, densitet og luftinnhold i fersk tilstand.....	45
Tabell 4.5-1: Trykkfasthet for blandingene.....	47
Tabell 4.5-2: Densitet etter 3, 28 og 90 dager.....	47
Tabell 4.5-3: Betongens Ec etter 3, 28 og 90 dager. ....	48
Tabell 4.5-4: Uttørkingssvinn og vekttap gjennom herdeforløpet. ....	50
Tabell 4.5-5: Sugporøsitet, kapillaritetstall og motstandstall til betongene. ....	52
Tabell 4.6-1: Sammendrag av resultater for tilslagene. ....	53
Tabell 4.6-2: Sammendrag av resultatene for betongblandingene.....	53

## Figurliste

Figur 2.1-1: Hydatiseringen av sement (Arntzen, 2018).....	6
Figur 2.1-2: Fordelingen mellom fast stoff og poretyper ved forskjellige v/c-tall (Norcem AS, 2015).....	8
Figur 2.6-1: Betongens ulike faser (Bjøntegaard, 2009).....	14
Figur 2.8-1: Sammenheng mellom fasthets- og bestandighetsklassene (SINTEF Byggforsk, 2016).....	16
Figur 2.8-2: Hvordan kapillært undertrykk oppstår i porene (Bjøntegaard, 2009).....	18
Figur 3.5-1: Synkkjegles dimensjon og hvordan en måler synkmål (Vegdirektoratet, 2016). 31	
Figur 3.6-1: Eksempler på tilfredstillende brudd, ved testing av terninger (Standard Norge, 2019e).....	33
Figur 3.6-2: Svinnet gjennom herdeforløpet vil føre til kontraksjon av betongen og lengdeforandringen måles. ....	35
Figur 3.6-3: Beregning av kapillærtall og motstandstall (vegdirektoratet, 1996).....	36
Figur 4.1-1: Resirkulerte tilslags karakteristikk av større fraksjon, etter vask (> 5 mm). ...	39
Figur 4.1-2: Funn av mindre mengder ikke mineralisk materiale i tilslag. ....	40
Figur 4.2-1: Resirkulert tilslags korngradering 0/22 mm.....	41
Figur 4.2-2: Kornfordelingskurvene for reseptene.....	43
Figur 4.5-1: Grafisk fremstilling av trykkfasthet. ....	47
Figur 4.5-2: Grafisk fremstilling av Ec. ....	48

Figur 4.5-3: Sammenheng mellom $E_c$ og trykkfasthet 3-28 dager. ....	49
Figur 4.5-4: Sammenheng mellom $E_c$ og trykkfasthet 28-90 dager. ....	49
Figur 4.5-5: Vektforandringen gjennom herdeforløpet.....	51
Figur 4.5-6: Lengdeforandring for betongene gjennom herdeforløpet .....	51
Figur 4.5-7: Grafisk fremstilling av kapillær absorpsjon.....	52

# 1 Innledning

Betongprodusenten Nordland Betong skal oppdatere produktkatalogen sin med to nye resepter med resirkulert betong som en del av tilslaget. Dette som et ledd i et mulig bidrag til økt materialgjenvinning. En resept etter krav iht. NS-EN 206 og en resept med økt resirkulert innhold. Begge reseptene skal dokumenteres og sammenlignes med en referansebetong uten resirkulert materiale. For å danne et grunnlag for betongens mekaniske egenskaper, skal resirkulert tilslags vesentlige geometriske og fysiske egenskaper dokumenteres.

Med bakgrunn i betongs materialgjenvinningskrav, skal det resirkulerte tilslagets egenskaper bestemmes og deklarerer etter krav i Norsk Standard. Tilslagets kornform, flisighet, motstand mot knusing (LA), vannabsorpsjon og densitet skal bestemmes. I plastisk form skal betongens støpelighet, luftinnhold og densitet opprettholdes etter ønsket verdi fra Nordland betong. Av mekaniske egenskaper skal betongens trykkfasthet, elastisitetsmodul, uttørkingssvinn og kapillærabsorpsjon undersøkes. Alle blandingene følger en B30/M60 resept fra Nordland betong.

## 1.1 Bakgrunn

Byggenæringen er bygget opp av en lineær økonomi, der gjenbruk av bygningsmaterialer ikke er standard praksis. For å forbedre den bærekraftige utviklingen og minske mengden bygningsmaterialer som blir deponert, er det nødvendig å stoppe den lineære økonomien (Miljødirektoratet, 2021). Stein, grus og pukk er ikke-fornybare ressurser som det er underskudd av i flere deler av verden (SINTEF Byggforsk, 2004).

Prinsippet om sirkulær økonomi omhandler å beholde resurser i kretsløpet lengst mulig, uten at unødvendige resurser går tapt (Miljødirektoratet, 2021). FNs bærekraftige utviklingsmål nr. 12 omhandler å betydelig redusere avfallsmengden gjennom ombruk og gjenvinning innen 2030 (FN Sambandet, 2021). Med utgangspunkt i FNs bærekraftige utviklingsmål har Europakommisjonen vedtatt at 70 % ikke farlig konstruksjon- og rivningsavfall skal resirkuleres. Bygg og anleggsbransjen står for 35 % av alt avfall i Europa (EUR-Lex, 2020) Utav dette er betong og teglavfall en av de største avfallspostene. I 2019 ble det levert 1474000 tonn betong og teglavfall til avfallsbehandling i Norge. Totalt ble 5% levert til materialgjenvinning, 30% ble brukt til fyllmasse og hele 61% ble levert til deponering (Statistisk sentralbyrå, 2021). En måte å få ned mengden betongavfall på er å bruke det som resirkulert tilslag. 70% av volumet i betong

er tilslag. Nedknust betong har lignende egenskaper som natursteinen brukt i tilslag. For å kunne redusere avfallsmengden og øke gjenvinningsgraden har bygg og anleggsbransjen økt søkelyset på gjenbruk av betong, som delvis erstatning av naturlig tilslag.

## 1.2 Mål

Resirkulert tilslag kan ha gode mekaniske egenskaper og kan utnyttes gjennom gjenvinning av betongavfall. Tradisjonelt har tilslag kun kommet fra naturlige ressurser. Hensikten med oppgaven er å kartlegge egenskapene til betongavfallet og nyttiggjøre dens egenskaper som delvis erstatning for naturlig tilslag. Oppgavens hovedmål kan beskrives av følgende problemstilling:

*«Vil resirkulerte tilslaget opprettholde krav for normalt tilslag og hvordan vil tilslaget påvirke egenskapene til den plastiske og herdede betongen?»*

Dersom tilslaget tilfredsstillter krav kan det bidra til å øke gjenvinningsgraden for Nordland Betong. På sikt kan det være en økonomisk gevinst for bedriften, der avfallet gjenbrukes i nye betongarbeider.

## 1.3 Avgrensning

Oppgaven avgrenses til produksjon av B30/M60 betong med tilhørende krav. Samtlige krav for tilslaget er ikke gjennomgått. Oppgaven avgrenser seg til tilslagets mest vesentlige geometriske og fysiske egenskaper. Egenskapene innebærer flisighet, motstand mot knusing, kornfordeling, korndensitet og vannabsorpsjon. For betongens mekaniske egenskaper, begrenser oppgaven seg til trykkfasthet, elastisitetsmodul, uttørkingssvinn og kapillære absorpsjon. Tilslagets effekt i plastisk og herdet betong vil sammenlignes med en referanseblanding uten resirkulert materiale. Fra resept skal betongen inneha et masseforhold på 0,45, fersk tilstand inneha 2% luft, 200 mm synkmål og tilhørende densitet. De forskjellige blandningene er lagt vekt på å være mest mulig lik for utstøping og testing av herdet betong.

Grunnet sen leveranse av tilslag, var det ikke mulig å gjennomføre 90 dagers testing av samtlige betongblandinger. Alle resultater frem til innleveringsfrist blir omtalt i oppgaven.



## 1.4 Metodikk

For å besvare oppgaven er det benyttet laboratorieundersøkelser som fremgangsmåte i en komparativ case-studie (Wæhale, Dahlum & Grønmo, 2020). Videre er observasjoner, samtaler med fagpersonell og sammenligning med tidligere funn i litteraturen anvendt.

I gjennomgangen av teori på feltet ble viktigheten av betongens delmaterialer og sammensetning undersøkt. Gjennomgang av teori bygger videre på viktigheten av rett fremgangsmåte for å oppnå tilfredsstillende resultater. Uten lik gjennomføring, vil sammenligningsgrunnlag for betongblandingene bli svakere. Laboratorieundersøkelsene inkluderer to blandinger med resirkulert materiale, samt en referanseblanding. Alle blandingene har tatt utgangspunkt i samme resept, der sementinnhold er holdt konstant. Undersøkelsen omhandler studie av hver enkel blanding og senere sammenligning av betongenes egenskaper.

## 1.5 Avvik fra oppgaveteksten

Oppgaveteksten definerer oppgaven som at maksimalt resirkulert innhold vil bli opprettet. Dette har blitt forandret på etter samtaler med veileder. Oppgaveteksten vil i samsvar med ønske fra Nordland Betong og veileder, omhandle to blandinger med resirkulert innhold. En blanding etter krav i NS-EN 206 og en blanding med økt resirkulert innhold. Blanding etter NS-EN 206 inneholder 5% fint resirkulert tilslag og 20% grovt resirkulert tilslag. Blanding med økt innhold inneholder 20% fint resirkulert tilslag og 60% grovt resirkulert tilslag. Der egenskapene til disse blandningene vil bli drøftet videre i oppgaven.

Setningen: «*Oppgaven går ut på vurdering av bruk av massivtre i passivhus/laverngihus generelt og UiT nybygg for lærerutdannings spesielt*» er ikke tilhørende denne oppgaven og er ikke tatt hensyn til i besvarelsen.



## 2 Teori

Betong er et av de mest brukte bygningsmaterialene i verden. Råmaterialet er lett tilgjengelig over store deler av verden. Riktig sammensatt betong og utstøpt betong gir en konstruksjon av høy styrke, brannmotstand og bestandighet. Egenskapene til betong og hvor enkel den er å støpe, har gitt den en dominerende stilling innenfor byggevirksomhet. Betong består i hovedsak av vann (15-20%), sand/stein (60-70%), sement (ca 10 %) og eventuelle tilsetningsstoffer for å forandre på dens egenskaper. Forholdet mellom materialene og sammensetningen av disse påvirker betongen vesentlig, både i fersk og herdet tilstand (Täljsten, 2018)

### 2.1 Sement

Sement er selve limet og bindemiddelet i betongen. Sement består i hovedsak av leir- og kalkholdige materiale. Hoveddelen er kalkstein med mindre deler av silisiumrike bergarter og mineraler. Den mest brukte sementtypen i Norge er portlandsement. 90-95 % av portlandsementen består av fire hovedmineraler sammensatt med oksider. Hovedmineralene i sement er Trialsiumsilikat ( $C_3S$ ), dikalsiumsilikat ( $C_2S$ ), trikalsiumaluminat ( $C_3A$ ) og Tetrakalsiumaluminatferitt ( $C_4AF$ ) (Maage et al., 2016). Hovedmineralene er sammensatt av grunnstoffene kalsium (Ca), silisium (Si), aluminium (Al) og jern (Fe). De resterende 5-10% i betongen består av oksidene mangan (Mg), svovel (S), kalium (K) og natrium (Na) (Gjerp, Opsahl & Smepllass, 2004). Klinkermineralene og formel er vist i tabell 2.1-1.

<b>Klinkermineraler</b>			
Mineralske term	Navn	Kjemisk formel	Symbol
Alitt	Trialsiumsilikat	$3CaO \cdot SiO_2$	$C_3S$
Belitt	Dikalsiumsilikat	$2CaO \cdot SiO_2$	$C_2S$
aluminat	Trikalsiumaluminat	$3CaO \cdot Al_2O_3$	$C_3A$
ferritt	Tetrakalsiumaluminatferitt	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	$C_4AF$

Tabell 2.1-1: De fire hovedkomponentene i portlandsement (Maage et al., 2016).

For å danne sement, males steinmaterialet ned til råmel. Etter nedmalingen blir råmelet varmet opp til ca. 1450 °C, der til slutt klinkermaterialene betong består av blir dannet. Av reaksjoner under 1300°C er de følgende reaksjonene viktigst:

- kalken blir dekomponert og karbondioksid blir drevet ut,  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ .
- dekomponering av mindre delmaterialer
- reaksjonen til kalk sammen med kvarts og mindre mineralprodukter som gir belitt, aluminat og ferritt.

Dannelsen av klinker skjer ved temperaturen 1300-1450 °C. Under denne fasen oppnås en delvis smeltefase. Under smeltingen dannes alitt fra kalken og mesteparten av belitten. Partiklene sintrerer sammen og danner klinker. Klinkeren har en diameter på 3-20mm og er formet i en delvis flytende tilstand. I nedkjølingsfasen krystalliseres massen og gir i hovedsak aluminat og ferritt. En polymorpisk overgang av alitt og belitt finner sted. Klinkeren blir fast under nedkjølingen. Videre blir sementen nedmalt til et finkornet pulver sammen med gips. Gips er med for å styre størkningen av sementen. Uten gips ville sementen stivnet med en gang vann ble tilsatt. Sement blir også tilsatt andre materialer for å forhindre dannelsen av farlige stoffer eller for å forandre på egenskapene under reaksjonsprosessen med vann (Maage et al., 2016).

Ved blanding av sement og vann oppstår en eksoterm hydratiseringsprosess mellom sementmineralene og vann. Reaksjonen er eksoterm siden den innebærer frigjøring av varme. Når sementmineralene reagerer med vann, oppstår det nye komplekse forbindelser og det oppstår nålformete masser utenpå sementkornene, slik vist i figur 2.1-1. Fra hydratiseringsproduktene er dannelsen av kalsiumsilikat-hydrater også kalt C-S-H-gel og kalsiumhydroksid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) viktigst. Disse reaksjonsproduktene utgjør hoveddelen av bindemiddelet. CSH-gellen er det som gir betongens sin styrke og tetthet. Dannelsen av kalsiumhydroksid bidrar ikke til fastheten, men gjør betongen basisk

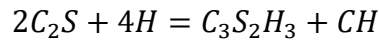
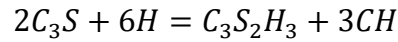


Figur 2.1-1: Hydratiseringen av sement (Arntzen, 2018).

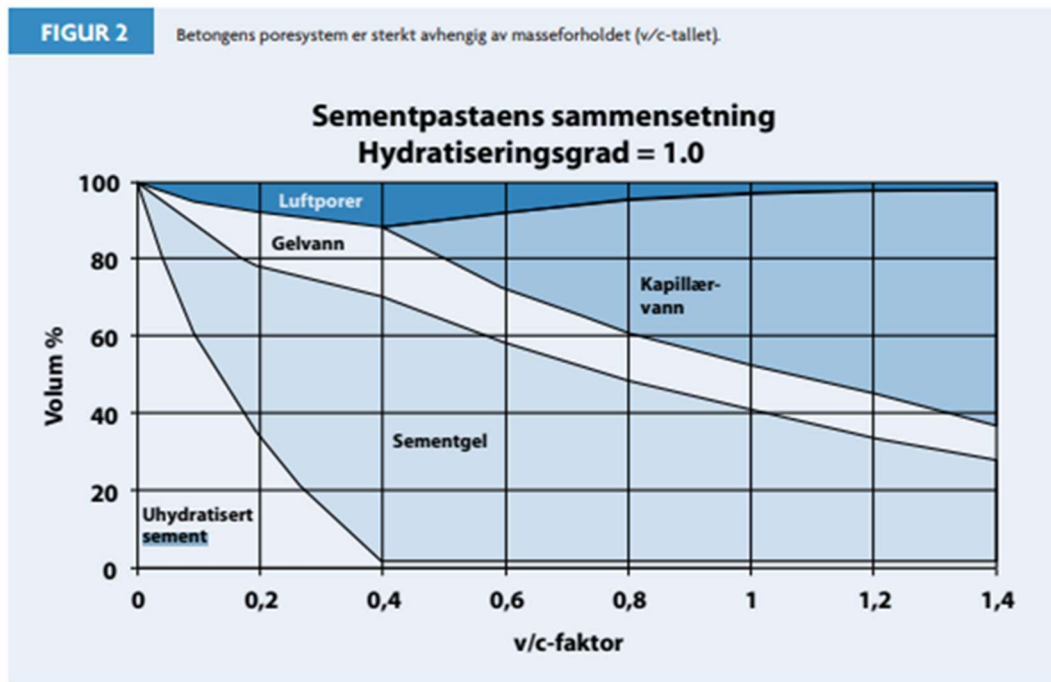


(pH 13). Dette er en fordel siden det gir et beskyttende oksidlag på armering og forhindrer den fra å korrodere (Arntzen, 2018).

### *Hydratiseringsreaksjoner*



Vann forbrukes på to måter når det reagerer med sement. En vannmengde tilsvarende 25 vektprosent av reagert sement blir bundet kjemisk. Denne vannmengden er knyttet til CSH-fasen. En vannmengde tilsvarende 15 vektprosent av reagert sement blir bundet sterkt fysisk til overflaten av reaksjonsproduktene. Vannet på reaksjonsproduktene blir kalt for gelvann. For full hydratisering av sementen kreves et v/b-tall på ca. 0,4. Hydratiseringen av hovedmineralene produserer CSH-gel, gelvannet knyttet til overflaten av reaksjonsproduktet og kalsiumhydroksid. Det fysiske bundet gelvannet kan over tid fordampe og etterlate seg gelporer i størrelsen 0,5-10 nm. Er det mer vann enn nødvendig for full hydratasjon dannes kapillærporer. Kapillærporer oppstår når gjenværende vann i sementpastaen fordamper under herdeprosessen. Overskuddsvannet ligger mellom sementpartiklene og er rester av vann som ikke har reagert med reaksjonsproduktet. Kapillærporene danner ganger mellom sementpartiklene og er derfor ofte sammenkoblet i motsetning til gelporene. En kapillærpore er 1000 ganger større enn en gelpore og vil være opptil 10 µm. Den viktigste parameteren til betongens bestandighet er permeabiliteten. Des lavere permeabiliteten er des bedre er bestandigheten. Permeabiliteten bestemmes av kapillærporemengden i betongen. Slik vist i figur 2.1-2 er kapillærporemengden avhengig av v/b-tallet til blandingen (Arntzen, 2018).



Figur 2.1-2: Fordelingen mellom fast stoff og poretyper ved forskjellige v/c-tall (Norcem AS, 2015).

De fire hovedmineralene blir påvirket av vann på forskjellige måter. Aluminat og ferritt reagerer raskt med vann, men bidraget til fastheten er liten. Alitt og beritt reagerer saktere med vann, men bidrar mest til fastheten. Alitt bidrar mest i startfasen, mens beritt bidrar mest til den endelige fastheten. En kan forandre på mengdefordeling av hovedmineralene. Dermed er det mulig å forandre på fasthetspotensialet og fasthetsutviklingen til betongen. Bidraget til varmeproduksjonen er også forskjellig i de forskjellige hovedmineralene. Alitt har rask utvikling, men moderat sluttverdi. Belitt har langsom utvikling og lav sluttverdi. Aluminat har rask utvikling og høy sluttverdi. Ferritt har langsom utvikling og lav sluttverdi. Mengdeforholdet i sementen vil dermed være med på å bestemme varmeutviklingen. Varmeutviklingen er også bestemt utifra mengden sement og v/c-tallet. Portlandsklinker består typisk av 50-70% alitt og 15-30% belitt. Samt 5-10% aluminat og 5-15% ferritt (Maage et al., 2016).

## 2.2 Tilslag

Tilslag er et granulært materiale og er samlebetegnelse på sand, grus og stein. Normalt vil tilslaget være rundt 70% av sluttvolumet til betongen og det er naturlig at tilslagets egenskaper vil påvirke betongens kvalitet. Tilslagets størrelse defineres ved hjelp av nedre ( $d$ ) og øvre ( $D$ ), uttrykt som  $d/D$ . Fint tilslag er definert der  $D$  er mindre eller lik 4 mm. Grovt tilslag er definert

som tilslag der D er større eller lik 4 mm og d er større eller lik 2 mm. Samfengt tilslag er en blanding av fint og grovt tilslag (Standard Norge, 2008b). For norsk betong er det vanlig å benytte sand med gradering 0-8 mm, grus og grovere tilslag med størrelse 8 mm og større. For eksempel 8-16 mm eller 8-22 mm (SINTEF Byggforsk, 2012). NS-EN 12620:2002 skiller tilslagene i tre kategorier og tre typer basert på densiteten de har:

1. Naturlig tilslag (tilslag av mineralsk opprinnelse som vært bearbeidet mekanisk)
2. Industrielt framstilt tilslag (tilslag av mineralsk opprinnelse som er resultat av en industriell prosess som medfører termisk eller annen modifikasjon)
3. Resirkulert tilslag (tilslag som kommer fra bearbeiding av uorganisk materiale som tidligere har vært brukt i byggearbeider) (Standard Norge, 2008b).

Og:

1. Lett tilslag (tilslag av mineralsk opprinnelse som i ovnstørr tilstand har en korndensitet på  $\leq 2000 \text{ kg/m}^3$ )
2. Normaltilslag (tilslag som i ovnstørr tilstand har en korndensitet  $> 2000 \text{ kg/m}^3$  og  $< 3000 \text{ kg/m}^3$ )
3. Tungt tilslag (tilslag som i ovnstørr tilstand har en korndensitet  $\geq 3000 \text{ kg/m}^3$ ) (Standard Norge, 2008b).

Naturlig norsk tilslag har en partikkeldensitet på rundt  $2700 \text{ kg/m}^3$  og vannabsorpsjon under 1% (SINTEF Byggforsk, 2018).

## 2.3 Resirkulert tilslag

Resirkulert tilslag produseres ved at byggavfall knuses. Knuseanlegget kan være mobilt eller stasjonært. Prosessen avfallet gjennomgår er avhengig av hvordan sluttproduktet skal se ut. De vanligste trinnene er:

1. Forbehandling: betongkonstruksjonen grovtygges og gjøres klar til knuseanlegget. Armeringsjern og urenheter fjernes.
2. Betongen knuses: en magnetseparator fjerner rester av armering og annet metall.

3. Spyling: ved nyere og større anlegg kan avfallet spyles under knusingen for å fjerne jord og uønskede partikler.

Resirkulert tilslag består i hovedsak av knust betong, med eller uten tegl. Sammensetningen av materialet varierer fra prosjekt og kvalitet (SINTEF Byggforsk, 2015b). Materialsammensetningen og materialdokumentasjon skal deklarerer etter krav i NS-EN 12620. For bunden bruk i betong klassifiserer NS-EN 206:2013 resirkulert tilslag i to kvalitetsgrupper, AN og BN. AN og BN, som vist i tabell 2.3-1 henviser til minimums innhold av mineralsk materiale. Type AN krever minimum 99% mineralsk innhold, mens BN krever minimum 95% mineralsk innhold. Iht. NS-EN-206 kan type AN og BN ha maks andel resirkulert materiale uten videre deklarerer. Fra Nasjonalt tillegg NS-EN 206 kan 30% av grovt tilslag i fraksjonen 4/32 erstatte naturlig tilslag. Av fraksjonen 0/4 mm kan 10% erstattes uten spesielle tiltak. Dette forutsetter type AN med fasthetsklasse B25 og bestandighet M90. Høyere verdier kan benyttes så lenge dette er spesifisert, og materialegenskapene til betongen er deklarerert (Standard Norge, 2020a). Grov tilslag av type AN er en god erstatter for naturlig tilslag. Hovedproblemet med fint resirkulert tilslag er den høye vannabsorpsjonen. Til bruk i konstruksjoner kan kun resirkulert tilslag erstatte naturlig tilslag hvis det ikke har vært i kontakt med kloridinitiert armeringskorrosjon. Skal betongen ha høy fasthet eller brukes i aggressive eksponeringsklasser, kreves nøye dokumentasjon av betongens egenskaper (SINTEF Byggforsk, 2015b).

Enne	Type AN	Type BN
Mineralsk innhold: Rcu <sub>99</sub> <sup>a</sup> (Rcu <sub>99</sub> + Rb), der Rb <sup>b</sup> < 5 %	> 99 %	> 95 %
Ikke-mineralsk innhold <sup>c</sup> og glass: — totalt	< 1 %	< 5 %
— isolasjonsmaterialer	< 0,1 volumprosent	< 0,5 volumprosent
— planterester	< 0,1 volumprosent	< 0,5 volumprosent
Densitet: — ovenstør <sup>d</sup>	> 2000 kg/m <sup>3</sup>	> 1800 kg/m <sup>3</sup>
— vannmettet overflatetør <sup>d</sup>	> 2100 kg/m <sup>3</sup>	> 2000 kg/m <sup>3</sup>
Vannabsorpsjon	< 10 %	< 20 %
a Kategorien er ikke angitt i NS-EN 12620. Rcu <sub>99</sub> skal bestå av minst 99 % av følgende bestanddeler, enten enkeltvis eller i kombinasjon: betong, betongprodukter, mørtel, naturstein eller mekanisk eller hydraulisk stabilisert tilslag. b Rb er murprodukter av leire og kalsiumsilikater samt ikke-flytende porebetong. c Ikke-mineralsk innhold som kohesjonsmaterialer (leire og jord), metaller, ikke-flytende tre, plast og gummi samt gips. d Utføres iht. NS-EN 1097-6. Kravet skal oppfylles for minst en av metodene.		

Tabell 2.3-1: Minimums mineralske innhold i type AN og BN (Standard Norge, 2020a).

For resirkulert tilslag stilles de samme geometriske, fysiske og kjemiske kravene slik ved naturlig tilslag. Tilleggskravene er spesifisert i NS-EN 206, NS-EN 13242 og NS-EN 12620. Hva resirkulert tilslag kan brukes til og mengden av det som kan benyttes er beskrevet i forskjellige standarder. For veibygging er det NS-EN 13242. Til betongproduksjon er det NS-EN 206 og NS-EN 12620 (SINTEF Byggforsk, 2015b).

## **2.4 Betongtilslags egenskaper**

### **2.4.1 Kornform og overflate**

Kornform og overflate påvirker både betongens støpelighet, vannbehov, sementbehov og styrke. Den geometriske formen til et korn er bestemt ut fra kornform. De tre vanligste formene er kubisk, flisig og stengelig, med enten glatt eller ru overflate. Generelt har naturlig tilslag runde korn og glatt overflate. Pukk og knust materiale vil ha en mer skarpkantet kubisk form med ru overflate. Kornform blir oftest vurdert visuelt, men det finnes metoder for å bestemme materialets flisighet. Tilslaget form påvirker støpeligheten til betongen og vannbehovet. Hvor stort overflateområde kontra volum kornene har avgjør hvor mye vannmengde det kreves. Kubete og runde partikler krever mindre vann, enn det stengelige og flisige korn krever. Flisige korn vil også ha problemer med å bli komprimert. Ved dårligere kompresjon og større avstand mellom kornene, des mer sementpasta kreves for å fylle hulrommene for å få en støpelig betong av god styrke. Flisige korn vil også påvirke betongens fasthet. Ved høy andel flisige korn kan det føre til hulrom der vann og luftporer dannes rundt kornene. Fastheten til betongen vil påvirkes negativ ved slike dannelser. Spesielt om betongen har et høyt  $v/b$ -tall. Kornform og overflatestruktur vil påvirke egenskapene til den herdete betongen, siden stengelige og flisige korn har svakere lastbærende egenskaper (Li, 2011). I tillegg til overflate kan belegg utenpå kornoverflaten redusere heftsonen mellom tilslag og sementpasta og dermed gjøre betongen mindre bestandig (Pedersen, 2019). Tidligere studier har bevist at motstanden tilslaget har mot knusing vil påvirke trykkfastheten og i enda større grad elastisitetsmodulen til betongen, spesielt ved betong av høy styrke  $> B30$  (Pedersen & Kompen, 2013).

### **2.4.2 Korngradering**

God korngradering av tilslaget er av stor betydning for støpeligheten og vannbehovet til betongen. Ved en god kornfordeling er samtlige kornstørrelser representert i et forhold til

hverandre. Ved god fordeling er alle kornstørrelsene representert, slik at de mindre kornene fyller igjen hulrommene til de større kornene. Ved dårlig fraksjonering av størrelser, må betongen supplementers med mer sementpasta for å fylle hulrommene mellom det store tilslaget. En velgradert siktekurve vil være mest mulig rettlinjet, der samtlige kornstørrelser er jevnt fordelt. Rett korngredning vil gjøre det mulig for betongen å oppnå en god pakningsgrad. (Gjerp, Opsahl & Smeplass, 2004). For å få en god og tett betong er det viktig at betongen inneholder en mengde finstoff. Finstoffet vil på samme måte som sementen fylle hulrommene mellom det større tilslaget. NS-EN 206 angir at en må ha minimum 8% finstoff  $d < 0,25\text{mm}$  for å oppnå en vanntett betong. En annen måte å oppnå dette på er å øke mengden sement (Standard Norge, 2020a).

### **2.4.3 Densitet og vannabsorpsjon**

Densitet er en beskrivelse av masse pr volum. Tilslag har en mengde av porer og porene kan bli fylt av vann. Densitet er forholdet til massen og kornvolumet i en gitt tilstand, også når porevolumet er inkludert (Juliebø, 2005). Densiteten til tilslaget vil i stor grad påvirke densiteten til betongen. Vannabsorpsjon til tilslaget forteller om hvor mye vann tilslagskornene suger til seg. Vannabsorpsjonen beskriver i hovedsak vannbehovet til betongen og må være kjent slik at en kan beregne fri vannmengde i resepten, spesielt hvis tørt tilslag er benyttet. I tillegg henger vannabsorpsjonen sammen med tilslagets porøsitet og frostmotstand (SINTEF Byggforsk, 2018). I henhold til NS-EN 12620 vil den herdete betongen ikke være frostbestandig ved høy vannabsorpsjon. En verdi under 2% tilsier at tilslaget vil ha god frostbestandighet (Standard Norge, 2008b). Dersom vannabsorpsjonen til tilslaget ikke stemmer med det som er satt i resepten, kan det bli mer eller mindre vann tilgjengelig for sementhydratiseringen. Ved mettet og overflatetørt tilslag vil ikke tilslaget ta til seg/utveksle vann med betongen. Variert fuktighet i tilslaget kan medføre variasjon i kvalitet på betongen og er ofte en årsak til uforutsette variasjoner i betongens egenskaper (Maage et al., 2016).

Resirkulert tilslag har samme lineære forholdet mellom korndensitet og vannabsorpsjon. Ved høyere densitet vil det ha lavere vannabsorpsjon. Resirkulert tilslag av knust betong har vanligvis lavere vannabsorpsjon og høy densitet. Blandet masse har høyere vannabsorpsjon og lavere densitet. Grovt resirkulert materiale egner seg god som erstatning til naturlig. Hovedproblemet med fint resirkulert tilslag er den høye vannabsorpsjonen den inneholder (SINTEF Byggforsk, 2015b).

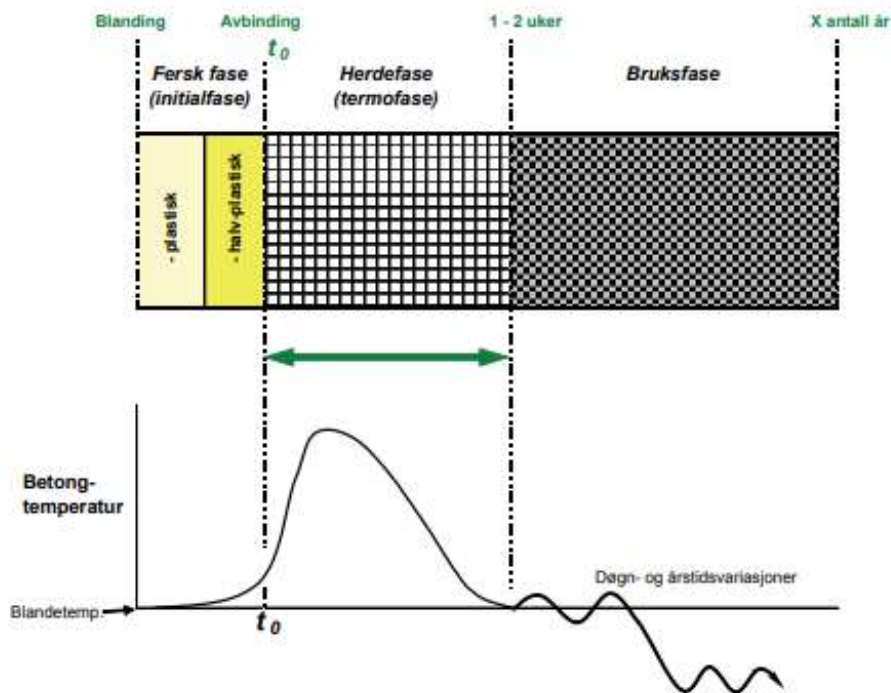
## 2.5 Tilsetningsstoffer

NS-EN 934-1:2008 definerer tilsetningsstoffer til betong som materiale som blir tilsatt under miksing, der prosentandelen av totalmassen ikke overskrider 5% (Standard Norge, 2008a). Tilsetningsstoffer modifierer egenskapene til betongen i fersk og/eller herdet tilstand. De vanligste tilsetningsstoffene er plastiserende, superplastiserende, akselererende, retarderende og luftinnførende stoffer. Effekten av tilsetningsstoffene avhenger av flere faktorer. Mengden av det, hvilken type, mengden av sement, tilslaget, konsistens, bruk av forskjellige tilsetningsstoffer, når det ble tilsatt, temperatur og hvilken type utstyr ble benyttet til miksing. Kjemiske tilsetningsstoffer er ikke til for å gjøre god betong bedre, dårlig mikset betong vil heller ikke få vesentlig bedre egenskaper med å tilsette tilsetningsstoffer. Hovedrollen til superplastiserende tilsetningsstoffer er å spre flokkulerte sementpartikler i vannet. Flyten og slumpen til betongen blir forbedret. Superplastiserende stoffer gjør det også mulig å gå ned på vannmengden i resepten, uten å påvirke støpeligheten (SINTEF Byggforsk, 2010).

## 2.6 Betongens faser

Betongen er under utvikling gjennom hele herdeforløpet. Utviklingen kan deles opp i 3 faser, som fremstilt i figur 2.6-1. Plastiske fasen, herdefasen og bruksfasen. Den plastiske fasen omhandler miksing, transport, støpning og den tidlige herdningen i formene. Hydratiseringen utvikler seg sakte i denne perioden. I formen vil betongen gradvis miste konsistensen på grunn av de svake fysiske båndene mellom partiklene og innledende hydratisering (semi-plastiske fasen). Etter en viss tid har hydratiseringen kommet langt nok til å gi betongen markante mekaniske verdier. Starten av herdingsfasen kan markeres som setningspunktet  $t_0$ . Hvor lang tid den plastiske fasen varer er avhengig av temperaturen i betongen, typen sement og tilsetningsstoffer. Perioden er normalt mellom 6 og 12 timer. Betongen får mesteparten av verdiene sine i herdingsfasen. Dette skjer sammen med en enorm varmeutvikling, som er en reaksjon av den eksotermiske hydratiseringen. Temperaturutviklingen internt i betongen kan øke med 40°C eller mer. Den maksimale temperaturen er ofte nådd etter 18-24 timer for mindre konstruksjoner og etter 1-2 dager for massive konstruksjoner. Varmeutviklingen vil heretter avta og betongen vil kjøles ned av omgivelsene. Kjølingsperioden vil vare frem til betongen har oppnådd lik temperatur med omgivelsene. Nedkjølingen varer normalt i 1-2 uker, men med større konstruksjoner vil det ta lengre tid. I bruksfasen er betongen i termisk likestilling med

omgivelsene. Kjennetegnet for bruksfasen er at forskaling fjernes. Konstruksjonen er utsatt for belastning, vær og vind (Bjøntegaard, 2009).



Figur 2.6-1: Herdeforløpet til betong (Bjøntegaard, 2009).

## 2.7 Fersk betong

For å kunne oppnå betong av høy fasthet og god bestandighet er det vesentlig at betongen er tilfredsstillende å håndtere og utstøpe. For fersk betong er støpelighet en vesentlig faktor. Støpelighet omhandler hvor lett betongen er å få i formen, komprimerbarhet og stabilitet. Det er ønskelig å opprettholde en betongmasse av god mobilitet og flytbarhet. Samtidig som en opprettholder stabiliteten, uten at separasjon under transport, fylling og/eller vibrering oppstår (Gjerp, Opsahl & Smeplass, 2004).

Vanninnholdet og betongtilslagets egenskaper styrer i stor grad hvordan fersk betong vil oppføre seg. Ved bruk av tilslag av god korngradering og form, vil en kunne gå ned på vanninnholdet og dermed også sementbehovet. Er resepten satt med et høyere vanninnhold flyter sementkornene mer i det frie vannet. Kornene vil ha større mellomrom og betongen vil få en bedre mobilitet. En kan også øke mengden P- og SP-stoffer. Selv om det er ønskelig å ha god støpelighet, er det ikke nødvendigvis ønskelig med et høyt v/b-tall. Ved høyere v/b-tall flyter sementkornene mer i det frie vannet. Kornene vil ha større mellomrom og betongen vil



få en større mengde med porer. Mikrostrukturen i betongen og betongens trykkfasthet har samme kurve som sammenhengen mellom permeabilitet og porøsitet. Dette sammenhenger med at porøsiteten øker, mens mengden faststoff blir mindre med et økende v/b-tall. Faststoffet i betongen er det som evner å ta opp kraft. Det vil være mer hensiktsmessig å øke mengden SP-stoffer, enn vannmengden for å øke støpbarheten (Li, 2011).

## **2.8 Herdet betong**

Herdet betong innehar gode egenskaper som lastbærende konstruksjon. Typisk for kompositter som betong er at egenskapene til materialet ikke bare er et mangfold av egenskapene til bestanddelene, men samspillet mellom bestanddelene har egenskaper som ikke kan relateres til bestanddelene separat. Både sementpasta og tilslag er sprø materialer med tilnærmet lineær elastisk oppførsel til svikt. Imidlertid viser betongen en duktil oppførsel. Denne karakteristikken kan forklares som et resultat av forskjellen i stivhet som vanligvis er til stede mellom sementpasta og tilslag. Under belastning vil sementpastaen bli avlastet av tilslaget. Tilslagets midlere spenning vil øke, hvorimot sementpastaens midlere spenning vil bli anselig lavere enn den ytre spenningen. Sementpastaen og tilslagets forskjell i stivhet fører med seg en tøyingsforskjell. Tøyingsforskjellen fører med seg spenningskonsentrasjoner i bindingssonen mellom tilslaget og sementpastaen. Slik spenningskonsentrasjon fører til et distribuert sprekkemønster. Under belastning øker avviket fra lineær elastisk belastning jevnt. Etter punktet med maksimal belastning, fører den indre forskjellen i stivhet sammen med sprekkemønsteret, til en effektiv omfordeling av spenningene, og fører derfor til en duktil sviktprosess. Der sprekkene dannes i overgangssonen mellom sementpasta og tilslag (Maage et. al, 2016).

### **2.8.1 Trykkfasthet**

Trykkfasthet angir betongens maksimale evne til å ta imot belastning før den bryter sammen. Trykkfastheten angir også betongens fasthetsklasse. Fasthet er uttrykt i MPa. Det er krav gjengitt i NS-EN 206-1 til trykkfasthet. For normalbetong B30 skal minimum trykkfasthet etter 28 dager være 37 MPa for kuber og 30 MPa for sylindere. Data fra tabell 2.8-1 er karakteristiske verdier. Det betyr at 5% av betongvolumet har en styrke lavere enn karakteristikken. Forskjellen mellom karakteristisk og gjennomsnittlig styrke avhenger av spredningen under produksjon av

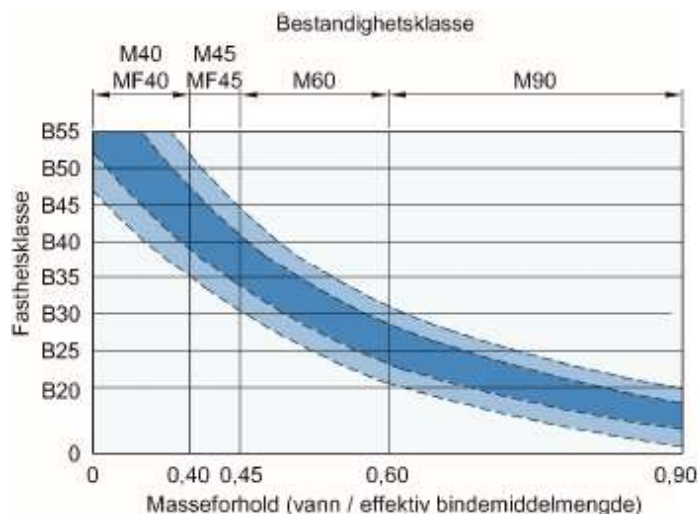
betongen. Forskjellen vil være rundt 5-10 MPa. For eksempel, skal en B30 betong opprettholde krav iht. til trykkfasthet, må middelveien av prøvelegemene etter 28 dager være over 42 MPa, ved testing av kuber (SINTEF Byggforsk, 2013). NS-EN 206 henviser også til krav om et visst antall prøver fra samme betongblanding. Det er et minimumskrav på tre eksemplarer fra samme blanding (Standard Norge, 2020a). Mengden med luft i blandingen vil også påvirke trykkfastheten til betongen. En kan ta utgangspunkt i at 1% økning i luftinnhold vil senke trykkfastheten med 5% (Mapei, 2017).

Nasjonal trykkfasthetsklasse	B10	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65	B75	B85	B95
Europeisk betegnelse		C20/ 25	C25/ 30	C30/ 37	C35/ 45	C45/ 55	C55/ 67				
Karakteristisk sylindrefasthet $f_{k,cyl}$	10	20	25	30	35	45	55	65	75	85	95
Karakteristisk terningfasthet $f_{k,cube}^a$	12	25	30	37	45	55	67	80	90	100	110

a For trykkfasthetsklasse B55 og høyere kan andre verdier for karakteristisk terningfasthet benyttes hvis forholdet mellom disse og karakteristisk sylindrefasthet er etablert med tilstrekkelig nøyaktighet og dokumentert for den aktuelle betongsammensetningen.

Tabell 2.8-1: Trykkfasthetsklassene for normalbetong (Standard Norge, 2020a).

Bestandighetsklassene må ses i sammenheng med fasthetsklassen. Bestandighetsklassene til betong forteller om maks masseforhold vann/bindemiddel betongen kan ha og velges ut ifra fasthetsklasse, og hvordan eksponering betongen vil få. Figur 2.8-2 viser som eksempel at bestandighetsklasse M60 ikke kan overskride v/b-forhold 0,60. Bestandighetsklassene er klassifisert etter M og MF. MF betyr at betongen er frostbestandig. Klassene er MF40, M40, M45, M60 og M90. Ved høyere tall vil bestandigheten bli lavere. Det er sammenheng mellom bestandighet og fasthet. En betong av høy fasthet vil vanligvis ha god bestandighet (SINTEF Byggforsk, 2016).



Figur 2.8-1: Sammenheng mellom fasthets- og bestandighetsklassene (SINTEF Byggforsk, 2016).

### **2.8.2 Elastisitetsmodul**

Elastisitetsmodul til betong angir deformasjonen og nedbøyningen betongen vil få ved belastning. E-modulen beskriver betongens motstandsevne mot elastisk deformasjon. Ved elastisk deformasjon går materialet tilbake til sin opprinnelige form etter belastning. Ved plastisk deformasjon har materialet gått forbi flytegrensen og vil ikke gå tilbake til sin opprinnelige form. Stive materialer vil ha høy E-modul (Støvneng, 2021). I betong er stivheten i hovedsak avhengig av sementtype, fastheten, tilslagets stivhet og mengden av det. Fra tidligere gjennomførte undersøkelser er det bevist å være stor korrelasjon mellom tilslagets stivhet og betongens resulterende stivhet (Pedersen, 2019). Et annet studie konkluderte med en sammenheng mellom tilslagets LA-verdi og betongens resulterende stivhet (Pedersen & Kompen, 2013). Høyfast betong vil ha en E-modul på rundt 30 GPa. Bruer og andre betongkonstruksjoner utsatt for elastisk deformasjon har økt fokus på betongens E-modulverdi (Sandaker, Sandvik & Vik, 2016).

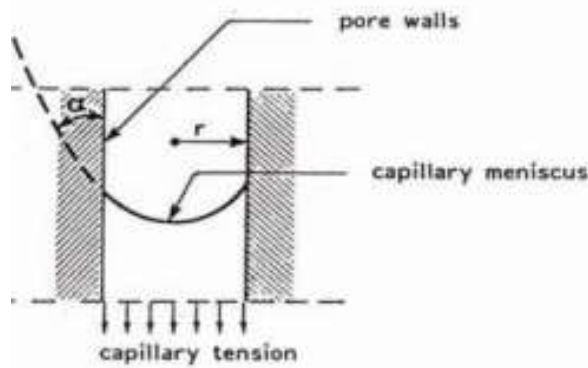
### **2.8.3 Svinndanning i betong**

Volumforandringer i betongen kan føre til skader og uforutsette problemer til konstruksjonen. Volumforandringer i betong skjer både av interne egenskaper under herdning og av eksterne faktorer, som utveksling av fukt med omgivelsene. Svinn er en reaksjon av innskrenkingskrefter der strekkspenning oppstår. Strekkspenningen kan føre til krakelering i betongen. Bestandigheten til konstruksjonen kan bli påvirket av slike spenningskrefter. De fleste studier viser at sprekker har merkbar negativ effekt når de er bredere enn 0,4mm på overflaten. Ved bredde 0,4mm vil sprekken gå dypere ned i konstruksjonen og påvirke egenskapene. Normalt oppstår sprekker grunnet:

1. Volumforandringer i betongen
2. Nedbrytning intern i betongen, f.eks. korrosjon av armering
3. Last (egenvekt, arbeidslast, vindlast, osv.) (Maage et al., 2016)

Plastisk svinn oppstår av at vann fordamper fra overflaten til betongen i den ferske fasen. Fordamper vannet fortære fra overflaten enn betongen klarer å transportere vann til overflaten, vil betongen tørke ut. Ved uttørkingen vil vannmenisker bli dannet, slik vist i figur 2.8-2. Avstanden mellom partiklene vil avta pga. undertrykk i porevannet og kontraksjonskrefter mellom partiklene. Partikkelavstanden vil deretter avta og betongen vil trekke seg sammen.

Kreftene som dannes kapillært pga. uttørkingen skjer omvendt proporsjonalt av meniskradiusen. Denne reaksjonen kalles for plastisk svinn. Ved lavere v/b-tall og høy andel finstoffinnhold vil vannutskillelsen reduseres og øke sannsynligheten for at betongoverflaten tørkes ut. Sammentrekningen som gir plastisk svinn, trenger nødvendigvis ikke å gi plastiske svinnriss.



Figur 2.8-2: Hvordan kapillært undertrykk oppstår i porene (Bjøntegaard, 2009).

Plastisk svinn er avhengig av flere faktorer. Temperaturen til betongen, temperaturen til omgivelsene, relativ luftfuktighet og vindhastighet. Det er viktig å beskytte betongen mot eksterne faktorer. F.eks. å dekke over formene vil bidra til å senke fordampingen. Etter at den ferske fasen er over oppfører betong seg som et stivt materiale og svinnets hastighet vil være redusert (Bjøntegaard, 2009).

Autogent svinn er betongens selvproduserte svinn og er en reaksjon bestemt av delmaterialene og betongens sammensetning. Reaksjonen mellom vann og sement assosieres med tap av volum siden reaksjonen til fast stoff fyller mindre volum enn reaktantene vann + sement (Arntzen, 2018). Dette er kalt kjemisk svinn og er en fundamental egenskap av sementhydratasjon. Kjemisk krymp starter allerede når vann blir lagt til under miksing og kan foregå over flere måneder. Kjemisk krymp er beregnet til å være  $0,06\text{cm}^3$  per gram av reagert sement. Dette tilsvarer ca. 8% tap av volum etter full hydratisering for sementpasta med v/b-tall 0,40. Tapet av volum danner porer som er en stor del av gel- og kapillærporesystemet til det solide produktet. Under videre hydratisering vil porevannet bli konsumert og porestrukturen vil delvis bli tømt. Denne selvuttørkingen betyr at den relative fuktigheten i betongen vil gradvis bli redusert over tid og er spesielt dominant i sterk betong med v/b-tall rundt 0,40-0,45. For sterk betong vil den relative fuktigheten droppe fra 100% i fersk tilstand ned til 85-90% noen uker senere. Uttørkingprosessen produserer kapillære krefter og et trykk internt i porevannet.

Trykket overføres til det faste stoffet og resulterer i utvendig kontraksjon av betongen. Dette kalles for autogent svinn. Uttørkingen internt og det negativt kapillære trykket er antatt å være hovedmekanismen bak autogent svinn i betong. Lineært autogent svinn på 0,1-0,2 ‰ i herdefasen for sterk betong er ikke unormalt, men for betong med lavt v/c-tall kan det autogene svinnet bli større. Det økende svinnet gir problemer, siden strekkapasiteten til betong er rundt 0,1‰ (Bjøntegaard, 2009).

Herdet betong utsatt for tørr luft vil gradvis miste fukten over tid og uttørkes. Gradvis oppbygning av kapillærspenning og negativt poretrykk er hovedfaktorene under uttørkingen. Uttørkingsvinn er likt plastisk svinn, bare nå finner det sted i et stivt materiale. Uttørkingsvinn eller svinn pga. uttørking starter i overflaten av betongen hvor fordampingen finner sted og sprer seg innover over tid. Svinngradienten og spenningen blir satt opp over tverrsnittet til betongen. Det oppstår strekkspenning på overflaten. Et resultat av dette kan være dannelser av svinnriss. Svinnet fra uttørking starter med engang etter prøvene blir tatt ut av formen, og er størst i starten. Hvor mye betong vil krympe pga. uttørking varierer, men er normalt mellom 0,3‰ - 1‰, tilsvarer  $300-1000 * 10^{-6}$  mm. Langt over deformasjonskapasiteten til betong på 0,1‰. Sprekker pga. uttørkingsvinn former ofte uregelmessige mønster på overflaten. Måter å begrense svinn pga. uttørking (Bjøntegaard, 2009):

1. Bruk av mindre vann = mindre krymp
2. Optimal kornfordelingskurve for tilslag
3. Bruk av grovt tilslag, høy  $D_{maks}$
4. Fuktig tilværelse, forskjell i fukt i luften er den viktigste årsaken til krymp

Iht. NS-EN 12620 skal ikke uttørkingsvinnet overskrive 0,075 ‰ i konstruksjonsbetong der egenskapene til tilslaget kan føre til skadelige svinnriss, i samsvar med NS-EN 1367-4. Er det brukt resirkulert tilslag, må også vedlegg A følges. Resultatene må deklarerer deretter (Standard Norge, 2008b).

Temperatur påvirker også betong, siden betongen deformeres under forskjell i temperatur. Temperaturvariasjoner  $\Delta T$ , fører til termisk utvidelse. Tøyningen er bestemt av koeffisienten for termisk ekspansjon  $\alpha_t$ :

$$\epsilon_T = \alpha_t * \Delta T$$

Herdende betong danner varme, temperaturen kan øke med mer enn 40 °C. Betongen beveger seg termisk med ligningen over. Den ekspanderer under fasen den danner varme, og kontraherer i kjølingsfasen. Koeffisienten for termisk ekspansjon  $\alpha_t$  blir ofte satt til  $10 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  (0,01 ‰/°C). Ved 10°C forskjell vil den termiske utvidelsen  $\epsilon_T$  på en 10m lang konstruksjon utgjøre 0,01 ‰ \* 10000 mm = 1mm.  $\alpha_t$  vil dog variere mye avhengig av hvilken type tilslag som er benyttet. For norsk tilslag varierer koeffisienten til  $\alpha_t$  fra  $4-15 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  (0,01 ‰/°C) (Maage et. al, 2016).

#### **2.8.4 Kapillær absorpsjon**

Betongens motstående evne til å slippe igjennom væsker og gasser er tettheten til betongen, også kalt permeabilitet. Permeabilitet er den viktigste faktoren for betongens bestandighet. Alle nedbrytningsmekanismer i betongen innebærer væsker eller gasser. Å beholde betongen tettest mulig vil senke transporten av væsker og gasser inn i betongen. Konstruksjonen vil få forlenget levetid jo tettere den er. Kapillærsuget er en mekanisme som står for væsketransporten i betongen. Kapillærsuget er væskens gang gjennom konstruksjonen uten hjelp av ytre krefter, som f.eks. gravitasjon. Poretype og poremengde har en vesentlig betydning for hvor mye væske betongen kan ta opp. I sementpastaen vil et økende v/b-tall gi en økende mengde med kapillærporer. Er v/b-tallet under 0,4 vil det være liten vanngjennomgang. Ved 0,4-0,5 øker vanngjennomgangen og over 0,5 øker vanngjennomgangen betraktelig (Gjerp, Opsahl & Smeplass, 2004). Kapillærsuget føres gjennom porene og gangene dannet av kapillærporene. Hastigheten på vanngjennomgangen er styrt av adhesjonskreftene mellom poreoverflaten og vannet (Time, Kvande, Terjesen & Sæter, 2004). Kapillærsuget har nærmest lineær stigning med hensyn på  $\sqrt{t}$  frem til knekkpunktet. Etter knekkpunktet vil vannopptaket avta betraktelig. Det svake vannopptaket er en reaksjon av at kapillærporene er mettet og det resterende vannsuget skjer i luft-/makro-porene. Luft/makro-porene har stor meniskradius og lav porevannspenning, derav lavere kapasitet til å ta til seg vann. Betongens sugporøsitet styres i stor grad av betongens kapillærporer. Sugporøsiteten er også avhengig av samtlige porer som tar opp vann kapillært, som gelporer, luftporer og porene i tilslaget hvis det er vannabsorberende. Kapillærsuget er summen av porene i betongen som tar opp vann kapillært (Maage et. al, 2016).

### **3 Laboratorieundersøkelser**

Å ha en overordnet oversikt over tilslagets geometriske og fysiske egenskaper, vil gi en god indikator over hvilke egenskaper betongen vil få i herdet tilstand og sannsynligheten for uforutsette egenskaper i den herdete betongen avtar. Det stilles en rekke krav til tilslagets fysiske og geometriske egenskaper. Tilslagets form og egenskaper vil avgjøre hva det kan deklarerer og brukes til.

I denne laboratorieundersøkelsen ble det resirkulerte tilslagets flisighet, kornfordeling, finstoffinnhold, motstand mot knusing (LA), vannabsorpsjon og densitet undersøkt. Det naturlige tilslaget deklarerer verdier kan ses i vedlegg A. Øvrige kornstørrelse for begge tilslagene var 22 mm. Til gjennomføring ble det levert ca. 1 tonn av hver fraksjon. Det naturlige tilslaget kom i fraksjon 0-8 mm, 8-16 mm og 16-22 mm. Det resirkulerte tilslaget kom uten fraksjonering og ble grovsiktet i fraksjonene 0-8 mm og 8-22 mm før videre testing.

Samtlige gjennomføringer ble utført sammen med kvalifisert laboratoriepersonell. Undersøkelser og utstøpninger er gjennomført i henhold til gjeldende krav i Norsk Standard. Til veiledning og gjennomføring ble Statens vegvesens Håndbok R210 brukt.

#### **3.1 Geometriske egenskaper**

##### **3.1.1 Flisighetsindeks**

Tilslagets kornform analyseres ved gjennomføring av flisighetsindeksen. Flisighetsindeksen avdekkes ved å sikte grovt tilslag større enn 4mm over stavsikter. Flisighetsindeksen beregnes ut av fra sum av masse passert stavsikten fra samtlige sikter (Standard Norge, 2020b). Metoden gjennomføres ved å først sikte testfraksjonen på 4-100mm over kvadratiske åpninger for å dele inn i tilhørende fraksjoner. Sum av masse før gjennomføring og etter sikting over kvadratisk åpninger kan ikke overskride 1% forskjell i vekt. Korn mindre enn 4mm og større enn 100mm fjernes. Vekt av fjernet masse noteres. Delfraksjonene angis etter d/D. Deretter siktes hver fraksjon gjennom tilhørende stavsikter. Spaltebredden på stavsiktene er vist i tabell 3.1-1. Passerende masse gjennom stavsikten er å anse som flisig. Flisighetsindeksen er uttrykt fra prosentandelen av massen som passerer stavsikten uttrykt fra prøvens totale masse (Vegdirektoratet, 2016). Tabell E3 i tillegg E i NS-EN:206 henviser til anbefalinger om FI under 50 for grovt resirkulert tilslag (Standard Norge, 2020a).

Fraksjon (d/D) (mm)	Spaltebredde stavsikt (mm)
80/100	50
63/80	40
50/63	31,5
40/50	25
31,5/40	20
25/31,5	16
20/25	12,5
16/20	10
12,5/16	8
10/12,5	6,3
8/10	5
6,3/8	4
5/6,3	3,15
4/5	2,5

Tabell 3.1-1: Spaltebredde for stavsikter og tilhørende fraksjon (Vegdirektoratet, 2016).

$$FI = \frac{M_2}{M_1} * 100$$

$M_1$  = Sum av massene fra alle fraksjoner

$M_2$  = Sum av total masse som passerte stavsikten

Metode utført iht. NS-EN 933-2:2020 *Prøvmåter for geometriske egenskaper for tilslag - Del 2: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling Sikter, nominell størrelse av siktåpninger.*

Gjennomføring iht. Prosedyre 144 *Flisighetsindeks* i Statens vegvesen Håndbok R210.

### 3.1.2 Korngradering og finstoffinnhold

Korngradering viser den prosentvise vektmengden til et granulært materiale i ulike kornstørrelser (Thue, 2019). Før undersøkelsen kan gjennomføres kreves det oppnåelse av en representativ prøve. Prøven blir fremstilt ved å bruke et splitteapparat for å oppnå en tilfeldig prøve. Basert på prøvens største kornstørrelse er det i henhold til NS-EN 933-1 bestemt en minste prøvemengde, minimumsmengder er vist i tabell 3.1-2.



D (mm)	90	63	31,5	16	8	<4
m <sub>min</sub> (kg)	80	40	10	2,6	0,6	0,2

Tabell 3.1-2: Minimumsmengder for gjennomføring av sikteanalyse (Standard Norge, 2012a).

Ettersom det resirkulerte tilslagets største kornstørrelse er 22 mm, kan minimumsmengden finnes ved interpolasjon. For maks kornstørrelse 22mm tilsier dette en prøvemengde på 4,2 kg (Standard Norge, 2012a). For sikteanalyse finere enn 22 mm skal siktesatsen i siktemaskinen inneholde følgende sikter: 22,4-16,0-8,0-4,0-2,0 og 500-250-125-63 µm + bunnpanne. Siktemaskinen må ristes i minimum 10 minutter. Hver sikt veies og vekt noteres ned. Er det større enn 1% i forskjell på innveid masse og total masse etter sikting skal prøven gjentas. Utregningen gjennomføres ved å dele massen på hver sikt på massen av de grovere siktene. Andelen finstoff må også regnes ut og deklarerer i kategori iht. NS-EN 12620. Kategoriene er vist i tabell 3.1-3. Andelen finstoff er tilslagets masseprosent som passerer 0,063 siktet. Ved normale siktesatser henviser dette til masse på bunnpannen. Andelen finstoff beregnes etter følgende formel (Vegdirektoratet, 2016):

$$f = \frac{100P}{M_1}$$

$M_1$  = Total masse prøve og  $P$  = Siktet materiale i bunnpanne

Tilslag	0,063 mm-sikt Passering i masseprosent	Kategori $f$
Grovt tilslag	≤ 1,5 ≤ 4 > 4	$f_{1,5}$ $f_4$ $f_{\text{Deklart}}$
	Ingen krav	$f_{ik}$
Naturlig gradert 0/8 mm tilslag	≤ 3 ≤ 10 ≤ 16 > 16	$f_3$ $f_{10}$ $f_{16}$ $f_{\text{Deklart}}$
	Ingen krav	$f_{ik}$
Samfengt tilslag	≤ 3 ≤ 11 > 11	$f_3$ $f_{11}$ $f_{\text{Deklart}}$
	Ingen krav	$f_{ik}$
Flint tilslag	≤ 3 ≤ 10 ≤ 16 ≤ 22 > 22	$f_3$ $f_{10}$ $f_{16}$ $f_{22}$ $f_{\text{Deklart}}$
	Ingen krav	$f_{ik}$

Tabell 3.1-3: Tilslagets kategorier etter innhold av finstoff (Standard Norge, 2008b).

Metode iht. *NS-EN 933-1:2012 Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling – Sikteanalyse* (Standard Norge, 2012a). Gjennomføring iht. Prosedyre 131 *Siktanalyse (tørresikting av vasket materiale)* i Statens vegvesen Håndbok R210 (Vegdirektoratet, 2016).

## 3.2 Fysiske egenskaper

### 3.2.1 Los Angeles – motstand mot knusing

Tilslagets motstand mot knusing kan analyseres ved anvendelse av Los Angeles metoden. Metoden går ut på å tromle tilslag i fraksjonen 10-14mm sammen med 11 stålkuler gjennom 500 omdreininger. Totalt skal  $3250 \pm 3,3$  g i fraksjonen 10/12,5mm og  $1750 \pm 1,7$  g i fraksjonen 12,5/14mm benyttes. LA-verdien måles ved å sikte vekk fraksjonen under 1,6 mm etter tromling. Masse i hele gram større enn 1,6mm veies og benyttes i følgende formel (Vegdirektoratet, 2016):

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

*m = masse i hele gram av materiale større enn 1,6mm*

LA-verdien deklarereres i ulike klasser fra LA<sub>15</sub> til LA<sub>50</sub>. En lavere LA-verdi gjenspeiler et sterkere materiale (Standard Norge, 2008b). I 2014 ble det innført nasjonale krav til tilslags motstand mot knusing iht. nasjonalt tillegg i NS-EN 206. Kravet refererer til maks LA<sub>50</sub> for > B25 betong og LA<sub>35</sub> for betonger av høyere styrke (Pedersen, 2019). Fra veiledning i tillegg E i NS-EN 12620 bør tilslag med LA-verdier som overskrider 40 vurderes, på grunnlag av tidligere erfaring med bruken. Dette ses spesielt ved betong som utsettes for slagpåkjenning (Standard Norge, 2008b).

Metode iht. *NS-EN 1097-2:2020 Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag-Del 2: Metoder for bestemmelse av motstand mot knusing* (Standard Norge, 2020c). Gjennomføring iht. Prosedyre 141 *Los Angeles-metoden* i Statens vegvesen Håndbok R210 (Vegdirektoratet, 2016).

### 3.2.2 Densitet og vannabsorpsjon

Densiteten forteller om et materials masse iht. volum. Densiteten til tilslaget har en direkte korrelasjon til betongens styrke. I tillegg vil den kunne vurdere transportbehov og materialforbruket. Vannmengden gir en indikasjon på massens vannopptak fra omgivelsene, og dermed også porøsiteten. Metoden innebærer veiing av våt, overflatetørr og ovnstørket tilslag. Materialet må holdes under vann i minst 24 timer. Materialet tørkes så til overflatetørr tilstand oppnås. Etter overflatetørr tilstand er oppnådd, legges materialet i et pyknometer og deretter fylles pyknometeret med vann og glassplate skyves over. Oppståtte luftbobler må fjernes. Pyknometer med glassplate, vann og material veies. Massen fra pyknometer settes i tørkeskap og tørkes (Standard Norge, 2013). Materialets overflatetørre densitet finnes ved følgende formel:

$$\rho_{ssd} = \rho_w * \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

$\rho_w$  = densitet til vann

$M_1$  = Masse prøvemateriale overflatetørr

$M_2$  = Masse pyknometer med glassplate, vann og prøvemateriale

$M_3$  = Masse pyknometer med vann og glassplate

Vannabsorpsjon finnes ved å veie materialet i overflatetørr tilstand og materialet i ovnstørket tilstand. Vannabsorpsjon kan finnes ved å benytte samme prøve som ved testing av densitet. Formel for vannabsorpsjon (Standard Norge, 2013):

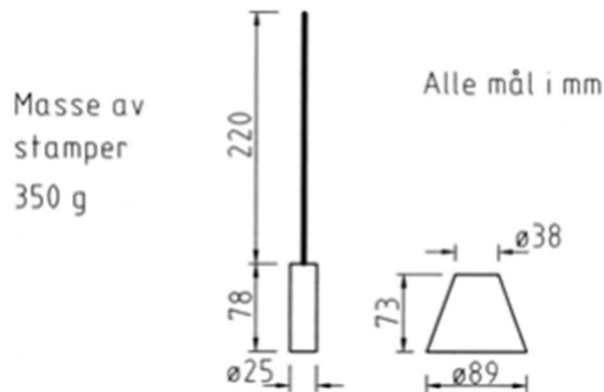
$$W_{ab} = \frac{(M_1 - M_4)}{M_4} * 100$$

$W_{abs}$  = Mengde absorbert vann i vannmettet, overflatetørt materiale (%)

$M_1$  = Masse prøvemateriale overflatetørr

$M_4$  = Masse i gram ovnstørket tilstand

For å finne vannabsorpsjonen til tilslag under 4 mm brukes en konus fylt med fuktig tilslag til å finne overflatetørr tilstand. Materialet bløtlegges og tørkes til overflatetørr tilstand er funnet. Overflatetørr tilstand finnes ved å tørke materialet, med for eksempel en stekepanne. Ved overflatetørr tilstand vil formen til kornene holde seg intakt å ry litt på sidene etter konus er løftet opp.  $W_{abs}$  beregnes med samme formel som benyttet for større tilslag. Metoden er lite nøyaktig og operatørvhengig (Vegdirektoratet, 2016).



Tabell 3.2-1: Metallkonus og stamper til å finne overflatetørr tilstand (Vegdirektoratet, 2016).

Densitet og vannabsorpsjon ble gjennomført iht. *NS-EN 1097-6:2013 Prøvmingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 6: Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon* (Standard Norge, 2013). Prosedyre for gjennomføring iht. 122 *Densitet for tilslag 0,063-4,0 mm (pyknometer)* og 123 *Densitet for tilslag 4,0-31,5 mm (pyknometer)* (Vegdirektoratet, 2016).

### 3.3 Betongreseptene

Det ble laget to blandinger med resirkulert tilslag, for å kunne teste det resirkulerte tilslagets effekt på betong i fersk og herdet tilstand. I tillegg en referanseblanding uten resirkulert innhold. Basisresepten har utgangspunkt i en B30/M60 resept fra Nordland Betong. Generelt grunnlag for basisresept med masseforhold 0,45 er presentert punktvís under avsnitt. Grunnlaget ble overholdt mest mulig, men med tanke på det resirkulerte tilslagets økte vannbehov, varierer fritt vannmengde og mengden tilsetningsstoffer noe. Mengdene til basisresepten er i kg/m<sup>3</sup>:

- |                        |  |
|------------------------|--|
| 1. Masseforhold:       | 0,45   |
| 2. Fritt vann:         | 156  |
| 3. Norcem Standard FA  | 346  |
| 4. Fint tilslag 0/8:   | 62%  |
| 5. Grovt tilslag 8/22: | 38%  |
| 6. Tilsetningsstoffer: | Variierende mengder, se vedlegg H eller tabell i kpt. 4. |

Tilsetningsstoffene brukt er Mapei Dynamon SX-23 og Mapei Demper RM. Produktdatabladene til tilsetningsstoffene er vedlagt i vedlegg F. Referanseressepten inneholder tilslag i form av sand 0-8 mm og pukke i størrelsesorden 8-16 og 16-22 mm. Det ble valgt å holde mengde sement i de forskjellige reseptene konstant, for å opprettholde et likt sammenligningsgrunnlag av herdet betong. I reseptene var naturlig og resirkulert tilslags masseprosent en variabel faktor, men mengden fint og grovt tilslags volumbaserte proporsjon ble holdt konstant (62/38%).

Masseprosenten og navn til de forskjellige blandinger er presentert i tabell 3.3-1. På grunn av tilslagernes variable porøsitet og vannbehov ble mengde SP- og luftdempende tilsetningsstoff brukt aktivt for å justere konsistensen til den ferske betongen. RCA 5/20 blandingen overholder krav iht. tabell NA.6 og NA.7 i NS-EN-206.

Blanding	Fint tilslag		Grovt tilslag		
	NA 0/8 mm	RCA 0/8mm	NA 8/16mm	NA 16/22mm	RCA 8/22mm
<b>RCA 0</b>	62,0 %	0,0 %	10,0 %	28,0 %	0,0 %
<b>RCA 5/20</b>	58,9 %	3,1 %	8,0 %	22,4 %	7,6 %
<b>RCA 20/60</b>	49,6 %	12,4 %	4,0 %	11,2 %	22,8 %

Tabell 3.3-1: Masseforhold fint og resirkulert tilslag i de forskjellige blandningene.

Med utgangspunkt i reseptene skal det undersøkes om betong med resirkulert tilslaget vil ha fordelaktige egenskaper i fersk og herdet tilstand, samt opprettholde krav iht. Norsk Standard. I fersk tilstand ble betongens synkmål, densitet og luftinnhold undersøkt. Av mekaniske egenskaper ble betongens trykkfasthet, elastisitetsmodul, uttørkingssvinn og kapillærabsorpsjon testet.

### 3.4 Utstøping av fersk betong

Totalt ble det gjennomført 8 utstøpinger i tidsrommet februar/mars 2021. Blanding med RCA 20/60 ble gjennomført tre ganger grunnet variasjon i luftinnhold og for å kontrollere reproduserbarheten. Full oversikt over samtlige blandinger finnes i vedlegg H.

Resept	Blanding omhandler	Blanding er reproduisert
1 RCA 0	Trykkfasthet, E-modul, kapillær absorpsjon	
2 RCA 5/20	Trykkfasthet, E-modul, kapillær absorpsjon	
3 RCA 20/60	Trykkfasthet, E-modul, kapillær absorpsjon	
4 RCA 0	Uttørkingssvinn	Manglende måleknaster uttørkingssvinn
5 RCA 5/20	Uttørkingssvinn	Manglende måleknaster uttørkingssvinn
6 RCA 20/60 2	Uttørkingssvinn, Trykkfasthet	Manglende måleknaster og økt luftinnhold ved første blanding
7 RCA 20/60 3	Trykkfasthet, E-modul	Luftinnhold over 2% ved tidligere blandinger
8 RCA 0	Uttørkingssvinn	Kontrollere herdingen av uttørkingssvinnet første 28 d.

Tabell 3.4-1: Blandingers nummer og hvilken tester de er benyttet til.

Under blandingen ble først tilslag og sement tørrblandet i 1-2 minutter. Vann ble deretter tilsatt og blandet videre i 2-3 minutter. Til slutt ble SP-stoffet blandet inn og eventuelt luftdempende tilsetningsstoff, ved nødvendighet. Tabell 3.4-2 henviser til antall prøvelegemer og dimensjon på prøvestykkene til hver blanding. Blanding ble gjennomført iht. prosedyre 411 og 416 i Håndbok R210: *Framstilling av betong i laboratoriet og Støping av prøvestykker* (Vegdirektoratet, 2016).

Test	Form	Antall	Dimensjon [mm]
Trykkfasthet	Terning	9	100x100x100
E-modul	Sylinder	3	300x150
Kapillærabsorpsjon	Sylinder	2	200x100
Uttørkingssvinn	Bjelke	3	500x100x100

Tabell 3.4-2: Form og antall prøvelegemer.

For utstøping av prøvelegemene er det krav til formene i henhold til NS-EN 12390-1:2012 *Prøving av herdet betong – Del 1: Form, mål og krav til prøvelegemer og former*. Av forbehold fra standarden kan ikke kornstørrelse på tilslaget være mer enn 3,5 større enn minste dimensjon på formene. Dette tilsier 28,6mm med former på 100mm. Til prøvelegemene er største kornstørrelse 22 mm (Standard Norge, 2012b).

$$d_{maks} = \frac{d_{mould}}{3,5} = \frac{100}{3,5} = 28,6mm$$

Uttøping skal skje raskest mulig etter blanding. Betongens konsistens, densitet og luftinnhold måles før betong helles i formene. Formene smøres inn i olje som ikke påvirker sementpastaen, for å unngå heft til form under herding. Formene fylles og komprimeres lagvis med bruk av stålstang. Formene ble fylt i tre omganger der hvert lag ble komprimert 25 ganger. Stålstang under komprimering skal ikke gå hardt i bunn eller gå langt under underliggende lag. Toppflaten ble avrettet med bruk av flyndreskje. Til støping av bjelkene til uttørkingssinn, ble gummiklubbe brukt istedenfor stålstang til komprimering. Gummiklubbe ble slått langs sidene for å oppnå god komprimering. Form ble fylt i 3 lag. Komprimering av prøvestykkene er operatørvhengig, og forskjell i komprimering kan oppstå. Prøvene tildekkes med plast for å unngå uttøking. Prøvene ble lagret i romtemperatur 20 °C i 24 timer. Etter 24 timer ble prøvene tatt ut av form og markert. Samtlige prøver ble deretter lagret i vannbad ved 20 °C. Bjelkene til uttørkingssvinn ble satt i herderom ved 60% luftfuktighet. Metode iht. *NS-EN 1230-2: Prøving av herdet betong Del 2: Støping og herdning av prøvelegemer for fasthetsprøving* (Standard Norge, 2019a). Gjennomføring etter prosedyre 416 *Støping av prøvestykker* i Håndbok R210 (Vegdirektoratet, 2016).

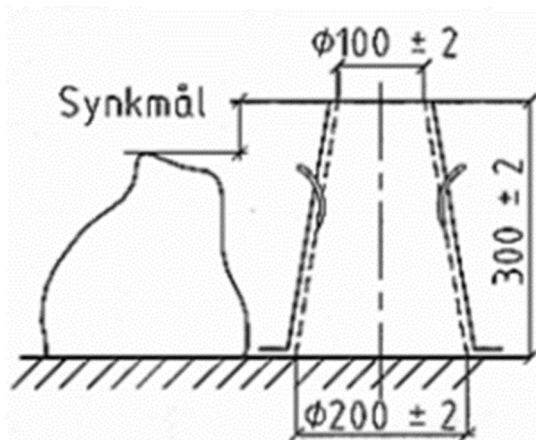


## 3.5 Fersk betong

### 3.5.1 Synkmål

Synkmålet forteller noe om betongens støpelighet og konsistens i fersk form (Standard Norge, 2019b). Synkmål er det første en skal gjøre etter blanding er ferdig blandet. Gjennomføring av synkmål gjøres ved å fylle en konus med betong. Konus fylles på et glatt ikke absorberende underlag i tre lag og komprimeres mellom hvert lag. Er konsistens ikke som ønsket må betongen tilsettes mer SP-stoffer og blandes i 30 sekunder. Konsistensen må være rett før annen testing kan gjennomføres. For gjennomføring fuktes synkkjegle og det glatte, ikke absorberende underlaget. Når kjeglen er fylt opp, avrettes topp og kjegle løftes opp kontinuerlig over en periode på 2-5 sekunder (Vegdirektoratet, 2016).

Synkkjeglen plasseres ved siden av betongen og måling foretas slik vist i figur 3.5-1. NS-EN 206 angir synkmål i forskjellige konsistensklasser etter verdi fra synkmål. Klassene er vist i tabell 3.5-1. Samsvarskriterier for tilsiktet verdi og største toleranse i avvik er  $\pm 30$  mm for synkmål  $> 100$  mm (Standard Norge, 2020a). Fra fulgt resept var det krav om synkkklasse S4 med tilsiktet verdi 200mm.



Figur 3.5-1: Synkkjegles dimensjon og hvordan en måler synkmål (Vegdirektoratet, 2016).

Klasse	Synkmål prøvd etter NS-EN 12350-2 mm
S1	10 til 40
S2	50 til 90
S3	100 til 150
S4	160 til 210
S5 <sup>a</sup>	$\geq 220$

<sup>a</sup> Se merknad 1 i 5.4.1.

Tabell 3.5-1: Konsistensklasse uttrykt fra synkmål(Standard Norge, 2020a).

Metode iht. NS-EN 12350:2019 Prøving av fersk betong – Del 2: Synkmål. Gjennomføring etter prosedyre 412 Konsistens, synkmål i Håndbok R210.

### 3.5.2 Densitet

Densitet finnes ved å komprimere den ferske betongen i et kjent volum ( $V$ ) for så å veie den. Beholderens masse ( $m_1$ ) bestemmes ved nøyaktighet 0,01kg. Etter at betongen er komprimert og topp er skrapet av, veies beholderen og massen ( $m_2$ ) noteres. Densiteten til den ferske betongen angis til nærmeste  $10\text{kg/m}^3$  (Standard Norge, 2019c). Formel:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

$m_1$  = beholderens vekt

$m_2$  = beholder + masse

$V$  = Volum beholder

Fremstilling og gjennomføring iht. *NS-EN 12350-6:2019 Prøving av fersk betong Del 6: Densitet* (Standard Norge, 2019c).

### 3.5.3 Luftinnhold

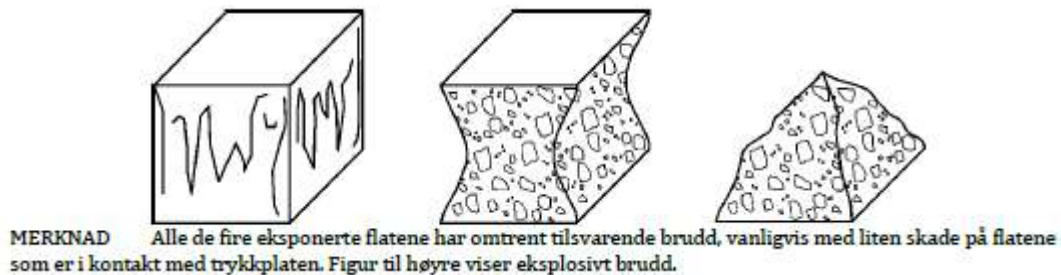
Luftinnhold vil si noe om permeabiliteten til betongen, eller hvor bestandig den er. En finner luftinnholdet til den ferske betongen ved å sette den under trykk og måle volumendringen i forhold til ved normaltrykk. Standarden stiller krav til maks kornstørrelse  $d_{\text{maks}}=63\text{mm}$ . Metode vil ikke egne seg for betong med synkmål mindre enn 10mm eller til betong av lett tilslag (Standard Norge, 2019d). Metode gjennomføres ved å fylle beholder med betong i så mange lag, som er nødvendig for å oppnå full komprimering. Hvert lag komprimeres med stag minimum 25 ganger. Overliggende masse fjernes og kanten hvor luftmåleren skal settes på rengjøres. Luftmåleren monteres på beholderen og vann fylles på i en av kuleventilene til det renner over på andre siden. Justeringsventil lukkes og trykket pumpes opp. Manometer justeres til null. Kuleventilene lukkes og trykket slippes inn. Luftinnhold avleses på manometeret (Vegdirektoratet, 2016). Fra fulgt resept, var det krav om 2% luftinnhold.

Metode iht. til *NS-EN 12350-7:2019 Prøving av fersk betong Del 7: Luftinnhold trykkmetoder*. Gjennomføring etter prosedyre 415 *Luftinnhold, trykkmetoden* i Håndbok R210.

## 3.6 Herdet betong

### 3.6.1 Trykkfasthet

Trykkfasthet vil vise et materials evne til å beholde sin form frem til brudd under trykkbelastning. Trykkfastheten vil øke etter tid. Normalt er trykkfastheten henholdsvis nær maks styrke etter 28 dager. Styrken vil fortsatt øke, men økningen er langsommere enn ved de første 28 dagene. Trykkfastheten ble testet etter 3, 28 og 90 dager for å få en generell oversikt over utviklingen. Til hver gjennomføring ble 3 klosser trykket. Dimensjonene på klossene var 100x100x100 mm. Før gjennomføring må prøvelegemene tas opp av vannbadet. Klossene blir målt med skyvelære, veid og tørket av. Fuktinneholdet til prøven kan påvirke resultatet av testen, så prøvelegemene må tørkes av. En delvis tørket prøve kan ha opptil 20% mer styrke enn en fuktig prøve. Fukten på overflaten vil påvirke friksjonen mellom betongen og trykkmaskinen. Den naturlige laterale utvidelsen mellom maskinen og betongen vil bli redusert. Denne effekten er større for kuber enn sylindere (Maage et al., 2016). For gjennomføring ble en trykkprøvingsmaskin med stålplater benyttet. Prøvelegemet plasseres i sentrum av maskinens trykkplate. Belastningen til maskinen skal ha en økning på  $0,6\text{MPa/s} \pm 0,2\text{MPa/s}$  frem til brudd. Bruddlasten notertes. Bruddtype må også vurderes, tilfredsstillende bruddtyper er vist i figur 3.6-1. (Standard Norge, 2019e).



Figur 3.6-1: Eksempler på tilfredsstillende brudd, ved testing av terninger (Standard Norge, 2019e).

Metode iht. *NS-EN 12390-3:2019 Prøving av herdet betong Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet* (Standard Norge, 2019e). Trykkmaskinen skal overholde krav iht. *NS-EN 12390-4:2019 Prøving av herdet betong – Del 4: trykkfasthet – Krav til prøvingsmaskiner* (Standard Norge, 2019f). Gjennomføring iht. prosedyre 421 *Trykkfasthet, terninger og sylindre* i Håndbok R210 (Vegdirektoratet, 2016).

### 3.6.2 Elastisitetsmodul

Betongens elastisitetsmodul ble vurdert etter 3, 28 og 90 dager. For gjennomføring av testene ble sylindere med  $h=300$  og  $d=150$  mm brukt. Prøvelegmene ble tatt opp av vannbadet og tørket av før gjennomføring. Prøvelegmene ble også målt med skyvelære. Før belastning ble betongens middelfasthet bestemt ved svar ifra kubenes trykkfasthet gjennomført tidligere. Prøvelegemet sentreres på trykkmaskinen og deformasjonsmåler monteres. Prøvelegemet belastes med 0,5 MPa, som er grunnlasten ( $\sigma_0$ ) og dette økes frem til 45% av middelfasthetsverdien ( $\sigma_1$ ). Belastningen holdes konstant i 60 sekunder og deformasjonen noteres. Prøvelegemet avlastes til grunnlasten på 0,5 MPa. Tøyningen  $\varepsilon_{01}$  beregnes fra ( $\sigma_0$ ) til ( $\sigma_1$ ). Grunnlast holdes i 60 sekunder og deformasjonsmåleren avleses ( $\sigma_{01}$ ). Belastningen økes til 30 % av middelfastheten og holdes i 60 sekunder. Prøvelegemet avlastes igjen til grunnlast og holdes i 60 sekunder. Belastningen økes på nytt til 30% av middelfastheten og holdes i 60 sekunder. Belastningen leses av ( $\sigma_2$ ). Prøvelegemet avlastes og holdes i 60 sekunder ved grunnlasten, belastning ( $\sigma_{02}$ ) leses av. Tøyningen  $\varepsilon_{02}$  fra ( $\sigma_2$ ) til ( $\sigma_{02}$ ) beregnes. Dette gjennomføres tre ganger for hvert prøvelegeme, der deformasjonsmåleren flyttes  $120^\circ$  for hver gjennomføring. Elastisitetsmodulen beregnes fra følgende formel (Vegdirektoratet, 2016):

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_{02}}{\varepsilon_{02}}$$

$E_c$  = elastisitetsmodul i GPa

$\sigma_2$  og  $\sigma_{02}$  = belastningsnivået i GPa

$\varepsilon_{02}$  = tøyning i ‰ fra belastning  $\sigma_2$  til  $\sigma_{02}$

Metode iht. BS-EN 12390-13: *Testing hardened concrete Part 13: Determination of secant modulus of elasticity in compression* (British Standard, 2013). Gjennomføring er i henhold til Prosedyre 423 *Elastisitetsmodul* i Håndbok R210.

### 3.6.3 Svinn i betong

For å måle svinn ble det tildannet bjelker på  $500 \times 100 \times 100$  mm med innstøpte måleknaster i endene for å kunne måle svinnet etter hvert som volum forandrer seg. Et manometer festes til enden av prøveapparatet og måler lengdeforandringen gjennom herdeforløpet, slik vist i figur 3.6-2. Bjelkene ble lagt i et herderom med RF 60% og konstant temperatur  $22^\circ\text{C}$  etter avforming. Før hver måling ble bjelkene veid for å kunne bestemme endring i densitet. Måler

med nøyaktighet  $10^{-6}$  mm skal benyttes til gjennomføring (Standard Norge, 2020d). Prøvelegemene ble målt etter 1, 2, 3, 4, 5, 7, 14, 21, 28, 42 og 90 dager. Metoden for gjennomføring skiller ikke autogent svinn fra selvuttørking. Metoden gir det totale svinnet til prøvelegemet (Sintef byggforsk, 2015a).



Figur 3.6-2: Svinnet gjennom herdeforløpet vil føre til kontraksjon av betongen og lengdeforandringen måles.

Metode for gjennomføring iht. *NS-EN 12390-16:2019: Prøving av herdet betong – Del 16: Bestemmelse av svinn i betong.*

### 3.6.4 Kapillær absorpsjon PF-metoden

Kapillaritet er årsaken til at en væske dras opp eller dyttes ut av trange ganger i poresystemet. Hvor mye av væsken som kan suges opp av er avhengig av permeabiliteten, en legemets porestruktur og hvordan porestrukturen er formet (Helseth, 2020). Metode for gjennomføring er iht. prosedyre 426 i Håndbok R210: *Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF-metoden.* Prøvestykkene ble tildannet av utstøpte sylindere med diameter 100mm. Prøvestykkene ble tildannet ved saging av skiver med tykkelse  $h \approx 50$ mm. Håndbok tilsier skivene skal være  $20(\pm 1)$  mm tykke, etter samtale med veileder ble det derimot bestemt å tildanne skivene på 50mm. Prøvesettet besto av 8 prøvestykker fra hver blanding. Prøvestykkene ble kuttet opp 24 timer etter blanding og tørket i ventilert tørkeskap i 7 døgn. Deretter nedkjølt i 2 timer tildekket i aluminiumsfolie i luft ved romtemperatur. Før prøvestykkene ble lagt til suging fra vannspeil ble klossene veid. Vekt skal ha nøyaktighet 0,01g. Vannspeillet skal ligge 1-2mm opp på sidene. Etter start av suging av vannspeilet ble klossene veid etter 10 og 30 minutter. 1, 2, 3, 4, og 6 timer. Etter 1, 2, 3 og 4 døgn. Alle prøvene ble tørket av med fuktig klut og veid, før de ble lagt tilbake. Etter 4 døgn ble klossene nedsunket i vann i 3 døgn. Etter 3 døgn ble klossene veid i luft og i vann. Sugporøsiteten til skivene kan beregnes etter følgende formel (Vegdirektoratet, 2016):

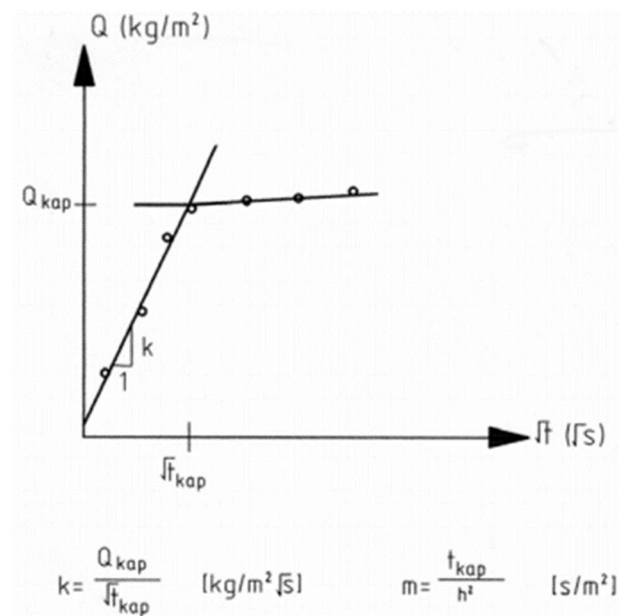
$$p_s = \frac{g_2 - g_3}{V}$$

$g_2$  = massen vannmettet skive (luft)

$g_3$  = massen ovenstørket skive

$V$  = volum av skiven

Absopsjonen ( $Q$ ) vil nærmest være lineært på en akse med hensyn på kvadratroten av tiden ( $\sqrt{t}$ ), ved et vellykket forsøk, slik vist i figur 3.6-3. Veldig sterk betong vil ha et mer gradvis sug med et mindre tydelig knekkpunkt. Etter knekkpunktet ( $\sqrt{t_{kap}}$ ) vil suget gå mye saktere pga. det trege oppdriften av vann i luft/makroporene. Knekkpunktet ( $\sqrt{t_{kap}}$ ) mellom de to lineære linjene indikerer at kapillær og gelporene i betongen er fylt opp. Luftporene har ikke et poresystem som henger sammen og vannet må bli dratt gjennom de mindre kapillære porene. Disse er for stor til å kunne danne et kapillærsug av seg selv, som kan dra vannet videre i poresystemet. Luft/makroporene kan fylles ved hjelp av overtrykk, der vannet blir presset opp. Gel og kapillærporene fylles opp naturlig. Etter knekkpunktet kan en si at det kapillære metningspunktet er nådd. Det resterende vannopptaket til betongen er i de større luft/makroporene og kan fylles ved hjelp av overtrykk (Maage et al., 2016).



Figur 3.6-3: Beregning av kapillærtall og motstandstall (vegdirektoratet, 1996).

For begge linjene kan en gjennomføre en lineær regresjon. Skjæringspunktet mellom linjene henviser til  $Q_{kap}$  og  $\sqrt{t_{kap}}$ .  $Q_{kap}$  og  $\sqrt{t_{kap}}$  er tidspunktet og absorpsjonsverdien til prøvelegemet når den er mettet med vann kapillært. En kan finne kapillærtallet ( $k$ ) og motstandstallet ( $m$ ) etter formlene (Vegdirektoratet, 2016):

$$k = \frac{Q_{kap}}{\sqrt{t_{kap}}} \text{ og } m = \frac{t_{kap}}{h^2}$$

$Q_{kap}$  = vannabsorpsjonen med knekkpunktet

$t_{kap}$  = tiden frem til knekkpunktet

$h$  = prøvelegemets tykkelse

Kapillærtallet  $k$  karakteriserer stigningstallet til vannabsorpsjonens hastighet frem til knekkpunktet. Et lavere kapillærtall vil vise at betongen er motstandsdyktig mot inntrenging av væsker. Kapillærtallet beskriver ikke finheten til kapillærporesystemet, siden  $k$  også er avhengig av det volumetriske innholdet av bindemiddel i betongen, som er mengden med porer som vannet kan bli transportert imellom. For å definere finheten separat benyttes formelen for motstandstallet  $m$  (Maage et al., 2016).

Hvor høy porøsiteten vil være ved gjennomføring er avhengig av alderen til prøvelegemene. Benyttes ung betong (1-2 dager) gamle, vil det være mye uhydratiserte sementkorn internt i betongen og bestanddelen med porer vil være høy. Benyttes betong som er herdet i 28 dager, vil andelen sementgel være betydelig høyere. Ved benyttelse av herdet betong, vil en få et mer tydelig bilde av andelen kapillærporer og sugporøsiteten til herdet betongen (Li, Dong, Li & Li, 2015).





## 4 Resultater

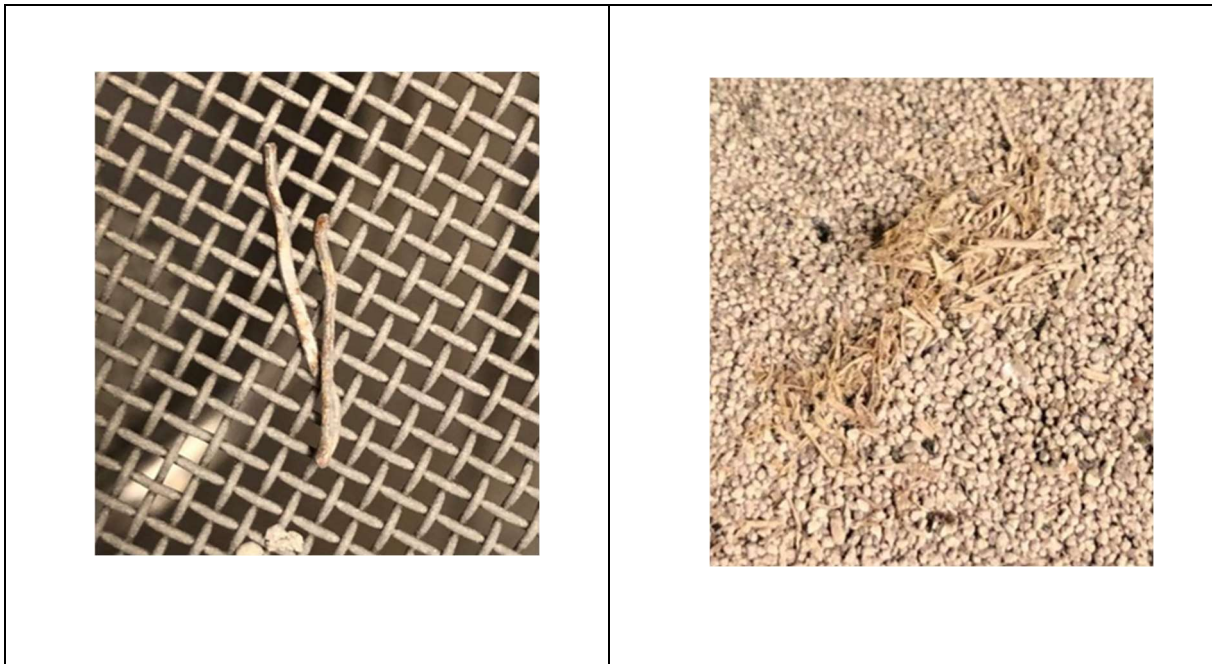
I følgende delkapittel presenteres hovedresultatene og gjennomsnittsverdier fra utførte laboratorieundersøkelser. Full oversikt over individuelle resultater, arbeidsskjema, verdier og metode finnes i vedlegg A-P.

### 4.1 Tilslag egenskaper

Resirkulerte tilslagets kornstørrelse varierer fra 0-22 mm. Enkelte korn over største kornstørrelse ble også observert. Kornene har et homogent utseende og er hovedsakelig bestående av kubiske til stengelige korn, med ru overflate og kantrundet form. De fleste kornene har et tettstående belegg på kornoverflaten. Belegget lar seg delvis fjerne under vasking. Tilslaget består også av flere ansamlinger av gråhvite klumper, bestående av ansamlinger seende ut som løst sementert materiale. Klumpene smuldrer enkelt opp under lett ytre påkjenning. Til tross for kvalitetsklasse AN med mineralisk innhold  $< 99\%$ , ble det gjort mindre funn av ståltråder og trevirke sammen med tilslaget under sikting, vist i figur 4.1-2. Mesteparten av kornene besto av gråe og mørke korn. Samt mindre mengder røde/oransje korn. Figur 4.1-1 viser det resirkulerte tilslagets karakteristikk, ved de større fraksjonene etter vask.



Figur 4.1-1: Resirkulerte tilslagets karakteristikk av større fraksjon, etter vask ( $> 5$  mm).



Figur 4.1-2: Funn av mindre mengder ikke mineralisk materiale i tilslag.

## 4.2 Geometriske egenskaper

### 4.2.1 Flisighet

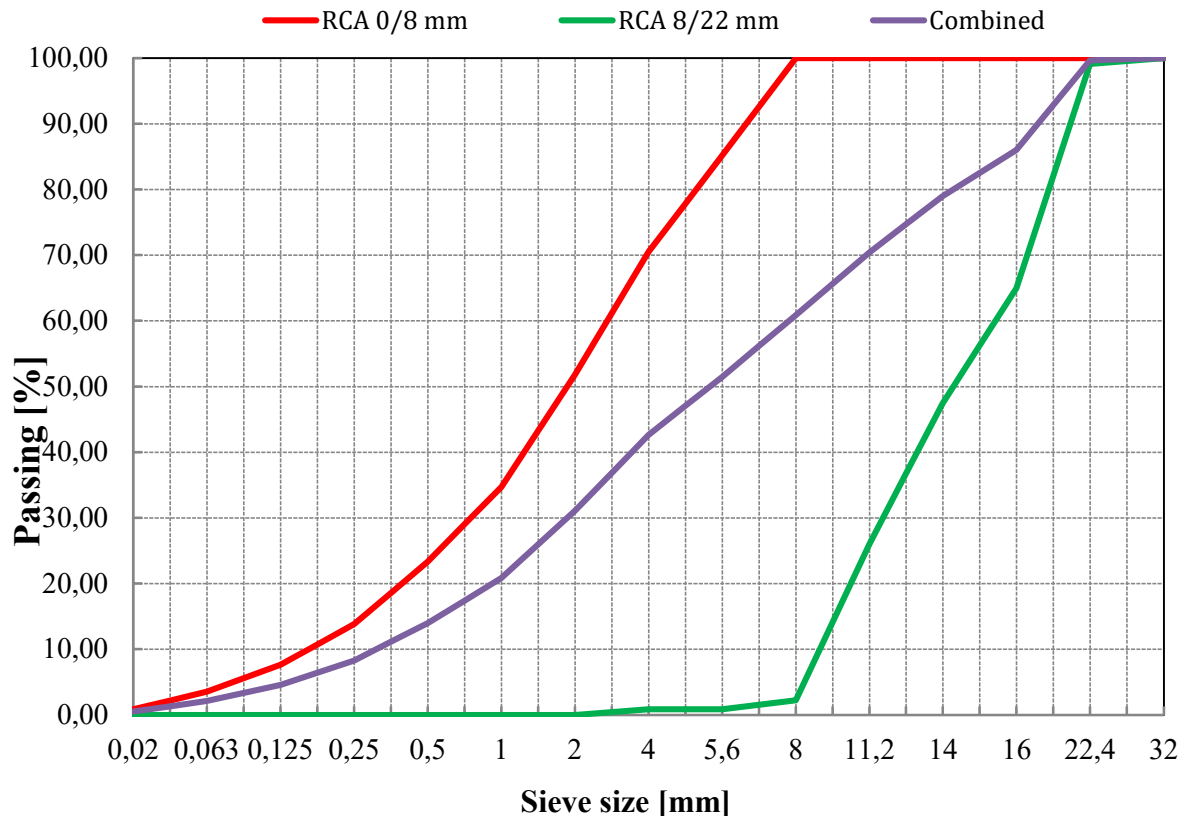
Presentert i tabell 4.2-1 er verdien for flisighetsindeksen til resirkulert tilslaget. Tilslaget har en flisighetsindeks under 15 og blir dermed deklarerert i laveste kategori for flisighet,  $Fl_{15}$ . Naturlige tilslaget er og innenfor laveste verdi  $Fl_{15}$ . Resultatet viser at tilslaget generelt har god kornform og liten andel med flisige korn. Full prosedyre for gjennomføring finnes i vedlegg C.

	RCA
Flisighetsindeks	6,58
Kategori	Fl15

Tabell 4.2-1: Resirkulerts  $Fl$ -verdi.

#### 4.2.2 Korngradering og finstoffinnhold

I følgende delkapittel presenteres siste gjennomførte siktanalyse. Senest gjennomførte siktanalyse er basert på rett prøvemengde iht. krav for minimumsmengde i NS-EN-933-1, mengde tilslag for gjennomføring vises i vedlegg B. Sikteanalysen presentert i figur 4.2-1 baserer seg på bruk av standardsett pluss sett 1 (STD+1). For korngradering av 8/22 ble siktesats 14mm brukt i tillegg. Dette for å få en mer detaljert kurve.



Figur 4.2-1: Resirkulert tilslags korngradering 0/22 mm.

Figur 4.2-1 viser resirkulert tilslags kornfordeling. Den kombinerte kurven har tatt hensyn til det totale masseforholdet av levert resirkulert tilslag. Fra grovsikting av tilslaget ble masseforholdet til resirkulert tilslag antatt å være 60% fint og 40% grovt. Etter 100kg siktet, var det ca. 60kg fint og 40 kg grovt. Kurven viser en velgradert kornfordelingskurve med antydninger til svak s-kurve i fraksjonen 0/8. Kombinert kurve har økte forekomster innenfor fin og medium grus.

Tabell 2 i NS-EN 12620 angir generelle graderingskrav basert på tilslagstype og størrelse. Det resirkulerte tilslaget er delt opp iht. naturlig gradert 0/8mm og grovt gradert tilslag i størrelsesorden 8/22 mm. De generelle graderingskravene til tilslaget er oppgitt i tabell 4.2-2.

RCA i størrelsesorden 0/8 oppfyller de generelle kravene foruten om passering i siktesats D, med en verdi på 99,97%. Generelle graderingskrav tilsier verdier mellom 90% til 99% for naturlig gradert 0/8. Grovt gradert tilslag oppfyller også de generelle graderingskravene foruten passering ved siktesats D. Verdien til grovt er utenfor kravet med 99,10%.

tilslag	Størrelse [mm]	Plassering i masseprosent					Kategori G
		2 D	1,4 D	D	d	d/2	
Krav Naturlig gradert 0/8	D=8 og d=0	100	98 til 100	90 til 99	-	-	GNG90
RCA 0/8	D=8 og d=0	100	100	99,97	-	-	GNG90
Grovt	D/d > 2 og D >11,2	100	98 til 100	90 til 99	0 til 15	0 til 5	Gc90/15
RCA 8/22	D/d = 2,75 og D =22	100	100	99,10	2,22	0,84	Gc90/15

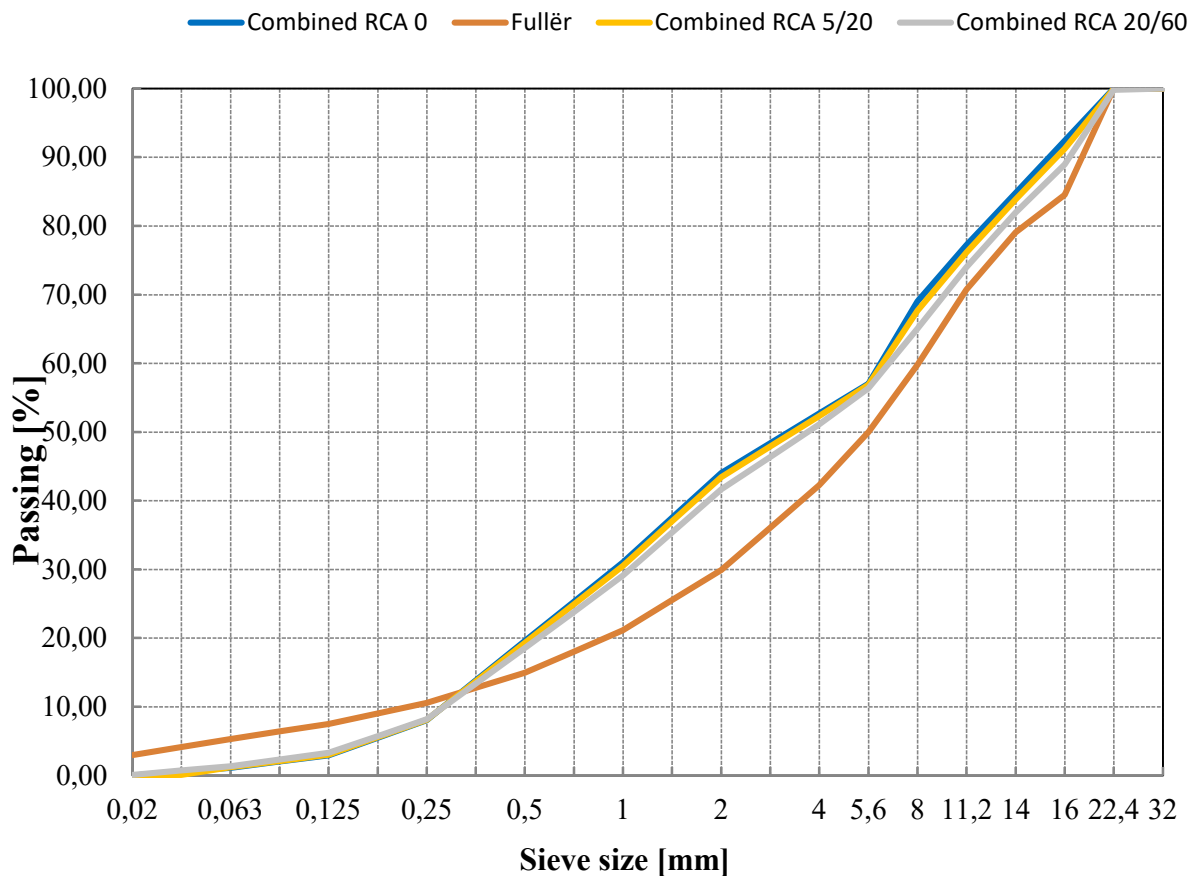
Tabell 4.2-2: Resirkulert tilslags deklarererte kategori iht. NS-EN 12620

Finstoffinnholdet til RCA 0-8 er 2,95%. Dette er høyere enn naturlig fint tilslag med 1,8%. Begge tilslagene er dog deklarerert under lavest verdi iht. tabell 11 i NS-EN 12620. Tilslagets kategori er vist i tabell 4.2-3. For grovt tilslag inneholder RCA 0,73% finstoff. Nøyaktig prosent for NA er ikke oppgitt, men fra informasjon vist i vedlegg A er det naturlig deklarerert i kategori f<sub>1,5</sub>. Iht. tabell 11 i NS-EN 12620 vil også RCA havne i denne kategorien.

Finstoffinnhold	Verdi	Kategori
RCA 0/8	2,95	f <sub>3</sub>
NA 0/8	1,8	f <sub>3</sub>
RCA 8/22	0,72	f <sub>1,5</sub>
NA 8/22	-	f <sub>1,5</sub>

Tabell 4.2-3: Finstoffinnhold tilslag og tilhørende kategori.

For å få en oversikt over kornfordelingen i de forskjellige blandingene, er forholdet mellom kornfordelingen i reseptene presentert i figur 4.2-2. Det legges vekt på at kurve for naturlig tilslag er produsert etter informasjon tilgjengelig fra produsent. Egentlige kurve er ikke representert, kun omtrentlige verdier. For verdier oppgitt for naturlig tilslag se vedlegg A, tegnet kurve til naturlig tilslag er vedlagt i vedlegg B.



Figur 4.2-2: Kornfordelingskurvene for reseptene.

Samtlige kornfordelingskurver er velgradert. Mengden finstoff øker noe med økende mengder resirkulert materiale. Iht. ideelle siktekurve (füllerkurve) for kornstørrelse 22,4 mm er kornfordelingen i blandingene noe mer rettlinjert, med mindre mengder silt og sand opp til størrelsesorden 0,25 mm, samt økt forekomst av sand og grus.

## 4.3 Mekaniske egenskaper

### 4.3.1 Densitet og vannabsorpsjon

Korndensiteten ble både bestemt i overflatetørr og ovnstørket tilstand. Vannabsorpsjon for fint tilslag ble gjennomført to ganger. Det var stor variasjon i vannabsorpsjon fra 4,9% opp til 10,65% vannabsorpsjon. Presentert under i tabell 4.3-1 er verdier brukt i reseptene. I vedlegg E er begge gjennomføringer presentert. Korndensiteten ble bestemt for overflatetørr tilstand og ovnstørket tilstand. Naturlig tilslag var all informasjon tilgjengelig fra leverandør og kan sees i vedlegg A. Iht. definisjoner i NS-EN 206 og bestemt etter NS-EN 1097-6, klassifiseres tilslaget som normalt tilslag hvis tilslaget har ovnstørket densitet mellom 2000 og 3000 kg/m<sup>3</sup>.

	Dato	Densitet [Mg/m <sup>3</sup> ]				Vannabsorpsjon [%]	
		Overflatetørr		Ovnstørr		0 - 8	8 - 22
		0-8	8 - 22	0-8	8 - 22		
RCA	29.jan	2,30	2,59	2,22	2,47	4,95	4,5
Naturlig	29.jan	2,70	2,77	2,69	2,75	0,4	0,5

Tabell 4.3-1: Korndensitet og vannabsorpsjon til tilslagene.

Det legges videre vekt på at det effektive vanninnholdet i den ferske betongen kan ha uforutsette variasjoner pga. mulig unøyaktige verdi av vann som er absorbert av tilslaget. Spesielt i blanding RCA 20/60.

Korndensitet og vannabsorpsjon ble gjennomført i samsvar med NS-EN 1067-6 og prosedyre 122, 123 og 129 i Håndbok R210.

### 4.3.2 Los Angeles verdi

Deklarert verdi for Los-Angeles er vist i tabell 4.3-2. LA-verdi tilsier at tilslaget har tilfredsstillende motstand mot knusing og gir en indikasjon på at tilslaget har brukbare mekaniske verdier.

	RCA
LA-verdi	30,5
Kategori	35

Tabell 4.3-2: LA-verdi resirkulert tilslag.

## 4.4 Fersk betong

Fra fulgt resept var det krav om synkklasser S4 med synkmål 200mm og luftinnhold 2%. Det var ingen spesifikke krav til utbedringsmål av synkmålet, samtlige verdier ble akseptert. Samtlige resepters verdier i fersk tilstand er presentert i delkapitlene under. Ved blandinger hvor luftinnhold var over 2%, ble utstøp av resept gjennomført igjen med luftdempende tilsetningsstoff. Betongblandningene ble støpt flere ganger for å kontrollere reproduserbarheten.

### 4.4.1 Synkmål densitet og luftinnhold

Alle blandinger ble målt og gjennomført etter NS-EN 12350:2019-1, -2, -6 og -7. Oppnådde resultater for synkmål, densitet til fersk betong, konsistens og luftinnhold er presentert i tabell 4.4-1. Samtlige resultater er innenfor krav iht. synkklasser S4 og synkmål 200mm. Fra avformingen av prøvelegemene, viste alle prøvelegemene god form foruten om tre prøvelegemer. Prøvelegemene som led av dårlig utstøpning, er avbildet i vedlegg G.

Resept	masse- forhold	SP-stoff	Demper	Synk	Synkklasse	Luft	Densitet fersk
		%	kg/m <sup>3</sup>	mm	Kategori	%	kg/m <sup>3</sup>
1 RCA 0	0,45	0,56	0,00	220	S4	2	2430
2 RCA 0	0,44	0,45	0,00	200	S4	1,7	-
3 RCA 0	0,46	0,55	0,00	230	S4	1,6	2470
4 RCA 5/20	0,45	0,50	0,00	200	S4	1,7	2450
5 RCA 5/20	0,48	0,55	0,00	210	S4	2	2440
6 RCA 20/60 1	0,48	0,79	0,00	200	S4	3,8	2370
7 RCA 20/60 2	0,50	0,52	0,98	190	S4	2,4	2390
8 RCA 20/60 3	0,45	0,55	1,50	230	S4	1,6	2470

Tabell 4.4-1: Synkmål, densitet og luftinnhold i fersk tilstand.



Variasjon i masseforhold og SP-stoff i blandingene viser tydelig stor forskjellig i tilslaget vannbehov. Blandingene for RCA 20/60 viser tydelig et økt vannbehov i forhold til det som er oppsatt i resept. Verken blanding RCA 20/60 1 eller RCA 20/60 2 fikk akseptabelt synkmål etter første forsøk. Disse blandingene ble tilsatt mer vann og/eller SP-stoff for å forbedre flyten. Blanding 6 inneholder nesten 50% mer SP-stoff enn hva er oppsatt i resept, samt et litt høyere vanninnhold. Blanding RCA 20/60 2 ble vanninnholdet økt for å unngå samme feil. Blanding RCA 20/60 3 ble det resirkulerte tilslaget forvannet for å unngå utveksling av vann til tilslaget. Dette forklarer hvorfor synkmål er 220 mm med masseforhold 0,45.

Å vite behovet for luftdempende tilsetningsstoff, for å oppnå maks 2% luftinnhold er umulig å forutsi og er i stor grad avhengig av type sand og mengde (Pedersen, 2019). Blanding RCA 20/60 viste at det resirkulerte tilslaget kornform og porøsitet øker mengden med luft i betongen.

## **4.5 Herdet betong**

For å kontrollere reproduserbarheten og blandings trykkfasthet/E-modul, ble blanding RCA 20/60 reproduisert tre ganger. Verdiene for blandingene individuelt er presentert i vedlegg I og J for trykkfasthet. For E-modul er blandingenes individuelle verdier presentert i Vedlegg K-N. I avsnittene under er gjennomsnittsverdier for samtlige blandinger presentert.

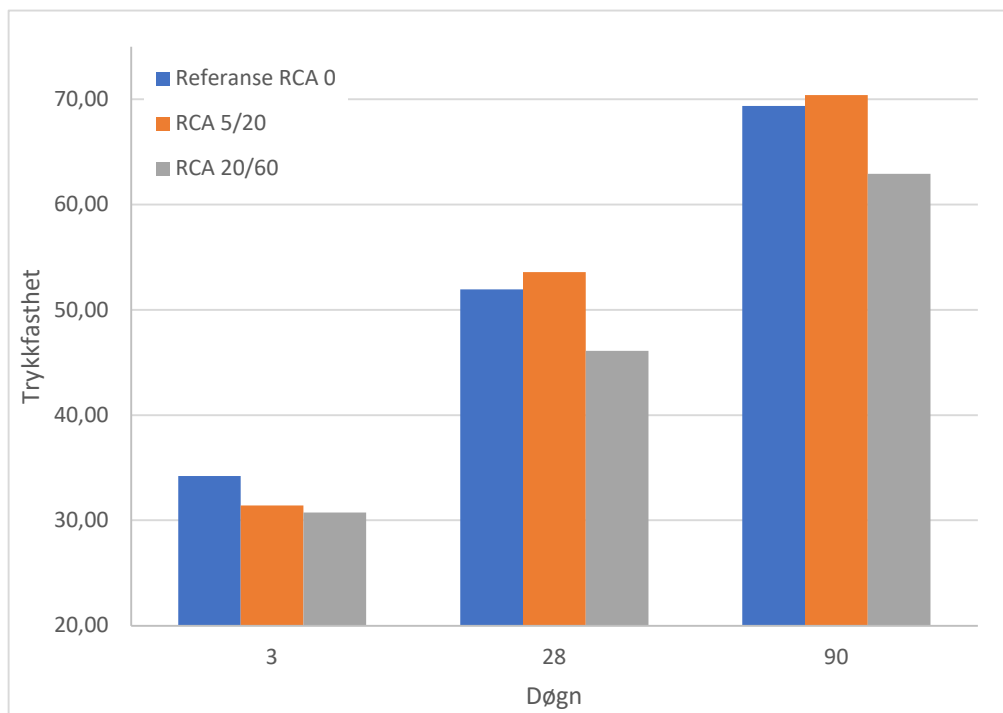
### **4.5.1 Trykkfasthet**

Betongens trykkfasthet ble gjennomført iht. NS-EN 12390-3:2015 og prosedyre 421 beskrevet i Håndbok R210. Trykkfastheten ble bestemt med terninger på størrelse 100x100x100 mm. Tabell 4.5-1 viser gjennomsnittlige verdier fra prøvelegemene etter 3, 28 og 90 dager. Tabellen viser også styrkeforholdet i prosent opp mot referanseblandingen. Resultatene er også grafisk fremstilt i figur 4.5-1. Samtlige resultater er vedlagt i vedlegg J. RCA 5/20 har lavere tidligfasthet, men bedre fasthet enn referanseblandingen gjennom det resterende herdeforløpet. RCA 20/60 prester ca. 10% dårligere enn referanseblanding.



Betongtype	Dag 3		Dag 28		Dag 90	
	Trykkfasthet Mpa	% mot referanse	Trykkfasthet Mpa	% mot referanse	Trykkfasthet Mpa	% mot referanse
RCA 0	34,22	0,00	51,94	0,00	69,37	0,00
RCA 5/20	31,42	-8,19	53,57	+3,14	70,38	+1,45
RCA 20/60	30,76	-10,12	46,11	-11,23	62,90	-10,63

Tabell 4.5-1: Trykkfasthet for blandingene.



Figur 4.5-1: Grafisk fremstilling av trykkfasthet.

Betongens densitet ble også beregnet. Densiteten til alle prøvene ligger mellom grenseverdiene til normalbetong på 2000 kg/m<sup>3</sup> og 2600 kg/m<sup>3</sup>. Resultatene er presentert i tabell 4.5-2.

Betongtype	Densitet kg/m <sup>3</sup>		
	Dag 3	Dag 28	Dag 90
RCA 0	2450	2470	2480
RCA 5/20	2420	2430	2430
RCA 20/60	2340	2370	2350

Tabell 4.5-2: Densitet etter 3, 28 og 90 dager.

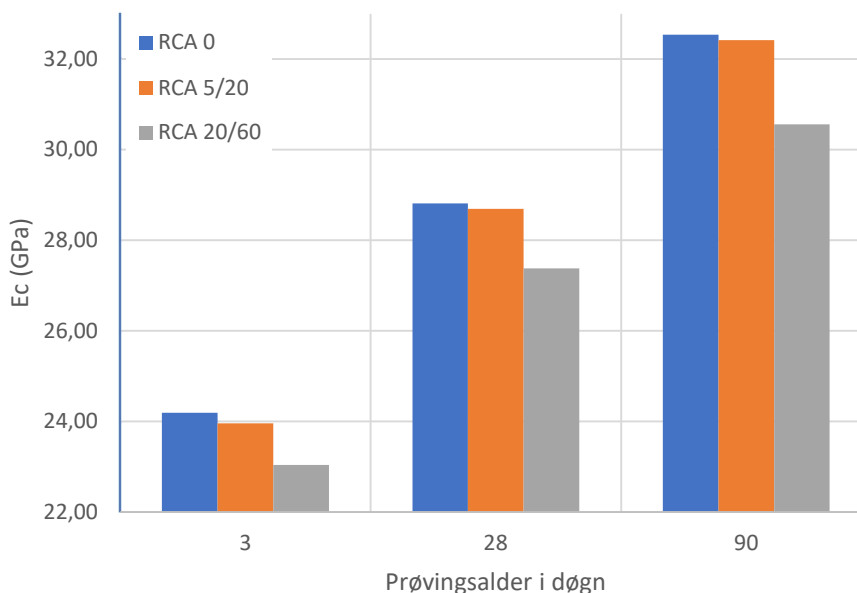
## 4.5.2 Elastisitetsmodul

Betongens Elastisitetsmodul ble gjennomført iht. prosedyre 423 i Håndbok R210, samt standard BS-EN 12390-13: *Testing hardened concrete Part 13: Determination of secant modulus of elasticity in compression*. Resultatene er presenter i tabell 4.5-3 og grafisk i figur 4.5-2. Sammenhengen mellom trykkfasthet og oppnådd E-modul er presentert i figur 4.5-3 og 4.5-4. Samtlige verdier er presentert i vedlegg K-N.

Betongtype	Dag 3		Dag 28		Dag 90	
	E-mod Ec Gpa	% til referanse	E-mod Ec Gpa	% til referanse	E-mod Ec GPa	% til referanse
RCA 0	24,19	0,00	28,81	0,00	32,53	0,00
RCA 5/20	23,96	-0,96	28,69	-0,42	32,41	-0,38
RCA 20/60	23,04	-4,76	27,38	-4,97	30,56	-6,08

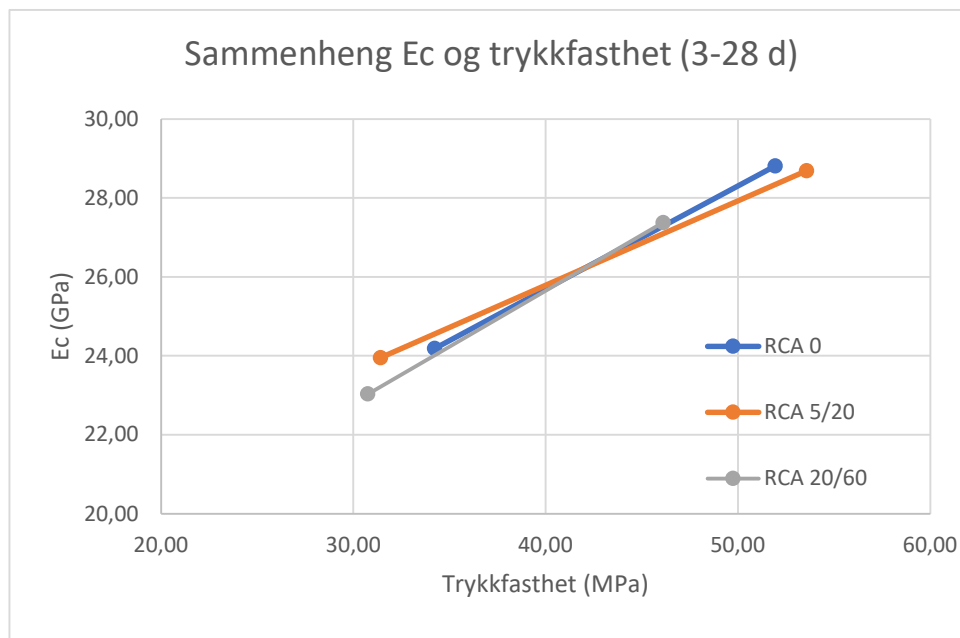
Tabell 4.5-3: Betongens Ec etter 3, 28 og 90 dager.

Referanseblanding har høyest verdi gjennom herdeforløpet. Blanding RCA 5/20 presterer opp mot likt med referanseblanding. RCA 20/60 har rundt 5% svakere e-modul gjennom herdeforløpet.

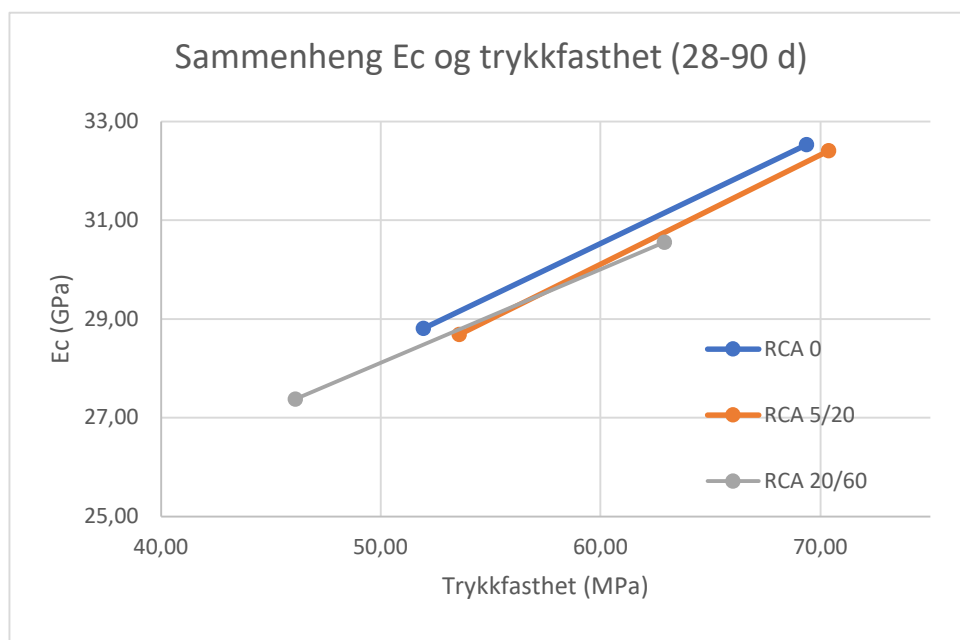


Figur 4.5-2: Grafisk fremstilling av Ec.

Figur 4.5-3 viser forholdet mellom oppnådd E-modul og trykkfasthet etter henholdsvis 3 og 28 dager. Figur 4.5-4 viser sammenhengen  $E_c$  og trykkfasthet henholdsvis 28 og 90 dager. Figurene viser en jevnt over lik økning i  $E_c$  og trykkfasthet.



Figur 4.5-3: Sammenheng mellom  $E_c$  og trykkfasthet 3-28 dager.



Figur 4.5-4: Sammenheng mellom  $E_c$  og trykkfasthet 28-90 dager.

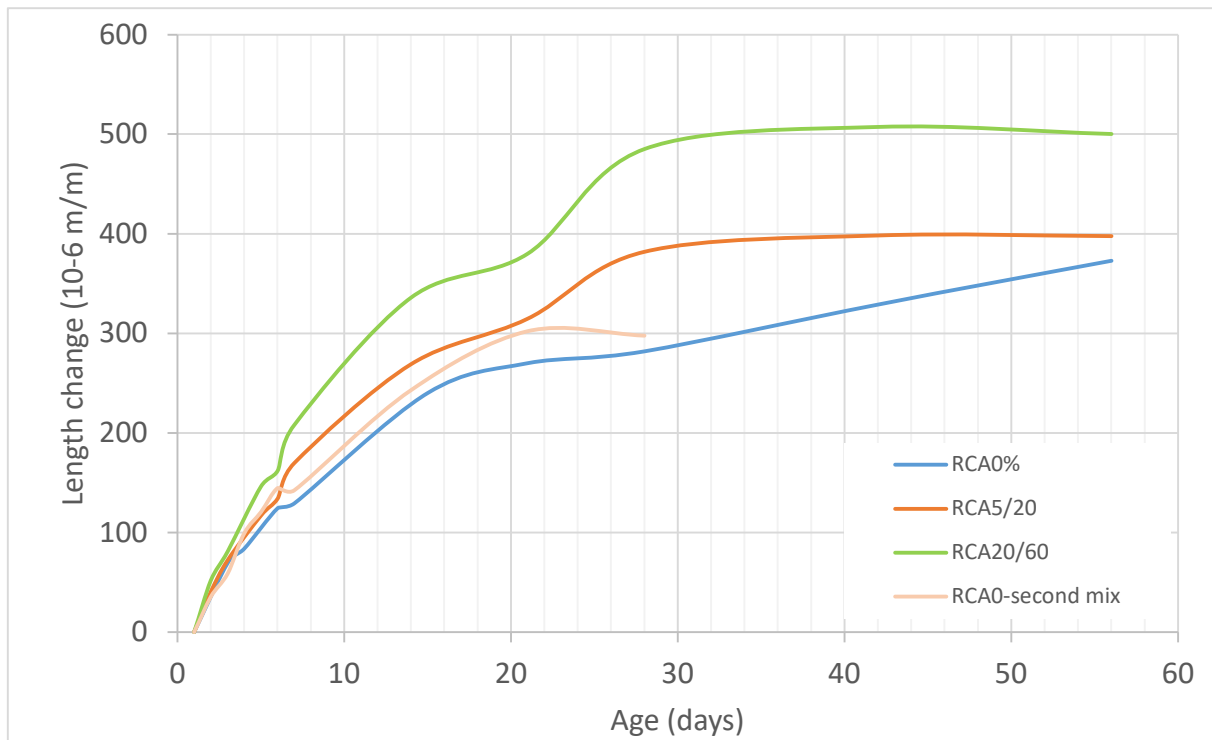
### 4.5.3 Uttørkingssvinn

Betongens uttørkingssvinn ble gjennomført iht. Guideline EN 12390-16 *Shrinkage*. Tabell 4.5-4 viser gjennomsnittlig svinn fra de tre prøvelegemene etter 1, 7, 28 og 56 dager. I tillegg vises gjennomsnittlige vekttapet i % etter 1, 7, 28 og 56 dager. Fullstendig oversikt med individuelle verdier, samt densitet finnes i vedlegg O. Resultatene er også fremstilt grafisk i figur 4.5-6 og 4.5-7. Figur 4.5-6 viser lengdeforandringen i  $10^{-6}$  m/m. Figur 4.5-7 viser vekttapet grafisk. Alle prøvelegemene ble holdt i herderom med 60% RF. RCA 0-2 ble gjennomført for å kontrollere svinnet de første 28 dagene.

	g	kg/m <sup>3</sup>	Dag 1		Dag 7		Dag 28		Dag 56	
Navn	Start vekt	Densitet	vekt %	$\Delta l 10^{-6}$ m/m	vekt %	$\Delta l 10^{-6}$ m/m	vekt %	$\Delta l 10^{-6}$ m/m	vekt %	$\Delta l 10^{-6}$ m/m
RCA0%	12323,4	2444	100	0	99,04	129,35	98,65	282,16	98,62	373,13
RCA5/20	12376,5	2440	100	0	98,83	169,74	98,39	382,10	98,29	397,72
RCA20/60	12125,5	2365	100	0	98,65	208,19	98,00	485,32	97,85	500,24
RCA0-2	12418,6	2468	100	0	98,60	142,57	98,31	297,90		

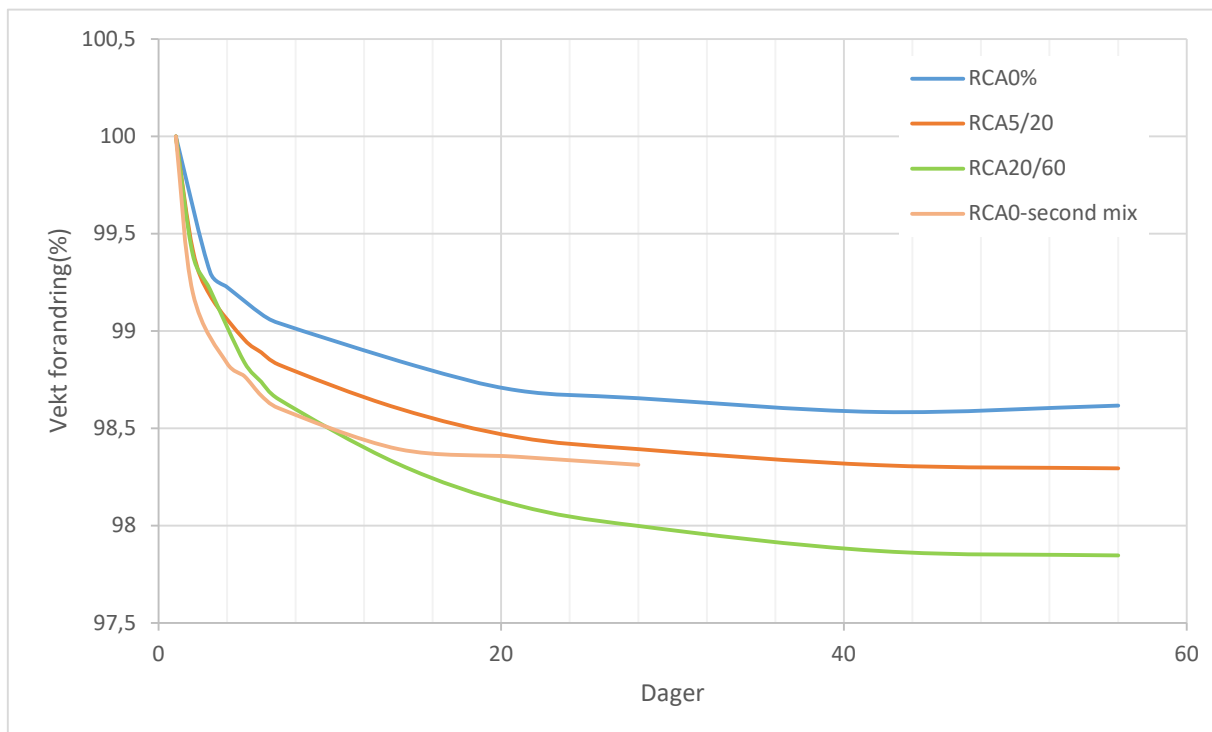
Tabell 4.5-4: Uttørkingssvinn og vekttap gjennom herdeforløpet.

Resultatene i figur 4.5-6 viser at samtlige blandinger har likt svinn de første dagene. Etter en uke kommer forskjellene i lengdeforandring godt frem. Referanseblandingen har tydelig lavere lengdeforandring, mens RCA 20/60 øker betraktelig. For referanseblandingen slakker lengdeforandringen tydelig av etter ca. 20 dager. For RCA 5/20 og RCA 20/60 slakker lengdeforandringen etter rundt 28 dager og holder seg stabil gjennom resten av herdeforløpet. Hvorfor referanseblandingen har en økning etter 30 dager og ikke holder seg stabil kan være av naturlige årsaker, eller mulig brukerfeil under gjennomføring. Dog er verdien fortsatt lavere enn blandingsene med resirkulert innhold.



Figur 4.5-6: Lengdeforandring for betongene gjennom herdeforløpet

Endringen i vekt samspiller med lengdeforandringen. Referanseblandingen har minst tap av vekt og RCA 20/60 har et markant større vekttap.



Figur 4.5-5: Vektforandringen gjennom herdeforløpet..

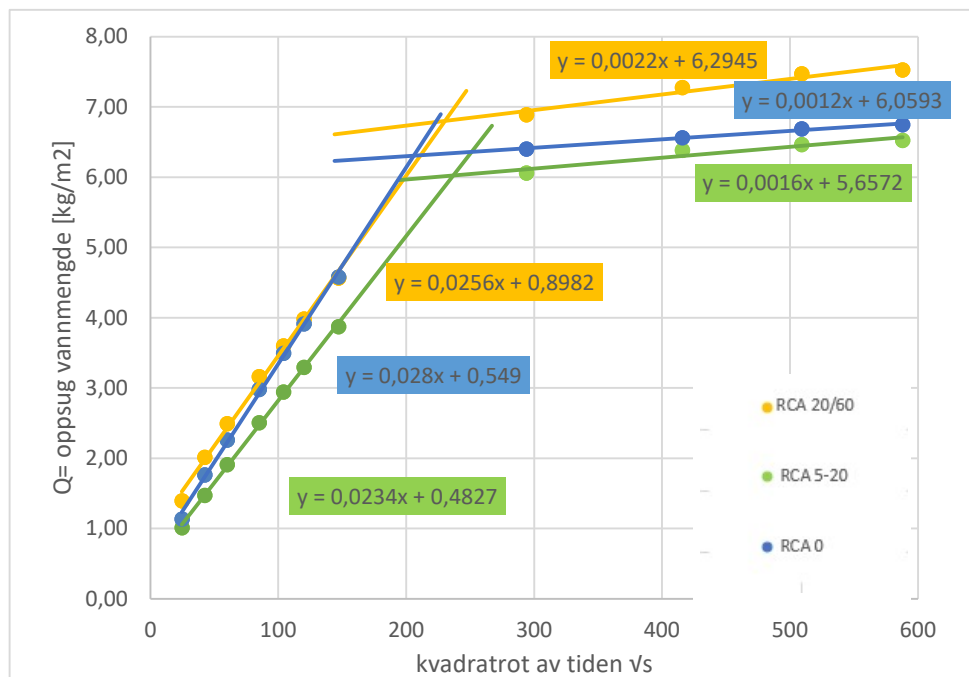
#### 4.5.4 Kapillærabsorpsjon

Kapillær sugehastighet og sugporøsitet ble gjennomført iht. prosedyre 426 i Håndbok R210. Prøvelegemer benyttet til forsøket er ung betong. Prøvelegemene ble satt i varmeskap en dag etter utstøp. Fullstendig gjennomføring finnes i vedlegg P. Et avvik fra oppsatt prosedyre er høyden til prøvelegemene. I prosedyre 426 skal høyden til prøvelegemene være  $20\text{mm} \pm 1\text{mm}$ . For gjennomføring er prøvelegemene  $50\text{mm} \pm 2\text{mm}$ . Fra tabell 4.5-5 er middelverdien fra hver betongtype presentert. Middelverdien kommer fra et prøvesett på 8 prøvelegemer pr blanding.

Betongtype	Sugporøsitet	kapillaritetstall [k]	Motstandstall [m]
	%	$\text{kg}/\text{m}^2\text{vs}$	$\text{s}/\text{m}^2$
RCA 0	$14,64 \pm 2,5\%$	0,0306	$1,96\text{E}+07$
RCA 5/20	$14,05 \pm 2,0\%$	0,0254	$2,60\text{E}+07$
RCA 20/60	$16,49 \pm 1,0\%$	0,0295	$2,45\text{E}+07$

Tabell 4.5-5: Sugporøsitet, kapillaritetstall og motstandstall til betongene.

Fra figur 4.5-7 er det tydelig at blanding RCA 5/20 har lavest permeabilitet. Vannoppsuget kapillært i den tidlige fasen foregår vesentlig tregere. Blandingen har lavest totale vannsug pr overflateenhet. RCA 5/20 har dog en del raskere vannoppsug enn referanseblandingen etter oppfyllingen av kapillærporene. Blanding RCA 20/60 og referanseblandingen har noenlunde lik absorpsjonshastighet i kapillær fase. RCA 20/60 har litt lavere absorpsjonshastighet, men vesentlig høyere mengder med kapillærporer. Derav den økte sugporøsiteten.



Figur 4.5-7: Grafisk fremstilling av kapillær absorpsjon.

## 4.6 Sammendrag resultater

Samtlige resultater fra testing av både tilslag og betong er presentert i tabell 4.6-1 og 4.6-2. Ved gjennomføring av flere tester, er verdier fra siste gjennomføring presentert. For samtlige gjennomføringer og verdier se vedleggene.

	Naturlig tilslag 0/8 Raabakkan		Resirkulert tilslag RCA 0/8	
	Naturlig tilslag 8/22 Austvika		Resirkulert tilslag RCA 8/22	
	Resultat	Kategori	Resultat	Kategori
Flisighet	-	Fl15	6,58	Fl15
Korngradering	-	G <sub>NG</sub> 90	-	G <sub>NG</sub> 90
		G <sub>c</sub> 90/15		G <sub>c</sub> 90/15
Finstoffinnhold	1,8	f <sub>3</sub>	2,95	f <sub>3</sub>
	-	f <sub>1,5</sub>	0,72	f <sub>1,5</sub>
Densitet overflatetørr	2,70 Mg/m <sup>3</sup>	Normaltilslag	2,30 Mg/m <sup>3</sup>	Normaltilslag
	2,77 Mg/m <sup>3</sup>		2,59 Mg/m <sup>3</sup>	
LA-verdi	-	LA25	-	-
	-	LA30 LA35	30,5	LA35

Tabell 4.6-1: Sammendrag av resultater for tilslagene.

	1 Ref. bl.	2 RCA 5/20	3 RCA 20/60	4 Ref. bl.	5 RCA 5/20	6 RCA 20/60 2	7 RCA 20/60 3	8 Ref. bl.
Synkmål [mm]	220	200	200	200	210	185	230	225
Luftinnhold [%]	2	1,7	3,8	1,7	2	2,4	1,6	1,6
densitet fersk [kg/m <sup>3</sup> ]	2430	2450	2370	vekt ødelagt	2440	2390	2410	2470
Trykkfasthet [Mpa] 28d.	51,90	53,60	47,70	-	-	47,70	42,90	-
E-modul [Gpa] 28d.	28,80	28,70	27,10	-	-	-	27,60	-
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ] 28d.	2470	2430	2370	2410	2400	2350	2360	2320
Svinn 56 døgn [10 <sup>-6</sup> ]	-	-	-	373,13	397,72	500,24	-	-
Sugporøsitet [%]	14,64	14,05	16,49	-	-	-	-	-
Kapillartall k	0,0306	0,0254	0,0295	-	-	-	-	-
Motstandstill m [E+07]	1,96	2,60	2,45	-	-	-	-	-

Tabell 4.6-2: Sammendrag av resultatene for betongblandingene.





## 5 Diskusjon

### 5.1 Tilslagets geometriske og fysiske egenskaper

For kornform er kravet til flisighet iht. NS-EN 206 under 35 for naturlig tilslag. Tabell E3 i tillegg E i NS-EN 206 henviser til anbefalinger om F1 under 50 for grovt resirkulert tilslag. Resirkulerte tilslagets flisighetsindeks på 6,58, viser til små mengder flisige korn og oppfyller kravene for naturlig tilslag og anbefalingene for resirkulert med god margin.

Fra undersøkelsene av kornform og overflate viste det resirkulert tilslaget seg å bestå av noe porøst ansamlet materiale sammen med de kompakte kornene. Det porøse materialet er større ansamlinger av gammel sement og fint tilslag. De kompakte kornene hadde et tettsittende belegg på overflaten. Det er tenkelig at det økte porevolumet til de sementerte ansamlingene, samt belegg utenpå korn har bidratt til den økte vannabsorpsjonen til tilslaget og senke densiteten.

Tilslagets vannabsorpsjon på over 1% tilsier at tilslaget ikke er motstandsdyktig mot fryse-tineangrep uten videre testing. Norsk-Standard har kun krav for frostbestandighet i bestandighetsklassene MF40 og MF45. At tilslaget ikke er frostmotstandig har ingen betydning for bruk innenfor andre bestandighetsklasser.

For videre bruk anbefales det å enten fukte tilslaget før blanding, eller å våtsikte tilslaget før bruk. Slik en kan fjerne mest mulig av belegget og eliminere faktorer for uforutsette egenskaper hos betongen. Det er tenkelig at vannabsorpsjonen vil variere noe ved gjennomføring av flere tester, grunnet variasjon av mengde sementert materiale og belegg.

Kornfordelingskurvene til de forskjellige betongblandningene viser de ulike blandingene har en jevnt over god partikkelfordeling, der samtlige kornstørrelser er representert. Kornfordelingskurvene til blandingene er velgradert. En velgradert og til dels rettlinjert kornfordelingskurve er praktisk siden hulromsprosenten blir lavere, men kan føre til dårligere bearbeidelighet og kan øke luftinnholdet i betongen. Ved tørrsikting gikk ikke belegget av og er heller ikke tatt i betraktning for vannbehovet til blandingen.

Iht. graderingsverdier for resirkulert tilslag, oppfyller tilslaget nesten alle de generelle graderingskravene. For 0/8 er det en passeringsverdi på 99,97 på (D) siktet, dermed utenfor grenseverdiene 90-99%. Men at passeringsprosenten er såpass høy har en naturlig forklaring, siden tilslaget ble grovsiktet først i fordelingen 0/8 og 8/22. Der samtlige korn over 8 er siktet

bort før gjennomføring av sikteanalysen 0/8. For grovt tilslag er passering på 20mm også for høy, med sine 99,10% og er akkurat utenfor grenseverdien for grovt tilslag. Selv om samtlige graderingskrav ikke er oppfylt vil tilslaget bli deklarerert etter kravene. Videre er det forklart i Tabell 2 i NS-EN 12620 at prosentandelen kan være større enn 99% (D), men hvis masseprosenten er over 99% må produsent dokumentere og deklare tilslagets gradering. Da skal siktesatsene (D), (d), (d/2) og resterende standardsikter mellom (D) og (d) brukes pluss sett 1 eller standardsikter pluss sett 2 (Standard Norge, 2008b).

LA verdien til resirkulert ble basert på prøving av tilslag i standardfraksjonen 10/14 iht. testmetoden. Fra tillegg E i NS-EN 12620 er det krav til LA<sub>30</sub> for dekker utsatt for slagspenning. Tilslagets LA verdi på 30,5 overskrider dette kravet. Selv om LA-verdien tilsier dårlig egnet bruk i betongdekker, er det ingen hinder for bruk til fundament, i vegger og lignende. For å sammenligne med det naturlige tilslaget brukt, har det resirkulerte tilslaget tilnærmet lik LA-verdi. LA verdi for tilslag 0-8 ble ikke sjekket, men av mindre størrelse er det ikke krav til LA-verdi iht. gjeldende standard. Dessuten er det bevist fra tidligere gjennomførte undersøkelser, at fint tilslags LA-verdi har liten betydning for betongens styrke (Pedersen, 2019).

## 5.2 Fersk betong

Samtlige referanseblandinger var enkle å støpe ut, og det viste seg mulig å gå ned på mengden SP-stoff og fortsatt beholde kravene for synkmål. Luftinnholdet var også akseptabelt for alle referanseblandinger uten videre tiltak. Blandingene for RCA 5/20 viste seg også å være enkel å blande og støpe ut, selv om oppsatt vannabsorpsjonsverdi for resirkulert mulig er feil. For blandingene RCA 5/20 kan tilslagets økte finstoffandel og vannabsorpsjon ha ført til en mer kompakt betong enn masseforholdet tilsier. Her er det tenkelig at masseforholdet er noe redusert grunnet økt oppsug fra tilslaget.

Fra resept viste det seg utfordrende å få synkmål og luftinnhold rett for blandingene RCA 20/60. Blandingene med høyt resirkulert innhold viste seg å ha et betydelig større vannbehov enn det var tatt hensyn til i resepten. Ved første gjennomføring av blanding RCA 20/60 måtte mengden SP-stoff økes med 50% for å få rett synkmål. Resirkulert tilslags luftinnførende egenskaper kom tydelig frem etter første blanding. Ved første forsøk var ikke luftinnholdet akseptabelt og førte til behov for ny gjennomføring med luftdempende tilsetningsstoff. Mengden med luftdempende tilsetningsstoff varierte og indikerer ulikt behov for blandingene. Gjennomføring

nummer to av RCA 20/60 ble masseforholdet økt til 0,5, mens for blanding nummer tre av RCA 20/60 ble tilslaget forvannet for å oppnå rette resultater i fersk tilstand. Blanding RCA 20/60 nummer tre ble ikke tilslagets forvanning tatt hensyn til i resept, dette er grunnen til at blanding hadde 220 mm i synk med 0,45 i masseforhold. Det legges vekt på at blandingene RCA 20/60 har variasjon i mengder SP-stoff og vanninnhold for å få akseptabel støpelighet. Dette tyder til varierte mengder med finstoff i blandingene. Den økte mengden med finstoff og belegget på kornene ses på som årsaken til hvorfor støpelighet ble redusert i et raskere tempo for blandingene RCA 20/60. For herdet betongs egenskaper er det bedre å øke mengden SP-stoff enn vannmengden. Med å øke mengden SP-stoff vil ikke betongen få en større andel kapillære porer og derav reduserte mekaniske egenskaper.

### 5.3 Herdet betong

Samtlige betongers densitet i herdet tilstand er foreliggende mellom kravene til grenseverdi for normalbetong. Densiteten blir noe lavere med økt innhold av resirkulert tilslag. Noe som er naturlig med tanke på den økte porøsiteten og at resirkulert tilslag består av ansamlinger av sementert materiale. Sement innehar lavere densitet enn sand, grus og pukk.

Trykkfasthetsmålingene av herdet betong viser at samtlige blandinger oppfyller kravene for en B30 betong. Kravet for betongklassen B30 er karakteristisk terningfasthet på 37 MPa og middelvei over 42 MPa. Samtlige gjennomføringer er innenfor gjeldende krav for dimensjonert betongklasse. Blanding RCA 5/20 presterer jevnt over likt med referanseblandingen, selv med en dårligere tidligfasthet etter 3 dager. Blanding RCA 5/20 kan ha fått en høyere trykkfasthet grunnet redusert vanninnhold i betongen + bedre heft fra naturlig tilslags kornform og overflate.

Av blandingene med høyt resirkulert innhold var det blanding RCA 20/60 nummer en, med høyest luftinnhold (3,8%), som presterte best. Blandingene individuelt er presentert i vedlegg H. Dette går imot teorien om at 1% luft vil føre til 5% dårligere trykkfasthet. Men det legges vekt på at testingen bare er gjennomført på tre prøvelegemer og vil muligens utjevne seg med flere prøvelegemer. Av mulige årsaker kan det økte masseforholdet i blanding nummer to av RCA 20/60 (v/b-tall 0,5) ha redusert trykkfastheten noe, grunnet økt porøsitet og lavere mengder faststoff. RCA 20/60 nummer tre presterer dog mye dårligere enn de andre blandingene. Mulig årsak til den reduserte fastheten er tilslagets forvanning. Det økte

fukttinnhold ble ikke tatt i betraktning ved utregning av resept. Ved å tilsette tilslaget fukt før blanding, vil tilslaget ikke ta opp like mye vann fra betongen. Deretter den reduserte fastheten. Det økte masseforholdet i de senere blandingene, kan være en årsak til at blandingen med høyest luftinnhold presterte best. RCA 20/60 har en samlet middelvei på 46,10 MPa etter 28 dager. Selv om RCA 20/60 er 10% svakere enn RCA 0, er den fortsatt over kravene for B30.

Middelveidene for trykkfasthet viser at det er mulig å gå ned på mengden sement i reseptene og fortsatt få en sterk betong. Betongen vil da bli billigere å produsere, samt gi et lavere CO<sub>2</sub>-avtrykk. Uansett om variabelt masseforholdet for noen av blandingene, er det påvist gjennom arbeidet at innhold av svake korn og belegg på korn vil påvirke fastheten. Ved større andel «svake» korn, slik som i blandingen RCA 20/60, vil heftsonen mellom tilslag og sementpasta være redusert.

Betongblandingenens E-modul har jevnt over lik stigning for alle blandingene gjennom herdeforløpet, der referanseblanding og RCA 5/20 har nærmest like verdier. RCA 20/60 har ca. 5% svakere resultater. Den like lineære økningen for alle blandingene kan ses i sammenheng med at tilslagene brukt har samme stivhet og samme mengde med sementpasta. For betongblandinger av lavere fasthetsklasser er sementen den avgjørende faktoren for E-modul. Sementens stivhet er mye lavere enn tilslaget og vil være det svake leddet under elastisk deformasjon. Ved samme stivhet av tilslag og sementpasta vil den duktile oppførselen i betongene være lik, der tilslaget evne til å ta til seg og omfordele spenningene fra sementpastaen vil være likt. Fra tidligere utførte undersøkelser er det funnet en god korrelasjon av tilslagets LA-verdi og oppnådd e-modul. Noe den lineære økningen fra resultatene støtter.

Uttørkingssvinn den første uken er av stor forskjell fra RCA 0, RCA 5/20 og RCA 20/60. Etter syv dager har RCA 5/20 20% større svinn og RCA 20/60 60% større svinn. Svinngradienten jevner seg mer ut gjennom herdeforløpet og etter 56 dager har RCA 0 og RCA 5/20 tilsvarende likt svinn på  $400 \cdot 10^{-6}$  m/m. Blanding RCA 20/60 har 20% høyere svinn med  $500 \cdot 10^{-6}$  m/m. Det økte svinn til blanding RCA 20/60 kan ses i sammenheng med resirkulert tilslags økte vannbehov, belegget på kornene og økte mengder med kapillære porer. Grunnet økt andel kapillære porer har de kapillære kreftene internt i betongen skapt et høyere trykk, som igjen har ført til større kontraksjon av betongen. Selv med en økning på 20% for blanding RCA 20/60, er alle betongblandingenens uttørkingssvinn gjennom herdeforløpet innenfor normalen på 0,3% - 1% tilsvarende  $300-1000 \cdot 10^{-6}$  m/m. Alle blandingene opprettholder også kravet iht. NS-EN 12620 Del 5.7.2: Volumstabilitet – uttørkingssvinn på  $750 \cdot 10^{-6}$  m/m (Standard Norge,

2008b). Hvor mye svinn blandningene har fått i plastisk fase er ikke undersøkt. Hva maksverdien til uttørkingssvinn kan være må avklares med produsent og ses i sammenheng med bruksområde.

Ser en kun på mengden finstoff og masseforhold ville en forventet RCA 20/60 ville ha lavest sugporøsitet, kapillartall og motstandstall grunnet lavest hulromsprosent og størst mengde med vannabsorberende tilslag. Fra gjennomføring av kapillærabsorpsjon viser derimot RCA 5/20 å prestere bedre enn referanseblandingen og blanding RCA 20/60 dårligst. RCA 20/60 hadde likt absorpsjonshastighet med referanseblandingen i den innledende fasen, men hadde mer kapillære porer, derav den økte sugporøsiteten. RCA 5/20 kan ha prestert best grunnet økt andel finstoff fra resirkulerte tilslaget + naturlig tilslags bedre kornoverflate og form. Ved økt andel finstoff vil finstoffet hjelpe sementen å fylle hulrommene mellom tilslagskornene. Denne effekten kan ha bidratt til en tettere betong med god heft i bindingssonen sementpasta-tilslag, grunnet naturlig tilslags bedre kornform og overflate. Begge blandningene med resirkulert tilslag har tregere kapillaritetstall enn referanseblandingen og viser at vannsuget foregår tregere. Dette har en sammenheng med det økte vannabsorpsjonen til tilslaget, der tilslaget tar til seg vann fra kapillærporene. RCA 20/60 økte mengder med kapillærporer kan ses i sammenheng med at resirkulert tilslag innehar kapillære porer fra tidligere betongarbeider, som bidrar til økt permeabilitet. Økte andelen kapillære porer kan også ses i sammenheng med dårligere heft mellom tilslaget og sementpasta. RCA 20/60 har og en økende andel luft/makroporer. Dette har en sammenheng med blandings økte luftinnhold på 3,8% og kan ikke relateres direkte til tilslaget.

Den høye sugporøsiteten til samtlige blandinger, må ses i sammenheng med at det er ung betong som er testet. Sugporøsiteten til betongen vil bli lavere over tid, siden hydrasjonsprosessen til betong tar tid. Ved å benytte unge prøvelegemer er det små mengder med hydrasjonsprodukter i betongen. Grunnet metodevalg å utsette fersk betong for 105°C i tidlig alder, kan prøvelegemene brukt fått innvendige riss og ført til tilfeldige mengder og/eller økt mengder med porer.

## 5.4 Samlet vurdering

For å gi en samlet vurdering av testene utført i laboratorieundersøkelsene, oppfylder resirkulert tilslag kravene iht. geometriske og fysiske krav i NS-EN 12620:2002 + nasjonalt tillegg.

Resirkulert tilslags egenskaper reflekteres godt fra gjennomførte undersøkelser av herdet betong. Der resirkulert tilslag som delvis erstatning i mindre mengder viser gode egenskaper og til dels bedre resultater enn referanseblandingen. Blanding RCA 5/20 støtter videre kravene i Tillegg NA.5.2.3.4 i NS-EN 206 om maks andel resirkulert tilslag, uten behov for videre deklarasjon eller behov for å justere materialegenskapene til betongen.

For blanding RCA 20/60 er det tydelig at økt forekomst av resirkulert tilslag har en negativ effekt på betong, både i fersk og herdet tilstand. Kornform og belegget på korn har en luftinnførende og støpelighetsreducerende effekt på betongen i fersk fase. Dette kan neglisjeres ved bruk av luftdempende tilsetningsstoff og SP-stoff. Til tross for reduksjon i bestandighet fra utførte tester, er blandingen innenfor samtlige krav. Dermed er det ingenting som tilsier at denne blandingen ikke er egnet for industrielt bruk. Det kan dog være nødvendig for blanding RCA 20/60 å justere materialegenskapene til betongen for å samspille egenskapene med oppnådde verdier. Iht. vedlegg NA 5.2.3.4 i NS-EN 206 må egenskaper for betong med høyt resirkulert innhold dokumenteres særskilt med hensyn på vanninntregning, frost eller kloridinntregning, dersom den skal brukes i miljøer utsatt for dette (Standard Norge, 2020a). Selv om samtlige punkter ikke er undersøkt, kan betongen fortsatt brukes i miljøer med krav tilsvarende bestandighetsklassene M90/M60. Det vil si miljøer ikke utsatt for vær og vind, for eksempel innendørs.

## 6 Konklusjon

Resirkulert tilslag fra Nordland Betong er undersøkt for å verifisere dens fysiske og geometriske egenskaper. I tillegg til tilslaget egenskaper, er tilslaget effekt og egenskaper i fersk og herdet betong undersøkt. Fra gjennomførte laboratorieundersøkelser kan følgende konklusjon trekkes:

1. Resirkulerte tilslaget oppfyller samtlige undersøkte geometriske og fysiske krav iht. NS EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016. Resirkulerte tilslaget er klassifisert under type AN.
2. Den høye LA-verdien  $> 30$  gjør ikke tilslaget egnet for bruk i overflater utsatt for slagspenninger.
3. Den høye vannabsorpsjonen gjør tilslaget ikke videre klassifisert i betongklasser som skal være frostsikker. Dette kan dog testes videre for å kunne gi en endelig bestemmelse.
4. Gjennom utførte tester av mekaniske egenskaper oppfyller begge blandingene ulike krav iht. NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2020. Det kan dog være nødvendig for RCA 20/60 å justere materialegenskapene til betongen iht. NA.5.2.3.4 i NS-EN 206 ved bruk av større mengder enn oppgitt i standard.
5. Sementmengden fra anvendt resept er mulig å gå ned på. Fra prøving av trykkfasthet er samtlige gjennomføringer over krav iht. en B30 betong. Ved å redusere sementinnholdet vil CO<sub>2</sub> avtrykket betongblandingen produserer bli lavere og blandingen vil bli billigere å produsere.
6. Fra geometriske egenskaper til tilslaget er det finstoff av eldre sementert materiale og større tilslags tettsittende belegg som er en avgjørende faktor. Grunnet dårligere heft i bindingssonen sement-tilslag og økt vannabsorpsjon. Dette gjenspeiles godt fra testing av kapillær absorpsjon og uttørkingssvinn. Der blandingene med høy andel resirkulert materiale har økende mengder kapillære porer. Det legges vekt på at gjennomførte undersøkelser er på fersk betong og RCA 20/60 har 3,8% luftinnhold.
7. Det resirkulerte tilslaget økende vannbehov, porøsitet og kornform har en luftinnførende effekt på betongen. Dette kan neglisjeres ved bruk av luftdempende tilsetningsstoff.
8. Resirkulert og naturlig tilslag har lik LA-verdi. Derav den like lineære økning av E-modul. I tillegg er sementens fasthet en avgjørende faktor for Ec-verdi. Ved lave betongklasser er sementen det svake leddet.
9. Under gunstige herdeforhold har betong med høy andel resirkulert tilslag en økning på 20% i uttørkingssvinn. Selv med dette tatt i betraktning, er uttørkingssvinnet innenfor

normalen for betong på  $300-1000^{-6}$  m/m. Begge blandingene opprettholder også krav for maks uttørkingssvinn på  $750^{-6}$  m/m iht. avsnitt 5.2.7 i NS-EN 12620.

10. Resirkulert tilslag hadde en positiv effekt på både kapillære sugsevne og mengden kapillære porer i blanding RCA 5/20. Blanding 20/60 var den totale mengden kapillære porer større og sugporøsiteten høyere. Ved økende mengder kapillære porer vil betongen være mer utsatt for inntrenging av farlige væsker og gasser.



## 7 Videre arbeid

- Undersøke resirkulert tilslags kjemiske egenskaper. Det er ikke undersøkt i denne oppgaven om tilslaget inneholder for eksempel salter som kan føre til korrosjon av innstøpte metaller.
- Gjennomføre slemmeanalyse av finstoffet, for å få oversikt over mengden glimmer, som kan ha en negativ effekt på fastheten.
- Gjennomføre samme blandinger på nytt, der tilslaget blir våtsiktet for å fjerne belegget utenpå større tilslag. For å dokumentere om dette har hatt negativ effekt på betongen.
- Gjennomføre betongblandinger med mer resirkulert innhold, spesielt blanding med 100% 8/22 mm. Det er fullt mulig en kan øke mengden større tilslag uten at det går på bekostning av dimensjonert betongklasse. Mengden med fint tilslag stilles det dog litt større usikkerhet rundt, grunnet den økte vannabsorpsjonen.
- Undersøke om det er mulig å gå ned på sementmengden, uten at dette går ut over betongens dimensjonerte betongklasse og dermed redusere CO<sub>2</sub>-avtrykket betongen produserer.
- Siden metoden brukt for testing av kapillærabsorpsjon innebærer å utsette fersk betong for ekstrem varme (105°C), der strukturen kan ha sprukket opp og laget innvendige riss. Anbefales det å gjennomføre samme test på nytt, der betong har herdet under gunstige forhold i minimum 28 dager, før det blir satt i herdeskap 105°C. Eller så anbefales det å putte de ferske prøvelegemene i herdeskap ved 50°C. Ved å utsette prøvelegemene for lavere temperatur, vil en øke sannsynligheten for å unngå innvendig oppsprekking av prøvelegemene.

## Referanseliste

- Arntzen, B. (2018). Grunnleggende Betongteknologi II. *ITE1897-1 18H Rehabilitering av betong- og stålkonstruksjoner, og bygninger*. Tilgjengelig fra:  
[https://uit.instructure.com/courses/5724/files/260704?module\\_item\\_id=79637](https://uit.instructure.com/courses/5724/files/260704?module_item_id=79637) (Hentet 10.07.18)
- Bjøntegaard, Ø. (2009). Teknologirapport nr. 2565 - Volumendringer og risstendens i betong. Fra Vegdirektoratet nettside: [https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/194017/volumendringer\\_og\\_risstendens\\_i\\_betong.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/194017/volumendringer_og_risstendens_i_betong.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Hentet 04.04.20)
- British Standard. (2013). *BS-EN 12390-13: Testing hardened concrete Part 13: Determination of secant modulus of elasticity in compression*.
- EUR-Lex. (2020). EUR-Lex - 52020DC0098 - EN - EUR-Lex. Fra Europa.eu nettside: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN> (Hentet 10.02.21)
- FN Sambandet. (2021, april 29). Ansvarlig forbruk og produksjon. Fra Wwww.fn.no nettside: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon> (Hentet 01.05.21)
- Gjerp, P., Opsahl, M., & Smepllass, S. (2004). *Grunnleggende betongteknologi* (2.utg.). Oslo/Lillestrøm: Byggenæringens Forlag AS.
- Helseth, L. E. (2020, August 16). Kapillaritet – Store norske leksikon. Fra Store norske leksikon nettside: <https://snl.no/kapillaritet> (Hentet 03.03.21)
- Juliebø, E. (2005). *Sentrale begreper og definisjoner innen betongfaget*. Fra Høgskolen i Oslo og Akershus nettside: [https://www.cs.hioa.no/bygglab/Betonglab/diverse/ordl\\_bet04.pdf](https://www.cs.hioa.no/bygglab/Betonglab/diverse/ordl_bet04.pdf) (Hentet 04.02.21)

Li, Y., Dong, W., Li, H., & Li, Z. (2015). *Method of Vacuum Water Absorption to Determine the Porosity of Hardened Concret*. Fra Beijing University of Technology nettside:

<http://www.ijscer.com/uploadfile/2015/0826/20150826063653340.pdf> (Hentet 04.04.21)

Li, Z. (2011). *Advanced concrete technology*. Hoboken, N.J.: Wiley.

Maage, M., Smeplass, S., Kjellsen, K. O., Sellevold, E. J., Lindgård, J., Cepuritis, R., ...

Geiker, M. (2016). *Concrete Technology* (S. Jacobsen, Ed.). NTNU.

Mapei. (2017). *DEMPER RM Datablad*. Fra nettside:

[https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider60/productsdocuments/6936-demperrm-no.pdf?sfvrsn=becd2d46\\_0](https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider60/productsdocuments/6936-demperrm-no.pdf?sfvrsn=becd2d46_0) . Fra Mapei AS. (Hentet 01.02.21)

Miljødirektoratet. (2021). *Sirkulær økonomi - Miljødirektoratet*. Fra

Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency nettside:

<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/> (Hentet 01.05.21)

Norcem AS. (2015). *GOD BETONG ER BESTANDIG*. Fra nettside:

[https://www.norcem.no/sites/default/files/assets/document/godbetongerbestandig\\_web.pdf](https://www.norcem.no/sites/default/files/assets/document/godbetongerbestandig_web.pdf) (Hentet 04.02.21)

Pedersen, B. (2019). *Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper*. Fra nettside:

<https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2580688> (Hentet 03.04.21)

Pedersen, B., & Kompen, R. (2013). *Trykkfasthet og E-modul for SV-40 betong - En studie av tilslagetets betydning*. Fra Vegdirektoratets nettside:

[https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesenxmlui/bitstream/handle/11250/2656373/Rappo](https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesenxmlui/bitstream/handle/11250/2656373/Rappo%20rt%20177%20Trykkfasthet%20og%20Emodul%20for%20SV40%20betong%20en%2)

[0studie%20av%20tilslagets%20betydning.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#) (Hentet 03.04.21)

Sandaker, B. N., Sandvik, M., & Vik, B. (2016). *Materialkunnskap* (1. utg.). Oslo/Lillestrøm: Byggenæringens Forlag AS.

SINTEF Byggforsk. (2004). 572.108 Steinmaterialer. Sand, grus og pukk. Fra Byggforsk.no nettside:

[https://www.byggforsk.no/dokument/3204/steinmaterialer\\_sand\\_grus\\_og\\_pukk](https://www.byggforsk.no/dokument/3204/steinmaterialer_sand_grus_og_pukk)  
(hentet 05.04.21)

SINTEF Byggforsk. (2010, september). 572.207 Tilsetningsstoffer for betong -

Byggforskserien. Fra: [www.byggforsk.no](http://www.byggforsk.no) nettside:

[https://www.byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer\\_for\\_betong](https://www.byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer_for_betong) (Hentet 04.04.21)

SINTEF Byggforsk. (2012). 572.115 Tilslagsmaterialer for betong. Fra Byggforsk.no

nettside: [https://www.byggforsk.no/dokument/588/tilslagsmaterialer\\_for\\_betong#i5](https://www.byggforsk.no/dokument/588/tilslagsmaterialer_for_betong#i5)  
(Hentet 05.04.21)

SINTEF Byggforsk. (2013). 520.033 Bestemmelse av betongkonstruksjoners trykkfasthet.

Uttak og prøving av sylindre. Fra Byggforsk.no nettside:

[https://www.byggforsk.no/dokument/291/bestemmelse\\_av\\_betongkonstruksjoners\\_trykkfasthet\\_uttak\\_og\\_proeving\\_av\\_sylindre](https://www.byggforsk.no/dokument/291/bestemmelse_av_betongkonstruksjoners_trykkfasthet_uttak_og_proeving_av_sylindre) (Hentet 12.04.21)

SINTEF Byggforsk. (2015a). 520.031 Kvalitetskontroll og dokumentasjon av herdnet betong.

Laborariemetoder. Fra Byggforsk.no nettside:

[https://www.byggforsk.no/dokument/289/kvalitetskontroll\\_og\\_dokumentasjon\\_av\\_herdnet\\_betong\\_laborariemetoder#i32](https://www.byggforsk.no/dokument/289/kvalitetskontroll_og_dokumentasjon_av_herdnet_betong_laborariemetoder#i32) (Hentet 16.04.21)

SINTEF Byggforsk. (2015b). 572.111 Resirkulert tilslag av tegl og betong. Fra Byggforsk.no

nettside:

[https://www.byggforsk.no/dokument/3162/resirkulert\\_tilslag\\_av\\_tegl\\_og\\_betong](https://www.byggforsk.no/dokument/3162/resirkulert_tilslag_av_tegl_og_betong)

(Hentet 05.04.21)

SINTEF Byggforsk. (2016). 572.205 Betong. Typer, egenskaper og bruksområder. Fra

Byggforsk.no nettside:

[https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong\\_typer\\_egenskaper\\_og\\_bruksomraader](https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraader) (Hentet 06.04.21)

SINTEF Byggforsk. (2018). 520.024 Naturlig tilslag i betong. Egenskaper og dokumentasjon.

fra Byggforsk.no nettside:

[https://www.byggforsk.no/dokument/284/naturlig\\_tilslag\\_i\\_betong\\_egenskaper\\_og\\_dokumentasjon](https://www.byggforsk.no/dokument/284/naturlig_tilslag_i_betong_egenskaper_og_dokumentasjon) (Hentet 04.04.21)

Standard Norge. (2008a). *NS-EN 934-1:2008: Tilsetningsstoffer for betong, mørtel og injiseringsmasse - Del 1: Generelle krav.*

Standard Norge. (2008b). *NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 Tilslag for betong.*

Lysaker:

Standard Norge. (2012a). *NS-EN 933-1:2012 Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling - Sikteanalyse.*

Standard Norge. (2012b). *NS-EN 12390-1:2012 Prøving av herdnet betong - Del 1: Form, mål og andre krav til prøvelegemer og former.*

Standard Norge. (2013). *NS-EN 1097-6:2013 Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 6: Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon.*

Standard Norge. (2019a). *NS-EN 1230-2:2019: Prøving av herdnet betong Del 2: Støping og herdning av prøvelegemer for fasthetsprøving.*

Standard Norge. (2019b). *NS-EN 12350-2:2019 Prøving av fersk betong – Del 2: Synkmål.*

Standard Norge. (2019c). *NS-EN 12350-6:2019 Prøving av fersk betong Del 6: Densitet.*

Standard Norge. (2019d). *NS-EN 12350-7:2019 Prøving av fersk betong - Del 7: Luftinnhold - Trykkmetoder.*

Standard Norge. (2019e). *NS-EN 12390-3:2019 Prøving av herdnet betong - Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet.*

Standard Norge. (2019f). *NS-EN 12390-4:2019 Prøving av herdet betong – Del 4: trykkfasthet – Krav til prøvingsmaskiner.*

Standard Norge. (2020a). *NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2020 Betong Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar.*

Standard Norge. (2020b). *NS-EN 933-2:2020 Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag — Del 2: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling — Sikter, nominell størrelse av siktåpninger.*

Standard Norge. (2020c). *NS-EN 1097-2:2020 Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag — Del 2: Metoder for bestemmelse av motstand mot knusing.*

Standard Norge. (2020d). *NS-EN 12390-16:2019 Prøving av herdnet betong - Del 16: Bestemmelse av svinn i betong.*

Statistisk sentralbyrå. (2021). Fra [ssb.no](https://www.ssb.no/avfregno) nettside: <https://www.ssb.no/avfregno> (Hentet 03.02.21)

Støvneng, J. A. (2021). Elastisitet – fysikk – Store norske leksikon. Fra Store norske leksikon nettside: [https://snl.no/elastisitet\\_-\\_fysikk](https://snl.no/elastisitet_-_fysikk) (Hentet 01.05.21)

Thue, J. V. (2019). Korngradering. Fra Store norske leksikon nettside: <https://snl.no/korngradering> (Hentet 05.02.21)

Time, B., Kvande, T., Terjesen, K., & Sæter, Ø. (2004). *Fukttransport i mineralske bygningsmaterialer - materialeegenskaper.* Norges byggforskningsinstitutt.

Täljsten, B. (2018). *Grundläggande Betongteknologi I. ITE1897-1 18H Rehabilitering av betong- og stålkonstruksjoner, og bygninger*. Tilgjengelig fra:

<https://uit.instructure.com/courses/5724/files/260589> (Hentet 10.07.18)

Vegdirektoratet. (2016). *Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser*. Fra nettside:

<https://www.vegvesen.no/attachment/185231/binary/1090658> (Hentet 26.01.21)

Vegdirektoratet. (1996). 14.637 Kapillær sugeshastighet og porøsitet, PF-metoden. Fra

Vegdirektoratet nettside:

[https://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle\\_filer/14.63/014-637.pdf](https://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle_filer/14.63/014-637.pdf)

(Hentet 02.02.20)

Wæhle, E., Dahlum, S., & Grønmo, S. (2020). Case-studie – Store norske leksikon. Fra Store norske leksikon nettside: <https://snl.no/case-studie> (Hentet 28.01.21)

## **Vedlegg A-P**



## Vedlegg A



1111

**Glønnen Entreprenør AS, Akslastien 1, 7820 Spillum**

14

**Nr. 0001 CPR 2020.15.05**

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

**Sortert 0/8 naturgrus fra Raabakkan**

**Tilslag til betong**

Opplysninger om produktets vesentlige egenskaper: Se vedlagte ytelseserklæring

YTELSESERKLÆRING NR. 0001 CPR 2020.15.05

1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen	Sortert naturlig tilslag til bruk i betong
2. Type, parti eller serienummer eller en annen form for angivelse for byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 5	0/8 natur
3. Produsentens tilsiktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen	Tilslag for betong
4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten ihht. Artikkel 11 nr. 5	Glømmen Entreprenør AS, Akslastien 1, 7820 Spillum
5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant)	Ikke relevant
6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V	System 2+
7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert standard	NS-EN 12620:2002 + A1:2008 + NA:2016 Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på førstegangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen.
8. Angitt ytelse	Se neste side
9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8 Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten. Som angitt i punkt nr. 4.	

Undertegnet for og på vegne av produsenten av:

Morten Nordal, Kvalitetsleder

*Navn og stilling*

Spillum, 15.05.2020

*Sted og utstedelsesdato*



*Underskrift*

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

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	0/8
Gradering	G <sub>Ng90</sub>
Deklarert verdi iht tabell 5	
Siktestørrelse	<b>Deklarert passering i masseprosent</b>
8mm +/- 5 %	<b>99%</b>
2mm +/- 10 %	<b>71%</b>
1mm +/- 10 %	<b>50%</b>
0,250 +/- 10 %	<b>13%</b>
0,125 +/- 3 %	<b>4,7%</b>
0,063 +/- 2 %	<b>1,8%</b>
Kornform for grovt tilslag	
Korndensitet	<b>2,70 Mg/m<sup>3</sup></b>
Vannabsorbasjon	<b>0,4 %</b>
Skjellinnhold i grovt tilslag	<b>SC<sub>10</sub></b>
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	<b>F1</b>
Finstoffinnhold	<b>F<sub>3</sub></b>
Hele korn av kalkstein i %	<b>0</b>
Alkali – silika-reaktivitet	<b>Sv 25</b>
Klorider	<b>0,000%</b>
Syreløselig sulfat	<b>AS<sub>0,2</sub></b>
Totalt innhold av svovel	<b>0,02 %</b>
Bestanddelere som påvirker størknings- og herdetiden for betong	<b>Lysere enn standardfarge</b>
Farlige stoffer	<b>Ikke påvist</b>
Forenklet petrografisk beskrivelse	<b>Fra sand i løsmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skatpkantede korn av granitt, gneis, feltspatisk bergart, sandstein, siltstein, leirstein og mafisk bergart. Ingen belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn</b>
Motstand mot knusning	<b>LA<sub>25</sub></b>
Motstand mot polering/slitasje	<b>A<sub>N10</sub></b>
Micro-Deval- koeffisient	
Sammensetning/innhold:	<b>Ikke bestemt</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestanddeler i grovt resirkulert tilslag</li> <li>• Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag</li> <li>• Innflytelse på begynnende størkning av sement (resirkulert tilslag)</li> <li>• Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong</li> </ul>	



1111

**Gabbro Nor AS, avd. Austvika, 8890 Leirfjord**

**14**

**Nr. 1118-CPR-2019.01.31**

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

**Grovt tilslag 8/16 mm**

**Tilslag for betong**

Opplysninger om produktets vesentlige egenskaper: Se vedlagte ytelseserklæring



**YTELSESERKLÆRING NR. 1118 CPR 2019.01.31**

- |   |   |
|---|---|
| 1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen   | <b>Grovt, knust tilslag til bruk i betong</b>   |
| 2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4   | <b>Grovt tilslag 8/16 mm</b>  |
| 3. Produsentens tilsiktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen   | <b>Tilslag for betong</b>   |
| 4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5   | <b>Gabbro Nor AS, avd. Austvika, 8890 Leirfjord</b>   |
| 5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant)   | <b>Ikke relevant</b>  |
| 6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V  | <b>System 2+.</b>   |
| 7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert Standard   | <b>NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009</b><br><b>Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på første-gangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen.</b> |
| 8. Angitt ytelse  | <b>Se neste side</b>  |
| 9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8<br>Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.<br>Undertegnet for og på vegne av produsenten av: |   |

**Espen Storholm, kvalitetsleder**

(navn og stilling)

**Husby, 31. januar 2019**

Sted og utstedelsesdato

Underskrift



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

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	<b>8/16</b>
Gradering	<b>Gc 80/20</b>
Kornform for grovt tilslag	<b>Fl<sub>15</sub></b>
Korndensitet ( <i>vannmettet og overflatetør</i> )	<b>2,77 Mg/m<sup>3</sup></b>
Korndensitet ( <i>ovnstør</i> )	<b>2,75 Mg/m<sup>3</sup></b>
Vannabsorpsjon	<b>0,4 %</b>
Skjellinnhold i grovt tilslag	<b>SC<sub>10</sub></b> (0,0%)
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	<b>F<sub>1</sub></b>
Finstoffinnhold	<b>f<sub>1,5</sub></b>
Kvalitet på finstoff	<b>MB<sub>F</sub> 1,7g/kg</b>
Alkali – silika-reaktivitet	<b>Sv 7,2</b>
Klorider	<b>Ingen</b>
Syreløselig sulfat	<b>AS<sub>0,2</sub></b> (0,01%)
Totalt innhold av svovel	<b>0,04%</b>
Kalkinnhold	<b>&lt;15%</b> (0%)
Bestanddelere som påvirker størknings – og herdetiden for betong	<b>Lysere enn standardfarge</b>
Farlige stoffer	<b>Ikke påvist</b>
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	<b>Pukk fra knust fjellforekomst av granitt, gneis og mafisk bergart. Hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.</b>
Motstand mot knusing	<b>LA30</b>
Motstand mot polering (micro deval)	<b>MD<sub>E</sub>15</b>
Motstand mot slitasje (kulemølle)	<b>AN19</b>
Volumstabilitet	<b>Ikke bestemt</b>
Sammensetning/innhold: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestanddeler i grovt resirkulert tilslag</li> <li>• Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag</li> <li>• Innflytelse på begynnende størkning av sement (resirkulert tilslag)</li> <li>• Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong</li> </ul>	<b>Ikke bestemt</b>



1111

**Gabbro Nor AS, avd. Austvika, 8890 Leirfjord**

14

**Nr. 1122-CPR-2019.01.31**

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

**Grovt tilslag 16/22 mm**

**Tilslag for betong**

Opplysninger om produktets vesentlige egenskaper: Se vedlagte ytelseserklæring





## YTELSESERKLÆRING NR. 1122 CPR 2019.01.31

- |   |   |
|---|---|
| 1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen   | <b>Grovt, knust tilslag til bruk i betong</b>   |
| 2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4   | <b>Grovt tilslag 16/22 mm</b>   |
| 3. Produsentens tilsiktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen   | <b>Tilslag for betong</b>   |
| 4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5   | <b>Gabbro Nor AS, avd. Austvika, 8890 Leirfjord</b>   |
| 5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant)   | <b>Ikke relevant</b>  |
| 6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V  | <b>System 2+.</b>   |
| 7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert Standard   | <b>NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009</b><br><b>Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på første-gangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen.</b> |
| 8. Angitt ytelse  | <b>Se neste side</b>  |
| 9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8<br>Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.<br>Undertegnet for og på vegne av produsenten av: |   |

**Espen Storholm, kvalitetsleder**

(navn og stilling)

**Husby, 31. januar 2019**

Sted og utstedelsesdato

Underskrift





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

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	<b>16/22</b>
Gradering	<b>Gc 80/20</b>
Kornform for grovt tilslag	<b>Fl<sub>15</sub></b>
Korndensitet (vannmettet og overflatetørr)	<b>2,77 Mg/m<sup>3</sup></b>
Korndensitet (ovnstørr)	<b>2,75 Mg/m<sup>3</sup></b>
Vannabsorpsjon	<b>0,5 %</b>
Skjellinnhold i grovt tilslag	<b>SC<sub>10</sub> (0,0%)</b>
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	<b>F<sub>1</sub></b>
Finstoffinnhold	<b>f<sub>1,5</sub></b>
Kvalitet på finstoff	<b>MBF 1,7g/kg</b>
Alkali – silika-reaktivitet	<b>Sv 7,2</b>
Klorider	<b>Ingen</b>
Syreløselig sulfat	<b>AS<sub>0,2</sub> (0,01%)</b>
Totalt innhold av svovel	<b>0,04%</b>
Kalkinnhold	<b>&lt;15% (0%)</b>
Bestanddelere som påvirker størknings – og herdetiden for betong	<b>Lysere enn standardfarge</b>
Farlige stoffer	<b>Ikke påvist</b>
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	<b>Pukk fra knust fjellforekomst av granitt, gneis og mafisk bergart. Hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.</b>
Motstand mot knusing	<b>LA<sub>35</sub></b>
Motstand mot polering (micro deval)	<b>MD<sub>E15</sub></b>
Motstand mot slitasje (kulemølle)	<b>AN<sub>19</sub></b>
Volumstabilitet	<b>Ikke bestemt</b>
Sammensetning/innhold: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestanddeler i grovt resirkulert tilslag</li> <li>• Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag</li> <li>• Innflytelse på begynnende størkning av sement (resirkulert tilslag)</li> <li>• Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong</li> </ul>	<b>Ikke bestemt</b>

**Vedlegg B – Iht. NS-EN 933-1 tørrsikting analyse**

RCA 0-8 mm

Fraction xy						
Sieve size	1	2	3	4	Mass of particles on the sieve [g]	Percentage of the particles on the sieve [%] hm.
mass	2021,5	2160,8	1563,6		5745,9	
63						
45						
31,5 (32)						
22,4 (22)						
16					0	0,00
11,2 (11)					0	0,00
8	0,6	0,6	0,5		1,7	0,03
5,6 (5)	354,2	279,9	216,4		850,5	14,80
4	332,8	302,9	207,2		842,9	14,67
2	378,7	391,3	306		1076	18,73
1	316,3	388,7	276,2		981,2	17,08
0,5	216,7	255	182,3		654	11,38
0,25	169,1	227,6	150,2		546,9	9,52
0,125	118,5	139,7	95,5		353,7	6,16
0,063	75,1	98	63,8		236,9	4,12
0,02	46,4	59,2	46,5		152,1	2,65
Bottom	3,7	6,4	6,5		16,6	0,29
Total	2012,1	2149,3	1551,1	0	5712,5	99,42

9,4 11,5 12,5 0 33,4 99,42

0,4650012 0,5322103 0,7994372 #DIV/0! 0,581284046  
 tot mass left = 99,534999 99,46779 99,200563 #DIV/0! 99,41871595

finstoff 0,0295317 2,95

RCA 8-22 mm

Fraction xy						
Sieve size	1	2	3	4	Mass of particles on the sieve [g]	Percentage of the particles on the sieve [%] hm.
mass	1550,3	1574,6	1517,5	1038,3	5680,7	
63						
31,5 (32)	0	0	0	0		0,00
22,4	33,2	8,6	9,5	0	51,3	0,90
16	549,1	571,6	596,9	222,9	1940,5	34,16
14	309,9	328,8	191,9	162,3	992,9	17,48
11,2 (11)	350,6	349,9	297,8	221	1219,3	21,46
8	282,7	298,2	387	382,8	1350,7	23,78
5,6 (5)	23,1	15,2	18,7	20,7	77,7	1,37
4	0	0	0,3	0,2	0,5	0,01
3,15	0	0	0	0	0	0,00
2	0	0	0	0	0	0,00
1	0	0	0	0	0	0,00
0,5	0	0	0	0	0	0,00
0,25	0	0	0	0	0	0,00
0,125	0	0	0	0	0	0,00
0,063	0	0	0	0	0	0,00
Bottom	1,4	1,1	14,2	24,7	41,4	0,73
Total	1550	1573,4	1516,3	1034,6	5674,3	99,89

0,3 1,2 1,2 3,7 6,4 99,89

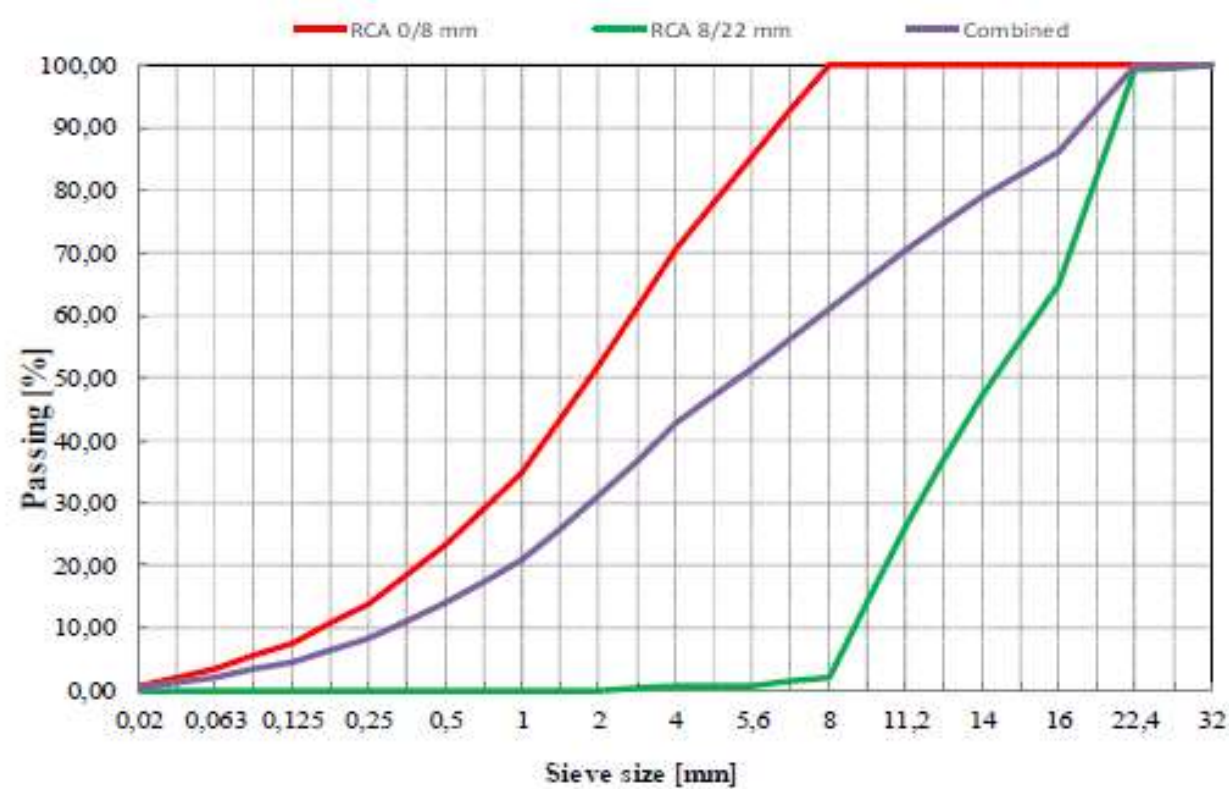
0,019351 0,07621 0,079077 0,356352 0,112662  
 tot mass left = 99,98065 99,92379 99,92092 99,64365 99,88734

finstoff 0,007296 0,729605

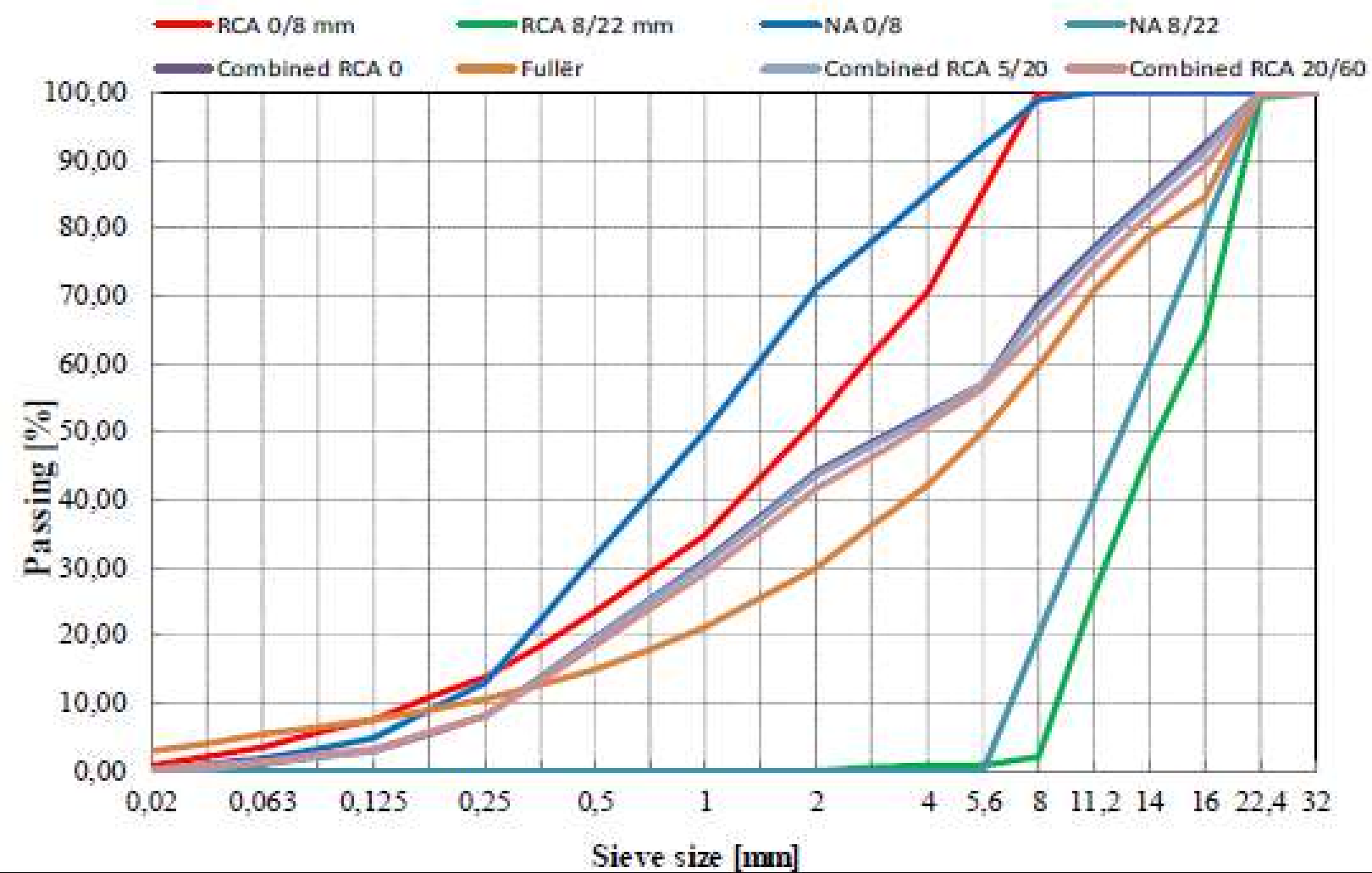
tilslag	Størrelse [mm]	Plassering i masseprosent					Kategori G	tilslag	Størrelse [mm]	Plassering i masseprosent					Kategori G
		2 D	1,4 D	D	d	d/2				2 D	1,4 D	D	d	d/2	
Krav Naturlig gradert 0/8	D=8 og d=0	100	98 til 100	90 til 99	-	-	G <sub>NS</sub> 90	Krav Naturlig gradert 0/8	D=8 og d=0	100	98 til 100	90 til 99	-	-	G <sub>NS</sub> 90
RCA 0/8	D=8 og d=0	100	100	99,97	-	-	G <sub>NS</sub> 90	RCA 0/8	D=8 og d=0	100	100	99,97	-	-	G <sub>NS</sub> 90
Grovt	D/d > 2 og D > 11,2	100	98 til 100	90 til 99	0 til 15	0 til 5	G <sub>c</sub> 90/15	Grovt	D/d > 2 og D > 11,2	100	98 til 100	90 til 99	0 til 15	0 til 5	G <sub>c</sub> 90/15
Grovt	D/d = 2,75 og D = 22	100	100	99,10	2,22	0,84	G <sub>c</sub> 90/15	RCA 8/22	D/d = 2,75 og D = 22	100	100	99,10	2,22	0,84	G <sub>c</sub> 90/15

Finstoffinnhold	Verdi	Kategori
RCA 0/8	2,95	f <sub>3</sub>
NA 0/8	1,8	f <sub>3</sub>
RCA 8/22	-	f <sub>1,5</sub>
NA 8/22	0,72	f <sub>1,5</sub>

### Kurve for RCA. Masseprosent etter grovsikting. Ca 60 kg fint pr. 100kg siktet



4 mm [%]	31
2 mm [%]	21



<u>4 mm [%]</u>	<u>44</u>
<u>2 mm [%]</u>	<u>31</u>





STD + sats 1

RCA	Prøve: 1
Sikt (mm)	Summert
63,0	
56,0	
45,0	
31,5	
22,4	
16,0	
11,2	RCA
8,0	
5,6	145,1
4,0	95,96,2
2,0	155,2
1,0	205,8
0,50	116,1
0,25	219,8
0,125	61,5
0,063	4,4
0,020	0,3
Bunnpanne	0,4
	1069,8
Tot. prøve	1072,8

Utført av \_\_\_\_\_

## Vedlegg C Flisighetsindeks

### Flisighetsindeks (NS-EN 933-3)

Prøvens masse før analyse,  $M_0 = 6111,1$  g

Sikterest på 80mm sikt= 0

gjennomgang 4mm sikt= 831,7

Materialtype: RCA DATO: 20.04.21

Sum av vraket materiale= 831,7

Fraksjon i mm	Sikterester ( $R_i$ ) i gram på platesikter	Nominell spaltebredde i mm på stavsikter	Gjennomgang på stavsikt ( $m_i$ ) i gram	$F_i = (M_i/R_i) * 100$
63/80		40		
50/63		31,5		
40/50		25		
31,5/40		20		
25/31,5		16		
20/25	150	12,5	0	0,00
16/20	582,4	10	56,8	9,75
12,5/16	634,6	8	42,5	6,70
10/12,5	371,9	6,3	19,7	5,30
8/10	523,6	5	36,8	7,03
6,3/8	929,6	4	70,1	7,54
5/6,3	1027,5	3,15	66,2	6,44
4/5	1045,5	2,5	54,6	5,22
$M_i = \sum R_i =$	5265,1	$M_2 = \sum m_i =$	346,7	
$FI = (M_2/M_1) * 100 =$	6,58	Kontroll m.tap=	0,23	

F

## Vedlegg D LA-verdi

### Los Angeles - metoden (NS-EN 11097-2)

Prøvetillaging :

Referansegradering 10/14 mm → tørr prøve (5000 ± 5 ) g

Fraksjon 10,0/12,5 mm (3250 ± 3,3) g

Fraksjon 12,5/14,0 mm (1750 ± 1,7) g

	Vekt
Fraksjon 10,0/12,5 mm	3251,5
Fraksjon 12,5/14,0 mm	1750,4
Tot=	4999,8

#### RESULTAT

m = masse større enn 1,6 mm i hele gram

m= 3474

$$LA = \frac{5000-m}{50} \rightarrow 30,528$$

	RCA
LA-verdi	30,5
Kategori	35



## Vedlegg E Densitet og vannabsorpsjon

Iht. NS-EN 1097-6

Kordensitet og vannabsorpsjon					
Forsøk 1 29.01.21	RCA 0<8	RCA 8<22	NA 0<8	NA 8<16	NA 16<22
M1 masse overflatetørr prøve	830,1	617,9	674,1	741,3	878,1
M2 masse pyktometer + prøve + vann	2282,5	2185,8	2192,7	2260,6	2348,2
M3 masse pyknometer + vann	1808,0	1807,0	1790,3	1789,3	1789,8
M4 masse tørr prøve etter tørk	750,2	591,3	633,4	736,7	872,6
Pssd kordensitet	2334,36	2584,27	2481,05	2745,56	2746,64
Wabs vannabsorpsjon	10,65	4,50	6,43	0,62	0,63

Avvik markert i rødt, for våt prøve

Forsøk 2 01.02.21	RCA 0<8	RCA 8<22	Kun resirkulert materiale ble sjekket igjen, benytter verdier fra produsent for Naturlig tilslag
M1 masse overflatetørr prøve	506,9	617,9	
M2 masse pyktometer + prøve + vann	211,9	2185,8	
M3 masse pyknometer + vann	1810,1	1807	
M4 masse tørr prøve etter tørk	483,0	591,3	
Wabs =	4,95	4,50	

Vanninnholdet av materialet beregnes av følgende formel i masseprosent av den tørkede prøvens masse:

$$w = \frac{(M_1 - M_2)}{(M_2 - M_3)} \cdot 100$$

hvor:

- w = vanninnhold i prosent (%)
- M<sub>1</sub> = fuktig prøves masse i gram + tara
- M<sub>2</sub> = tørr prøves masse i gram + tara
- M<sub>3</sub> = vekt av skål (tara) i gram

Analyseverdi oppgis med en desimal.

Tabell 121-2 Regneeksempel for vanninnhold.

Vanninnhold - steg for steg	Betegneise/formel	Tall
Masse skål/tara	M <sub>1</sub>	653,3 g
Masse skål/tara + våt prøve	M <sub>1</sub>	3574,4 g
Masse skål/tara + tørr prøve (I)	M <sub>2</sub>	3389,7 g
Masse skål/tara + tørr prøve (i)	M <sub>3</sub>	3388,6 g
Differanse mellom tørre prøver	M <sub>2</sub> -M <sub>1</sub>	1,1 g
Forhold mellom tørre prøver (I og i)	$((M_2 - M_1) / (M_2 - M_3)) \times 100$	0,04 %
Vanninnhold i gram	M <sub>1</sub> -M <sub>3</sub>	185,8 g
Masse tørr prøve	M <sub>1</sub> -M <sub>2</sub>	2735,3 g
Vanninnhold	$((M_1 - M_3) / (M_1 - M_2)) \times 100$	6,8 %

## Vedlegg F Dynamon SX 23 Produktdatablad og Demper RM



**MAPEI**

# Dynamon SX-23

Superplastiserende tilsetningsstoff til betong og mørtel

CE  
EN 934-2  
T 3.1/3.2

### PRODUKTBEKRIVELSE

**Dynamon SX-23** er et svært effektivt superplastifiserende tilsetningsstoff basert på modifiserte akrylpolymerer.

Produktet tilhører **Dynamon**-systemet som er basert på DPP-teknologi, Designed Performance Polymers, utviklet av Mapei, hvor tilsetningsstoffenes egenskaper skreddersys til forskjellige betongtyper.

**Dynamon**-systemet er utviklet på grunnlag av Mapeis egen sammensetning og produksjon av monomerer.

### BRUKSOMRÅDE

**Dynamon SX-23** er spesielt utviklet til ferdigbetongproduksjon og brukes i alle betongtyper for å gjøre betongen enklere å bearbeide og/eller redusere vannbehovet.

Noen spesielle bruksområder er:

- Vannnett betong med krav om høy eller svært høy styrke, og med strenge krav til betongens holdbarhet i aggressive miljøer.
- Betong med særlige krav til høy stopelighet.
- Selvkompimerende betong med noe lengre åpentid. Om nødvendig kan denne betongtypen stabiliseres med et viskositetsøkende tilsetningsstoff av type **Viscofluid** eller **Viscostar**.
- Frostbestandig betong – ved kombinasjon med et luftinnførende tilsetningsstoff – type **Mapeair**.

Typen av luftinnførende tilsetningsstoff gjøres ut fra tilgjengelig kunnskap om de andre delmaterialenes egenskaper.

- Gulvbetong for å oppnå en smidig betong med forbedret støpelighet. Høye doseringer og lave temperaturer kan medføre en viss retardering av betongen.

**Dynamon SX-23** skiller seg vesentlig fra superplastiserende tilsetningsstoffer basert på sulfonerte melaminer og naftalener samt fra første generasjons akrylbaserte polymerer, ved en betydelig høyere vannreducerende effekt og økt åpentid. Nødvendig dosering for ønsket bearbeidingsveiv/ vannreduksjon vil være vesentlig lavere med **Dynamon SX-23** enn med eldre typer superplastiserende tilsetningsstoffer.

Doseringstidspunktet for **Dynamon SX-23** er ikke så viktig, men kortest blandetid oppnås ved tilsetning av **Dynamon SX-23** etter tilsetning av minst 80 % av blandevannet. Også her er det viktig å foreta en utprøving for optimal utnyttelse av aktuelt blandeutstyr.

### EGENSKAPER

**Dynamon SX-23** er en vannoppløsning av aktive akrylpolymerer som effektivt dispergerer sementen i blandingen.

Denne effekten kan utnyttes på tre måter:



## Dynamon SX-23

1. Reduksjon av betongens vannbehov og med samme bearbeidingssevne. Derved oppnås en betong med lavere vann/sement-forhold, en mer holdbar betong.
2. Økt bearbeidingssevne sammenlignet med en betong med samme vann/sement-forhold uten tilsetningsstoffer. Derved oppnås samme styrke, men utstøpningen blir mye lettere.
3. Reduksjon av både vann og sement uten endring av betongens bearbeidingssevne og styrke. Dermed kan betongens kostpris reduseres, mindre sement, reduksjon av svinnpotensial, mindre vann samt redusere faren for skadelige temperaturgradienter pga. lavere hydratiseringsvarme. Spesielt denne effekten er viktig ved betonger med høyere sementinnhold samt ved store, massive betongkonstruksjoner.

### KOMPATIBILITET MED ANDRE PRODUKTER

Dynamon SX-23 kan kombineres med Mapeis andre betongtilsetningsstoffer som for eksempel styrkningsakselererende tilsetningsstoffer som **Mapefast** og styrkningsretarderende tilsetningsstoffer som **Mapetard**.

Produktet kan også kombineres med luftinnførende tilsetningsstoffer for produksjon av frostbestandig betong, **Mapeair**. Valg av type skjer ut fra tilgjengelig kunnskap om de andre delmaterialenes egenskaper.

Ved kombinasjoner anbefales alltid forsøksblandinger for å oppnå den ønskede effekten. Kontakt eventuelt vår tekniske avdeling.

### DOSERING

Dynamon SX-23 tilsettes for å oppnå den ønskede effekten – styrke, holdbarhet, bearbeidingssevne, sementreduksjon – ved å variere doseringen mellom 0,3 og 2,0% av mengden av sement + flyveaske + mikrosilika.

Ved høyere dosering økes betongens åpentid, dvs. den tiden betongen lar seg bearbeide. Større dosering og lavere betongtemperatur vil forårsake en viss retardering.

Proveblandinger anbefales alltid med aktuelle parametere.

### EMBALLASJE

Dynamon SX-23 leveres i 25 liters kanner, 200 liters fat, 1000 liter IBC-tanker og i tank.

### LAGRING

Produktet må oppbevares ved temperaturer mellom +8°C og +35°C. I lukket emballasje bevarer produktet sine egenskaper i minst 12 måneder. Hvis produktet utsettes for direkte sollys, kan det føre til variasjoner i fargetonen uten at dette påvirker egenskapene til produktet.

### SIKKERHETSINSTRUKSJONER FOR KLARGJØRING OG BRUK

For instruksjon vedrørende sikker håndtering av våre produkter, vennligst se siste utgave av sikkerhetsdatablad på vår nettside [www.mapei.no](http://www.mapei.no)

PRODUKT FOR PROFESJONELL BRUK

### MERK

*De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktene.*

*All overstående informasjon må likevel betraktes som retningsgivende og gjenstand for vurdering. Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse. Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt eller ved feilaktig utførelse.*

Vennligst referer til siste oppdaterte versjon av teknisk datablad som finnes tilgjengelig på vår webside [www.mapei.no](http://www.mapei.no)

### JURIDISK MERKNAD

*Innholdet i dette tekniske databladet kan kopieres til andre prosjektrelaterte dokumenter, men det endelige dokumentet må ikke suppleres eller erstatte betingelsene i det tekniske datablad, som er gjeldende, når MAPEI-produktet benyttes. Det seneste oppdaterte datablad er tilgjengelig på vår hjemmeside [www.mapei.no](http://www.mapei.no) ENHVER ENDRING AV ORDLYDEN ELLER BETINGELSER, SOM ER GITT ELLER AVLEDET FRA DETTE TEKNISKE DATABLEDET, MEDFØRER AT MAPEI SITT ANSVAR OPPHØRER.*

**Alle relevante referanser for produktet er tilgjengelige på forespørsel og fra [www.mapei.no](http://www.mapei.no)**

**Dynamon  
SX-23**

**TEKNISKE DATA (typiske verdier)**

**PRODUKTBESKRIVELSE**

Form:	væske
Farge:	gulbrun
Viskositet:	lettflytende; <30 mPa s
Tørrestoffinnhold (%):	23,0 ± 1,1
Densitet (g/cm <sup>3</sup> ):	1,05 ± 0,02
pH:	6 ± 1
Kloridinnhold (%):	< 0,05
Alkaliinnhold (Na <sub>2</sub> O-ekvivalenter) (%):	< 2,0

Det er ikke tillatt å kopiere, avvikle eller distribuere dette dokumentet.  
Overretning kan foreta seg i forbindelse med dette.

6874-07-2017(NO)





#### BRUKSOMRÅDE

**Demper RM** er en hvit væske som demper dannelsen av uønskede luftporer i betong og mørtel.

**Demper RM** reduserer aktivt dannelsen av luftporer også på betongoverflatene. Produktet er basert på modifiserte polysiloxaner.

**Demper RM** er et miljøvennlig produkt, fullstendig fri for løsemidler.

#### EGENSKAPER

Betong inneholder alltid noe luft (1 - 3 %).

Økt luftinnhold medfører generelt en reduksjon i trykkfastheten. En tommelfingerregel er at 1 % luft reduserer trykkfastheten med 5 %.

Mengden av luftporer er spesielt avhengig av fillerfraksjonene i tilslaget. Det er derfor viktig å gjøre prøveblandinger for å finne egnet dosering ut fra det aktuelle tilslaget.

#### DOSERING

Doseringer på 0,5 - 2,0 liter pr m<sup>3</sup> anses å være normalt for å redusere luftmengden og fjerne uønskede overflateporer.

#### TILSETTINGSTIDSPUNKT

**Demper RM** kan tilsettes uavhengig av tidspunkt direkte i blandemaskin eller i automikser. God fordeling av stoffet oppnås etter minimum 30 sekunder i blandemaskin, avhengig av mengde tilsetning.

I automiksere skal det blandes 1 min pr m<sup>3</sup>, minimum 5 minutter. Ved kontrollert reduksjon av luft, bør tilsetningstidspunktet være likt fra blanding til blanding.

#### VÆR OPPMERKSOM PÅ

Variasjoner i de øvrige delmaterialene i betongen påvirker dannelsen av luftporer i betong. Transportlengde og transportutstyr gir også variasjoner i luftmengde. Dersom blandetiden har vært for kort, vil en kunne oppleve at den totale målte luftmengde øker fra produksjon til levering, mens det i de fleste tilfeller registreres en reduksjon i luftmengde.

Som regel betyr denne reduksjonen ikke annet enn at større, uønskede luftbobler slipper ut. Betongprodusenten må derfor opparbeide egne erfaringstall med sine aktuelle delmaterialer.

Uønskede luftporer i betongoverflater kan også skyldes unødvendig høyt forbruk av formolje.

Bruk av **Demper RM** vil ikke kunne fjerne porer som skyldes dråpeansamling av formolje.

#### EMBALLASJE

**Demper RM** leveres i 25 liters kanner, 200 liters fat og i 1000 liter IBC-tanker.

#### LAGRING

Produktet må oppbevares ved temperaturer mellom +8°C og +35°C. I lukket emballasje bevarer produktet sine egenskaper i minst 12 måneder. Hvis produktet utsettes for direkte sollys, kan det føre til variasjoner i fargetonen uten at dette påvirker egenskapene til produktet.



# Demper RM

## SIKKERHETSINSTRUKSJONER FOR KLARGJØRING OG BRUK

For instruksjon vedrørende sikker håndtering av våre produkter, vennligst se siste utgave av sikkerhetsdatablad på vår nettside [www.mapei.no](http://www.mapei.no)

PRODUKT FOR PROFESJONELL BRUK

### MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktene.

All overstående informasjon må likevel betraktes som retningsgivende og gjenstand for vurdering. Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse. Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt eller ved feilaktig utførelse.

Vennligst referer til siste oppdaterte versjon av teknisk datablad som finnes tilgjengelig på vår webside [www.mapei.no](http://www.mapei.no)

### JURIDISK MERKNAD

Innholdet i dette tekniske databladet kan kopieres til andre prosjektrelaterte dokumenter, men det endelige dokumentet må ikke suppleres eller erstatte betingelsene i det tekniske datablad, som er gjeldende, når MAPEI-produktet benyttes. Det seneste oppdaterte datablad er tilgjengelig på vår hjemmeside [www.mapei.no](http://www.mapei.no)  
**ENHVER ENDRING AV ORDLYDEN ELLER BETINGELSER, SOM ER GITT ELLER AVLEDET FRA DETTE TEKNISKE DATABLADET, MEDFØRER AT MAPEI SITT ANSVAR OPPHØRER.**

**Alle relevante referanser for produktet er tilgjengelige på forespørsel og fra [www.mapei.no](http://www.mapei.no)**

## TEKNISKE DATA (typiske verdier)

### PRODUKTBEKRIVELSE

Form:	væske
Farge:	hvit
Viskositet:	lettflytende; < 20 mPa·S
Spesifikk vekt g/cm <sup>3</sup> :	1,00 ± 0,02
Tørrestoff, %:	0,5 ± 0,2
pH:	8,5 ± 1
Kloridinnhold, %:	≤ 0,05
Alkaliinnhold (Na <sub>2</sub> O-ekvivalent):	< 0,2

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

6936-07-2017(NO)



## Vedlegg G – Eksempler på gjennomføring og feil utstøp/brudd



Bilde 1 Gjennomføring av synkmål



Bilde 2 betong i form



Bilde 3 fylling av form til luftinnhold



Bilde 4 Måling av luftinnhold



Bilde 5 Avformet, godt komprimert



Bilde 6 Feil/dårlig komprimert





Bilde 7 Dårlig form/feil komprimert



Bilde 8 Dårlig form/feil komprimert



Bilde 9 Feilbrudd, eksplosivt tverrbrudd 90 d E-mod  
RCA 5/20



Bilde 10, tørking av sand 0-4 for vannabs.





Bilde 11 Gjennomføring av flisighet



Bilde 12 Gjennomføring av LA



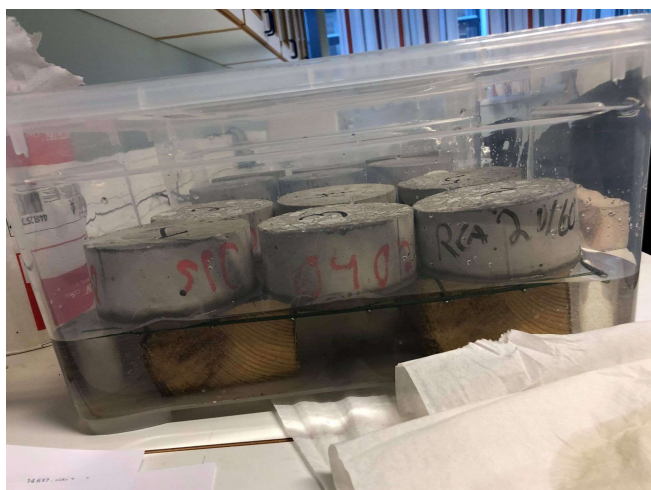
Bilde 13 Gjennomføring av trykkfasthet



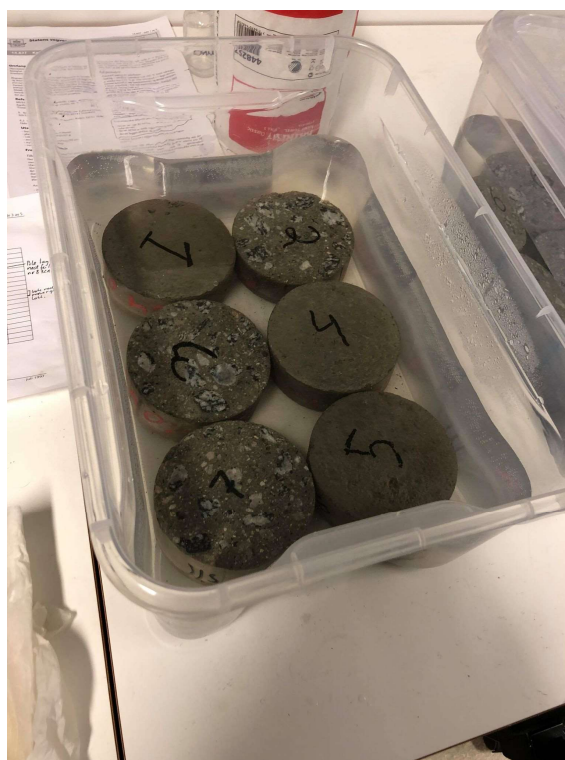
Bilde 14 Gjennomføring av E-modul



Bilde 15 Gjennomføring av uttørkings-  
svinn



Bilde 16 Gjennomføring av Kapillær absorpsjon



Bilde 17 Gjennomføring kapillær absorpsjon, prøve-  
legemer nedsunket i vann



### Vedlegg H Overordnet informasjon blandinger fersk tilstand med avvik fra oppsatt resept

Mix design									Fresh concrete							
Number	aggregates				cement	admixtures		w/c ratio	slump	slump flow	air	density	description of fres	Note	Samples	
Date	Sandy	%	Gravels	%		type	dose		[mm]	[mm]	[%]	[kg/m3]			no	type
03.02.2021	0-8 Raabakkan	62	8-16 Autvika	10	Norcem standard	S Plasticizer	0,219	0,44	220	350 380	2,00	2431	10min:sl-	Reference mix, v/b 0,45. luftinnhold 2%	9	cubes
			16-22 Autvika	28									30min:sl-		5	cylinders
													60min:sl-			
05.02.2021	0-8 Raabakkan	58,9	8-16 Austvika	8	Norcem standard	S Plactizer	0,039	0,45	200	320 320	1,70	2450	10min:sl-	RCA 5/20 mix, v/b 0,45, god synk og bedre luftinnhold enn resept skal ha.	9	cubes
	0-8 RCA	3,1	16-22 Austvika	22,4									30min:sl-		5	cylinders
			8-22 RCA	7,6									60min:sl-			
08.02.2021	0-8 Raabakkan	49,6	8-16 Autvika	4	Norcem standard	S Plactizer	0,348	0,47	200	310 290	3,80	2369	10min:sl-	RCA Max, problemer med utbedrelse av synkmål. Ekstra vann og P-stoff. Høyt luftinnhold	9	cubes
	0-8 RCA	12,4	16-22 Autvika	11,2									30min:sl-		5	cylinders
			8-22 RCA	22,8									60min:sl-			
16.02.2021	0-8 Raabakkan	62	8-16 Autvika	10	Norcem standard	S Plasticizer	0,039	0,44	200	410 380	1,70	-	10min:sl-	Referansemiks shrinkage, godt synkmål, v/b 0,45, vekt ødelagt ikke mulig å siekke densitet	3	Beams
			16-22 Autvika	28									30min:sl-			
													60min:sl-			
17.02.2021	0-8 Raabakkan	58,9	8-16 Austvika	8	Norcem Standard	S Plactizer	0,049	0,44	210	340 340	2,00	2443	10min:sl-	RCA 5/20 mix shrinkage, v/b 0,44 ingenting eksta i blanding. Slump litt over fortsatt innenfor klasse S4.	3	beams
	0-8 RCA	3,1	16-22 Austvika	22,4									30min:sl-			
			8-22 RCA	7,6									60min:sl-			
17.02.2021	0-8 Raabakkan	49,6	8-16 Austvika	4	Norcem standard	S Plactizer	0,108	0,49	185	-	2,40	2387	10min:sl-	RCA Max shrinkage, raskt herdeforløp. v/b forhold 0,50 pga demper luftinh synk litt under S4	3	beams
	0-8 RCA	12,4	16-22 Austvika	11,2		Demper	0,038						30min:sl-		6	cubes
			8-22 RCA	22,8									60min:sl-			
15.03.2021	0-8 Raabakkan	49,6	8-16 Austvika	4	Norcem standard	S Plactizer	0,221	0,45	230	-	1,60	2413		Tilslag ble forvannet med ca 2L, dette forklarer synkmålet på 230 med v/b tall 0,45	9	cubes
	0-8 RCA	12,4	16-22 Austvika	11,2		Demper	0,120								7	cylinders
			8-22 RCA	22,8												
17.03.2021	0-8 Raabakkan	62	8-16 Autvika	10	Norcem standard	S Plasticizer	0,053	0,45	225	-	1,60	2469	10min:sl-	Referansemiks shrinkage nr 2, v/b 0,46, god støpelighet og luftinnhold.	3	Beams
			16-22 Autvika	28									30min:sl-			
													60min:sl-			

	Mixed amount	Mixed amount											batch 1 m3						
		Cement kg	water kg	water extra	tot water (kg)	Sp plasticizer	sp extra (kg)	tot SP	w/c ratio	(W + SP)/c	Mapei demp	demper extr	tot demper	Cement (kg)	water(kg)	Sp plastizer	w/c ratio	(W + SP)/c	Mapei demp
RCA 0%(03.02.21)	0,082	28,4	12,6	0	12,6	0,269	-0,05	0,219	0,44	0,45	0	0	0	346	153,51	2,16	0,44	0,45	0
RCA 0% shrinkage (16.02.21)	0,017	5,9	2,6	0	2,6	0,047	-0,008	0,039	0,44	0,45	0	0	0	346	152,47	2,30	0,44	0,45	0
RCA crete 5/20 (05.02.21)	0,087	30,1	13,4	0	13,4	0,2408	-0,02	0,2208	0,45	0,45	0	0	0	346	154,03	2,54	0,45	0,45	0
RCA crete for shrink. (17.02.21)	0,018	6,2	2,7	0	2,7	0,0492	0	0,0492	0,44	0,44	0	0	0	346	150,68	2,77	0,44	0,44	0
Rca crete max (08.02.21)	0,085	29,4	13	0,9	13,9	0,2353	0,1122	0,3475	0,47	0,48	0	0	0	346	163,59	4,09	0,47	0,48	0
Rca crete max shr comp str. (17.02.21)	0,039	13,5	6	0,6	6,6	0,1082	0	0,1082	0,49	0,50	0,0189	0,0195	0,0384	346	169,16	2,77	0,49	0,50	0,98
RCA MAX 15.03.21	0,08	27,664	12,274	0	12,274	0,221	0	0,221	0,44	0,45	0,12	0	0,12	346	153,51	2,77	0,44	0,45	1,50
ref mix 2 shrinkage 17.03.21	0,019	6,57	2,977	0	2,977	0,05299	0	0,05299	0,45	0,46	0	0	0	346	156,78	2,77	0,45	0,46	0

Yellow mark indicates differences from intended mix with w/c 0,45

## Vedlegg I – Trykkfasthet – Resultater kuber gjennomsnittlig verdier

Betongtype	Dag 3			Dag 28			Dag 90		
	Trykkfasthet MPa	% mot referanse	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Trykkfasthet Mpa	% mot referanse	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Trykkfasthet	% mot referanse	Densitet kg/m <sup>3</sup>
Referanse RCA 0	34,22	0,00	2455	51,94	0,00	2468	69,37	0,00	2478
RCA 5/20	31,42	-8,19	2530	53,57	3,14	2430	70,38	1,45	2445
RCA 20/60	31,49	-7,99	2344	47,73	-8,10	2365	62,90	-10,63	2355
RCA 20/60 2	31,45	-8,09	2335	47,67	-8,23	2345			
RCA 20/60 3	29,32	-14,32	2326	42,93	-17,36	2385			

Individuelle resultater i vedlegg J.

NS-EN 12390-3 (2009): Prøving av herdnet betong  
- Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet

NS-EN 12390-1 (2012): Prøving av herdnet betong  
- Del 1: Form, mål og andre krav til prøvelegemer  
og former

NS 3420 (1986): Tekniske bestemmelser. Kap. L  
Betongkonstruksjoner. NSF, Oslo

## Vedlegg J Individuelle densiteter og resultater trykkfasthet

Cube	RCA 0	a	b	c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	3 days	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A	99,88	100,64	99,87	1000,2	2456,1	628,74	10019,7	2456	
	99,80	100,34	99,98						
	99,80	99,77	99,99						
B	100,00	101,05	99,94	1005,5	2460,7	629,53	10049,3	2447	
	100,11	100,58	100,06						
	100,05	99,92	99,93						
C	99,99	99,97	99,96	995,4	2440	628,78	9952,7	2451	
	100,08	99,20	100,00						
	99,97	99,47	99,98						
Cube	RCA 5/20	a	b	c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	3 days	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A	99,90	100,84	99,89	1005,3	2440,1	628,74	10060,0	2427	
	99,97	100,51	99,94						
	99,92	100,61	100,01						
B	99,97	100,22	99,97	1007,9	2447,6	629,53	10081,4	2428	
	99,99	100,55	100,07						
	99,97	101,40	100,23						
C	99,81	101,77	100,40	1016,8	2459,8	628,78	10174,8	2419	
	99,99	101,77	99,96						
	100,00	101,50	99,84						
Cube	RCA 20/60	a	b	c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	3 days	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A	100,07	100,12	101,78	1020,5	2387,4	628,74	10189,9	2339	
	100,00	100,02	101,73						
	100,37	100,32	101,72						
B	100,05	99,92	100,84	1015,9	2376,6	629,53	10155,8	2340	
	100,00	99,94	101,27						
	100,03	100,40	102,30						
C	100,07	100,13	100,84	1017,5	2392,8	628,78	10164,9	2352	
	100,01	100,07	101,27						
	100,21	100,33	102,30						

RCA 20/60 2 3 dager 150cube	volum cm <sup>3</sup>	densitet kg/m <sup>3</sup>	vekt g
a	3465	2335	8073,5
b	3461	2340	8081,4
c	3460	2330	8096,4

RCA 20/60 3 3 dager	volum cm <sup>3</sup>	densitet kg/m <sup>3</sup>	vekt g
a	1019,2	2325,54	2281,7
b	1016,2	2339,09	2301,8
c	1018,4	2314,58	2272,8

RCA 0	a	b	c	Volume	Mass	Load	Test area	Density	
28 days	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	
A	99,85	101,67	99,94	1007,4	2492,3	628,74	10087,9	2474	
	99,87	101,16	99,87						
	99,86	100,17	99,83						
B	99,98	99,27	99,98	997,0	2460,5	629,53	9969,3	2468	
	100,04	99,10	100,03						
	99,99	100,70	100,00						
C	100,03	99,98	99,18	990,3	2445,3	628,78	9904,4	2469	
	99,97	99,89	99,38						
	99,95	99,95	98,75						
Cube	RCA 5/20	a	b	c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	28 days	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
	A	100,00	99,98	100,08	1012,5	2468	628,74	10061,4	2437
		100,01	99,99	99,98					
		101,90	100,93	100,88					
	B	99,95	99,98	100,00	1004,7	2436,8	629,53	10034,4	2425
		99,96	99,99	100,01					
		100,48	100,80	100,25					
	C	100,14	100,11	100,40	1007,8	2443,6	628,78	10056,7	2425
		100,22	100,12	100,14					
		100,28	100,58	100,35					
	Cube	RCA 20/60	a	b	c	Volume	Mass	Load	Test area
28 days		[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A		100,04	99,92	99,87	999,5	2367,5	628,74	9994,0	2369
		99,99	99,91	100,05					
		99,99	99,97	100,10					
B		100,01	99,98	100,74	1005,4	2384,6	629,53	10057,6	2372
		99,99	99,92	100,69					
		99,88	99,93	100,47					
C		100,07	100,07	100,84	1010,0	2376,3	628,78	10092,7	2353
		100,11	100,07	101,40					
		100,05	100,02	100,38					
Cube		20/60 3	a	b	c	Volume	Mass	Load	Test area
	28 days	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
	A	100,06	100,09	103,01	1027,7	2418,8	628,74	10271,2	2354
		100,07	100,12	102,86					
		100,04	100,06	101,99					
	B	100,00	100,07	100,25	1002,9	2383,8	629,53	10028,0	2377
		99,99	100,08	100,03					
		100,05	100,06	100,35					
	C	99,99	100,14	101,11	1017,1	2400,5	628,78	10166,9	2360
		100,07	100,16	101,50					
		100,05	100,07	102,02					



Cube	RCA 0	a	b	c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	90 days	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A	100,12	100,11	100,65	1009,7	2495,2	628,74	10088,1	2471	
	100,06	100,11	100,75						
	100,08	100,12	100,90						
B	100,00	100,00	99,77	1002,0	2489,8	629,53	10019,0	2485	
	99,99	100,00	100,50						
	100,05	99,88	100,42						
C	100,09	100,04	99,77	1003,8	2487,1	628,78	10029,3	2478	
	100,11	100,04	100,50						
	100,07	100,11	100,42						
Cube	RCA 5/20	a	b	c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	90 days	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A	99,99	99,86	100,40	1004,6	2437,7	628,74	10039,0	2427	
	100,10	99,99	100,44						
	100,11	100,11	100,37						
B	99,99	99,99	100,30	1003,5	2440,9	629,53	10036,0	2432	
	99,99	100,00	100,50						
	100,00	99,90	100,39						
C	99,97	100,07	100,70	1008,5	2458,4	628,78	10078,1	2438	
	100,12	100,15	100,71						
	100,11	100,02	100,69						
Cube	RCA 20/60	a	b	c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	90 days	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A	100,04	100,08	102,60	1023,7	2399,5	628,74	10234,9	2344	
	100,00	100,10	102,00						
	100,01	100,12	102,14						
B	99,91	100,06	100,08	1002,1	2367,8	629,53	10020,0	2363	
	100,04	100,02	100,30						
	100,08	100,04	100,10						
C	100,01	99,96	100,40	1012,0	2377,6	628,78	10117,0	2349	
	100,01	100,13	101,60						
	100,08	100,02	101,40						












## Test report

























Test report : Customer :  
 Tester : Test standard : EN196  
 Test speed : 0.6 N/mm<sup>2</sup>s



















### Test results:















Legend	No.	Date/Clock time	ID	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>	h mm	m g
	45	06/02/2021 11:44:10	RCA0-A 3d	10000.00	100.0	2400
	46	06/02/2021 11:49:46	RCA0-B 3d	10000.00	100.0	2400
	47	06/02/2021 11:52:38	RCA0-C 3d	10000.00	100.0	2400
	50	08/02/2021 14:18:04	RCA5/20-A 3d	10000.00	100.0	2400
	51	08/02/2021 14:21:10	RCA5/20-B 3d	10000.00	100.0	2400
	52	08/02/2021 14:26:32	RCA5/20-C 3d	10000.00	100.0	2400
	53	11/02/2021 11:24:01	RCA20/60-A 3d	10000.00	100.0	2400
	54	11/02/2021 11:26:22	RCA20/60-B 3d	10000.00	100.0	2400
	55	11/02/2021 11:28:32	RCA20/60-C 3d	10000.00	100.0	2400
	56	20/02/2021 12:07:43	RCA20/60-A-mix 2 3d 150 cubes	22500.00	150.0	8000
	57	20/02/2021 12:11:52	RCA20/60-B-mix 2 3d 150 cubes	22500.00	150.0	8000
	58	20/02/2021 12:14:45	RCA20/60-C-mix 2 3d 150 cubes	22500.00	150.0	8000
	59	03/03/2021 11:39:22	RCA0-A-28d	10000.00	100.0	2492
	60	03/03/2021 11:42:32	RCA0-B-28d	10000.00	100.0	2492
	61	03/03/2021 11:45:19	RCA0-C-28d	10000.00	100.0	2492
	62	05/03/2021 11:40:04	RCA5/20-A-28d	10000.00	100.0	2450
	63	05/03/2021 11:43:44	RCA5/20-B-28d	10000.00	100.0	2450
	64	05/03/2021 11:49:08	RCA5/20-C-28d	10000.00	100.0	2450
	65	08/03/2021 11:07:18	RCA20/60-A-28d	10000.00	100.0	2375
	67	08/03/2021 11:10:49	RCA20/60-B-28d	10000.00	100.0	2375
	68	08/03/2021 11:13:29	RCA20/60-C-28d	10000.00	100.0	2375
	69	17/03/2021 13:43:27	RCA20/60-A-28d mix 2 150 cubes	22500.00	150.0	8000
	70	17/03/2021 13:47:14	RCA20/60-B-28d mix 2 150 cubes	22500.00	150.0	8000
	71	17/03/2021 13:50:13	RCA20/60-C-28d mix 2 150 cubes	22500.00	150.0	8000
	72	18/03/2021 12:42:36	RCA20/60-A-3d Mix3	10000.00	100.0	2411
	73	18/03/2021 12:45:13	RCA20/60-B-3d Mix3	10000.00	100.0	2411
	74	18/03/2021 12:48:08	RCA20/60-C-3d Mix3	10000.00	100.0	2411
	76	12/04/2021 11:54:40	RCA20/60-A-28d Mix3 150 cubes	22500.00	150.0	8020
	77	12/04/2021 11:57:55	RCA20/60-B-28d Mix3 150 cubes	22500.00	150.0	8020
	78	12/04/2021 12:01:54	RCA20/60-C-28d Mix3 150 cubes	22500.00	150.0	8020
	79	12/04/2021 13:17:48	RCA20/60-A-28d Mix3 100 cubes	10000.00	100.0	2418































Legend	No.	Date/Clock time	ID	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>	h mm	m g
	80	12/04/2021 13:20:56	RCA20/60-B-28d Mix3 100 cubes	10000.00	100.0	2418
	81	12/04/2021 13:23:45	RCA20/60-C-28d Mix3 100 cubes	10000.00	100.0	2418
	82	04/05/2021 11:10:01	RCA0-A 90d	10000.00	100.0	2490
	83	04/05/2021 11:14:06	RCA0-B 90d	10000.00	100.0	2490
	84	04/05/2021 11:18:31	RCA0-C 90d	10000.00	100.0	2490
	85	06/05/2021 11:41:28	RCA5/20-A-90d	10000.00	100.0	2440
	86	06/05/2021 11:45:00	RCA5/20-C-90d	10000.00	100.0	2440
	87	06/05/2021 11:48:29	RCA5/20-B-90d	10000.00	100.0	2440
	88	08/05/2021 11:15:13	RCA20/60-A-90d	10000.00	100.0	2382
	89	08/05/2021 11:18:14	RCA20/60-B-90d	10000.00	100.0	2382
	90	08/05/2021 11:20:58	RCA20/60-C-90d	10000.00	100.0	2382

Legend	No.	ρ g/cm <sup>3</sup>	F <sub>max</sub> kN	σ <sub>m</sub> MPa
	45	2.4000	350.11	35.01
	46	2.4000	344.72	34.47
	47	2.4000	331.92	33.19
	50	2.4000	349.41	34.94
	51	2.4000	341.56	34.16
	52	2.4000	351.64	35.16
	53	2.4000	324.30	32.43
	54	2.4000	310.09	31.01
	55	2.4000	310.31	31.03
	56	2.3704	726.75	32.30
	57	2.3704	673.69	29.94
	58	2.3704	722.67	32.12
	59	2.4923	531.05	53.10
	60	2.4923	517.36	51.74
	61	2.4923	509.87	50.99
	62	2.4500	539.38	53.94
	63	2.4500	526.72	52.67
	64	2.4500	541.07	54.11
	65	2.3750	498.34	49.83
	67	2.3750	487.19	48.72
	68	2.3750	446.46	44.65
	69	2.3704	1102.99	49.02
	70	2.3704	1084.76	48.21
	71	2.3704	1030.08	45.78

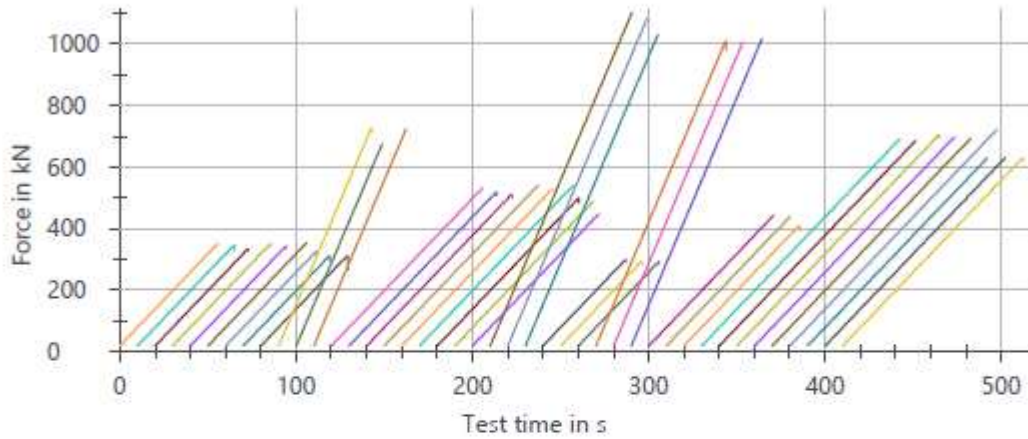
Legend	No.	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	$F_{max}$ kN	$\sigma_m$ MPa
	72	2.4110	297.75	29.77
	73	2.4110	291.17	29.12
	74	2.4110	290.78	29.08
	76	2.3763	1010.22	44.90
	77	2.3763	1006.54	44.73
	78	2.3763	1017.35	45.22
	79	2.4180	441.86	44.19
	80	2.4180	437.26	43.73
	81	2.4180	408.54	40.85
	82	2.4900	691.11	69.11
	83	2.4900	685.75	68.57
	84	2.4900	704.44	70.44
	85	2.4400	697.15	69.71
	86	2.4400	692.41	69.24
	87	2.4400	721.99	72.20
	88	2.3820	628.74	62.87
	89	2.3820	629.53	62.95
	90	2.3820	628.78	62.88

Legend	No.	$\epsilon_{b,03}$ %
	45	-
	46	-
	47	-
	50	-
	51	-
	52	-
	53	-
	54	-
	55	-
	56	-
	57	-
	58	-
	59	-
	60	-

Legend	No.	$\epsilon_{b,03}$ %
	61	-
	62	-
	63	-
	64	-
	65	-
	67	-
	68	-
	69	-
	70	-
	71	-
	72	-
	73	-
	74	-
	76	-

Legend	No.	$\epsilon_{b,03}$ %
	77	-
	78	-
	79	-
	80	-
	81	-
	82	-
	83	-
	84	-
	85	-
	86	-
	87	-
	88	-
	89	-
	90	-

**Series graph:**



**Statistics:**

Series	$\rho$	$F_{max}$
$n = 42$	$g/cm^3$	kN
$\bar{x}$	2.4125	577.00
$s$	0.0403	238.95
$v$ [%]	1.67	41.41

## Vedlegg K E-modul iht. NS-EN 12390-13

Betongtype	Dag 3			Dag 28			Dag 90		
	E-mod Ec Gpa	% til referanse	Densitet Kg/m3	E-mod Ec Gpa	% til referanse	Densitet Kg/m3	E-mod Ec GPa	% til referanse	Densitet Kg/m3
RCA 0	24,19	0,00	2435	28,81	0,00	2440	32,53	0,00	2431
RCA 5/20	23,96	-0,96	2439	28,69	-0,42	2446	32,41	-0,38	2440
RCA 20/60	22,93	-5,19	2356	27,11	-5,90	2373	30,56	-6,08	2371
RCA 20/60 3	23,14	-4,33		27,64	-4,05	2412			

Individuelle resultater i Vedlegg I, J og K. Målt midlere verdi for gjennomføring er regnet ut fra trykkfasthet til prøvelegemene.

## Vedlegg L E-modul Samtlige verdier 3-dagerstest

Cylinder	RCA 0	b		c	Volume	Mass	Load	Test area	Density		
	3 days	[mm]		[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]		
A	150,16	150,04	296,7	5245,5	12820,6	-	17677,3	2444			
									150,12	149,77	296,8
B	150,25	150,1	298,2	5267,9	12817,8	-	17670,3	2433			
									149,74	149,86	298,3
C	149,99	150,13	295,6	5235,8	12697,1	-	17706,4	2426			
									150,34	149,5	295,7
Cylinder	RCA 5	b		c	Volume	Mass	Load	Test area	Density		
	3 days	[mm]		[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]		
A	150,06	150,25	296,9	5243,2	12815,4	-	17664,4	2444			
									149,79	150,6	296,9
B	150,22	150,26	298,0	5268,6	12877,7	-	17675,4	2445			
									150,13	150,1	298,2
C	150,01	150,25	298,0	5255,8	12831,1	-	17631,4	2442			
									149,58	149,37	298,1
Cylinder	rca 20/60	b		c	Volume	Mass	Load	Test area	Density		
	3 days	[mm]		[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]		
A	150,3	150,24	296,4	5353,7	12334,7	-	18065,5	2304			
									149,99	149,53	296,4
B	149,87	149,73	297,3	5240,6	12469	-	17645,2	2377			
									150,17	149,83	296,8
C	150,17	150	295,5	5226,1	12284,8	-	17686,0	2351			
									149,94	149,54	295,5



Print date: 10.05.21

## Test report

Test report :

Tester :

Customer :
































Cycle speed : 0.6 N/mm<sup>2</sup>s
































Test standard : EN12390-13 method B

Machine data :

### Test results:



Legend	No.	Date/Clock time	ID	h mm	F <sub>max</sub> kN	σ <sub>m</sub> MPa	E <sub>c,s</sub> GPa
	92	06/02/2021 12:43:25	RCA0-A1	296.7	161.54	9.14	24.2
	93	06/02/2021 12:48:55	RCA0-A2	296.7	161.55	9.14	24.4
	94	06/02/2021 12:55:11	RCA0-A3	296.7	161.53	9.14	23.7
	97	06/02/2021 13:08:17	RCA0-B1	298.1	161.54	9.14	24.1
	99	06/02/2021 13:22:47	RCA0-B2	298.1	161.52	9.14	23.7
	101	06/02/2021 13:32:56	RCA0-B3	298.1	161.52	9.14	23.7
	107	06/02/2021 14:58:51	RCA0-C1	295.7	161.56	9.14	24.1
	112	06/02/2021 15:29:50	RCA0-C2	295.7	161.50	9.14	25.6
	115	08/02/2021 15:39:03	RCA5/20-A1	296.8	161.58	9.14	24.3
	116	08/02/2021 15:44:12	RCA5/20-A2	296.8	161.57	9.14	23.8
	117	08/02/2021 15:49:47	RCA5/20-A3	296.8	161.53	9.14	24.2
	119	08/02/2021 16:00:59	RCA5/20-B1	296.8	161.52	9.14	23.8
	120	08/02/2021 16:13:15	RCA5/20-B2	296.8	161.54	9.14	24.1
	121	08/02/2021 16:17:57	RCA5/20-B3	296.8	161.54	9.14	23.7
	122	08/02/2021 16:25:48	RCA5/20-C1	296.8	161.55	9.14	24.2
	124	08/02/2021 16:35:42	RCA5/20-C2	296.8	161.51	9.14	23.8
	125	08/02/2021 16:40:29	RCA5/20-C3	296.8	161.51	9.14	23.7
	128	11/02/2021 12:18:53	RCA20/60-A1-3d	296.4	146.29	8.28	23.1
	129	11/02/2021 12:24:16	RCA20/60-A2-3d	296.4	146.31	8.28	22.5
	130	11/02/2021 12:28:54	RCA20/60-A3-3d	296.4	146.29	8.28	22.4
	131	11/02/2021 12:34:27	RCA20/60-B1-3d	296.8	146.31	8.28	23.2
	132	11/02/2021 12:41:33	RCA20/60-B2-3d	296.8	146.31	8.28	23.4
	133	11/02/2021 12:46:57	RCA20/60-B3-3d	296.8	146.36	8.28	23.3
	134	11/02/2021 12:54:44	RCA20/60-C1-3d	295.5	146.31	8.28	23.2
	135	11/02/2021 12:59:08	RCA20/60-C2-3d	295.5	146.30	8.28	22.6
	136	11/02/2021 13:03:40	RCA20/60-C3-3d	295.5	146.30	8.28	22.7
	143	18/03/2021 13:51:58	RCA20/60-Mix2-3d-B-1	297.1	137.26	7.77	23.7
	144	18/03/2021 13:58:05	RCA20/60-Mix2-3d-B-2	297.1	137.29	7.77	23.2
	145	18/03/2021 14:02:26	RCA20/60-Mix2-3d-B-3	297.1	137.28	7.77	23.1
	153	18/03/2021 15:53:33	RCA20/60-Mix2-3d-A-1	294.2	137.26	7.77	22.8
	154	18/03/2021 15:58:05	RCA20/60-Mix2-3d-A-2	294.2	137.26	7.77	22.9

Legend	No.	$\sigma_{m a,1}$ MPa	$\epsilon_{a1,E1}$ mm	$\epsilon_{a1,E2}$ mm	$\epsilon_{a1,E3}$ mm	$\epsilon_{a,1}$ mm	$\sigma_{m b,1}$ MPa	$\epsilon_{b1,E1}$ mm	$\epsilon_{b1,E2}$ mm	$\epsilon_{b1,E3}$ mm	$\epsilon_{b,1}$ mm	$\epsilon_{a2,E1}$ mm
	max											
	min											
	92	9.12	0.0395	0.0358	0.0365	0.0373	2.73	0.0076	0.0062	-0.4027	0.0066	0.0409
	93	9.12	0.0346	0.0353	0.0344	0.0347	2.73	0.0036	0.0038	-0.0429	0.0038	0.0349
	94	9.12	0.0349	0.0340	0.0384	0.0358	2.73	0.0040	0.0023	0.1003	0.0035	0.0355
	97	9.12	0.0349	0.0299	0.0411	0.0353	2.73	0.0040	0.0023	-0.4123	0.0040	0.0356
	99	9.12	0.0312	0.0348	0.0420	0.0360	2.73	0.0030	0.0033	0.0597	0.0039	0.0316
	101	9.12	0.0285	0.0398	0.0390	0.0358	2.73	0.0022	0.0043	-0.0342	0.0037	0.0290
	107	9.12	0.0317	0.0415	0.0343	0.0358	2.73	0.0038	0.0067	0.1686	0.0049	0.0328
	112	9.12	0.0316	0.0289	0.0392	0.0332	2.73	0.0028	0.0028	-0.0385	0.0037	0.0326
	115	9.12	0.0383	0.0365	0.0299	0.0349	2.75	0.0053	0.0042	0.2009	0.0039	0.0389
	116	9.12	0.0331	0.0348	0.0387	0.0355	2.75	0.0038	0.0034	-0.4169	0.0038	0.0336
	117	9.12	0.0352	0.0303	0.0397	0.0350	2.75	0.0039	0.0026	0.1434	0.0036	0.0357
	119	9.12	0.0366	0.0401	0.0309	0.0359	2.75	0.0048	0.0050	0.0717	0.0045	0.0375
	120	9.12	0.0365	0.0350	0.0342	0.0352	2.75	0.0047	0.0039	0.0553	0.0042	0.0372
	121	9.12	0.0369	0.0322	0.0380	0.0357	2.75	0.0043	0.0025	0.0875	0.0037	0.0374
	122	9.12	0.0317	0.0371	0.0426	0.0371	2.75	0.0052	0.0060	0.1693	0.0066	0.0330
	124	9.12	0.0292	0.0414	0.0360	0.0355	2.75	0.0027	0.0053	-0.2689	0.0039	0.0297
	125	9.12	0.0332	0.0412	0.0330	0.0358	2.75	0.0033	0.0048	0.0507	0.0037	0.0334
	128	8.26	0.0295	0.0307	0.0377	0.0326	2.48	0.0022	0.0028	-0.0896	0.0030	0.0300
	129	8.26	0.0284	0.0342	0.0371	0.0332	2.48	0.0017	0.0030	-0.2150	0.0027	0.0288
	130	8.26	0.0275	0.0377	0.0351	0.0334	2.48	0.0016	0.0031	-0.0938	0.0027	0.0279
	131	8.26	0.0324	0.0393	0.0306	0.0341	2.48	0.0041	0.0066	-0.2111	0.0052	0.0323
	132	8.26	0.0314	0.0348	0.0304	0.0322	2.48	0.0026	0.0034	-0.3298	0.0030	0.0321
	133	8.26	0.0343	0.0329	0.0301	0.0324	2.48	0.0034	0.0032	-0.1113	0.0030	0.0347
	134	8.26	0.0277	0.0381	0.0378	0.0345	2.48	0.0037	0.0072	-0.1528	0.0056	0.0295
	135	8.26	0.0297	0.0388	0.0317	0.0334	2.48	0.0018	0.0044	-0.1504	0.0031	0.0300
	136	8.26	0.0342	0.0376	0.0280	0.0333	2.48	0.0028	0.0039	-0.3714	0.0028	0.0343
	143	7.75	0.0325	0.0309	0.0278	0.0304	2.30	0.0037	0.0038	0.2767	0.0036	0.0334
	144	7.75	0.0315	0.0302	0.0304	0.0307	2.30	0.0024	0.0032	0.0446	0.0028	0.0317
	145	7.75	0.0324	0.0301	0.0298	0.0308	2.30	0.0028	0.0030	0.0612	0.0028	0.0328
	153	7.75	0.0315	0.0288	0.0343	0.0315	2.30	0.0035	0.0026	-0.3493	0.0031	0.0324
	154	7.75	0.0315	0.0287	0.0338	0.0313	2.30	0.0032	0.0027	-0.2773	0.0031	0.0319

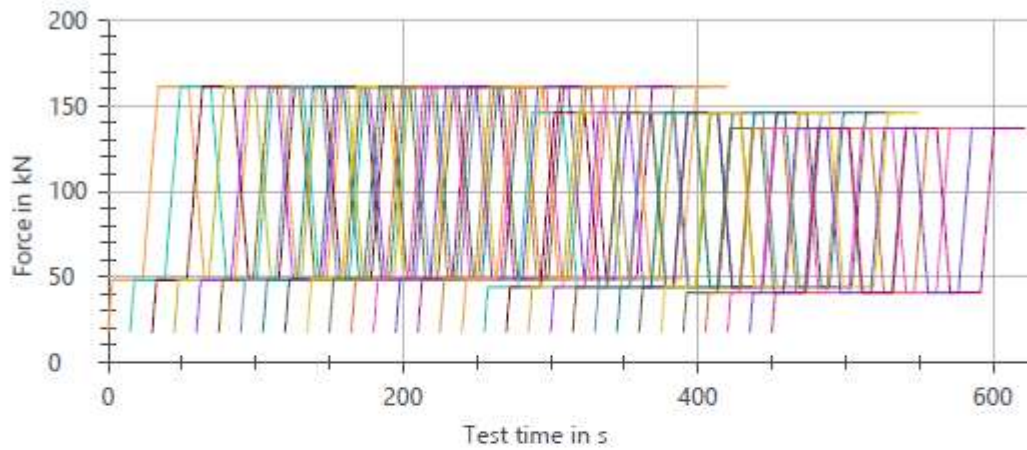


Toni / Technik		Print date: 10.05.21										
Legend	No.	$\epsilon_{a2,E2}$ mm	$\epsilon_{a2,E3}$ mm	$\epsilon_{a,2}$ mm	$\sigma_{m,b,2}$ MPa	$\epsilon_{b2,E1}$ mm	$\epsilon_{b2,E2}$ mm	$\epsilon_{b2,E3}$ mm	$\epsilon_{b,2}$ %	$\sigma_{m,a,3}$ MPa	$\epsilon_{a3,E1}$ mm	$\epsilon_{a3,E2}$ mm
	max											
	min											
	92	0.0368	0.0376	0.0384	2.73	0.0084	0.0068	0.0067	0.0061	9.12	0.0414	0.0373
	93	0.0355	0.0352	0.0352	2.73	0.0041	0.0040	0.0043	0.0035	9.12	0.0353	0.0357
	94	0.0335	0.0389	0.0360	2.73	0.0046	0.0021	0.0045	0.0031	9.12	0.0359	0.0333
	97	0.0304	0.0418	0.0359	2.73	0.0044	0.0026	0.0062	0.0037	9.12	0.0359	0.0306
	99	0.0351	0.0424	0.0364	2.73	0.0034	0.0035	0.0057	0.0035	9.12	0.0319	0.0352
	101	0.0397	0.0398	0.0362	2.73	0.0025	0.0045	0.0052	0.0034	9.12	0.0294	0.0397
	107	0.0427	0.0357	0.0371	2.73	0.0046	0.0077	0.0052	0.0049	9.12	0.0333	0.0432
	112	0.0294	0.0392	0.0338	2.73	0.0033	0.0032	0.0058	0.0034	9.12	0.0330	0.0296
	115	0.0372	0.0304	0.0355	2.75	0.0059	0.0045	0.0027	0.0036	9.12	0.0393	0.0374
	116	0.0353	0.0390	0.0360	2.75	0.0042	0.0037	0.0044	0.0034	9.12	0.0339	0.0355
	117	0.0306	0.0381	0.0348	2.75	0.0044	0.0027	0.0028	0.0028	9.12	0.0360	0.0306
	119	0.0407	0.0318	0.0367	2.75	0.0056	0.0054	0.0042	0.0042	9.12	0.0379	0.0410
	120	0.0359	0.0349	0.0360	2.75	0.0053	0.0045	0.0046	0.0040	9.12	0.0377	0.0364
	121	0.0322	0.0385	0.0360	2.75	0.0047	0.0025	0.0049	0.0034	9.12	0.0378	0.0322
	122	0.0382	0.0437	0.0383	2.75	0.0059	0.0067	0.0094	0.0061	9.12	0.0337	0.0387
	124	0.0421	0.0366	0.0361	2.75	0.0030	0.0059	0.0043	0.0037	9.12	0.0301	0.0424
	125	0.0415	0.0333	0.0361	2.75	0.0035	0.0053	0.0033	0.0034	9.12	0.0338	0.0417
	128	0.0313	0.0380	0.0331	2.48	0.0026	0.0031	0.0045	0.0028	8.26	0.0304	0.0315
	129	0.0342	0.0374	0.0335	2.48	0.0020	0.0031	0.0038	0.0025	8.26	0.0293	0.0342
	130	0.0375	0.0356	0.0337	2.48	0.0019	0.0031	0.0037	0.0024	8.26	0.0282	0.0375
	131	0.0400	0.0329	0.0351	2.48	0.0042	0.0073	0.0056	0.0048	8.26	0.0326	0.0406
	132	0.0350	0.0311	0.0327	2.48	0.0032	0.0037	0.0034	0.0029	8.26	0.0325	0.0352
	133	0.0333	0.0306	0.0329	2.48	0.0037	0.0034	0.0028	0.0028	8.26	0.0350	0.0335
	134	0.0393	0.0379	0.0356	2.48	0.0046	0.0082	0.0060	0.0052	8.26	0.0306	0.0398
	135	0.0393	0.0325	0.0339	2.48	0.0020	0.0049	0.0036	0.0029	8.26	0.0303	0.0396
	136	0.0379	0.0283	0.0335	2.48	0.0031	0.0043	0.0018	0.0026	8.26	0.0346	0.0381
	143	0.0317	0.0289	0.0313	2.30	0.0044	0.0044	0.0039	0.0035	7.75	0.0340	0.0320
	144	0.0306	0.0310	0.0311	2.30	0.0027	0.0035	0.0031	0.0026	7.75	0.0321	0.0308
	145	0.0303	0.0303	0.0311	2.30	0.0031	0.0033	0.0028	0.0026	7.75	0.0331	0.0306
	153	0.0289	0.0340	0.0318	2.30	0.0041	0.0029	0.0031	0.0028	7.75	0.0329	0.0291
	154	0.0288	0.0340	0.0316	2.30	0.0034	0.0028	0.0037	0.0027	7.75	0.0321	0.0289

Legend		$\epsilon_{a3,E3}$	$\epsilon_{a3}$	$\Delta\epsilon_{a12,E1}$	$\Delta\epsilon_{a12,E2}$	$\Delta\epsilon_{a12,E3}$	$\Delta\epsilon_{a23,E1}$	$\Delta\epsilon_{a23,E2}$	$\Delta\epsilon_{a23,E3}$	$E_{c,S}$
No.	mm	%	%	%	%	%	%	%	%	GPa
	max			20.00	20.00	20.00	10.00	10.00	10.00	
	min			-20.00	-20.00	-20.00	-10.00	-10.00	-10.00	
92	0.0384	0.0325	9.65	-1.27	0.94	0.70	0.68	0.97	24.2	
93	0.0357	0.0296	0.54	2.18	1.44	0.56	0.26	0.58	24.4	
94	0.0392	0.0301	-0.86	-6.23	8.86	0.63	-0.39	0.27	23.7	
97	0.0422	0.0302	0.75	-13.92	18.43	0.51	0.41	0.49	24.1	
99	0.0426	0.0305	-12.11	-2.38	17.83	0.48	0.10	0.18	23.7	
101	0.0401	0.0303	-18.87	11.07	11.19	0.57	-0.06	0.45	23.7	
107	0.0365	0.0314	-8.40	19.31	-0.32	0.80	0.51	1.13	24.1	
112	0.0395	0.0284	-1.90	-11.53	18.10	0.67	0.36	0.30	25.6	
115	0.0307	0.0298	11.56	6.48	-12.92	0.54	0.28	0.57	24.3	
116	0.0392	0.0301	-5.35	-0.68	9.78	0.36	0.24	0.21	23.8	
117	0.0382	0.0291	1.84	-12.70	8.64	0.43	0.02	0.21	24.2	
119	0.0324	0.0309	4.56	13.56	-11.28	0.55	0.36	0.90	23.8	
120	0.0355	0.0304	5.65	1.95	-0.81	0.63	0.62	0.75	24.1	
121	0.0389	0.0303	4.72	-9.71	7.99	0.55	-0.05	0.51	23.7	
122	0.0446	0.0325	-11.23	2.96	17.77	1.08	0.55	0.97	24.2	
124	0.0371	0.0304	-16.53	18.46	3.09	0.66	0.31	0.55	23.8	
125	0.0335	0.0303	-6.51	16.12	-6.87	0.53	0.19	0.28	23.7	
128	0.0385	0.0279	-7.99	-4.11	16.62	0.58	0.32	0.57	23.1	
129	0.0377	0.0281	-13.20	2.87	12.63	0.77	0.07	0.38	22.5	
130	0.0360	0.0283	-16.51	12.26	6.56	0.56	-0.06	0.51	22.4	
131	0.0336	0.0297	-5.46	17.28	-3.64	0.56	0.68	1.08	23.2	
132	0.0315	0.0275	-0.42	8.68	-3.37	0.63	0.30	0.56	23.4	
133	0.0309	0.0276	6.94	2.74	-5.68	0.38	0.31	0.48	23.3	
134	0.0380	0.0301	-14.62	13.88	9.65	1.87	0.62	0.12	23.2	
135	0.0328	0.0285	-10.01	17.67	-2.77	0.39	0.38	0.58	22.6	
136	0.0284	0.0281	3.22	13.81	-15.05	0.41	0.31	0.19	22.7	
143	0.0295	0.0265	10.00	4.17	-4.80	0.86	0.59	0.96	23.7	
144	0.0312	0.0261	3.43	-0.41	1.01	0.51	0.38	0.34	23.2	
145	0.0306	0.0262	6.55	-1.52	-1.68	0.47	0.49	0.49	23.1	
153	0.0340	0.0267	2.85	-8.13	8.02	0.71	0.26	-0.04	22.8	
154	0.0343	0.0265	1.86	-8.24	8.49	0.32	0.20	0.49	22.9	



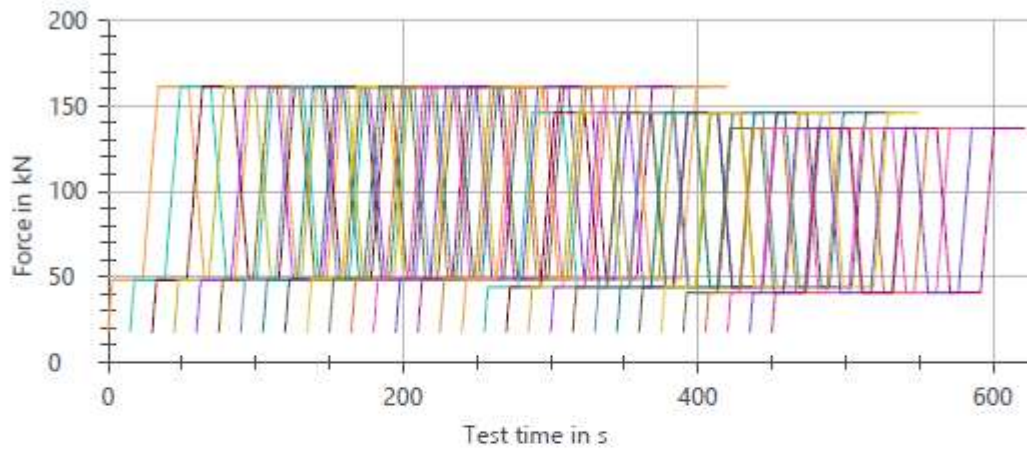
**Series graph:**



**Statistics:**

Series	$\rho$	Fmax	$\sigma_m$	Ecs
n = 31	g/cm <sup>3</sup>	kN	MPa	GPa
$\bar{x}$	2.4124	153.20	8.67	23.6
s	0.0375	9.79	0.55	0.7
v [%]	1.55	6.39	6.39	2.88

**Series graph:**



**Statistics:**

Series	$\rho$	Fmax	$\sigma_m$	Ecs
n = 31	g/cm <sup>3</sup>	kN	MPa	GPa
$\bar{x}$	2.4124	153.20	8.67	23.6
s	0.0375	9.79	0.55	0.7
v [%]	1.55	6.39	6.39	2.88

## Vedlegg J E-modul individuelle verdier 28 dager

rca 0	b		c	Volume	Mass	Load	Test area	Density	
28 days	[mm]		[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	
A	149,41	150,07	296,7	5239,8	12334,7	-	17657,7	2354	
	150,16	150,05	296,8						
	150,1	149,86	296,7						
B	150	150,06	298,0	5267,3	12469	-	17676,6	2367	
	150,1	150,25	298,1						
	150,15	149,57	297,8						
C	150,3	150,07	295,8	5242,3	12284,8	-	17718,6	2344	
	150,03	150,17	295,9						
	150,35	150,28	295,9						
Cylinder	rca 5/20	b		c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	28 days	[mm]		[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
	A	150,09	149,46	298,1	5264,4	12868,5	-	17662,8	2444
		150,23	149,19	298,1					
		150,49	150,32	298,0					
	B	150,26	150,2	298,0	5277,4	12917,4	-	17702,1	2449
		150,23	150,01	298,1					
		150,11	149,97	298,3					
	C	149,51	150,43	296,7	5245,2	12855,8	-	17675,0	2452
		150,39	150,14	296,7					
		150,11	149,51	296,9					
	Cylinder	rca 20/60	b		c	Volume	Mass	Load	Test area
28 days		[mm]		[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A		149,8	150,07	296,0	5234,1	12868,5	-	17666,0	2459
		150,22	149,95	296,5					
		150,09	149,73	296,4					
B		149,98	149,8	296,8	5244,5	12917,4	-	17667,5	2463
		150,16	150,07	296,8					
		150,02	149,87	297,0					
C		149,6	150,13	295,2	5204,0	12855,8	-	17629,9	2470
		150	149,8	295,2					
		149,45	149,96	295,2					

Cylinder	20/60 3	b		c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	28 days	[mm]		[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A	150,11	150,07	294,5	5211,4	12536,4	-	17692,7	2406	
	150	150,05	294,6						
	150,19	150,12	294,5						
B	150,19	150,17	298,6	5292,0	12810	-	17711,5	2422	
	150,11	150,4	299,0						
	150,17	149,98	298,8						
C	149,84	149,85	296,8	5246,1	12626,4	-	17667,5	2408	
	150,07	149,79	297,0						
	150,17	150,18	297,1						

## Test report

Test report :

Tester :

Customer :





































Cycle speed : 0.6 N/mm<sup>2</sup>s

Test standard : EN12390-13 method B





































Machine data :

### Test results:



Legend	No.	Date/Clock time	ID	h mm	F <sub>max</sub> kN	σ <sub>m</sub> MPa	E <sub>c,s</sub> GPa
	138	03/03/2021 12:16:21	RCA0-A1-28d	296.8	245.17	13.87	28.9
	139	03/03/2021 12:23:11	RCA0-A2-28d	296.8	245.15	13.87	28.1
	140	03/03/2021 12:28:08	RCA0-A3-28d	296.8	245.12	13.87	28.4
	142	03/03/2021 12:40:15	RCA0-C1-28d	296.8	245.10	13.87	29.2
	144	03/03/2021 12:49:00	RCA0-C2-28d	296.8	245.10	13.87	29.3
	145	03/03/2021 12:54:34	RCA0-C3-28d	296.8	245.09	13.87	29.5
	146	03/03/2021 13:00:37	RCA0-B1-28d	296.8	245.08	13.87	29.1
	147	03/03/2021 13:06:12	RCA0-B2-28d	296.8	245.13	13.87	28.3
	148	03/03/2021 13:15:55	RCA0-B3-28d	296.8	245.12	13.87	28.5
	149	05/03/2021 12:21:47	RCA5/20-A1-28d	296.8	250.98	14.20	29.5
	150	05/03/2021 12:27:22	RCA5/20-A2-28d	296.8	250.98	14.20	28.6
	151	05/03/2021 12:34:23	RCA5/20-A3-28d	296.8	250.93	14.20	29.3
	152	05/03/2021 12:41:49	RCA5/20-B1-28d	298.1	250.94	14.20	28.6
	155	05/03/2021 12:56:50	RCA5/20-B2-28d	298.1	250.94	14.20	28.2
	156	05/03/2021 13:01:58	RCA5/20-B3-28d	298.1	250.94	14.20	28.0
	157	05/03/2021 13:10:39	RCA5/20-C1-28d	298.1	250.96	14.20	28.9
	158	05/03/2021 13:15:41	RCA5/20-C2-28d	298.1	250.94	14.20	28.6
	159	05/03/2021 13:20:51	RCA5/20-C3-28d	298.1	250.93	14.20	28.5
	160	08/03/2021 11:20:28	RCA20/60-A1-28d	296.3	224.33	12.69	27.3
	161	08/03/2021 11:25:03	RCA20/60-A2-28d	296.3	224.32	12.69	26.6
	162	08/03/2021 11:29:47	RCA20/60-A3-28d	296.3	224.28	12.69	27.1
	163	08/03/2021 11:35:59	RCA20/60-B1-28d	296.8	224.30	12.69	27.8
	164	08/03/2021 11:41:51	RCA20/60-B2-28d	296.8	224.26	12.69	27.5
	165	08/03/2021 11:46:52	RCA20/60-B3-28d	296.8	224.28	12.69	27.6
	166	08/03/2021 11:54:06	RCA20/60-C1-28d	295.2	224.26	12.69	27.2
	167	08/03/2021 11:59:03	RCA20/60-C2-28d	295.2	224.26	12.69	26.6
	168	08/03/2021 12:03:42	RCA20/60-C3-28d	295.2	224.28	12.69	26.3
	169	12/04/2021 12:24:03	RCA20/60-A1-28d-mix2	294.5	210.90	11.93	27.7
	170	12/04/2021 12:28:30	RCA20/60-A2-28d-mix2	294.5	210.92	11.94	27.4
	171	12/04/2021 12:33:15	RCA20/60-A3-28d-mix2	294.5	210.90	11.93	27.2
	172	12/04/2021 12:40:52	RCA20/60-B1-28d-mix2	296.9	210.87	11.93	28.7
	173	12/04/2021 12:46:24	RCA20/60-B2-28d-mix2	296.9	210.86	11.93	27.8
	174	12/04/2021 12:50:56	RCA20/60-B3-28d-mix2	296.9	210.89	11.93	27.2
	175	12/04/2021 12:56:57	RCA20/60-C1-28d-mix2	298.6	210.88	11.93	27.1
	176	12/04/2021 13:02:20	RCA20/60-C2-28d-mix2	298.6	210.86	11.93	27.7
	177	12/04/2021 13:07:06	RCA20/60-C3-28d-mix2	298.6	210.86	11.93	28.0







































Legend		$\sigma_{m,a,1}$	$\epsilon_{a1,E1}$	$\epsilon_{a1,E2}$	$\epsilon_{a1,E3}$	$\epsilon_{a,1}$	$\sigma_{m,b,1}$	$\epsilon_{b1,E1}$	$\epsilon_{b1,E2}$	$\epsilon_{b1,E3}$	$\epsilon_{b,1}$	$\epsilon_{a2,E1}$
		MPa	mm	mm	mm	mm	MPa	mm	mm	mm	mm	mm
	max											
	min											
	138	13.85	0.0461	0.0467	0.0462	0.0463	4.16	0.0076	0.0077	0.2651	0.0073	0.0484
	139	13.85	0.0435	0.0459	0.0474	0.0456	4.16	0.0050	0.0050	-0.0168	0.0049	0.0443
	140	13.85	0.0446	0.0425	0.0473	0.0448	4.16	0.0045	0.0038	-0.4322	0.0042	0.0452
	142	13.85	0.0385	0.0500	0.0431	0.0439	4.16	0.0027	0.0065	0.1557	0.0046	0.0391
	144	13.85	0.0460	0.0499	0.0348	0.0436	4.16	0.0041	0.0061	-0.2390	0.0042	0.0464
	145	13.85	0.0482	0.0473	0.0344	0.0433	4.16	0.0050	0.0053	-0.2754	0.0042	0.0487
	146	13.85	0.0467	0.0392	0.0523	0.0461	4.16	0.0071	0.0054	-0.6022	0.0073	0.0482
	147	13.85	0.0431	0.0424	0.0498	0.0451	4.16	0.0037	0.0037	-0.3633	0.0044	0.0439
	148	13.85	0.0399	0.0457	0.0497	0.0451	4.16	0.0034	0.0048	-0.1503	0.0049	0.0407
	149	14.18	0.0480	0.0466	0.0450	0.0465	4.25	0.0089	0.0075	-0.1682	0.0073	0.0495
	150	14.18	0.0446	0.0432	0.0491	0.0456	4.25	0.0045	0.0038	-0.3383	0.0044	0.0453
	151	14.18	0.0434	0.0414	0.0496	0.0448	4.25	0.0043	0.0038	0.1711	0.0046	0.0441
	152	14.18	0.0472	0.0465	0.0496	0.0478	4.25	0.0077	0.0064	-0.4536	0.0074	0.0491
	155	14.18	0.0453	0.0440	0.0493	0.0462	4.25	0.0033	0.0045	-0.2131	0.0043	0.0459
	156	14.18	0.0438	0.0484	0.0482	0.0468	4.25	0.0033	0.0053	0.0643	0.0046	0.0441
	157	14.18	0.0510	0.0420	0.0494	0.0475	4.25	0.0094	0.0056	0.0846	0.0076	0.0523
	158	14.18	0.0454	0.0414	0.0504	0.0457	4.25	0.0052	0.0031	-0.4559	0.0045	0.0465
	159	14.18	0.0439	0.0439	0.0495	0.0458	4.25	0.0041	0.0035	-0.0071	0.0042	0.0446
	160	12.67	0.0386	0.0470	0.0450	0.0436	3.80	0.0035	0.0079	0.2768	0.0058	0.0398
	161	12.67	0.0427	0.0448	0.0416	0.0430	3.80	0.0031	0.0038	-0.3791	0.0034	0.0431
	162	12.67	0.0446	0.0460	0.0371	0.0426	3.80	0.0039	0.0046	0.1083	0.0035	0.0449
	163	12.67	0.0455	0.0478	0.0365	0.0432	3.80	0.0077	0.0073	-0.2336	0.0060	0.0468
	164	12.67	0.0435	0.0430	0.0396	0.0420	3.80	0.0046	0.0041	-0.4474	0.0038	0.0443
	165	12.67	0.0435	0.0355	0.0462	0.0417	3.80	0.0040	0.0024	-0.0532	0.0034	0.0439
	166	12.67	0.0443	0.0421	0.0455	0.0440	3.80	0.0059	0.0054	0.1556	0.0060	0.0455
	167	12.67	0.0434	0.0426	0.0438	0.0432	3.80	0.0033	0.0037	0.2182	0.0037	0.0439
	168	12.67	0.0442	0.0420	0.0451	0.0438	3.80	0.0036	0.0031	-0.1498	0.0036	0.0447
	169	11.91	0.0411	0.0376	0.0433	0.0406	3.57	0.0057	0.0050	0.1740	0.0054	0.0419
	170	11.91	0.0413	0.0340	0.0428	0.0394	3.57	0.0035	0.0020	-0.5052	0.0030	0.0418
	171	11.91	0.0407	0.0363	0.0421	0.0397	3.57	0.0035	0.0026	0.1856	0.0032	0.0412
	172	11.91	0.0410	0.0417	0.0351	0.0392	3.57	0.0055	0.0065	0.3547	0.0055	0.0421
	173	11.91	0.0364	0.0400	0.0394	0.0386	3.57	0.0024	0.0037	0.2566	0.0031	0.0370
	174	11.91	0.0397	0.0352	0.0442	0.0397	3.57	0.0031	0.0025	-0.1919	0.0031	0.0401
	175	11.91	0.0408	0.0445	0.0443	0.0432	3.57	0.0071	0.0080	0.2610	0.0072	0.0419
	176	11.91	0.0444	0.0402	0.0347	0.0398	3.57	0.0049	0.0046	0.2866	0.0041	0.0451
	177	11.91	0.0399	0.0409	0.0349	0.0386	3.57	0.0031	0.0031	0.3012	0.0029	0.0404

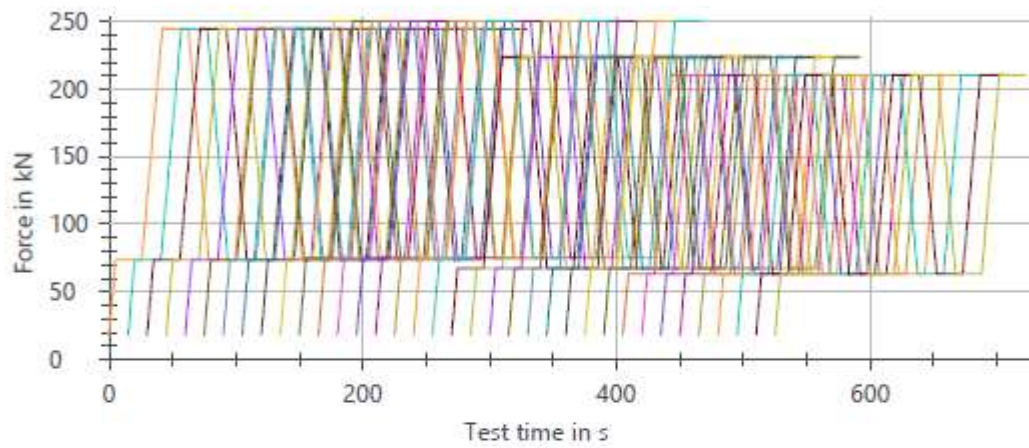


Legend		$\epsilon_{a2,E2}$	$\epsilon_{a2,E3}$	$\epsilon_{a,2}$	$\sigma_{m,b,2}$	$\epsilon_{b2,E1}$	$\epsilon_{b2,E2}$	$\epsilon_{b2,E3}$	$\epsilon_{b,2}$	$\sigma_{m,a,3}$	$\epsilon_{a3,E1}$	$\epsilon_{a3,E2}$
No.	mm	mm	mm	MPa	mm	mm	mm	%	MPa	mm	mm	
max												
min												
138	0.0471	0.0477	0.0477	4.16	0.0088	0.0083	0.0074	0.0068	13.85	0.0492	0.0476	
139	0.0467	0.0482	0.0464	4.16	0.0057	0.0055	0.0053	0.0046	13.85	0.0448	0.0470	
140	0.0431	0.0476	0.0453	4.16	0.0051	0.0042	0.0047	0.0039	13.85	0.0456	0.0435	
142	0.0507	0.0440	0.0446	4.16	0.0031	0.0071	0.0052	0.0043	13.85	0.0393	0.0510	
144	0.0502	0.0354	0.0440	4.16	0.0044	0.0064	0.0027	0.0038	13.85	0.0467	0.0502	
145	0.0478	0.0349	0.0438	4.16	0.0055	0.0056	0.0026	0.0038	13.85	0.0489	0.0479	
146	0.0405	0.0535	0.0474	4.16	0.0079	0.0061	0.0105	0.0068	13.85	0.0489	0.0410	
147	0.0424	0.0505	0.0456	4.16	0.0043	0.0038	0.0064	0.0040	13.85	0.0443	0.0426	
148	0.0463	0.0508	0.0459	4.16	0.0039	0.0052	0.0072	0.0045	13.85	0.0411	0.0465	
149	0.0478	0.0462	0.0478	4.25	0.0101	0.0082	0.0060	0.0067	14.18	0.0503	0.0483	
150	0.0439	0.0494	0.0462	4.25	0.0050	0.0042	0.0055	0.0041	14.18	0.0458	0.0442	
151	0.0419	0.0505	0.0455	4.25	0.0048	0.0039	0.0065	0.0042	14.18	0.0445	0.0419	
152	0.0465	0.0515	0.0490	4.25	0.0085	0.0064	0.0092	0.0067	14.18	0.0499	0.0466	
155	0.0447	0.0499	0.0468	4.25	0.0038	0.0049	0.0057	0.0040	14.18	0.0462	0.0448	
156	0.0485	0.0494	0.0474	4.25	0.0036	0.0055	0.0060	0.0042	14.18	0.0442	0.0487	
157	0.0436	0.0509	0.0489	4.25	0.0106	0.0064	0.0086	0.0071	14.18	0.0530	0.0444	
158	0.0418	0.0507	0.0463	4.25	0.0060	0.0034	0.0055	0.0041	14.18	0.0470	0.0421	
159	0.0442	0.0500	0.0463	4.25	0.0046	0.0038	0.0056	0.0039	14.18	0.0450	0.0444	
160	0.0486	0.0464	0.0449	3.80	0.0042	0.0087	0.0069	0.0055	12.67	0.0404	0.0491	
161	0.0451	0.0423	0.0435	3.80	0.0035	0.0041	0.0035	0.0031	12.67	0.0434	0.0453	
162	0.0463	0.0376	0.0429	3.80	0.0042	0.0049	0.0025	0.0032	12.67	0.0451	0.0465	
163	0.0482	0.0375	0.0442	3.80	0.0085	0.0074	0.0034	0.0054	12.67	0.0474	0.0484	
164	0.0435	0.0401	0.0426	3.80	0.0050	0.0044	0.0032	0.0035	12.67	0.0446	0.0437	
165	0.0362	0.0464	0.0422	3.80	0.0043	0.0028	0.0041	0.0031	12.67	0.0441	0.0365	
166	0.0432	0.0472	0.0453	3.80	0.0065	0.0062	0.0078	0.0057	12.67	0.0461	0.0437	
167	0.0430	0.0445	0.0438	3.80	0.0036	0.0039	0.0045	0.0034	12.67	0.0441	0.0431	
168	0.0422	0.0456	0.0442	3.80	0.0040	0.0032	0.0044	0.0032	12.67	0.0451	0.0422	
169	0.0386	0.0442	0.0416	3.57	0.0062	0.0055	0.0062	0.0050	11.91	0.0424	0.0391	
170	0.0341	0.0431	0.0397	3.57	0.0040	0.0018	0.0039	0.0027	11.91	0.0422	0.0340	
171	0.0368	0.0423	0.0401	3.57	0.0038	0.0029	0.0037	0.0029	11.91	0.0414	0.0370	
172	0.0428	0.0366	0.0405	3.57	0.0062	0.0072	0.0052	0.0052	11.91	0.0427	0.0432	
173	0.0407	0.0399	0.0392	3.57	0.0029	0.0043	0.0033	0.0029	11.91	0.0374	0.0411	
174	0.0353	0.0444	0.0399	3.57	0.0034	0.0025	0.0040	0.0028	11.91	0.0403	0.0353	
175	0.0459	0.0454	0.0444	3.57	0.0078	0.0088	0.0072	0.0066	11.91	0.0424	0.0465	
176	0.0408	0.0351	0.0403	3.57	0.0055	0.0050	0.0030	0.0037	11.91	0.0455	0.0410	
177	0.0404	0.0351	0.0386	3.57	0.0034	0.0027	0.0025	0.0024	11.91	0.0407	0.0399	



Legend		$\epsilon_{a3,E3}$	$\epsilon_{a,3}$	$\Delta\epsilon_{a12,E1}$	$\Delta\epsilon_{a12,E2}$	$\Delta\epsilon_{a12,E3}$	$\Delta\epsilon_{a23,E1}$	$\Delta\epsilon_{a23,E2}$	$\Delta\epsilon_{a23,E3}$	$E_{c,S}$
		mm	%	%	%	%	%	%	%	GPa
	max			20.00	20.00	20.00	10.00	10.00	10.00	
	min			-20.00	-20.00	-20.00	-10.00	-10.00	-10.00	
	138	0.0483	0.0403	4.41	1.72	2.88	0.88	0.54	0.70	28.9
	139	0.0486	0.0390	-2.78	2.38	5.76	0.54	0.31	0.38	28.1
	140	0.0476	0.0380	1.00	-3.76	6.21	0.39	0.43	0.09	28.4
	142	0.0444	0.0374	-11.00	15.60	0.22	0.34	0.22	0.45	29.2
	144	0.0356	0.0368	6.57	15.21	-18.79	0.35	0.04	0.37	29.3
	145	0.0350	0.0366	12.47	10.35	-19.47	0.23	0.15	0.23	29.5
	146	0.0544	0.0401	4.68	-12.12	16.20	0.71	0.65	0.80	29.1
	147	0.0508	0.0383	-2.68	-5.95	12.01	0.49	0.22	0.30	28.3
	148	0.0512	0.0386	-9.82	2.70	12.63	0.55	0.25	0.43	28.5
	149	0.0468	0.0404	6.36	2.71	-0.64	0.85	0.55	0.60	29.5
	150	0.0498	0.0388	-0.76	-3.71	8.27	0.53	0.26	0.35	28.6
	151	0.0509	0.0382	-1.51	-6.60	12.62	0.43	0.08	0.44	29.3
	152	0.0524	0.0414	2.87	-2.72	7.78	0.77	0.09	0.92	28.6
	155	0.0502	0.0392	-0.69	-3.28	8.07	0.33	0.15	0.26	28.2
	156	0.0500	0.0397	-5.70	3.68	5.59	0.01	0.20	0.57	28.0
	157	0.0516	0.0414	10.20	-8.10	7.17	0.71	0.89	0.76	28.9
	158	0.0509	0.0389	1.59	-8.54	10.79	0.61	0.28	0.21	28.6
	159	0.0502	0.0388	-2.50	-3.41	9.27	0.41	0.21	0.13	28.5
	160	0.0472	0.0380	-8.72	11.49	6.46	0.83	0.60	0.88	27.3
	161	0.0425	0.0364	0.08	4.80	-1.61	0.38	0.24	0.21	26.6
	162	0.0379	0.0360	5.37	8.78	-11.71	0.31	0.19	0.42	27.1
	163	0.0382	0.0372	8.18	11.50	-13.28	0.70	0.18	0.90	27.8
	164	0.0404	0.0357	5.31	3.57	-4.64	0.35	0.19	0.39	27.5
	165	0.0465	0.0353	5.14	-13.28	11.30	0.31	0.42	0.05	27.6
	166	0.0480	0.0383	3.53	-1.72	7.32	0.64	0.62	0.83	27.2
	167	0.0449	0.0367	1.39	-0.58	2.94	0.33	0.12	0.37	26.6
	168	0.0457	0.0369	2.22	-3.67	4.20	0.38	0.08	0.10	26.3
	169	0.0447	0.0351	3.07	-5.10	8.83	0.65	0.63	0.55	27.7
	170	0.0433	0.0332	6.19	-13.37	9.60	0.45	-0.16	0.17	27.4
	171	0.0424	0.0336	3.80	-7.24	6.45	0.26	0.31	0.15	27.2
	172	0.0374	0.0343	7.17	9.01	-6.66	0.79	0.53	1.05	28.7
	173	0.0401	0.0330	-4.16	5.32	3.23	0.50	0.53	0.34	27.8
	174	0.0445	0.0334	1.04	-10.90	11.94	0.31	-0.03	0.13	27.2
	175	0.0457	0.0374	-2.90	6.28	5.03	0.56	0.64	0.42	27.1
	176	0.0353	0.0338	13.45	2.49	-11.71	0.47	0.25	0.22	27.7
	177	0.0353	0.0322	4.74	4.60	-9.05	0.38	-0.53	0.25	28.0

**Series graph:**



**Statistics:**

Series	$\rho$	$F_{max}$	$\sigma_m$	EC5
$n = 36$	$q/cm^3$	kN	MPa	GPa
x	2.4196	232.81	13.17	28.1
s	0.0320	16.31	0.92	0.9
V [%]	1.32	7.00	7.00	3.10

## Vedlegg N E-mod individuelle verdier 90 dager



































Cylinder	RCA 0	b		c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	90 days	[mm]		[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A		150,24	150,24	296,8	5252,8	12536,4	-	17715,5	2387
		150,23	150,23	296,7					
		150,09	150,09	296,1					
B		149,72	149,72	298,1	5262,4	12810	-	17665,2	2433
		150,05	150,05	297,9					
		150,15	150,15	297,7					
C		150,34	150,34	297,0	5257,1	12626,4	-	17740,6	2397
		150,17	150,17	296,1					
		150,37	150,37	296,0					
Cylinder	RC 5/20	b		c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	90 days	[mm]		[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A		150,3	150,3	296,7	5266,8	12865,1	-	17747,7	2443
		150,37	150,37	296,8					
		150,3	150,3	296,8					
B		150,16	150,16	298,1	5277,4	12997,5	-	17698,2	2463
		150,05	150,05	298,1					
		150,13	150,13	298,3					
C		150,04	150,04	298,0	5270,9	12880,5	-	17687,2	2444
		150,1	150,1	298,0					
		150,06	150,06	298,1					
Cylinder	RCA 20/60	b		c	Volume	Mass	Load	Test area	Density
	90 days	[mm]		[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[g]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
A		150,19	150,19	296,4	5250,0	12394,8	-	17713,1	2361
		150,2	150,2	296,3					
		150,14	150,14	296,5					
B		150,01	150,01	296,8	5246,6	12526,2	-	17673,0	2388
		150,14	150,14	296,7					
		149,87	149,87	297,1					
C		150,11	150,11	295,1	5221,0	12344,8	-	17687,2	2365
		149,95	149,95	295,1					
		150,14	150,14	295,3					

## Test report



































Test report	:	Test standard	: EN12390-13 method B
Tester	:	Machine data	: I [3000kN]
Customer	:		
Cycle speed	:		: 0.6 N/mm <sup>2</sup> s

### Test results:





































Legend	No.	Date/Clock time	ID	h mm	F <sub>max</sub> kN	σ <sub>m</sub> MPa	E <sub>c,s</sub> GPa
	178	04/05/2021 11:36:16	RCA0-A1-90d	296.7	325.41	18.41	32.5
	179	04/05/2021 11:42:16	RCA0-A2-90d	296.7	325.39	18.41	32.3
	180	04/05/2021 11:48:06	RCA0-A3-90d	296.7	325.42	18.42	31.6
	181	04/05/2021 11:53:37	RCA0-A3-90d-comp	296.7	1043.06	59.02	-
	182	04/05/2021 12:04:23	RCA0-B1-90d	297.9	325.39	18.41	32.5
	183	04/05/2021 12:11:11	RCA0-B2-90d	297.9	325.38	18.41	32.4
	184	04/05/2021 12:17:15	RCA0-B3-90d	297.9	325.43	18.42	32.1
	185	04/05/2021 12:22:29	RCA0-B3-90d-comp	297.9	1069.84	60.54	-
	186	04/05/2021 12:26:37	RCA0-C1-90d	296.5	325.41	18.41	32.9
	187	04/05/2021 12:32:44	RCA0-C2-90d	296.5	325.35	18.41	33.4
	188	04/05/2021 12:38:37	RCA0-C3-90d	296.5	325.35	18.41	33.1
	189	04/05/2021 12:44:06	RCA0-C-90d-comp	296.5	1053.32	59.61	-
	190	06/05/2021 11:59:20	RCA5/20-A1-90d	296.8	330.35	18.69	32.9
	191	06/05/2021 12:04:33	RCA5/20-A2-90d	296.8	330.33	18.69	32.0
	192	06/05/2021 12:09:53	RCA5/20-A3-90d	296.8	330.34	18.69	32.7
	195	06/05/2021 12:22:27	RCA5/20-B1-90d	298.2	330.34	18.69	32.4
	196	06/05/2021 12:28:12	RCA5/20-B2-90d	298.2	330.30	18.69	32.4
	197	06/05/2021 12:34:05	RCA5/20-B3-90d	298.2	330.30	18.69	32.5
	198	06/05/2021 12:40:08	RCA5/20-B-90d-comp	298.2	1071.07	60.61	-
	199	06/05/2021 12:44:53	RCA5/20-A-90d-comp	298.2	1098.20	62.15	-
	200	06/05/2021 12:50:31	RCA5/20-C1-90d	298.5	330.30	18.69	32.5
	201	06/05/2021 13:04:01	RCA5/20-C2-90d	298.5	330.32	18.69	32.1
	202	06/05/2021 13:09:55	RCA5/20-C3-90d	298.5	330.30	18.69	32.2
	203	08/05/2021 11:30:34	RCA20/60-A1-90d	296.4	293.49	16.61	30.7
	204	08/05/2021 11:35:30	RCA20/60-A2-90d	296.4	293.41	16.60	30.5
	205	08/05/2021 11:40:17	RCA20/60-A3-90d	296.4	293.40	16.60	30.3
	206	08/05/2021 11:45:41	RCA20/60-A-90-comp	296.4	1019.28	57.68	-
	207	08/05/2021 11:49:54	RCA20/60-B1-90d	296.8	293.38	16.60	31.1
	208	08/05/2021 11:55:15	RCA20/60-B2-90d	296.8	293.40	16.60	31.2
	209	08/05/2021 12:02:35	RCA20/60-B3-90d	296.8	293.39	16.60	30.8
	210	08/05/2021 12:08:30	RCA20/60-B-90d-comp	296.8	1011.79	57.26	-
	211	08/05/2021 12:14:13	RCA20/60-C1-90d	295.2	293.38	16.60	30.2
	212	08/05/2021 12:21:29	RCA20/60-C2-90d	295.2	293.36	16.60	30.0
	213	08/05/2021 12:26:43	RCA20/60-C3-90d	295.2	293.36	16.60	30.2



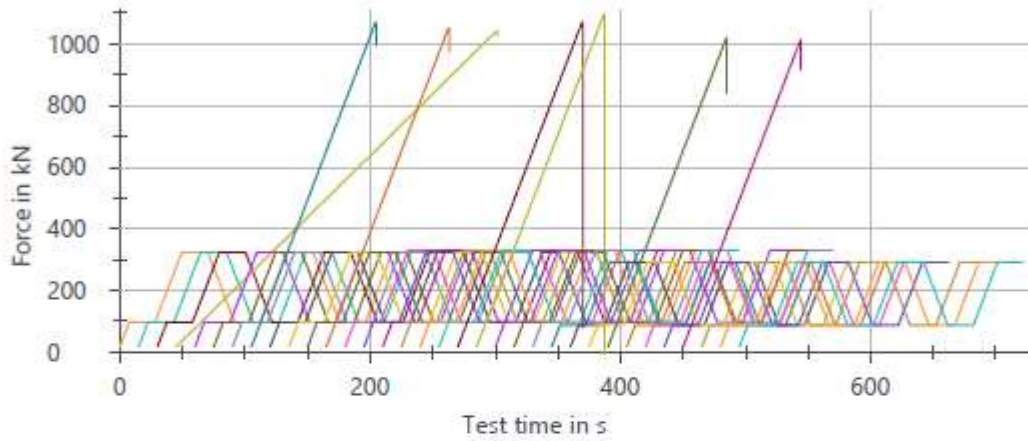
Legend		$\sigma_{m a,1}$	$\epsilon_{a1,E1}$	$\epsilon_{a1,E2}$	$\epsilon_{a1,E3}$	$\epsilon_{a,1}$	$\sigma_{m b,1}$	$\epsilon_{b1,E1}$	$\epsilon_{b1,E2}$	$\epsilon_{b1,E3}$	$\epsilon_{b,1}$	$\epsilon_{a2,E1}$
		MPa	mm	mm	mm	mm	MPa	mm	mm	mm	mm	mm
	max											
	min											
	178	18.39	0.0537	0.0515	0.0574	0.0542	5.52	0.0080	0.0071	0.1725	0.0080	0.0550
	179	18.39	0.0507	0.0520	0.0537	0.0521	5.52	0.0043	0.0051	0.0438	0.0049	0.0512
	180	18.39	0.0516	0.0542	0.0539	0.0532	5.52	0.0040	0.0052	0.1824	0.0049	0.0519
	181	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	182	18.39	0.0525	0.0598	0.0504	0.0542	5.52	0.0075	0.0098	0.2240	0.0080	0.0538
	183	18.39	0.0552	0.0529	0.0480	0.0520	5.52	0.0052	0.0056	-0.3236	0.0050	0.0558
	184	18.39	0.0548	0.0514	0.0506	0.0523	5.52	0.0051	0.0048	0.2814	0.0048	0.0554
	185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	186	18.39	0.0485	0.0603	0.0505	0.0531	5.52	0.0054	0.0099	0.2384	0.0073	0.0495
	187	18.39	0.0522	0.0567	0.0421	0.0503	5.52	0.0045	0.0064	-0.0839	0.0046	0.0528
	188	18.39	0.0577	0.0511	0.0429	0.0506	5.52	0.0058	0.0048	0.1178	0.0044	0.0582
	189	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	190	18.67	0.0482	0.0563	0.0588	0.0544	5.60	0.0058	0.0088	0.0086	0.0079	0.0494
	191	18.67	0.0525	0.0538	0.0541	0.0534	5.60	0.0048	0.0048	0.2065	0.0049	0.0533
	192	18.67	0.0537	0.0517	0.0510	0.0521	5.60	0.0050	0.0043	0.1375	0.0046	0.0544
	195	18.67	0.0546	0.0569	0.0544	0.0553	5.60	0.0083	0.0084	0.3188	0.0082	0.0560
	196	18.67	0.0513	0.0537	0.0533	0.0528	5.60	0.0046	0.0053	0.2736	0.0051	0.0518
	197	18.67	0.0528	0.0506	0.0547	0.0527	5.60	0.0049	0.0041	0.0489	0.0048	0.0531
	198	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	200	18.67	0.0544	0.0505	0.0594	0.0548	5.60	0.0075	0.0068	-0.5495	0.0076	0.0555
	201	18.67	0.0519	0.0498	0.0587	0.0535	5.60	0.0050	0.0045	-0.5232	0.0051	0.0527
	202	18.67	0.0501	0.0520	0.0558	0.0526	5.60	0.0038	0.0042	-0.0209	0.0044	0.0507
	203	16.58	0.0538	0.0418	0.0556	0.0504	4.97	0.0080	0.0029	-0.0657	0.0060	0.0551
	204	16.58	0.0485	0.0441	0.0537	0.0488	4.97	0.0035	0.0024	0.0000	0.0034	0.0488
	205	16.58	0.0427	0.0500	0.0549	0.0492	4.97	0.0021	0.0036	0.1414	0.0035	0.0430
	206	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	207	16.58	0.0506	0.0496	0.0508	0.0503	4.97	0.0069	0.0063	-0.4373	0.0067	0.0519
	208	16.58	0.0500	0.0402	0.0534	0.0479	4.97	0.0040	0.0024	0.0764	0.0036	0.0505
	209	16.58	0.0478	0.0465	0.0523	0.0489	4.97	0.0038	0.0034	0.2894	0.0039	0.0482
	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	211	16.58	0.0494	0.0525	0.0536	0.0518	4.97	0.0050	0.0068	-0.1205	0.0068	0.0504
	212	16.58	0.0494	0.0503	0.0508	0.0502	4.97	0.0037	0.0045	0.0401	0.0043	0.0499
	213	16.58	0.0486	0.0472	0.0528	0.0495	4.97	0.0037	0.0033	0.2383	0.0038	0.0491

Legend		$\epsilon_{a2,E2}$	$\epsilon_{a2,E3}$	$\epsilon_{a,2}$	$\sigma_{m,b,2}$	$\epsilon_{b2,E1}$	$\epsilon_{b2,E2}$	$\epsilon_{b2,E3}$	$\epsilon_{b,2}$	$\sigma_{m,a,3}$	$\epsilon_{a3,E1}$	$\epsilon_{a3,E2}$
No.		mm	mm	mm	MPa	mm	mm	mm	%	MPa	mm	mm
max												
min												
178		0.0524	0.0588	0.0554	5.52	0.0087	0.0073	0.0093	0.0070	18.39	0.0557	0.0527
179		0.0528	0.0544	0.0528	5.52	0.0045	0.0055	0.0057	0.0044	18.39	0.0514	0.0530
180		0.0549	0.0545	0.0538	5.52	0.0041	0.0055	0.0058	0.0043	18.39	0.0520	0.0552
181		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
182		0.0613	0.0516	0.0556	5.52	0.0082	0.0107	0.0071	0.0072	18.39	0.0545	0.0620
183		0.0536	0.0486	0.0527	5.52	0.0057	0.0061	0.0045	0.0045	18.39	0.0562	0.0541
184		0.0521	0.0511	0.0529	5.52	0.0054	0.0050	0.0048	0.0042	18.39	0.0557	0.0524
185		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
186		0.0618	0.0516	0.0543	5.52	0.0059	0.0107	0.0071	0.0066	18.39	0.0500	0.0624
187		0.0573	0.0426	0.0509	5.52	0.0050	0.0068	0.0031	0.0041	18.39	0.0533	0.0576
188		0.0518	0.0434	0.0511	5.52	0.0061	0.0051	0.0028	0.0039	18.39	0.0584	0.0520
189		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
190		0.0578	0.0602	0.0558	5.60	0.0062	0.0096	0.0100	0.0072	18.67	0.0498	0.0583
191		0.0540	0.0547	0.0540	5.60	0.0052	0.0050	0.0054	0.0043	18.67	0.0536	0.0542
192		0.0520	0.0514	0.0526	5.60	0.0053	0.0046	0.0045	0.0040	18.67	0.0548	0.0521
195		0.0581	0.0557	0.0566	5.60	0.0090	0.0090	0.0085	0.0074	18.67	0.0567	0.0586
196		0.0545	0.0542	0.0535	5.60	0.0049	0.0057	0.0060	0.0046	18.67	0.0521	0.0549
197		0.0514	0.0550	0.0532	5.60	0.0052	0.0045	0.0058	0.0043	18.67	0.0534	0.0518
198		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
199		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200		0.0516	0.0605	0.0559	5.60	0.0080	0.0074	0.0089	0.0067	18.67	0.0559	0.0521
201		0.0516	0.0582	0.0542	5.60	0.0057	0.0054	0.0056	0.0046	18.67	0.0531	0.0520
202		0.0523	0.0565	0.0531	5.60	0.0041	0.0043	0.0055	0.0039	18.67	0.0509	0.0523
203		0.0425	0.0568	0.0515	4.97	0.0087	0.0030	0.0078	0.0054	16.58	0.0556	0.0427
204		0.0442	0.0542	0.0491	4.97	0.0036	0.0024	0.0046	0.0029	16.58	0.0490	0.0442
205		0.0502	0.0554	0.0495	4.97	0.0020	0.0037	0.0053	0.0031	16.58	0.0430	0.0503
206		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
207		0.0505	0.0522	0.0515	4.97	0.0075	0.0068	0.0074	0.0060	16.58	0.0524	0.0509
208		0.0409	0.0536	0.0483	4.97	0.0042	0.0025	0.0047	0.0032	16.58	0.0507	0.0411
209		0.0466	0.0529	0.0492	4.97	0.0040	0.0034	0.0049	0.0034	16.58	0.0483	0.0466
210		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
211		0.0537	0.0548	0.0530	4.97	0.0054	0.0073	0.0092	0.0061	16.58	0.0508	0.0543
212		0.0510	0.0514	0.0508	4.97	0.0040	0.0049	0.0049	0.0038	16.58	0.0502	0.0513
213		0.0473	0.0534	0.0499	4.97	0.0040	0.0032	0.0047	0.0033	16.58	0.0493	0.0473



Legend	No.	$\epsilon_{a3,E3}$ mm	$\epsilon_{a,3}$ %	$\Delta\epsilon_{a12,E1}$ %	$\Delta\epsilon_{a12,E2}$ %	$\Delta\epsilon_{a12,E3}$ %	$\Delta\epsilon_{a23,E1}$ %	$\Delta\epsilon_{a23,E2}$ %	$\Delta\epsilon_{a23,E3}$ %	$E_{c,5}$ GPa
	max			20.00	20.00	20.00	10.00	10.00	10.00	
	min			-20.00	-20.00	-20.00	-10.00	-10.00	-10.00	
	178	0.0592	0.0466	1.38	-3.33	8.37	0.66	0.29	0.39	32.5
	179	0.0547	0.0442	-1.79	1.35	4.28	0.25	0.19	0.30	32.3
	180	0.0548	0.0450	-2.53	3.11	2.33	0.13	0.30	0.29	31.6
	181	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	182	0.0521	0.0468	-0.74	12.91	-4.89	0.56	0.59	0.49	32.5
	183	0.0489	0.0442	7.23	3.10	-6.55	0.37	0.43	0.24	32.4
	184	0.0514	0.0443	6.01	-0.40	-2.28	0.25	0.29	0.26	32.1
	185	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	186	0.0522	0.0457	-6.79	16.36	-2.78	0.45	0.48	0.54	32.9
	187	0.0428	0.0427	4.96	13.91	-15.42	0.42	0.26	0.25	33.4
	188	0.0436	0.0428	15.15	2.37	-14.25	0.17	0.20	0.28	33.1
	189	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	190	0.0608	0.0469	-9.30	6.12	10.58	0.47	0.47	0.53	32.9
	191	0.0549	0.0452	-0.35	1.04	2.40	0.31	0.23	0.16	32.0
	192	0.0516	0.0440	4.46	-0.31	-1.32	0.32	0.11	0.13	32.7
	195	0.0564	0.0477	1.27	5.05	0.80	0.65	0.48	0.58	32.4
	196	0.0548	0.0449	-1.87	3.36	2.74	0.33	0.30	0.53	32.4
	197	0.0553	0.0446	0.83	-2.40	4.44	0.22	0.38	0.24	32.5
	198	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	199	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	200	0.0610	0.0469	1.31	-5.80	10.55	0.37	0.50	0.35	32.5
	201	0.0583	0.0454	-1.46	-3.52	8.86	0.43	0.44	0.10	32.1
	202	0.0568	0.0445	-3.77	-0.62	7.25	0.26	0.02	0.32	32.2
	203	0.0572	0.0432	9.30	-15.75	12.64	0.46	0.22	0.35	30.7
	204	0.0544	0.0410	0.18	-9.45	11.11	0.14	0.03	0.16	30.5
	205	0.0557	0.0414	-12.63	2.10	12.72	0.06	0.09	0.20	30.3
	206	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	207	0.0527	0.0433	3.08	0.37	3.63	0.48	0.38	0.50	31.1
	208	0.0537	0.0404	5.37	-14.64	11.89	0.21	0.21	0.07	31.2
	209	0.0532	0.0411	-1.35	-4.60	8.26	0.10	-0.01	0.24	30.8
	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	211	0.0553	0.0446	-2.76	3.62	5.79	0.38	0.55	0.42	30.2
	212	0.0516	0.0425	-0.53	1.69	2.45	0.24	0.31	0.22	30.0
	213	0.0536	0.0417	-0.88	-4.38	7.77	0.23	-0.01	0.19	30.2

**Series graph:**



**Statistics:**

Series	$\rho$	$F_{max}$	$\sigma_m$	ECS
$n = 34$	$q/cm^3$	kN	MPa	GPa
$\bar{x}$	2.4257	467.90	26.48	31.8
$s$	0.0399	302.71	17.13	1.0
$v$ [%]	1.64	64.70	64.70	3.15

**Vedlegg O Uttøringsvinn iht. NS-EN 12390-16:2019: Prøving av herdet betong – Del 16: Bestemmelse av svinn i betong.**

12.05.2021																						
RCA0%		Casting day					1			3			4			6			7			
		16.02.2021					17.02.2021			19.02.2021			20.02.2021			22.02.2021			23.02.2021			
Name		a	c	L	Lo	Volume	Density	1D			3D			4D			6D			7D		
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl
		[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]
A		100	100,9	499	469	5023,4	2438	12248,3	2438	-0,057	12160,4	2421	-0,091	12150,3	2419	-0,097	12133,5	2415	-0,118	12127,1	2414	-0,124
		99,97	100,77	499	469																	
		99,99	100,38	499	469																	
B		99,99	101,5	499	469	5049,8	2456	12400,3	2456	-0,335	12317	2439	-0,364	12308,2	2437	-0,372	12292,5	2434	-0,385	12287	2433	-0,386
		99,79	101,4	499	469																	
		99,95	100,97	499	469																	
C		99,95	101,39	499	469	5056,7	2437	12321,6	2437	-0,14	12234,9	2420	-0,175	12225,7	2418	-0,181	12206,7	2414	-0,204	12201,7	2413	-0,204
		99,89	101,04	499	469																	
		99,96	101,78	499	469																	
A							100	0	0	99,282349	-17	72,4946695	99,19989	-20	85,2878465	99,06273	-23	130,063966	99,01047	-24	142,857143	
B							100	0	0	99,328242	-16	61,8336887	99,25728	-18	78,891258	99,13067	-21	106,609808	99,08631	-22	108,742004	
C							100	0	0	99,296358	-17	74,6268657	99,22169	-19	87,4200426	99,06749	-23	136,460554	99,02691	-24	136,460554	
Ø	%						100	2444	0	99,302316	2426	69,6517413	99,22629	2425	83,8663824	99,08696	2421	124,378109	99,04123	2420	129,353234	

15			21			28			42			56			90		
03.03.2021			09.03.2021			16.03.2021			30.03.2021			13.04.2021			17.05.2021		
15D			21D			28D			42D			56D			90D		
m	Density	Δl*	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl
[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]
12098,8	2408	-0,177	12082,3	2405	-0,196	12076,4	2404	-0,206	12068,3	2402	-0,223	12072,7	2403	-0,245			
12261,6	2428	-0,442	12247,7	2425	-0,449	12244,1	2425	-0,45	12237,2	2423	-0,478	12238,9	2424	-0,496			
12174,3	2408	-0,251	12157,5	2404	-0,267	12152,4	2403	-0,273	12141,5	2401	-0,294	12147,4	2402	-0,316			
98,77942	-30	255,863539	98,64471	-33	296,375267	98,59654	-34	317,697228	98,53041	-36	353,9446	98,56633	-35	400,8529	#DIV/0!	-2438	-121,535
98,88148	-27	228,144989	98,76938	-30	243,070362	98,740353	-31	245,202559	98,68471	-32	304,9041	98,69842	-32	343,2836	#DIV/0!	-2456	-714,286
98,80454	-29	236,673774	98,66819	-32	270,788913	98,626802	-33	283,58209	98,53834	-36	328,3582	98,58622	-34	375,2665	#DIV/0!	-2437	-298,507
98,82181	2415	240,227434	98,6941	2412	270,078181	98,654565	2411	282,160625	98,58449	2409	329,0689	98,61699	2410	373,1343	#DIV/0!	0	-378,109

RCA 5/20	Casting day						1			2			3			5			6		
	17.02.2021						18.02.2021			19.02.2021			20.02.2021			22.02.2021			23.02.2021		
	Name						1D			2D			3D			5D			6D		
	a	c	L	Lo	Volume	Density	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl
[mm]	[mm]	[mm]		[cm <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	
A	102,45	100,37	499	469	5112,2	2425	12397,2	2425	-0,139	12324,8	2411	-0,152	12303,4	2407	-0,168	12272,1	2401	-0,192	12263,5	2399	-0,197
	102,2	99,96	499	469																	
	102,34	100,02	499	469																	
B	99,96	99,88	499,5	469,5	5035,8	2451	12341,2	2451	-0,182	12258,7	2434	-0,205	12240,2	2431	-0,216	12213,9	2425	-0,24	12206,2	2424	-0,246
	99,96	100,7	499,5	469,5																	
	100,02	101,93	499,5	469,5																	
B	99,99	101,27	499,5	469,5	5070,9	2444	12391	2444	-0,205	12302	2426	-0,226	12282,2	2422	-0,244	12255,8	2417	-0,259	12247,5	2415	-0,272
	99,9	101,43	499,5	469,5																	
	99,97	102	499,5	469,5																	
A						100	0	0	99,415997	-14	27,7185501	99,24338	-18	61,8336887	98,9909	-24	113,006397	98,92153	-26	123,667377	
B						100	0	0	99,331507	-16	48,9882854	99,1816	-20	72,4174654	98,9685	-25	123,535676	98,9061	-27	136,315229	
c						100	0	0	99,281737	-18	44,7284345	99,12194	-21	83,0670927	98,90889	-27	115,015974	98,8419	-28	142,705005	
Ø	%						100	2440	0	99,415997	2424	40,4784233	99,18231	2420	72,4394156	98,95609	2414	117,186016	98,88985	2413	134,229204

7			14			21			28			42			56			90		
24.02.2021			03.03.2021			10.03.2021			17.03.2021			31.03.2021			14.04.2021			18.05.2021		
7D			14D			21D			28D			42D			56D			90D		
m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl
[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]
12255,8	2397	-0,215	12226,2	2392	-0,265	12205,5	2388	-0,337	12199	2386	-0,316	12187,7	2384	-0,321	12185,8	2384	-0,322			0
12198,9	2422	-0,263	12172,1	2417	-0,307	12155,6	2414	-0,34	12147,7	2412	-0,361	12138,6	2410	-0,37	12136,4	2410	-0,37			0
12239,6	2414	-0,287	12212	2408	-0,333	12194,6	2405	-0,292	12186,2	2403	-0,387	12176,3	2401	-0,396	12174	2401	-0,394			0
98,85942	-28	162,046908	98,62066	-33	268,656716	98,453683	-37	422,17484	98,40125	-39	377,3987	98,3101	-41	388,0597	98,29478	-41	390,1919	#DIV/0!	-2425	-296,375
98,84695	-28	172,523962	98,62979	-34	266,240682	98,496094	-37	336,528222	98,43208	-38	381,2567	98,35834	-40	400,426	98,34052	-41	400,426	#DIV/0!	-2451	-387,646
98,77815	-30	174,653887	98,5554	-35	272,630458	98,414979	-39	185,303514	98,34719	-40	387,6464	98,26729	-42	406,8158	98,24873	-43	402,5559	#DIV/0!	-2444	-436,635
98,82817	2411	169,741586	98,60195	2406	269,175952	98,454919	2402	314,668859	98,39351	2401	382,1006	98,31191	2399	398,4338	98,29467	2398	397,7246	#DIV/0!	0	-373,552

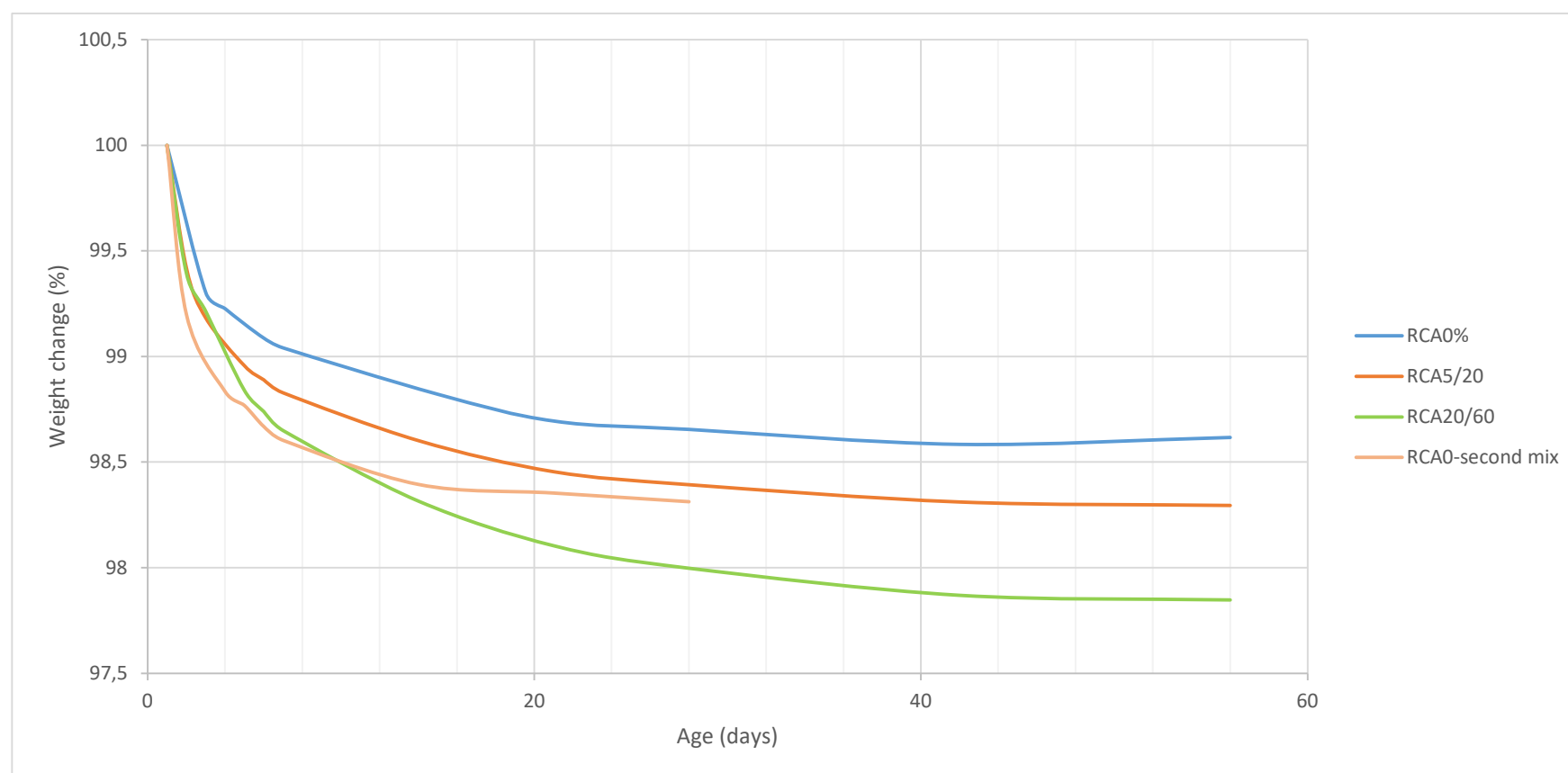
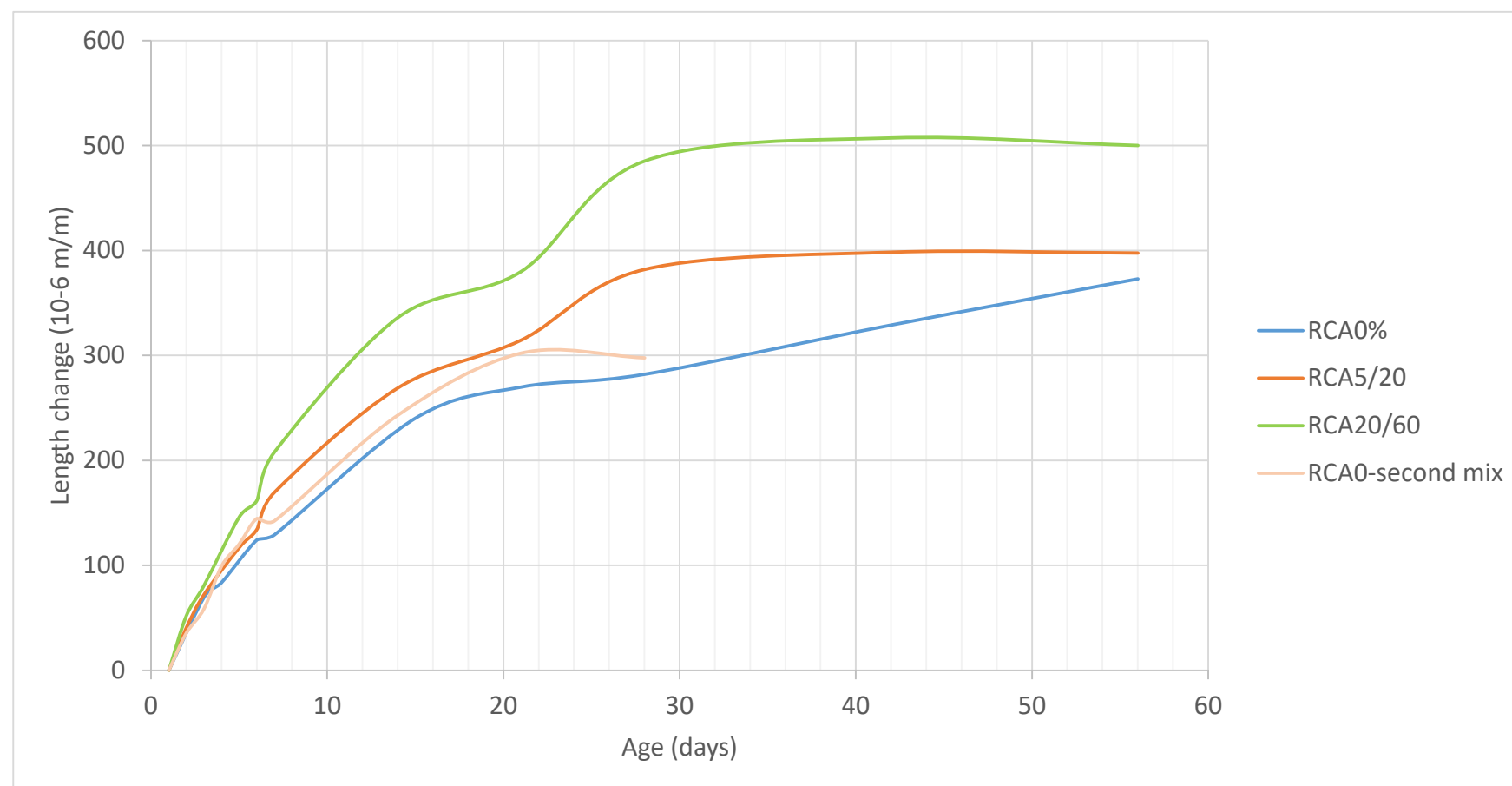


RCA20/60	Casting day					1			2			3			5			6					
	17.02.2021					18.02.2021			19.02.2021			20.02.2021			22.02.2021			23.02.2021					
	Name	a	c	L	Lo	Volume	Density	1D			2D			3D			5D			6D			
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	
A	100,27	102,6	499,5	469,5	5125,3	2357	12080	2357	-0,156	12006,6	2343	-0,175	11974,6	2336	-0,194	11932,8	2328	-0,223	11921,1	2326	-0,232		
	99,98	102,31	499	469																			
	100,1	102,66	499,5	469,5																			
B	100,1	102,75	499	469	5133,8	2362	12125,6	2362	-0,163	12066,2	2350	-0,19	12034,1	2344	-0,199	11986,8	2335	-0,231	11974,6	2333	-0,237		
	100,06	102,98	499	469																			
	99,98	102,77	499	469																			
C	100,01	102,48	499	469	5119,0	2378	12170,9	2378	-0,115	12114,4	2367	-0,142	12081,7	2360	-0,155	12034,9	2351	-0,186	12022,2	2349	-0,193		
	99,96	102,7	499	469																			
	99,88	102,73	499	469																			
A							100	0	0	99,392384	-14	40,4829545	99,12748	-21	80,9659091	98,78146	-29	142,755682	98,6846	-31	161,931818		
B							100	0	0	99,510127	-12	57,5692964	99,2454	-18	76,7590618	98,85531	-27	144,989339	98,7547	-29	157,782516		
C							100	0	0	99,535778	-11	57,5692964	99,2671	-17	85,2878465	98,88258	-27	151,385928	98,77823	-29	166,311301		
∅	%						100	2365	0	99,392384	2353	51,8738491	99,21333	2347	81,0042725	98,83978	2338	146,376983	98,73918	2336	162,008545		

7			14			21			28			42			56			90		
24.02.2021			03.03.2021			10.03.2021			17.03.2021			31.03.2021			14.04.2021			18.05.2021		
7D			14D			21D			21D			21D			21D			21D		
m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl
[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]
11910,5	2324	-0,257	11870,5	2316	-0,315	11845	2311	-0,337	11832,3	2309	-0,383	11816,8	2306	-0,399	11813,4	2305	-0,394			0
11963,9	2330	-0,261	11923,3	2323	-0,316	11897,4	2317	-0,34	11884,5	2315	-0,391	11869,1	2312	-0,399	11864,6	2311	-0,392			0
12011,2	2346	-0,209	11970,2	2338	-0,276	11944,6	2333	-0,292	11931,6	2331	-0,343	11915,8	2328	-0,35	11915,6	2328	-0,352			0
98,59685	-33	215,198864	98,26573	-41	338,778409	98,054636	-46	385,653409	97,9495	-48	483,6648	97,82119	-51	517,7557	97,79305	-52	507,1023	#DIV/0!	-2357	-332,386
98,66646	-31	208,955224	98,33163	-39	326,226013	98,118031	-44	377,398721	98,01164	-47	486,1407	97,88464	-50	503,1983	97,84753	-51	488,2729	#DIV/0!	-2362	-347,548
98,68785	-31	200,426439	98,35098	-39	343,283582	98,140647	-44	377,398721	98,03383	-47	486,1407	97,90402	-50	501,0661	97,90237	-50	505,3305	#DIV/0!	-2378	-245,203
98,65039	2334	208,193509	98,31611	2326	336,096001	98,104438	2321	380,150283	97,99833	2318	485,3154	97,86995	2315	507,34	97,84765	2315	500,2352	#DIV/0!	0	-308,379

RCA0-second mix	Casting day				1						2			3			4			5		
	17.03.2021				18.03.2021						19.03.2021			20.03.2021			21.03.2021			22.03.2021		
	Name	a	c	L	Lo	Volume	Density	1D			2D			3D			4D			5D		
		[mm]	[mm]	[mm]		[cm <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl
A	99,95	100,56	499,9	469,9	5026,5	2477	12450	2477	-0,201	12350	2457	-0,219	0	-0,229	12306,8	2448	-0,246	12299	2447	-0,256		
	100,02	100,35	499,95	469,95			12450	2477	-0,201	12350	2457	-0,219	0	-0,229	12306,8	2448	-0,246	12299	2447	-0,256		
	100,05	100,69	500	470			12450	2477	-0,201	12350	2457	-0,219	0	-0,229	12306,8	2448	-0,246	12299	2447	-0,256		
B	99,99	99,87	499,9	469,9	5028,3	2466	12399,2	2466	-0,117	12294,7	2445	-0,133	0	-0,143	12251,9	2437	-0,157	12243,6	2435	-0,172		
	100,2	100,05	499,95	469,95			12399,2	2466	-0,117	12294,7	2445	-0,133	0	-0,143	12251,9	2437	-0,157	12243,6	2435	-0,172		
	101,62	100	500	470			12399,2	2466	-0,117	12294,7	2445	-0,133	0	-0,143	12251,9	2437	-0,157	12243,6	2435	-0,172		
C	99,95	100,5	499,95	469,95	5038,5	2462	12406,5	2462	-0,02	12305,1	2442	-0,036	0	-0,049	12262,7	2434	-0,075	12254,2	2432	-0,08		
	100,05	100,99	499,95	469,95			12406,5	2462	-0,02	12305,1	2442	-0,036	0	-0,049	12262,7	2434	-0,075	12254,2	2432	-0,08		
	99,98	100,86	500	470			12406,5	2462	-0,02	12305,1	2442	-0,036	0	-0,049	12262,7	2434	-0,075	12254,2	2432	-0,08		
A							100	0	0	99,196787	-20	38,301947	#DIV/0!	-2477	59,5808065	98,8498	-28	95,7548675	98,78715	-30	117,033727	
B							100	0	0	99,157204	-21	34,0461751	#DIV/0!	-2466	55,3250346	98,81202	-29	85,1154378	98,74508	-31	117,033727	
C							100	0	0	99,182686	-20	34,0449677	#DIV/0!	-2462	61,706504	98,84093	-29	117,029577	98,77242	-30	127,668629	
∅	%						100	2468	0	99,196787	2448	35,4643633	#DIV/0!	0	58,8707817	98,83425	2440	99,2999606	98,76822	2438	120,578694	

6			7			14			21			28			35		
23.03.2021			24.03.2021			31.03.2021			07.04.2021			14.04.2021			21.04.2021		
6D			7D			21D			21D			21D			21D		
m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl	m	Density	Δl
[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]
12286,6	2444	-0,266	12279,1	2443	-0,266	12253,8	2438	-0,312	12249,1	2437	-0,34	12244,1	2436	-0,336	12238,3	2435	-0,369
12231,2	2432	-0,184	12223	2431	-0,18	12196,3	2426	-0,228	12191,2	2425	-0,256	12186,3	2424	-0,254	12180,4	2422	-0,289
12242	2430	-0,092	12233,4	2428	-0,093	12207,3	2423	-0,141	12202,1	2422	-0,168	12196,9	2421	-0,168	12191	2420	-0,203
98,68755	-33	138,312586	98,62731	-34	138,312586	98,424096	-39	236,19534	98,38635	-40	295,7761	98,34618	-41	287,2646	98,2996	-42	357,4848
98,64507	-33	142,568358	98,57894	-35	134,056815	98,363604	-40	236,19534	98,32247	-41	295,7761	98,28295	-42	291,5204	98,23537	-44	365,9964
98,67408	-33	153,202355	98,60476	-34	155,330165	98,39439	-40	257,465068	98,35248	-41	314,916	98,31056	-42	314,916	98,26301	-43	389,3893
98,6689	2436	144,694433	98,60367	2434	142,566522	98,39403	2429	243,285249	98,35376	2428	302,1561	98,31323	2427	297,9003	98,26599	2426	370,9568



## Vedlegg P Kapillær absorpsjon – PF metoden- Ung betong prøvelegemer 1 dag etter utstøp

RCA 0% avvik prøvelegemer 50mm										
Dato	Kl	Vekt (g) etter	Prøvestykke merket							
			1	2	3	4	5	6	7	8
15.02.2021	10:10	Tørking (g1)	826,80	767,10	828,50	810,40	861,10	809,40	820,90	864,80
15.02.2021	12:20	start suging	826,03	766,47	827,77	809,62	860,03	808,44	819,92	863,85
15.02.2021	12:31	10 min. suging	836,30	775,81	837,61	819,40	867,99	818,53	828,65	869,14
15.02.2021	12:51	30min. Suging	842,15	781,29	843,43	825,03	872,52	823,49	833,04	871,60
15.02.2021	13:21	1 time suging	846,59	785,59	847,69	829,29	876,25	827,64	836,89	873,87
15.02.2021	14:20	2 timer suging	853,75	791,57	854,05	835,20	881,02	833,55	842,41	877,26
15.02.2021	15:20	3 timer suging	858,69	796,04	858,15	839,77	884,51	837,81	846,34	879,85
15.02.2021	16:21	4 timer suging	863,14	799,77	861,59	843,53	887,09	841,11	849,34	881,91
15.02.2021	18:21	6 timer suging	869,39	805,66	866,76	849,49	891,32	846,50	854,39	885,43
16.02.2021	10:14	1 døgn suging	886,87	817,08	880,26	863,99	904,63	859,78	868,66	901,96
17.02.2021	10:26	2 døgn suging	887,15	817,10	880,47	864,18	907,38	860,74	869,66	906,44
18.02.2021	12:00	3 døgn suging	888,52	818,35	881,88	865,60	908,03	861,24	870,26	907,34
19.02.2021	12:00	4 døgn suging (g5)	888,95	818,70	882,25	865,99	908,56	861,80	870,71	907,88
23.02.2021	12:00	vannmetting (luft) (g2)	890,50	820,06	883,55	867,54	910,22	862,22	871,90	908,97
23.02.2021	10:00	vannmetting (vann) (g3)	890,95	821,11	884,50	868,43	910,46	863,31	872,90	909,28

økning i prosent % fra star suging til vannmetting luft								
1	2	3	4	5	6	7	8	
1,24	1,22	1,19	1,21	0,93	1,25	1,06	0,61	
1,95	1,93	1,89	1,90	1,45	1,86	1,60	0,90	
2,49	2,49	2,41	2,43	1,89	2,37	2,07	1,16	
3,36	3,27	3,17	3,16	2,44	3,11	2,74	1,55	
3,95	3,86	3,67	3,72	2,85	3,63	3,22	1,85	
4,49	4,34	4,09	4,19	3,15	4,04	3,59	2,09	
5,25	5,11	4,71	4,92	3,64	4,71	4,20	2,50	
7,37	6,60	6,34	6,72	5,19	6,35	5,94	4,41	
7,40	6,61	6,37	6,74	5,51	6,47	6,07	4,93	
7,57	6,77	6,54	6,91	5,58	6,53	6,14	5,03	
7,62	6,81	6,58	6,96	5,64	6,60	6,19	5,10	
7,80	6,99	6,74	7,15	5,84	6,65	6,34	5,22	
Gjennomsnittelig økning =							6,59	
Tørrdensitet Pt kg/m <sup>3</sup>								
1	2	3	4	5	6	7	8	Gjennomsnitt densitet
2214,75	2236,53	2268,35	2212,82	2314,71	2241,99	2275,59	2347,97	2264,09
Sugmettet densitet ps								
1	2	3	4	5	6	7	8	Gjennomsnitt
2385,38	2390,94	2419,07	2368,84	2446,75	2388,30	2416,97	2467,89	2410,52
Sugporøsitet Ps								
1	2	3	4	5	6	7	8	Gjennomsnitt
0,17	0,15	0,15	0,16	0,13	0,15	0,14	0,12	0,15

Q	1	2	3	4	5	6	7	8	gjenom. øK
Areal m2	0,007781891	0,00785084	0,007827824	0,007837758	0,007833052	0,00784142	0,007818417	0,007837758	
10 min. sugi kg vann/m2	1,32	1,19	1,26	1,25	1,02	1,29	1,12	0,67	1,14
30min. Suging	2,07	1,89	2,00	1,97	1,59	1,92	1,68	0,99	1,76
1 time suging	2,64	2,44	2,54	2,51	2,07	2,45	2,17	1,28	2,26
2 timer suging	3,56	3,20	3,36	3,26	2,68	3,20	2,88	1,71	2,98
3 timer suging	4,20	3,77	3,88	3,85	3,13	3,75	3,38	2,04	3,50
4 timer suging	4,77	4,24	4,32	4,33	3,45	4,17	3,76	2,30	3,92
6 timer suging	5,57	4,99	4,98	5,09	3,99	4,85	4,41	2,75	4,58
1 døgn suging	7,82	6,45	6,71	6,94	5,69	6,55	6,23	4,86	6,41
2 døgn suging	7,85	6,45	6,73	6,96	6,04	6,67	6,36	5,43	6,56
3 døgn suging	8,03	6,61	6,91	7,14	6,13	6,73	6,44	5,55	6,69
4 døgn suging (g5)	8,09	6,65	6,96	7,19	6,20	6,80	6,50	5,62	6,75
vannmetting (luft) (g2)	8,28	6,83	7,13	7,39	6,41	6,86	6,65	5,76	6,91
vannmetting (vann) (g3)	8,34	6,96	7,25	7,50	6,44	7,00	6,78	5,80	7,01

	Volum av prøvestykkene							
	1	2	3	4	5	6	7	8
D	99,54	99,98	99,83	99,90	99,87	99,92	99,77	99,90
H	48,00	43,71	46,68	46,75	47,52	46,06	46,16	47,02
V	0,0003733	0,0003430	0,0003652	0,0003662	0,0003720	0,0003610	0,0003607	0,0003683



RCA 5/20% avvik prøvelegemer 50 mm

Dato	Kl	Vekt (g) etter	Prøvestykke merket							
			1	2	3	4	5	6	7	8
16.02.2021	11:30	Tørking (g1)	800,50	891,20	854,80	768,80	770,90	849,50	884,70	800,00
16.02.2021	13:40	start suging	799,61	890,19	853,80	767,94	770,10	848,56	883,74	799,10
16.02.2021	13:50	10 min. suging	808,14	897,27	862,33	776,21	779,98	856,59	888,87	807,02
16.02.2021	14:10	30min. Suging	812,02	899,86	866,26	780,54	783,97	860,36	890,93	811,35
16.02.2021	14:40	1 time suging	816,01	902,69	869,92	784,25	787,81	863,81	892,93	815,27
16.02.2021	15:40	2 timer suging	821,46	906,47	874,87	788,97	793,06	868,64	896,03	820,64
16.02.2021	16:41	3 timer suging	825,30	909,37	878,65	792,47	796,91	872,15	898,39	824,37
16.02.2021	17:41	4 timer suging	828,36	911,64	881,60	795,16	800,07	875,04	900,43	827,29
16.02.2021	19:42	6 timer suging	833,44	915,42	886,36	799,78	805,11	879,69	903,87	832,10
17.02.2021	13:45	1 døgn suging	853,94	930,44	904,79	813,86	821,56	897,26	921,86	849,18
18.02.2021	13:55	2 døgn suging	855,68	934,73	906,01	814,51	822,47	898,45	929,88	851,22
19.02.2021	12:30	3 døgn suging	856,23	935,81	906,55	814,91	822,97	898,97	930,95	851,79
20.02.2021	12:30	4 døgn suging (g5)	856,67	936,35	907,05	815,27	823,33	899,32	931,60	852,30
24.02.2021	12:00	vannmetting (luft) (g2)	858,35	937,76	906,52	815,51	824,50	900,64	932,40	853,49
24.02.2021	12:00	vannmetting (vann) (g3)	858,14	937,67	908,27	816,59	824,79	900,68	933,00	853,84

økning i prosent %								
1	2	3	4	5	6	7	8	
1,07	0,80	1,00	1,08	1,28	0,95	0,58	0,99	
1,55	1,09	1,46	1,64	1,80	1,39	0,81	1,53	
2,05	1,40	1,89	2,12	2,30	1,80	1,04	2,02	
2,73	1,83	2,47	2,74	2,98	2,37	1,39	2,70	
3,21	2,15	2,91	3,19	3,48	2,78	1,66	3,16	
3,60	2,41	3,26	3,54	3,89	3,12	1,89	3,53	
4,23	2,83	3,81	4,15	4,55	3,67	2,28	4,13	
6,79	4,52	5,97	5,98	6,68	5,74	4,31	6,27	
7,01	5,00	6,12	6,06	6,80	5,88	5,22	6,52	
7,08	5,12	6,18	6,12	6,87	5,94	5,34	6,59	
7,14	5,19	6,24	6,16	6,91	5,98	5,42	6,66	
7,35	5,34	6,17	6,19	7,06	6,14	5,51	6,81	
Gjennomsnittelig økning =							6,32	
Tørrdensitet Pt kg/m <sup>3</sup>								
1	2	3	4	5	6	7	8	Gjennomsnitt densitet
2204,77	2342,70	2280,04	2276,88	2197,24	2284,11	2328,68	2247,20	2270,20
Sugmettet densitet Ps								
1	2	3	4	5	6	7	8	Gjennomsnitt
2364,10	2465,10	2417,99	2415,22	2350,01	2421,61	2454,23	2397,45	2410,71
Sugporøsitet Ps								
1	2	3	4	5	6	7	8	Gjennomsnitt
0,16	0,12	0,14	0,14	0,15	0,14	0,13	0,15	0,14

Q	1	2	3	4	5	6	7	8	gjen. øk
Areal m2	0,00782835	0,00781215	0,0078341	0,0078388	0,00783253	0,00784979	0,00783619	0,00781267	
10 min. sugi kg vann/m2	1,09	0,91	1,09	1,06	1,26	1,02	0,65	1,01	1,01
30min. Suging	1,59	1,24	1,59	1,61	1,77	1,50	0,92	1,57	1,47
1 time suging	2,09	1,60	2,06	2,08	2,26	1,94	1,17	2,07	1,91
2 timer suging	2,79	2,08	2,69	2,68	2,93	2,56	1,57	2,76	2,51
3 timer suging	3,28	2,46	3,17	3,13	3,42	3,01	1,87	3,23	2,95
4 timer suging	3,67	2,75	3,55	3,47	3,83	3,37	2,13	3,61	3,30
6 timer suging	4,32	3,23	4,16	4,06	4,47	3,97	2,57	4,22	3,87
1 døgn suging	6,94	5,15	6,51	5,86	6,57	6,20	4,86	6,41	6,06
2 døgn suging	7,16	5,70	6,66	5,94	6,69	6,36	5,89	6,67	6,38
3 døgn suging	7,23	5,84	6,73	5,99	6,75	6,42	6,02	6,74	6,47
4 døgn suging (g5)	7,29	5,91	6,80	6,04	6,80	6,47	6,11	6,81	6,53
vannmetting (luft) (g2)	7,50	6,09	6,73	6,07	6,95	6,63	6,21	6,96	6,64
vannmetting (vann) (g3)	7,48	6,08	6,95	6,21	6,98	6,64	6,29	7,01	6,70

	Volum av prøvestykkene							
	1	2	3	4	5	6	7	8
D	99,84	99,73	99,87	99,90	99,86	99,97	99,89	99,74
H	46,40	48,72	47,88	43,10	44,82	47,40	48,51	45,59
V	0,0003631	0,0003804	0,0003749	0,0003377	0,0003508	0,0003719	0,0003799	0,0003560

RCA MAX 20/60% avvik prøvelegemer 50mm

Dato	Kl	Vekt (g) etter	Prøvestykke merket							
			1	2	3	4	5	6	7	8
15.02.2021	10:15	Tørking (g1)	838,30	775,20	748,30	799,20	774,70	776,40	756,00	813,00
15.02.2021	12:25	start suging	837,43	774,37	747,45	798,28	773,89	775,54	755,25	812,00
15.02.2021	12:36	10 min. suging	846,71	783,67	756,89	806,31	781,87	785,19	764,13	823,04
15.02.2021	12:56	30min. Suging	852,40	789,88	762,50	811,74	787,01	791,37	769,53	827,95
15.02.2021	13:24	1 time suging	856,83	794,26	766,77	815,71	790,85	795,43	773,65	831,71
15.02.2021	14:23	2 timer suging	863,00	800,53	772,69	820,85	796,70	801,27	779,93	837,01
15.02.2021	15:23	3 timer suging	867,32	804,46	776,65	824,61	800,95	805,30	784,47	840,47
15.02.2021	16:23	4 timer suging	870,76	807,97	780,00	827,74	804,32	808,60	788,21	843,49
15.02.2021	18:24	6 timer suging	876,00	813,27	785,15	832,49	809,70	813,45	794,14	848,11
16.02.2021	10:19	1 døgn suging	896,47	832,21	801,58	850,55	829,27	832,62	814,79	866,46
17.02.2021	10:29	2 døgn suging	897,93	833,01	802,00	852,82	830,10	833,58	815,44	869,54
18.02.2021	12:00	3 døgn suging	899,23	834,25	803,23	854,17	831,43	834,83	816,75	871,08
19.02.2021	12:05	4 døgn suging (g5)	899,62	834,60	803,60	854,61	831,77	835,21	817,19	871,49
23.02.2021	10:05	vannmetting (luft) (g2)	901,57	836,53	805,35	856,56	833,66	837,21	819,02	873,77
23.02.2021	10:05	vannmetting (vann) (g3)	902,80	837,89	807,01	858,87	834,80	838,87	820,19	875,55

økning i prosent %							
1	2	3	4	5	6	7	8
1,11	1,20	1,26	1,01	1,03	1,24	1,18	1,36
1,79	2,00	2,01	1,69	1,70	2,04	1,89	1,96
2,32	2,57	2,58	2,18	2,19	2,56	2,44	2,43
3,05	3,38	3,38	2,83	2,95	3,32	3,27	3,08
3,57	3,89	3,91	3,30	3,50	3,84	3,87	3,51
3,98	4,34	4,35	3,69	3,93	4,26	4,36	3,88
4,61	5,02	5,04	4,29	4,63	4,89	5,15	4,45
7,05	7,47	7,24	6,55	7,16	7,36	7,88	6,71
7,22	7,57	7,30	6,83	7,26	7,48	7,97	7,09
7,38	7,73	7,46	7,00	7,44	7,64	8,14	7,28
7,43	7,78	7,51	7,06	7,48	7,69	8,20	7,33
7,66	8,03	7,75	7,30	7,72	7,95	8,44	7,61
Gjennomsnittelig økning =							7,81

Tørrdensitet Pt kg/m <sup>3</sup>								
1	2	3	4	5	6	7	8	Gjennomsnitt densitet
2155,75	2156,54	2164,99	2178,36	2126,52	2132,06	2107,20	2137,80	2144,90
Sugmettet densitet Ps								
1	2	3	4	5	6	7	8	Gjennomsnitt
2318,45	2327,16	2330,04	2334,71	2288,37	2299,05	2282,85	2297,59	2309,78
Sugporøsitet Ps								
1	2	3	4	5	6	7	8	Gjennomsnitt
0,16	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,18	0,16	0,16

Q	1	2	3	4	5	6	7	8
Areal m2	0,00784194	0,00783828	0,00784927	0,00786236	0,00785084	0,00787704	0,007860266	0,00790275
10 min. sugi kg vann/m2	1,18	1,19	1,20	1,02	1,02	1,23	1,13	1,40
30min. Suging	1,91	1,98	1,92	1,71	1,67	2,01	1,82	2,02
1 time suging	2,47	2,54	2,46	2,22	2,16	2,53	2,34	2,49
2 timer suging	3,26	3,34	3,22	2,87	2,91	3,27	3,14	3,16
3 timer suging	3,81	3,84	3,72	3,35	3,45	3,78	3,72	3,60
4 timer suging	4,25	4,29	4,15	3,75	3,88	4,20	4,19	3,98
6 timer suging	4,92	4,96	4,80	4,35	4,56	4,81	4,95	4,57
1 døgn suging	7,53	7,38	6,90	6,65	7,05	7,25	7,57	6,89
2 døgn suging	7,71	7,48	6,95	6,94	7,16	7,37	7,66	7,28
3 døgn suging	7,88	7,64	7,11	7,11	7,33	7,53	7,82	7,48
4 døgn suging (g5)	7,93	7,68	7,15	7,16	7,37	7,58	7,88	7,53
vannmetting (luft) (g2)	8,18	7,93	7,38	7,41	7,61	7,83	8,11	7,82
vannmetting (vann) (g3)	8,34	8,10	7,59	7,71	7,76	8,04	8,26	8,04

	Volum av prøvestykkene							
	1	2	3	4	5	6	7	8
D	99,92	99,90	99,97	100,05	99,98	100,15	100,04	100,31
H	49,61	45,88	44,06	46,69	46,43	46,25	45,67	48,15
V	0,0003889	0,0003595	0,0003456	0,0003669	0,0003643	0,0003642	0,0003588	0,0003803



