



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2019 30 stp**  
Fakultet for realfag og teknologi

## **Konstruksjonsbetong med gjenvunnet knust tilslag**

Construction concrete with reclaimed crushed  
aggregate

**Noura Mohamad**  
Master i byggeteknikk og arkitektur

## Forord

Denne oppgaven er et avsluttende arbeid for masteroppgave ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, våren 2019.

Først og fremst vil jeg rette en stor takk til mine veiledere for hjelpen de har bidratt med gjennom arbeidet. Themistoklis Tsalkatidis og Einar Nathan ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Eksterne veiledere Øyvind Sæter og Kaiwan Quadri Koplanto ved Unicon, avdeling Sjursøya.

Prøvene ble utført i samarbeid med Unicon, avdeling Sjursøya, som er et av Norges største leverandør av ferdig betong. De har vært viktige hjelpere på grunn av deres kompetanse innen betongteknologi og produksjon av betong. I tillegg har Unicon gitt meg tilgang til betong laboratoriet deres, som har vært svært viktig for gjennomføring av ulike undersøkelser på tilslag og betong samt økonomisk bidrag.

Denne forskning ble utført etter min egeninteresse innen temaet (lage betong med gjenvunnet tilslag). Jeg ønsket å fordype meg i fagfeltet betong innen det utvalgte tema for å øke forståelsen av dette komplekse materialet. Dette er fordi det er krig i mitt hjemland nå og jeg ser frem til å ta med den erfaring som jeg fått av arbeidet inn i arbeidslivet. Denne avhandlingen har vært lærerik og har gitt meg mye kunnskap om resirkulert betong.

Jeg vil også rette en stor takk til personalet ved Statens Vegvesen som har hjulpet meg til å utføre en del av de eksperimentelle testene i deres laboratoriet.

Vil til slutt takke mine familie, min tante Sonja og min kjære Azad som har støtte meg gjennom hele masteroppgaven og måtte høre meg snakke om betong hele skriveperioden.



# Innholdsfortegnelse

## Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>i</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	<b>ii</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>vi</b>
<b>Figur liste</b> .....	<b>vii</b>
<b>Tabell liste</b> .....	<b>ix</b>
<b>Begreper</b> .....	<b>1</b>
<b>Forkortelser</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Problemstilling</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Introduksjon</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>Bakgrunn</i> .....	5
2.2 <i>Dagens situasjon i Syria med henblikk på bygninger og konstruksjoner</i> .....	6
2.3 <i>Forskningens betydning</i> .....	12
2.4 <i>Metodikk</i> .....	13
<b>3 Teori og litteratur studie</b> .....	<b>14</b>
3.1 <i>Betong generelt</i> .....	14
3.2 <i>Betongbestandighet</i> .....	14
3.3 <i>Betongens støpelighet</i> .....	15
3.4 <i>Betongfasthet</i> .....	17
3.5 <i>Elastisitetsmodulen</i> .....	19
3.6 <i>Svinn</i> .....	20
3.6.1 <i>Plastisk svinn</i> .....	20
3.6.2 <i>Uttørkingssvinn</i> .....	20
3.6.3 <i>Autogen svinn</i> .....	20
3.7 <i>Kryp</i> .....	21
3.8 <i>Betongens delmaterialer</i> .....	21
3.8.1 <i>Sement</i> .....	21
3.8.2 <i>Tilsetningsmaterialer</i> .....	22
3.8.3 <i>Tilsetningsstoffer</i> .....	23
3.8.4 <i>Tilslag</i> .....	25
3.9 <i>Grunnleggende definisjoner</i> .....	28
3.9.1 <i>Bygg og rivingsavfall (B&amp;RA)</i> .....	28
3.9.2 <i>Resirkulering/ gjenvinning og gjenbruk</i> .....	29
3.10 <i>Resirkuleringsprosessen</i> .....	29

3.11	<i>Bruksområder av resirkulert tilslag</i> .....	30
3.11.1	Konstruksjonsbetong.....	30
3.11.2	Sprøytebetong.....	31
3.11.3	Bygningsblokker .....	31
3.11.4	Omfyllingsmateriale .....	32
3.11.5	Veioppbygging.....	32
3.11.6	Belegningsstein .....	33
3.12	<i>Bruk og generering av B&amp;RA på andre land over hele verden</i> .....	33
3.12.1	USA .....	33
3.12.2	EU .....	33
3.12.3	Spania .....	34
3.12.4	Tyskland .....	34
3.12.5	Norge .....	34
3.12.6	Nederland .....	34
3.12.7	Storbritannia .....	35
3.12.8	Japan.....	35
3.12.9	Danmark .....	35
3.12.10	Bulgaria.....	36
3.12.11	Hongkong.....	36
3.13	<i>Egenskaper til resirkulerte tilslag fra tidligere studier</i> .....	36
3.13.1	Effekt av det resirkulerte tilslaget form og gradering .....	36
3.13.2	Vannabsorpsjon.....	36
3.13.3	Densitet .....	37
3.14	<i>Egenskaper til resirkulert betong fra tidligere studier</i> .....	37
3.14.1	Egenskaper til resirkulert betong i fersk fase .....	37
3.14.2	Egenskaper til resirkulert betong i herdet fase .....	38
<b>4</b>	<b>Metode</b> .....	<b>42</b>
4.1	<i>Forsøksplan</i> .....	42
4.2	<i>Testmetoder og standarder</i> .....	43
4.3	<i>Betongresept</i> .....	43
4.4	<i>Blandeprosedyre</i> .....	44
4.4.1	Metode fra Statens vegvesen .....	45
4.4.2	Metode utviklet i lab .....	45
4.5	<i>Materialer</i> .....	46
4.5.1	Bindemiddel.....	46
4.5.2	Tilsetningsstoffer .....	46
4.5.3	Vann .....	46
4.5.4	Tilslag .....	46
4.6	<i>Prøving av gjenvunnet tilslag</i> .....	47
4.6.1	Kornstørrelsesfordeling (siktanalyse) og finstoffinnhold.....	47
4.6.2	Vanninnhold .....	49
4.6.3	Korndensitet og vannabsorpsjon .....	49
4.6.4	Innhold av organisk materiale – humusinnhold.....	50
4.6.5	Materialsammensetning .....	51
4.7	<i>Fersk betong</i> .....	52
4.7.1	Synkmål .....	52
4.7.2	Synkutbredelsesmål .....	53
4.7.3	Densitet.....	54
4.7.4	Luftinnhold .....	54
4.8	<i>Utstøping, lagring og herding</i> .....	56

4.9	<i>Herdet betong</i> .....	57
4.9.1	<i>Trykkfasthet</i> .....	57
4.9.2	<i>Densitet av herdet betong</i> .....	58
4.9.3	<i>Elastisitetsmodul</i> .....	59
4.10	<i>Fremgangsmåte av laboratorium program</i> .....	61
<b>5</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>64</b>
5.1	<i>Kornstørrelsesfordeling (siktanalyse) og finstoffinnhold</i> .....	64
5.2	<i>Vanninnhold</i> .....	67
5.3	<i>Korndensitet og vannabsorpsjon</i> .....	68
5.4	<i>Innhold av organisk materiale – humusinnhold</i> .....	69
5.5	<i>Materialsammensetning</i> .....	69
5.6	<i>Resultat fra fremgangsmåte av laboratorium program</i> .....	70
5.7	<i>Konsistens (synkmål og synkutbredelsesmål)</i> .....	72
5.8	<i>Luftinnhold</i> .....	74
5.9	<i>Densitet av fersk og herdet betong</i> .....	75
5.10	<i>Trykkfasthet</i> .....	77
5.11	<i>Elastisitetsmodul</i> .....	80
<b>6</b>	<b>Diskusjon</b> .....	<b>85</b>
6.1	<i>Kornstørrelsesfordeling (siktanalyse) og finstoffinnhold</i> .....	85
6.2	<i>Vanninnhold</i> .....	85
6.3	<i>Korndensitet og vannabsorpsjon</i> .....	85
6.4	<i>Innhold av organisk materiale – humusinnhold</i> .....	86
6.5	<i>Materialsammensetning</i> .....	86
6.6	<i>Resultat fra fremgangsmåte av laboratorium program</i> .....	86
6.7	<i>Konsistens (synkmål og synkutbredelsesmål)</i> .....	87
6.8	<i>Luftinnhold</i> .....	88
6.9	<i>Densitet av fersk og herdet betong</i> .....	88
6.10	<i>Trykkfasthet</i> .....	88
6.11	<i>Elastisitetsmodul</i> .....	90
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>91</b>
<b>8</b>	<b>Anbefalinger for fremtidige studier</b> .....	<b>93</b>
<b>9</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>94</b>
<b>10</b>	<b>Vedlegg</b> .....	<b>99</b>
10.1	<i>Vedlegg A: Materialer</i> .....	99
10.2	<i>Vedlegg B: Blandeskjemaer</i> .....	107
10.3	<i>Vedlegg C : info om utstøpingsdato</i> .....	114
10.4	<i>Vedlegg D : brudd former</i> .....	115

10.5 Vedlegg E : Unicon rapport for E-modul..... 118

## Sammendrag

Denne masteroppgaven handler om naturlig betong og resirkulert betong. Formålet med denne studien var fremstilling av betongblandinger inneholdende varierende prosenter av grov gjenvunnet tilslag og evaluering av betongens støpelighet og styrke. Dette arbeidet ga en bedre forståelse av egenskapene til betong med grov gjenvunnet tilslag, som et alternativt materiale til det grove naturlige tilslag i Konstruksjonsbetong.

For å utføre denne oppgaven ble det utført et litteratursøk om naturlig betong og dens forskjellige egenskaper i fersk og herdet fase. Dessuten ble det utført litteratursøk om egenskapene til resirkulert/gjenvunnet tilslag og dens påvirkning på betongens egenskaper. Dette ga en grundig kunnskap som er nødvendig for å gjennomføre den praktiske delen av oppgaven som ble utført i laboratoriet. Det ble utført flere tester på gjenvunnet tilslag for å undersøke dens egenskaper, og de ble sammenlignet med naturlig tilslag. Det ble utført tester på både naturlig og resirkulert betong i fersk og herdet fase (synkmål, synkutbredelsesmål, densitet, luftinnhold, trykkfasthet og elastisitetsmodul).

Det var totalt syv betongblandinger som besto av 1 naturlig betong og 6 resirkulert betong med forskjellige prosentandeler av gjenvunnet tilslag 25%, 50% og 100%. I tre av de resirkulerte betongene ble det økt kun pastavolum og i tre ble det brukt mindre pastavolum og økt mengde superplastiserende tilsetningsstoffer.

Gjenvunnet tilslag har ofte dårligere egenskaper enn naturlig tilslag. Spesielt er det verdt å nevne at sammenlignet med naturlig tilslag har gjenvunnet tilslag høyere vannabsorpsjon og lavere densitet. De eksperimentelle resultater viser at gjenvunnet tilslag vil påvirke betong egenskaper både i fersk og herdet fase. Ved overgang fra naturlig til gjenvunnet tilslag må vi forvente økning i pastavolumet og/eller i kjemiske stoffer for å oppnå den ønskede konsistens, fordi gjenvunnet tilslag har høyere vannabsorpsjon enn naturlig betong.

Styrkeresultatene viste en reduksjon i trykkfastheten og elastisitetsmodul i alle de resirkulerte betongene enn den naturlige betong. Men likevel tilfredsstilte resirkulert betong styrke kravet for oppgaven. Basert på denne oppgaven med de eksperimentelle resultater, har det vist seg at det er mulig å benytte grovt gjenvunnet tilslag som komponentmaterialer i betongblandingene. Egenskapene til gjenvunnet tilslag er hovedsakelig avhengig av egenskapene til den opprinnelige betongen som tilslag kommer fra.

## Figur liste

Figur 2-1. Boligbygninger “Waldspirale” i Darmstadt, Tyskland (Malešev et al., 2014). .....	6
Figur 2-2. Totalt skadede og ødelagte konstruksjoner i åtte byer av Syria (Najjar, 2018). .....	7
Figur 2-3. Kategorier av Skadede konstruksjoner i de åtte største byene av Syria (Najjar, 2018). .....	8
Figur 2-4. Prosentandel av skadede og ødelagte boliger i ti byer i Syria (The Statistics Portal, 2010-2017). .....	9
Figur 2-5. Bilder av skadede byer i Syria (Bistandsaktuelt, 2016). .....	10
Figur 2-6. Satellittbilder som viser kategorier av Skadede og ødelagte konstruksjoner i noen av byer i Syria (research, 2013-2017). .....	11
Figur 2-7. Evaluering av resirkulering (Dosho, 2007). .....	12
Figur 2-8. Metodikken som ble brukt i studiet. ....	13
Figur 3-1. Komponenter av betong (America's Cement Manufacturers PCA, 2018c). .....	14
Figur 3-2. Sammenheng mellom betongens masseforhold og trykkfasthet (Maage, 2015). ...	18
Figur 3-3. Arbeidsdiagram ved trykkbelastning for sementlim, tilslag og betong (Maage, 2015). .....	20
Figur 3-4. Sammenligning mellom naturlig tilslag til venstre og gjenvunnet tilslag til høyere. ....	27
Figur 3-5. Produksjon av resirkulert tilslag (Eguchi et al., 2007). .....	30
Figur 3-6. Produksjonsanlegg for resirkulert tilslag (Eguchi et al., 2007). .....	30
Figur 3-7. Bygging av ny videregående skole i Sørumsand, Oslo (Mehus et al., 2002). .....	31
Figur 3-8. Resirkulert tilslag i bygningsblokker (Mehus et al., 2002). .....	31
Figur 3-9. Bruk av resirkulert tilslag som omfyllingsmateriale (Mehus et al., 2002). .....	32
Figur 3-10. Bruk av resirkulert tilslag som forsterkningslag, Svartdalstunnelen, Oslo (Mehus et al., 2002). .....	32
Figur 3-11. Resirkulert tilslag som belegningsstein (The Hong Kong Polytechnic University PolyU, u.å.). .....	33
Figur 4-1. Tvangsblander som ble brukt i arbeidet. ....	44
Figur 4-2. Sikte metode for å få riktig fraksjon. ....	47
Figur 4-3. Siktmaskin som ble brukt i studien til venstre og til høyere vises det oven. ....	48
Figur 4-4. Måling av vanninnhold i tilslag. ....	49
Figur 4-5. Datablad for humusinnhold fra bygglab til venstre. Til høyere vises tabell som beskriver humusinnhold i forhold til farge. ....	51
Figur 4-6. Håndsortering av delmaterialer. ....	52
Figur 4-7. Måling av synk til venstre og utstyr til høyere. ....	53
Figur 4-8. Måling av synkutbredelsesmål. ....	54
Figur 4-9. Måling av luftinnholdet. ....	55
Figur 4-10. Lagring metode i de første 24 timer til venstre og former som ble brukt i denne studien til høyre. ....	56
Figur 4-11. Herding av terning og sylindre i vannbad. ....	57
Figur 4-12. Trykkemaskinen som ble brukt i undersøkelse. ....	58
Figur 4-13. Testing på E-modul i Statens Vegvesen sin lab. ....	60
Figur 5-1. Siktekurv på gjennomsnittlig resultat av test1 og test 2 av gjenvunnet tilslag. ....	66
Figur 5-2. Siktekurv av betong med naturlig tilslag. ....	66
Figur 5-3. Siktekurv av betong med gjenvunnet grov tilslag. ....	67
Figur 5-4. Prøveresultat av humustest. ....	69
Figur 5-5. Materialsammensetning- gjenvunnet tilslag. ....	70
Figur 5-6. Konsistensutvikling etter tilsatt SP med hensyn til fukttilstand i tilslag. ....	71
Figur 5-7. Synkeutvikling over tid etter tilsatt SP-stoff. ....	73

Figur 5-8. Utbredelsesutvikling over tid etter tilsatt SP-stoff. ....	73
Figur 5-9. Reduksjon i synkmålene over tid etter tilsatt SP-stoff.....	74
Figur 5-10. Luftinnhold i fersk betong.....	75
Figur 5-11. Densitet av fersk og herdet betong. ....	76
Figur 5-12. Trykkfasthet etter 2, 7 og 28 døgn for alle resepter.....	79
Figur 5-13. Trykkfasthet resultater etter 28 døgn i % av referanse.....	80
Figur 5-14. E-modul for alle resepter.....	82
Figur 5-15. Elastisitetsmodul i % av referanse.....	83
Figur 5-16. Sylindre Trykkfasthetsresultater.....	83
Figur 5-17. Sylindre trykkfasthet resultater i % av referanse betong. ....	84

## Tabell liste

Tabell 3-1. Trykkfasthetsklasser for normalbetong og tungbetong (Standard Norge, 2017)...	18
Tabell 4-1. Testmetoder og standarder for tilslag og betong.....	43
Tabell 4-2. Beregning av blandedvolum.....	44
Tabell 4-3. Geometrisk til prøvestykker og antall prøvestykker per blanding.....	56
Tabell 4-4. Betongresepter N3 og RP med kun økning pastavolumet.....	62
Tabell 4-5. Resirkulert betong RpT, økning i pasta.....	63
Tabell 4-6. Resirkulert betong RpT, økning i SP-stoff.....	63
Tabell 5-1. Siktanalyse av gjenvunnet tilslag, test 1.....	64
Tabell 5-2. Siktanalyse av gjenvunnet tilslag, test 2.....	65
Tabell 5-3. Gjennomsnittlig gradering av test 1 og test 2 av gjenvunnet tilslag.....	65
Tabell 5-4. Generelle graderingskrav i følge NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 (Standard Norge, 2016).....	66
Tabell 5-5. Måling av vanninnhold.....	67
Tabell 5-6. Korndensitet og vannabsorpsjon til gjenvunnet tilslag, test1.....	68
Tabell 5-7. Korndensitet og vannabsorpsjon til gjenvunnet tilslag, test 2.....	68
Tabell 5-8. Materialsammensetning- gjenvunnet tilslag.....	69
Tabell 5-9. Synkmål av R100 og N3.....	70
Tabell 5-10. Konsistensutvikling med hensyn til fukttilstand i tilslag.....	70
Tabell 5-11. Synmål resultater før og etter tilsatt SP-stoff.....	71
Tabell 5-12. Synkmål før tilsatt SP-stoff.....	72
Tabell 5-13. Konsistensutvikling over tid etter tilsatt SP-stoff.....	72
Tabell 5-14. Luftinnhold på fersk betong.....	74
Tabell 5-15. Densitet av fersk betong.....	75
Tabell 5-16. Densitet av herdet betong etter 28 døgn.....	76
Tabell 5-17. Trykkfasthet resultater av N3 etter 2, 7 og 28 døgn.....	77
Tabell 5-18. Trykkfasthet resultater av RP etter 2 døgn.....	77
Tabell 5-19. Trykkfasthet resultater av RP etter 7 døgn.....	77
Tabell 5-20. Trykkfasthet resultater av RP etter 28 døgn.....	78
Tabell 5-21. Trykkfasthet resultater av RpT etter 2 døgn.....	78
Tabell 5-22. Trykkfasthet resultater av RpT etter 7 døgn.....	78
Tabell 5-23. Trykkfasthet resultater av RpT etter 28 døgn.....	79
Tabell 5-24. Trykkfasthet resultater etter 28 døgn i % av referanse.....	80
Tabell 5-25. E-modul resultater av N3 og RP etter 28 døgn.....	81
Tabell 5-26. E-modul resultater av RpT.....	81
Tabell 5-27. Elastisitetsmodul i % av referanse.....	82
Tabell 5-28. Sylindre trykkfasthetsresultater i % av referanse betong.....	84



## Begreper

**Betong** består av en blanding av delmaterialer vann, sement og tilslag.

**Naturlig betong** er betong laget med naturlig tilslag.

**Resirkulert betong** er betong hvor tilslaget stammer delvis eller helt fra resirkulert/gjenvunnede masser.

**Fersk betong** er betongen som har støpelighetsegenskaper.

**Herdnet betong** er betong i fast tilstand som har utviklet en viss fasthet.

**Herdning** er den prosessen som gir fasthetsutvikling i betong.

**Betongens bestandighet** evne til motstå ytre miljø påkjenninger som den utsettes for over tid.

**Betong støpelighet** graden av betongens formbarhet.

**Konsistenstap** er definert som tap av konsistens i fersk betong over tid.

**Betongens vannbehov** vannmengden som er påkrevet for å få en bestemt støpbarhet.

**Betongtrykkfasthet** betyr hvor mye belastninger betong tåler før sammenbrudd.

**Elastisitetmodul** er sammenhengen mellom spenning og tøying.

**Svinn** er en type deformasjon i betongen og den skyldes totalt volumreduksjon over tid kontra den opprinnelige betongens volum.

**Kryp** er en tidsavhengig deformasjon når materialer blir belastet.

**Bindemidler** materialer som har evne til å binde andre materialer sammen.

**Effektivt vanninnhold** differansen mellom det totale vanninnholdet i den ferske betongen og vann som absorberes av tilslaget.

**Hydratisering** er en kjemisk reaksjon mellom vann og sement.

**Hydratisert sement** er sementdelen som har reagert med vann

**Tilsetningsmaterialer** er en del av bindemidlet i betongen og brukes som erstatning til en del av sement både i sementproduksjon i fabrikken og/eller ved blanding av betong.

**Tilsetningsstoffer** definert som stoff som tilsettes under blandingen av betong i en mengde som ikke overstiger 5% av sementvekten i betong. Dette for å endre eller modifisere betongegenskaper i fersk og/eller herdet fase.

**Fine tilslag** består av partikler som er mindre enn 4mm eller 8 mm. Fine tilslag har ofte gradering f.eks. på 0-8 mm.

**Grove tilslag** er partikler som er større enn 8mm, har ofte gradering på 8-16mm og 16-22 mm

**Naturlig tilslag** er tilslag som kommer fra løsmasser eller knust berg.

**Gjenvunnet tilslag** «produseres fra kunst herdnet betong som ikke har vært brukt tidligere».

**Resirkulert tilslag** «kommer fra bearbeiding av uorganisk materiale som tidligere har vært brukt i byggearbeider».

**Sement** finmalt uorganisk materiale som danner en pasta når det blandes med vann. Pastaen størkner og herdner gjennom hydratiseringsreaksjoner.

**Finstoff** er partikkel som er mindre enn 0,063m.

**Humus** finfordelte, organiske materialer som ofte finnes i tilslag og vann.

**Humusprøving** er en undersøkelse for å bestemme mengde av humus i tilslag.

**Synkmål** er et mål på betongs bearbeidbarheten (et mål på betongens konsistens).

**Synkutbredelsesmål** brukes som betegnende på betongens mobilitet.

**Komprimering** bearbeiding (vibrering) av betongen etter at den er støpt ut for å drive ut luftblærer og for å oppnå en god utstøping av betongen i forskalingen.

**Konsistensmåling** måling av støpbarhet hos fersk betong (synkmål).

**Gradering** «er kornstørrelsesfordeling uttrykt som masseprosent som passerer et spesifisert sett med sifter».

**Kornform** beskriver tilslagets geometriske formen rund, kubisk, langstrakt eller flat.

**Siktekurve** er en kurve som angir materialets korngradering som funksjon av kornstørrelsene.

**V/C-tall** er forholdet mellom vann og sement.

**Masseforhold** benyttes for å erstatte v/c-tallet når det brukes flere bindemidler i betongen enn bare sement for eksempel pozzolaner (silika og flygeaske) eller slagg.

**Mørtel** er blanding av sand, sement og vann eventuelle tilsetninger.

**Sementlim** er blanding av sement og vann.

**Proporsjonering** hvor stor mengde det skal være av hvert delmateriale i en betongsammensetning.

**Riss** er små sprekker i betong.

**Elastisk deformasjonen** deformasjon som oppstår fra spenninger innenfor det elastiske arbeidsområdet i materialets arbeidsdiagram.

**Plastisk deformasjonen** deformasjon som oppstår fra spenninger innenfor det plastiske arbeidsområdet i materialets arbeidsdiagram.

**Korndensiteten** «bestemmes ved veiing i ulike fukttilstander og oppgis som overflatetørr, vannmettet og ovnstørr».

**Vannabsorpsjon** er den vannmengde i % av tørremasse som finnes i porene i de enkelte korn av et materiale i mettet overflatetørr tilstand.

**Varmeutvikling** er varme som utvikles i pastaen grunnet hydratisering når betongen binder av.

## Forkortelser

B&RA: Bygg- og Rivingsavfall.

N3: naturlig referanse betong.

R25: resirkulert betong med 25% grov gjenvunnet tilslag.

R50: resirkulert betong med 50% grov gjenvunnet tilslag.

R100: resirkulert betong med 100% grov gjenvunnet tilslag.

P: stor «P» betyr at kun pastavolum ble økt i resirkulert betong, hvis det skal følges med et tall indikerer tallet til antall liter som blir økt av pastaen i forhold til naturlig betongen.

pT: stor «T» betyr at det er økt mengde av tilsetningsstoffer og liten «p» betyr mindre pastavolum blir økt i resirkulert betong.

RP: resirkulert betong med kun pasta økning.

RpT: resirkulert betong med økning i pastavolumet i mindre grad enn det er brukt i RP og høyere dosering av SP-stoff enn det er brukt i RP.

# 1 Problemstilling

Denne studien tar sikte på å bestemme egenskaper til gjenvunne tilslag og kontrollere dens potensielle anvendelse i konstruksjonsbetong. Egenskaper som vurderes er betongens støpelighet og styrke.

Hovedproblemstilling: :

Er knust betong egnet som grov gjenvunnet tilslag i ny konstruksjonsbetong?

Delproblemstillinger:

- Hvordan er grov gjenvunnet tilslags egenskaper kontra grovt naturlige tilslag?
- Hvordan kan støpbarheten til fersk betong opprettholdes ved bruk av gjenvunnet tilslag?
- Hvordan vil grov gjenvunnet tilslag og tiltak for støpbarhet påvirke fastheten?

Avgrensninger:

Tilgjengelige masser til bruk som gjenvunnet tilslag stammer fra vrak fra hulldekker og kummer. Hadde man hatt tilgjengelig masser fra sammenraste bygninger ville mer tester vært nødvendige. Siden vi har kjente masser ville slike tester ikke gitt oss noen interessante svar. Følgende tester av tilslag gjennomføres ikke: kloridinnhold, motstand mot knusing (Los Angeles, innhold av sulfater, innhold av farlige stoffer, alkalireaktivitet.

Det er også noen tester på herdet betong som kunne vært gjort, men som ikke ble funnet kapasitet til i denne oppgaven. Dette gjelder: svinn, fryse/tine, tetthet (karbonatisering, kloridinntrengning), kapillær sugehastighet, porøsitet og vanninntrengning.

## 2 Introduksjon

### 2.1 Bakgrunn

Betongens historie går helt tilbake til år 6500 f.Kr. Dette bygger på at man fant sementlignende bindemidler i Syria og Jordan. Sementen i gamle dager ble laget av knusing og brennende gips eller kalkstein. Det ble senere oppdaget fordelene med hydraulisk kalk det vil si sement som herder under vann. De bygde ovner til å levere mørtel bestående av sand, vann og sement. Mørtel ble brukt som bindemiddel mellom steinene i byggverk som Pantheon i Roma og pyramidene i Egypt (Shepard, 2006).

Betong er det viktigste og mest brukte byggematerialet i verden, siden betong kan formes til omtrent hva man vil (Maage, 2015). Omtrent 10 milliarder tonn sand og stein brukes av den globale bygge industrien årlig, noe som gjør betongen til den største forbrukeren av naturressurser i verden (Lauritzen, 2004).

De siste tiårene har byggebransjen utviklet seg raskt. Miljøbevegelsen har fremmet en bærekraftig utvikling som har ført til det nødvendige presset for å vedta riktige metoder som dermed beskytter miljøet i alle bransjer, inkludert byggebransjen (Tam & Tam, 2006).

Miljøvernbevegelsen søker etter alternative ressurser i stedet for eksisterende naturressurser. En av de store utfordringene i vår tid er å ha en bærekraftig utvikling med respekt for jordens fremtid.

Ifølge norsk betongforening betyr bærekraft er at «verdnessamfunnet må imøtekomme dagens forbruksbehov uten at det ødelegger mulighetene for kommende generasjoner til å få dekket sine. Bærekraftig utvikling er skjæringspunktet mellom sosiale utviklingsmuligheter, økonomiske realiteter og miljømessige utfordringer» (Norsk Betongforening, 2016).

Avfallsproduksjon er økende i verden i en alarmerende hastighet på grunn av veksten i verdens befolkning, naturlige katastrofer som f.eks. jordskjelv, flom etc. og menneskelige katastrofer som krig. Denne økningen av avfall fyller raskt våre gjenværende steder for fremtidige deponier. For å motvirke denne trenden, er det viktig å arbeide for å resirkulere avfall, slik at det blir brukt til gjenbruk (Paranavithana & Mohajerani, 2006).

Gjenbruk og resirkulering av betongsavfall er bærekraftig på ulike måter. Produksjonen av tilslag fra betongsavfall reduserer utvinning av naturlige tilslag, som er en nyttig og praktisk måte å beskytte miljøet på, reduserer klimagassutslipp og gir en bedre bærekraftig fremtid (Ramchuriter, 2014). Ikke minst er det økonomisk, mye mer kostbart å bruke nye materialer. Derfor må man tenke på å gjenvinne de ressursene man har (Aatheesan, 2011).

I Tyskland etter 2. verdenskrig var det mye betongavfall etter ruiner. Derfor begynte de å bruke betongsavfall som tilslag i ny betong (Rao et al., 2007). En tysk komite som forsket på betong viste til at egenskapene til resirkulert betong tilfredstilte kravene i forhold til betong laget med naturlig tilslag (Concrete Technology Today, 2002).

De eneste metodene for å bli kvitt B&RA er gjenbruk og gjenvinning. Imidlertid er det mye som kan forbedres. Når man vurderer et resirkulerbart materiale, må det tas hensyn til tre hovedområder (1) økonomi; (2) kompatibilitet med andre materialer; og (3) materialegenskaper (Tam & Tam, 2006). Variasjon i egenskaper til resirkulert tilslag fra B&RA gjør at man må ha en god kvalitetskontroll for bruk av materialene i resirkulering. Utviklingen av klassifiseringsteknikker som er i stand til å redusere denne variabiliteten er medvirkende faktorer til produksjon av høy kvalitet B&RA tilslag (Angulo et al., 2010).

Resirkulering er blitt mye utviklet i Europa siden slutten av andre verdenskrig. Etterspørselen etter byggematerialer i verden overstiger 26,8 milliarder tonn per år. Derfor er det av den største internasjonale interesse viktig å gjenvinne så mye som mulig (Wagih et al., 2013).

Mangel i kildene til naturlig tilslag er et verdensomspennende problem, spesielt i møte med oppbygging av store urbane sentre. Resirkulert tilslag er viktig for å gi alternative kilder til materiale, og dermed å redusere byggebransjens avhengighet av naturlige tilslag (Ismail & Ramli, 2013).

Bygge- og rivingsavfall (B&RA) må behandles med spesiell oppmerksomhet på grunn av mangel på deponi til disposisjon og de forskjellige farlige stoffer som finnes i det, noe som potensielt kan påvirke miljøet og menneskers liv hvis det ikke forvaltes riktig (Fatta et al., 2003).

Omfattende undersøkelser er blitt gjort knyttet til resirkulering av B&RA for å forbedre bruken av B&RA som resirkulert tilslag. Å resirkulere materialer fra sammenraste bygninger er ikke et nytt konsept. Mange studier viser mulighet for bruk av resirkulert tilslag i ny betong over hele verden. Disse studiene viser hvordan resirkulert betong fungerer i ferskfase og herdefasen. Forskningene kan gi verdifull veiledning for produksjon av resirkulert betong i Syria etter krigen. Bruken av resirkulert tilslag i betong skaper nye muligheter i byggebransjen til resirkulering av materialer. Utnyttelsen av resirkulert tilslag anses å være en god løsning på krisen for overskudd av avfallsmateriale.

Figur 2-1 viser boliger “Waldspirale” i Darmstadt, Tyskland, som er bygd i 1998, hvor alle de indre konstruksjonselementer ble laget av betong med resirkulert grovt tilslag .



Figur 2-1. Boligbygninger “Waldspirale” i Darmstadt, Tyskland (Malešev et al., 2014).

## 2.2 Dagens situasjon i Syria med henblikk på bygninger og konstruksjoner

Fra 2011 og frem til i dag har borgerkrigen rammet mitt land Syria. Krigen har forårsaket utbredt skade, blant annet store skader på bygge konstruksjoner.

Det er enorme mengder av rivningsmaterialer på grunn av en direkte bombepåvirkning eller bombebølger som finnes i de forskjellige distriktene i Syria. Avfall fra boliger og næringsbygg blir til fjell av ruiner over hele Syria. Dette problemet forventes å øke med tiden dersom det ikke blir gjort egnede tiltak så snart som mulig. I tillegg vil mange offentlige og private eiendommer bli revet (bygninger som er alvorlig skadet). Nedrivning og reparasjon av konstruksjoner (bygninger, broer og veier) vil generere millioner tonn bygg- og rivingsavfall. Samfunnet står ikke bare overfor problemene med å finne løsninger for ombygging og reparasjon av bygninger, men også overfor store problemer knyttet til hvordan man skal bli kvitt bygg- og rivingsavfall.

Den enorme mengden sammenraste bygninger (konstruksjoner i ruiner) vil bli et stort problem i gjenoppbyggingen av Syria. Derfor må det tas forholdsregler for å fjerne eller minimere dette problemet. Resirkulering og gjenbruk av rivningsmaterialer er en bærekraftig løsning på disse problemene. Det er ikke økonomisk klokt å avhende all B&RA på deponier, fordi for det første kunne dette resirkuleres og gjenbrukes i samme distrikt som det ble tatt fra. For det andre er transport av alt dette avfallet dyrt, og disse materialene skal være riktig begravet som også er en kostbar prosess.

Det er svært viktig for forskerne å tenke seriøst på å finne måter og muligheter for å gjenbruke og gjenvinne disse ruinene. Resirkulering av byggemateriale, hovedsakelig betong, er en bærekraftig løsning på problemene under krig og/ eller naturkatastrofer.

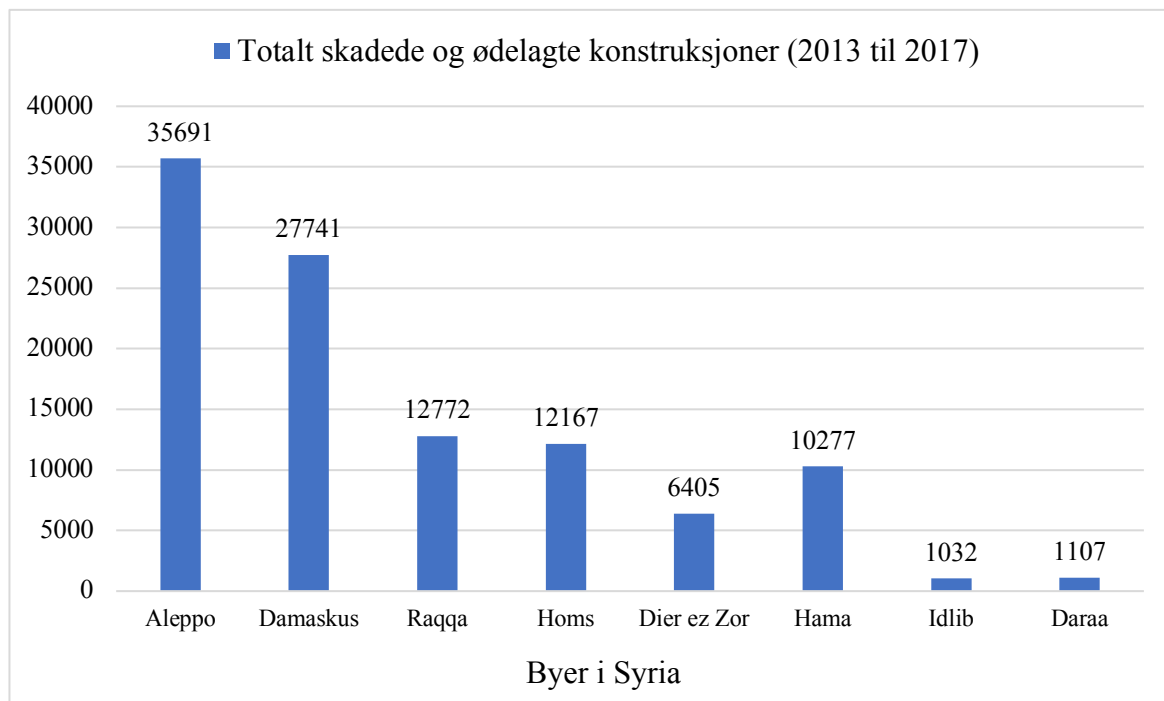
Det er imidlertid gjort begrenset forskning for å undersøke potensiell bruk av resirkulerte tilslag i Syria. En av de største utfordringene i vår tid er å utvikle strategier for utnyttelse av revet bygningsmasse som er et resultat av krig i forskjellige bruksområder.

Mange undersøkelser bør konsentrere seg om å finne egenskaper, fordeler og ulemper ved å bruke betongavfall for å produsere ny betong med resirkulert tilslag .

Utvinningssted for mekanisk sortering for blandet rivingsavfall må raskt etableres når krigen avsluttes. De viktigste grunnene til dette er; å begrense avfallet til deponi, unngå høye deponeringskostnadene, unngå transport av avfall til andre steder. Alt dette vil føre til miljøfordeler.

UNITAR (United Nations Institute for Training and Research) har gjennomført en omfattende skadevurdering av de åtte største byene i Syria ved bruk av satellittbilder tatt mellom 2013 og 2017. Se figur 2-6. Skadede konstruksjoner er delt inn i fire kategorier: 1) moderat skadet, 2) alvorlig skadet, 3) ødelagt, eller 4) ingen synlig skade (Najjar, 2018).

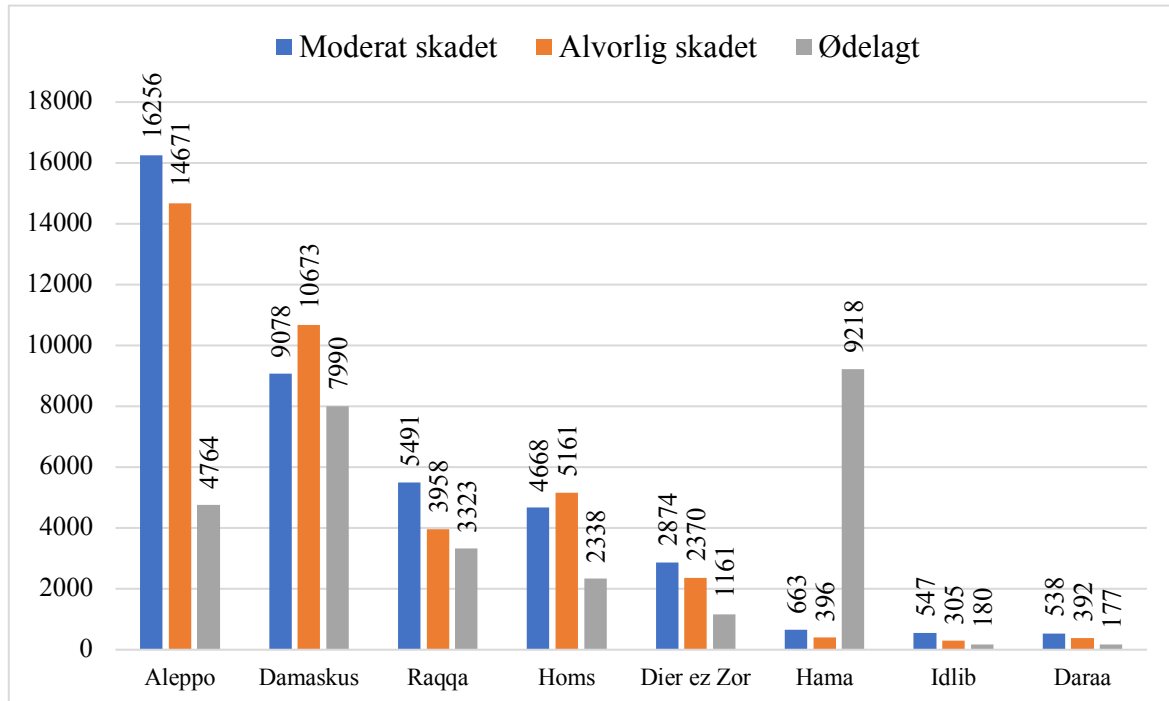
Figur 2-2 viser totalt skadede og ødelagte konstruksjoner i de åtte byene i Syria .



Figur 2-2. Totalt skadede og ødelagte konstruksjoner i åtte byer av Syria (Najjar, 2018).

Fra figur 2-2 kommer Aleppo først i forhold til skade telling med totalt 35 691 ødelagte konstruksjoner. Etterfulgt av Damaskus, Raqqa, Homs, Hama, Deir ez Zor, Daraa og Idlib (Najjar, 2018).

Figur 2-3 viser kategorier av Skadede konstruksjoner i de åtte største byene av Syria .



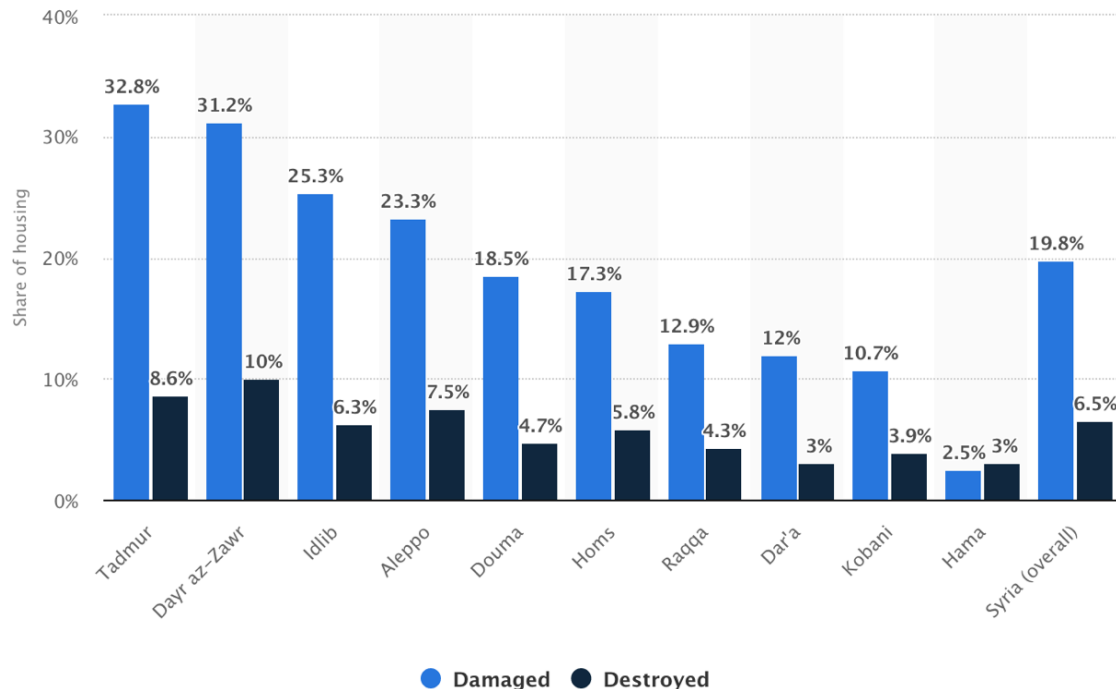
Figur 2-3. Kategorier av Skadede konstruksjoner i de åtte største byene av Syria (Najjar, 2018).

Fra figur 2-3 kommer Aleppo på første plass i antall moderat skadede konstruksjoner med totalt 16256 konstruksjoner. Etterfulgt av Damaskus, Raqqa, Homs, Deir ez Zor, Hama, Idlib og Daraa.

Aleppo kommer igjen først i antall alvorlig skadede konstruksjoner med totalt 14671 konstruksjoner. Etterfulgt av Damaskus, Homs, Raqqa, Deir ez Zor, Hama, Daraa og Idlib. Hama kommer først i antall ødelagte konstruksjoner. Etterfulgt av Damaskus, Aleppo, Raqqa, Homs, Deir ez Zor, Idlib og Daraa (Najjar, 2018).



The Statistics Portal har gjennomført en skadevurdering av boliger i ti byer i Syria mellom 2010 og 2017 (The Statistics Portal, 2010-2017). Figur 2-4 viser prosentandel av skadede og ødelagte boliger i ti byer i Syria.



Figur 2-4. Prosentandel av skadede og ødelagte boliger i ti byer i Syria (The Statistics Portal, 2010-2017).

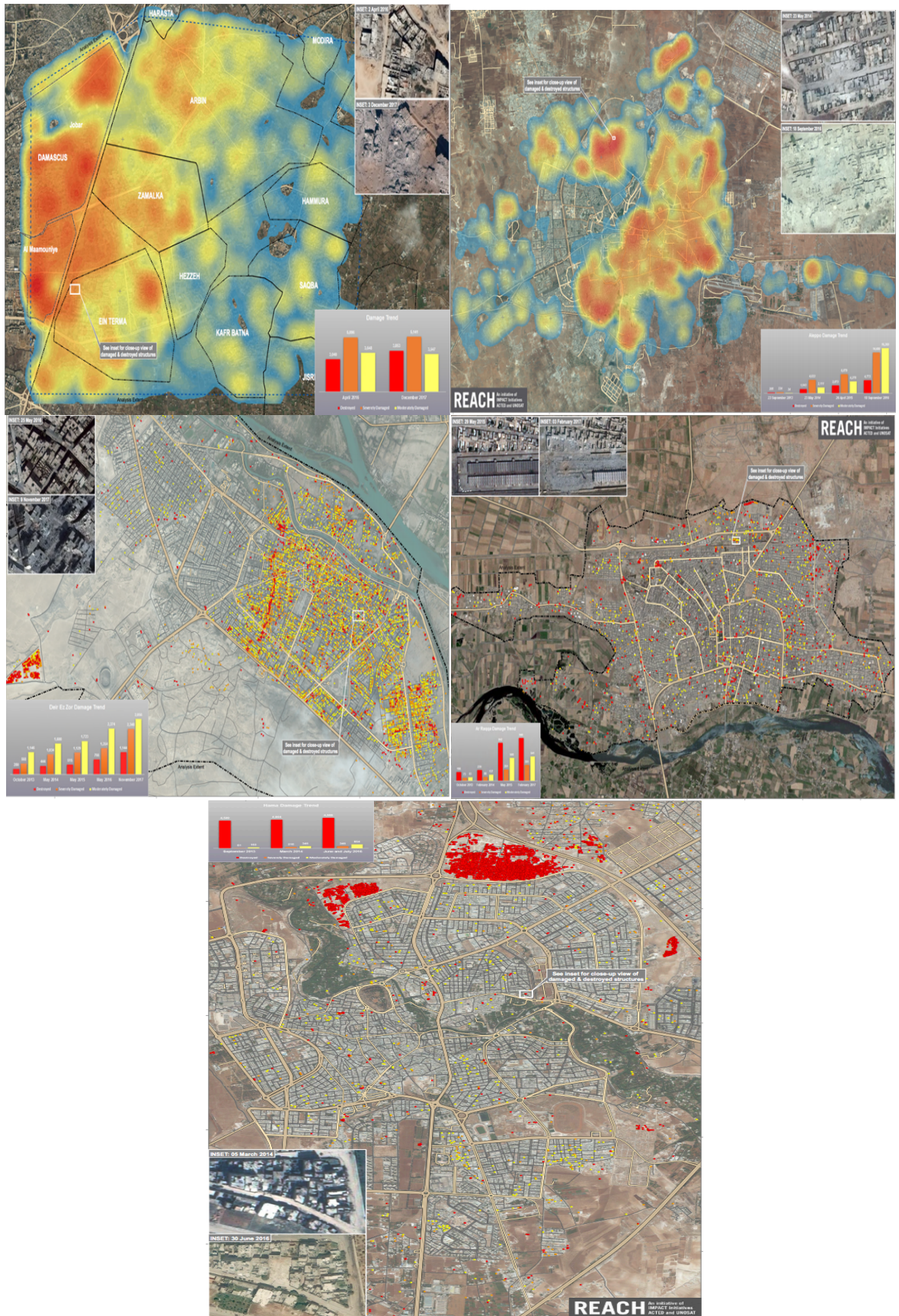
Fra figur 2-4 kommer Tadmur på førsteplass i antall skadede konstruksjoner. Etterfulgt av Deir ez Zor, Idlib, Aleppo, Douma, Homs, Raqqa, Daraa, Kobani og Hama. Deir ez Zor kommer først i antall ødelagte konstruksjoner. Etterfulgt av Tadmur, Aleppo, Idlib, Homs, Douma, Raqqa, Kobani, Daraa og Hama.

Nedenfor er det noen bilder av skadede og ødelagte byer i Syria. Se figur 2-5. For ytterligere billedokumentasjon av forholdene henvises til video link: <https://bistandsaktuelt.no/nyheter/2016/kostnader-syria/>



Figur 2-5. Bilder av skadede byer i Syria (Bistandsaktuelt, 2016).





Figur 2-6. Satellittbilder som viser kategorier av Skadede og ødelagte konstruksjoner i noen av byer i Syria (research, 2013-2017).

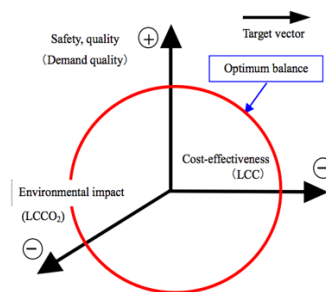
## 2.3 Forskningens betydning

Gjenvinning er en av strategiene for minimering av avfall og har tre fordeler; å redusere etterspørselen etter nye ressurser; å kutte ned på transport- og produksjonsenergikostnadene også bruke avfall som ellers ville gå tapt til deponi (Tam & Tam, 2006).

(Li, 2008) Har uttalt at gjenvinning gir et alternativ til det konvensjonelle råmaterialet, slik at resirkuleringsteknikken kan defineres som å bruke avfall som råvarer i andre verdifulle applikasjoner; miljøvennlig byggeprosesser og økonomisk gjennomslag for de resirkulerte materialene.

En av de beste måtene å håndtere det akutte miljøproblemet på er å gjenvinne bygg- og rivingsavfall. Betongavfall utgjør ca.50% av det totale B&RA, gjenvinning av betongavfallet er det beste alternativet for å redusere mengder B&RA (Tam et al., 2007).

En av de største fordeler med resirkulering i Syria er deponering, fordi plass er en knapp ressurs. For å fremme bruken av resirkulert tilslag i betongkonstruksjoner, er det nødvendig å gi en passende balanse mellom kvalitet, kostnadseffektivitet og miljøpåvirkning som vises i figur 2-7 (Dosho, 2007).



Figur 2-7. Evaluering av resirkulering (Dosho, 2007).

Den tilfeldige og ukontrollerte måten å kvitte seg med bygg- og rivingsavfall forårsaker følgende; miljøpåvirkning, økonomiske konsekvenser og sosiale konsekvenser:

Miljøpåvirkning:

1. Støvproblemer grunnet luftforurensning.
2. Avfall som blir dumpet på tilfeldige steder fører til miljøforurensning.
3. Noen materialer kan inneholde spor av giftige stoffer som kan forurense både jord og vannressurser. Muligheten for slik forurensning avhenger av konsentrasjonen av de giftige stoffene, mengden av materialet som brukes og jordlagring.
4. Ubehagelige luktproblemer på grunn av nedbrytningsprosesser.

Økonomiske konsekvenser

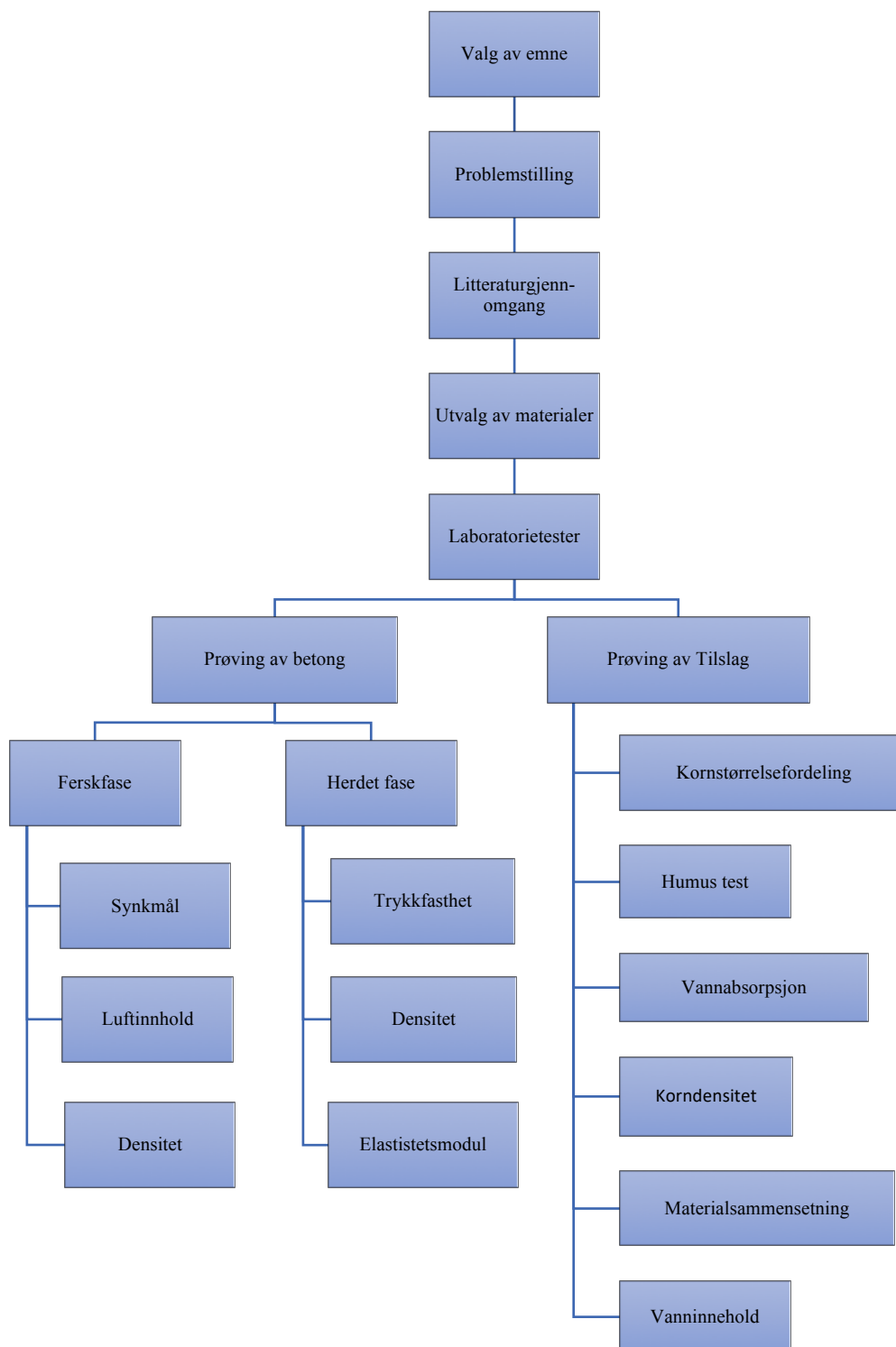
1. B&RA i Syria dekker store arealer (kostbare arealer).
2. Den tilfeldige bort kjøring skaper ekstra transportkostnader.
3. De begrensede naturressursene og den høye prisen på byggematerialer krever gjenvinning av B&RA og dermed reduserer bruk av naturlige ressurser.

Sosiale konsekvenser

Tilfeldig bruk av B&RA, kan føre til store sosiale konsekvenser som; estetiske problemer, spesielt når det deponeringsstedene er i boligområder, fare for barn som leker i ruiner og blir utsatt for farlige stoffer som B&RA inneholder.

## 2.4 Metodikk

Metoden for hele studie som brukes til å oppnå målet med forskningen. Se figur 2-8.



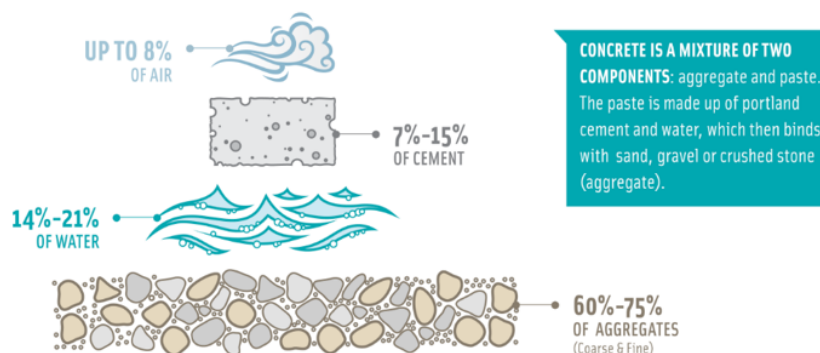
Figur 2-8. Metodikken som ble brukt i studiet.



### 3 Teori og litteratur studie

Gir en generell bakgrunn om litteratur (betongteknologi), arbeid knyttet til håndtering og gjenvinning av bygg- og rivingsavfall. De forskjellige bruksområdene av resirkulert tilslag, bruk og generering av bygg- og rivingsavfall i flere land rundt om i verden og gjennomgang av tidligere studier angående egenskapene til resirkulert tilslag og resirkulert betong.

#### 3.1 Betong generelt



Figur 3-1. Komponenter av betong (America's Cement Manufacturers PCA, 2018c).

Betong består av en blanding av delmaterialer vann, sement og tilslag. Vanligvis blir betong blandet i forholdet ca.10 til 15 prosent sement, ca.60 til 75 prosent tilslag og ca.15 til 20 prosent vann. Se figur 3-1. Det er viktig å være forsiktig med proporsjoneringen og blanding av delmaterialene for å få en sterk og holdbar betong (America's Cement Manufacturers PCA, 2018c). Mengde og type material som brukes, har stor påvirkning på egenskapene til betongen på fersk og herdede fase (Maage, 2015).

Betong deles i tre faser:

**Ferskfasen:** er perioden fra betongens delmaterialer blandes sammen til at betongen fremdeles er i et forhold som kan komprimeres (har støpelighetsegenskaper). Perioden varer i ca.2-3 timer ved 20 °C. Det er mulig å forkorte eller forlenge den fasen ved bruk av kjemiske stoffer eller ved å endre temperatur (Maage, 2015).

**Avbindingsfasen:** er overgang fra flytende til fast materiale. Dette skjer ikke umiddelbart men har normalt en tidsrom på ca. 2-4 timer ved 20 °C.

I avbindingsfasen mister betongen støpelighetsegenskaper og får en viss styrke (kan ikke bearbeides lenger) som ikke er mer enn at det er mulig å pusse og glatte - f.eks. et betonggulv. Overgang mellom avbindingsfasen og herdefasen er ikke klar. Men ved å måle varmeutviklingen kan det bestemmes avslutningen av avbindingsfasen (Maage, 2015).

**Herdefasen:** er perioden fra avsluttende avbindings til at betongen er stiv og har oppnådd dens fasthetsegenskaper (28 døgn), men betongen vil fortsatte å utvikle fasthet saktere over tid i flere år. Under herdningsfasen er betongen så hard at man for eksempel kan gå på den uten å sette avtrykk (Maage, 2015).

#### 3.2 Betongbestandighet

Betongens bestandighet forteller noe om betongens evne til motstå ytre miljø påkjenninger som den utsettes for over tid (Wikipedia, 2018a).

Betongens sammensetting og valg av riktig materialer i planleggingsfasen er viktige faktorer for å oppnå en holdbar betong. Dessuten har utførelse av arbeidene en viktig rolle for

bestandigheten. For å bestemme hvilken bestandighetsklasse betongen må ha som et minimum må det velges hvilket miljø en konstruksjon befinner seg i. Bestandighetsklassene bestemmes ut i fra eksponeringsklassene der eksponeringsklasser beskriver de nedbrytende påkjenninger betongen utsettes for (Maage, 2015).

Betongens porøsitet og permeabilitet er viktige egenskaper med tanke på betongens bestandighet. Permeabilitet omfatter både gass-, damp- og væsketransport. En holdbar betong bør være tett. Tetthet er betongens evne til å hindre at stoffer trenger inn i betong. Jo tettere betong, jo større blir motstanden mot nedbrytning. Tettheten er påvirket av masseforhold og komprimeringsmetoden av betong; jo lavere masseforhold jo mindre porevolum og dermed redusert permeabilitet. Jo lavere masseforhold jo mindre sement. Den minker fare for sprekkdannelse på grunn av krymping og temperaturspenninger og dermed bedre holdbarhet (Gjerp & Opsahl, 1998).

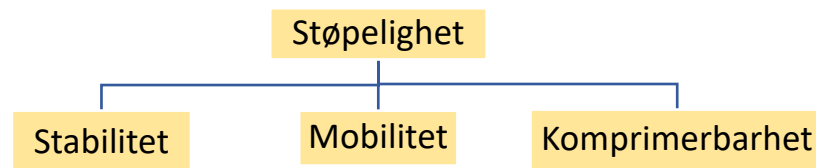
Motstand mot miljøeksponeringer i de forskjellige bestandighetsklassene er bestemt av krav til største masseforhold, minste luftinnhold i fersk betong og minste effektive bindemiddel-mengde (Fabeko, 2004).

I NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017 tabell NA.15 viser valg av bestandighetsklasser ut ifra eksponeringsklasser som er definert og delt i 6 grupper (Standard Norge, 2017).

Bestandighetsklassene symboliseres med M eller MF og et tall. Tallet er (100

\*masseforholdet) og F betyr at betongen skal være frostsikker (Maage, 2015). F.eks. for en bestandighetsklasse på M60 må masseforholdet være mindre enn eller lik 0,6.

### 3.3 Betongens støpelighet



Betong formbarhet er den egenskapen som skiller betongens fra andre bygningsmaterialer og gjøres den til en unik konstruksjonsmateriale. Graden av formbarhet uttrykkes av begrepet støpelighet. Denne egenskapen til betongen gjør at vi kan bygge hva vi vil av strukturer med betongen. Støpelighet er en svært viktig faktor for å få en bestandig og sterkt betong. Det betyr at egenskaper til fersk betong påvirker kvalitet på det ferdig betong. Støpelighet vanligvis blir vurdert i form av synkmål (Maage, 2015). Testen blir nærmere beskrevet senere i punkt 3.8.1.

Støpelighet krav er forskjellig avhengig av type konstruksjon, hvilken støpe teknikk, avstand til byggeplass og utstyr som brukes til å transportere (transportmetoden).

For eksempel, den konsistens man ønsker for hulldekkeproduksjon vil ikke være den samme som for en selvkomprimerende betong som brukes i vegger. Betongens for hulldekker må ha ganske stiv konsistens derfor må tilføres en stor komprimeringsenergi mens selvkomprimerende for vegger må være tilnærmet flytende slik at det ikke trenger annen komprimeringsenergi (Maage, 2015).

Støpelighet omfatter:

1. Stabilitet er evne til å beholde sin homogenitet gjennom den ferske fasen. Separasjon forekommer på grunn av manglende stabilitet (Maage, 2015).

Fersk betong er en suspensjon av komponenter i vann, og komponentene har svært uensartede størrelser, form og overflate egenskaper. Vannet er den letteste

komponenten i en betongblanding. Dermed ved høye masseforhold strømmer en del av vannet opp mot betongoverflaten etter at en betong er blitt plassert og komprimert. Dette fenomen kalles for vannseparasjon eller «bleeding». Separasjon i dette tilfelle oppstår når summen av sammenhengskrefter mellom partikler er for liten til å motstå effekten av forskjellen i delmaterialers densitet, dvs. tilslagspartikler har tendens til å synke og vann stiger. Dette har ugunstig effekt på betongens fasthets og bestandighetsegenskaper (Mehta & Monteiro, 2006).

Dessuten kan separasjon forekomme ved ytre akselerasjonskrefter som vibrering som kan gi skjærkrefter som overskrider flyteskjærspenningen i mørtel (slik at de ikke lenger er jevnt fordelt), denne separasjonen kalles for mørtelseparasjon eller segregering (Maage, 2015).

Matriskseparasjon opptrer når matriksen er egenstabil og matrisksoverskuddet er stort. F.eks. selvkomprimerende betong har en toppsjikt på 1-2 cm uten tilslagspartikler (Maage, 2015).

2. Mobilitet er betongmassens evne til bevegelse ved ytre påkjenning. Høy mobilitet kan oppnås ved å bruke et stort pastavolum, men dette er uøkonomisk og det kan bli økt fare for sprekkdannelse. Et alternativ er å benytte plastiserende tilsetningsstoff eller luftinnførende stoffer (Maage, 2015).
3. Komprimerbarhet er betongens evne til å fylle forskalingen, omslutte armering og la luftlommer unnsnippe ved bearbeiding. Porøsitet gir betongen en storabsorberende evne og dermed dårlig Komprimerbarhet. Dårlig mobilitet har en konsekvens til å øke tendens til separasjon av alle former ved økningen i komprimeringsarbeid (Maage, 2015).

Konsistensen av betong bør ikke være mer enn nødvendig for plassering, komprimering. Det er flere faktorer som påvirker og styrer betongens støpelighet, slik som vanninnhold, finstoffmengde, sementinnhold, tilslag gradering, tilsetningsstoffer og andre fysiske egenskaper (Mehta & Monteiro, 2006).

1. Vanninnhold er en nøkkelfaktor som påvirker betongens konsistens. Det er nesten en direkte proporsjonalitet mellom synkmål og vanninnhold (jo fuktigere blanding, jo høyere synk) (Mehta & Monteiro, 2006). Ved å øke vannmengde vil avstanden mellom partiklene blir større og partiklene lettere kan flyte om hverandre (Gjerp & Opsahl, 1998). Det bør brukes minst mulig v/c-tall for å øke fasthet og bestandighet (Mehta & Monteiro, 2006).

Vanninnholdet i betongblanding reduseres for et gitt konsistens ved:

- (1) å øke den maksimale størrelsen på tilslag. (2) å redusere innholdet av kantete tilslagspartikler. (3) å øke mengden innblandet luft i betongblandinger ved hjelp av luftinnførende tilsetningsstoff. (4) bruk av plastiserende kjemikalier (vannreduserende tilsetningsstoff) eller ved bruk av retarderende tilsetningsstoffer (Mehta & Monteiro, 2006).
2. Kornform og overflate strukturen til tilslagspartikler påvirker egenskapene til ferske betongblandinger mer enn herdet betong. Vannkravet for en gitt konsistens avhenger mest av tilslagets egenskaper. Partikler med glatte og avrundede former krever mindre sementpasta for å produsere bearbeidbare betongblandinger sammenlignet med kantete og avlange partikler (Mehta & Monteiro, 2006).
3. I tillegg har kornstørrelse effekt på støpelighet. Betongblandinger som inneholder større tilslagspartikler krever mindre blandingsvann enn de som inneholder mindre partikler. Dette er fordi ved bruk av store partikler krever det mindre vannmengde for å dekke alle overflater og fylle hulrom. Mens ved bruk av mindre partikler vil overflatearealer økes som gir en tendens til å øke vannkravet (Gjerp & Opsahl, 1998).



Med velgradert kornstørrelse på tilslagspartikler vil det fylle ut alle hulrommene, mens med andre tilfeller vil det øke mengde av pastavolum for å få bedre konsistens (Mehta & Monteiro, 2006).

4. Generell økning i mengde av finfordelt partikler forbedrer bearbeidbarheten ved å redusere størrelsen og volumet av hulrom (Mehta & Monteiro, 2006). Støpeligheten i betongen øker ved å øke totalt finstoffmengde (sement, pozzolaner og filler fra sandfraksjon). Det gir større kontaktflate mellom væsken og partiklene og dermed større flyteskjærspenning (Maage, 2015). Pozzolaner som flygeaske øker vanligvis konsistensen ved et gitt vanninnhold, når den brukes som en delvis erstatning for fint materiale. Men for mye finstoff kan gjør betongen klebrig og vanskelig å bearbeide (Mehta & Monteiro, 2006).
5. En faktor til som øker støpeligheten i betongen er ved å tilsette luftinnførendestoff og/eller vannreducerendestoff (Gjerp & Opsahl, 1998).

Det er andre definisjoner som er viktig i følge oppgaven:

**Konsistenstap** er definert som tap av konsistens i fersk betong over tid. Konsistenstap oppstår når det frie vann fra en betongblanding blir fjernet ved hjelp av hydratiseringsreaksjonen, ved absorpsjon på overflater av hydreringsproduktene og/eller ved fordampning (Mehta & Monteiro, 2006)

Under normale forhold er volumet av hydreringsproduktene i løpet av den første halve timen etter tilsetning av vann til sement liten, og synketapet er ubetydelig. Deretter begynner betongen å miste konsistensen med en hastighet som bestemmes hovedsakelig av medgått tid etter sementblanding, temperatur, hydratisering og tilstedeværende tilsetningsstoffer.

For å overvinne de problemer som forårsakes av synketap er det utviklet feltpraksis slik som starter med en høyere opprinnelig synkmål av ferdigblandet betong enn det som er nødvendig på arbeidsstedet. Dette for å kompensere for det forventede konsistenstapet.

Under visse tilfeller kan betong som utviser et uvanlig stort tap av konsistens i løpet av den først 1/2 eller 1 time, føre til at det er vanskelig å utføre komprimering eller til og med umulig (Mehta & Monteiro, 2006).

De viktigste årsakene til problemer med konsistenstap i betong er:

(1) bruk av en unormal sement; (2) uvanlig lang tid for blanding, transport, plassering, komprimering; (3) høy temperatur på betong på grunn av bruk av betongmaterialer som lagres ved høy omgivelsestemperatur; (4) bruk av porøse tilslag som har storabsorberende evne (Mehta & Monteiro, 2006).

### 3.4 Betongfasthet

Det betyr hvor mye belastninger betong tåler før sammenbrudd (Gjerp & Opsahl, 1998). Det kalles for styrken også.

Når man sier betongfasthet så mener man trykkfasthet siden betong har så lite strekkfasthet.

Betongens trykkfasthet måles ved trykking av terninger eller sylindere. I Norge er det mest normalt å bruke terninger på  $100*100*100 \text{ mm}^3$ , som regel 2 terninger per prøvingstermin.

Det er normalt å vurdere betongens egenskaper etter herding i 28 døgn ved  $(20\pm 3) \text{ C}^\circ$ . Dette er fordi betongen vil under slik betegnelse og ved denne alderen ha oppnådd 70-80% av sine langtidsegenskaper (Maage, 2015).

I Norge er det valgt å benytte betegnelsen B og et tall for å uttrykke trykkfasthet. Tallet etter B-betegnelsen angir hvilken sylinderfasthet betongen har (Fabeko, 2004). For eksempel betong med betegnelse B30 betyr sylindetrykkfasthet på  $30 \text{ N/mm}^2$  og terningstrykkfasthet på  $37 \text{ N/mm}^2$ . Se tabell 3-1 som viser trykkfasthetsklasser som brukes i Norge for normal- og tungbetong.

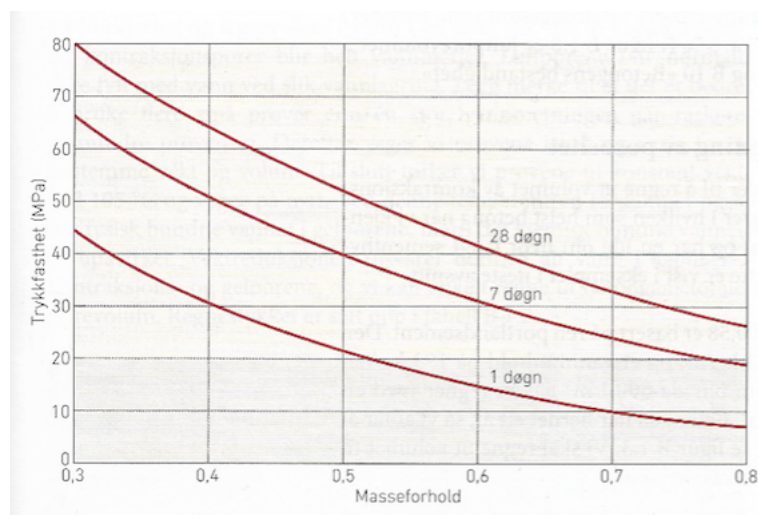
I følge NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017 er sylindertykkfastheten ca.  $0.8 \cdot$  terningstrykkfastheten. Ifølge eksterne sensorer kan man finne riktig tall fra tabell 3-1 ved å dele sylindertykkfasthet på terningstrykkfasthet f.eks. for B30 så blir det  $30/37=0,81$ . Fasthetsklassene er basert på karakteristisk 28 døgns trykkfasthet. Derfor for å få en dimensjonerende fasthet må karakteristisk fasthet divideres med en materialfaktor. Materialfaktoren for betong er satt til  $\gamma_c = 1,5$  etter Eurokode 2 (Standard Norge, 2018).

Tabell 3-1. Trykkfasthetsklasser for normalbetong og tungbetong (Standard Norge, 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 sylindertykkfasthet $f_{ck,cyl}$	10	20	25	30	35	45	55	65	75	85	95
Karakteristisk terningstrykkfasthet $f_{ck,cube}^a$	12	25	30	37	45	55	67	80	90	100	110

<sup>a</sup> For trykkfasthetsklasse B55 og høyere kan andre verdier for karakteristisk terningstrykkfasthet benyttes hvis forholdet mellom disse og karakteristisk sylindertykkfasthet er etablert med tilstrekkelig nøyaktighet og dokumentert for den aktuelle betongsammensetningen.

Utvikling av fastheten i betong er påvirket av flere faktorer: masseforhold, tilslag, sementtype, tilsetningsmaterialer, tilsetningsstoffer, temperatur og etc. Dessuten er betongens styrke en funksjon av riktig herdningsprosessering når det utvikles kjemiske bindinger mellom vann og sement. Betong av høy kvalitet produseres ved å senke masseforholdet så mye som mulig. Betongens trykkfasthet økes med avtagende masseforhold med grense til vanninnhold som skal til for å gi full hydratasjon. Jo lavere v/c-tall, jo sterkere betong. Se figur 3-2 som viser sammenheng mellom betongens masseforhold og trykkfasthet. Det bør unngås å redusere masseforholdet lavere enn 0,3 for å oppnå høyere fasthet, fordi det blir vanskelig å oppnå tilstrekkelig støpelighet (Maage, 2015).



Figur 3-2. Sammenheng mellom betongens masseforhold og trykkfasthet (Maage, 2015).

Betongens interne struktur har mye å si i forholdet til fasthet. Normalt er trykkfastheten til tilslaget flere ganger høyere enn betongens trykkfasthet, og sementlimet alene har høyere fasthet enn betong. Tilslag alene er sterkere enn sementlimet, tilslag er mer enn dobbelt så stivt som sementlimet. Stivhetsforskjellen mellom delmaterialene er dermed en medvirkende årsak til at betong har lavere fasthet enn delmaterialene enkeltvis. Det som forklarer den store stivhetsforskjell mellom sementlimet og tilslag er at betongens sammenbrudd oppstår ved en tøyning større enn tøyning ved maksimallast (Maage, 2015).

Ved en ytre tøyning vil en opprissingslinja oppstå først i heftasonen mellom tilslag og bindemiddel. Overbelastningen fører til at det oppstår et stort antall små riss i sementlimet pga. stivhetsforskjell mellom sementlimet og tilslag. Tilslag som utgjør ca.70% av betongvolumet, hindrer rissene i å forplante seg. Normalt er det sementlimet og ikke tilslaget som setter begrensninger for betongens trykkfasthet (Maage, 2015).

En faktor til som påvirker fastheten er poretype og størrelse. Økende volum av porer vil redusere fastheten. Derfor har utstøping og vibrering stor betydning for oppnådd fasthet (Gjerp & Opsahl, 1998).

### 3.5 Elastisitetsmodulen

Elastisitetsmodul er sammenhengen mellom spenning og tøyning og forkortes ofte til E-modul. E-modul illustrerer et materiales motstandsevne mot elastisk deformasjon (Wikipedia, 2018a). E-modul er en viktig egenskap til faste materialer fordi den indikerer stivheten (*Modulus of elasticity*, u.å.). Stivheten bestemmer deformasjon størrelse for en konstruksjon når den settes på en last. Jo høyere E-modul, jo stivere er materialet, og jo mindre deformasjoner vil konstruksjonen få (Wikipedia, 2018a). Elastisitetsmodulen (E) kan bregner i følge Hookes lov (*Modulus of elasticity*, u.å.):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Der:

$\sigma$  (Spenning, Stress), er definert som den påførte belastningen dividert med materialområdet det virker på.

$\varepsilon$  (Tøyning, Strain), er definert som lengdeendringen dividert med den opprinnelige, eller forlengelsen av et materiale per lengdeenhets av materialet.

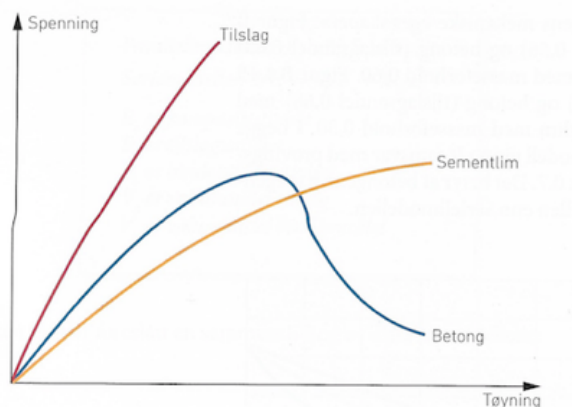
Den elastisitetsmodulen av betong varierer mellom 15 -40 GPa (*Modulus of elasticity*, u.å.).

For å presentere hvordan betongen eller delmaterialer oppfører seg under trykkbelastning, kan det tegnes et diagram som kalles for arbeidsdiagram eller spenning-tøyning diagrammet som viser forholdet mellom spenning og tøyning (Maage, 2015). Se figur 3-3.

Når et materiale belastes vises det enten en elastisk deformasjon eller plastisk deformasjon. Ved elastisk deformasjonen returnerer materialet til sine opprinnelige dimensjoner etter at belastningen fjernes, mens ved plastisk deformasjonen returner ikke materialet til sine opprinnelige dimensjoner når belastningen fjernes (Teach Engineering, 2011).

Både tilslaget og sementlimet vil ha en elastisk oppførsel under trykkbelastning, mens betongen i seg selv viser uelastisk oppførsel før brudd. Se figur 3-3. De uregelmessigheter i oppførsel i betongen vil bli forklart på grunnlag av dens struktur, hvor overgangssonen mellom tilslag og sementlimet spiller en viktig rolle (Mehta & Monteiro, 2006).

Den lineære delen av spenning-tøyningsdiagrammet for betongen er definert som det elastiske området. Hellingen til denne linjen er definert av elastisitetsmodulen (Teach Engineering, 2011).



Figur 3-3. Arbeidsdiagram ved trykkbelastning for sementlim, tilslag og betong (Maage, 2015).

I figuren viser grafen til betong en jevn økning i spenning og tøyning før betongen brytes, den går umiddelbart til brudd ved maksimal spenning. Dette er grunn til at betong er et sprøtt materiale, fordi den gir ikke noe advarsel før den går til brudd.

### 3.6 Svinn

Svinn er en type deformasjon i betongen og den skyldes totalt volumreduksjon over tid kontra den opprinnelige betongens volum (fysiske og kjemiske forandringer som oppstår i pastaen i betong). Svinn deles til tre hovedtyper plastisk svinn, autogen svinn og uttørkingssvinn (Mishra et al., 2016).

#### 3.6.1 Plastisk svinn

Plastisk svinn er en konsekvens av vann fordampning fra overflaten av fersk betong. Plastisk svinn er størst sammenlignet med andre typer svinn, og størrelsen kan være 1% av sementvolumet. Siden plastisk svinn utvikler seg fort i de første timene blir den ikke registrert. Større mengder sement øker mengden av plastisk svinn (Šahinagić-Isović et al., 2012).

#### 3.6.2 Uttørkingssvinn

Uttørkingssvinn er forårsaket av tap av kapillær vann i herdet betong på grunn av omgivelsene. Denne fører til en økning i strekkspenning, noe som kan føre til sprekkdannelse, indre vridning, og ytre avbøyning, før betongen utsettes for noen form for lasting. Uttørkingssvinn vil fortsette over betongens levetid men mest vil skje innen de første 90 dagene etter plassering (Mishra et al., 2016).

#### 3.6.3 Autogen svinn

Autogen svinn er en konsekvens av hydratiseringsprosessen. Etter at bindemidlet starter hydratiseringen, dannes det porer. Porene dannes fordi reaksjonsproduktet av hydratisering har et mindre volum enn summen av tørre tilsatt materialene og det ytre volumet forblir det samme, får man den volumreduksjon i form av porer. Man kan si at autogen svinn forekommer i porene som er resultat av kjemiske reaksjonen mellom vann og sement (Statens Vegvesen, 2009).

## 3.7 Kryp

Kryp er en tidsavhengig deformasjon når materialer blir belastet (Store norske leksikon, 2009).

## 3.8 Betongens delmaterialer

### 3.8.1 Sement

Sement utgjør bare 7-15% av betongen sin totale masse og er det sentrale bindemiddelet i betongen (America's Cement Manufacturers PCA, 2018b). I følge (Maage, 2015) produseres sementen ved brenning av kalkstein og noen andre råmaterialer. Portlandsement er et fellesbegrep for de fleste sementer. Portlandsementen består av fire hovedmineraler som utgjør rundt 90-95% av sementen. De hovedmineraler er: Trikalsiumsilikat C3S, Dikalsiumsilikat C2S, Trikalsiumaluminat C3A, Tetrakalsiumaluminatferritt C4AF. De hovedmineraler hjelper til fasthetsutvikling, varmeutvikling, bestandighets-egenskaper og langsiktig fasthet (Gjerp & Opsahl, 1998).

Sementens finhet eller Blain-finhet blir beskrevet som sementkornenes overflateareal dvs. totalt overflateareal i m<sup>2</sup> i ett kilogram sement [m<sup>2</sup>/kg]. Blain-finheten ligger vanligvis i området 300-600 m<sup>2</sup>/kg. Sementens finhet vil påvirke hydratiseringshastighet. Jo finere sement jo større kontaktflate med vannet, noe som resulterer i raskere varmeutvikling og fasthetsutvikling og en tettere struktur i betongen. Aalborg Rapid og Norcem Industri kalles for "rapidsement" fordi de har høy Blain-finheten (Maage, 2015).

#### 3.8.1.1 Hydratisering

Hydratisering er en kjemisk reaksjon mellom vann og sement. Den reaksjonen medfører dannelse av kalsium-silikat-hydrat-forbindelse (C-S-H-fasen). Resultatproduktet C-S-H gir betongen varmeutvikling. Derfor er det hydratiseringen som styrer fasthet, stivhet og bestandighetsegenskaper (Gjerp & Opsahl, 1998).

Hydratasjonen starter ikke direkte ved blanding av vann og sement. Dette er pga. gipsen som tilsettes i sement ved produksjon. Gipsen legger seg som et belegg på sementkorn og forsinker dermed vannets kontakt med sementen. Uten gips vil vann/sement-reaksjonen føre til kraftig varmeutvikling og dermed for rask størkning av betong. For at hydratasjonen skal komme i gang må først mengde gips brytes ned (Maage, 2015).

For et v/c-tall på 0,4 kan det regnes at det er nødvendig mengde til en full hydratisering. V/c-tallet på 0,4 betegner en vannmengde på 40 % av sementvekten for at all sement omdannes til sementpastaen (full hydratisering). Vannmengde på 40% av sementvekten tilsvarer en vannmengde på ca.25 % av sementvekten kjemisk bundet og en vannmengde på rundt 15% av sementvekten fysisk bundet til overflaten av reaksjon produktene som vann i luftporene (Gjerp & Opsahl, 1998).

Ved å bruke et v/c-tall < 0,4 vil dette resultere i en tettere og sterkere betong, fordi det blir for lite vann til at all sementen kan hydratisere. Den resterende sementen vil da fungere som tilslag (uhydratisert sement har høyere fasthet en den herdede pasta). Dette er positivt fordi man får et mindre porevolum. Derimot ved bruk av et v/c-tall >0,4 vil dette medføre overskudd av vann som er mer enn det som er nødvendig for full hydratisering. Når det vannet fordampes vil det dannes større porer som kalles for kapillærporer. Så kan man si at

kapillærporer dannes når overflødig vann ikke vil kunne binde seg kjemisk i betongen (Gjerp & Opsahl, 1998).

Det er to type porer som skiller seg ut i betong etter v/c-tall:

En type pore som oppstår i betongblandinger ved hydratisering av sementen når v/c-tall  $\leq 0,4$  kalles for gelporer. Den type porer dannes fordi reaksjonsproduktet av hydratisering har et mindre volum enn summen av tørre tilsatte materialer, og det ytre volumet forblir det samme. Da får man den volumreduksjon i form av gelporer. Andel gelporer er direkte relatert til andel hydratisert sement. Jo mindre hydratisert sement jo mindre porer.

Den andre type porer er kapillærporer som kommer når det er mer vanninnhold enn det er nødvendig for full hydratiseringen (et v/c-tall  $> 0,4$ ). Kapillærporene er grove og har uregelmessig form. De store porer gir en anledning til å øke inntrengning av skadelige gasser og væsker i betongen. Når det gjelder fasthet og bestandighet, er kapillærporene i den hendede betongen svakhetssoner. Når vannet i kapillærporene fryser, vil volumet utvide seg, noe som fører til frostsprengning. Porens størrelse, form og mengde spiller en avgjørende funksjon på egenskapene til betongen slik som styrken, tetthet og bestandighet (Gjerp & Opsahl, 1998). Det er en type porer som forkommer ved tilsetning av luftinnførende stoff i betongblandinger. Dette er for å øke frostbestandighet i betongen. De luftporer er små og fordeler seg jevnt i betongen (Gjerp & Opsahl, 1998).

### 3.8.1.2 Masseforhold eller Vann/sement- Forhold (v/c-tall)

Begrepet Masseforhold benyttes når vann blandes med en effektiv bindemiddelmengde som består av (sement +  $\sum k \cdot$  tilsetningsmaterialer). Dette masseforholdet kan også kalles v/c-tallet når vann blandes med bindemiddelet bestående kun av sement.

Bindemiddel beskriver sementen eller summen av sement og tilsetningsmaterialer. Mens begrepet «effektiv bindemiddelmengde» beskriver mengden av (sement +  $\sum k \cdot$  tilsetningsmateriale) (Fabeko, 2013).

Masseforhold eller v/c-tallet er den faktoren som er avgjørende for betongens egenskaper som styrke, tetthet, bestandighet, etc. (Gjerp & Opsahl, 1998).

Masseforholdet forkortes til m og beregner etter formelen (Maage, 2015):

$$m = \frac{V}{(c + \sum k \cdot p)}$$

Der, V: er vann.

c: sement.

p: pozzolaner (silikastøv eller flygeaske)

Alle materialer måles i vekt.

k: er en virkningsfaktor som viser hvor effektivt pozzolanen er med hensyn til betongens bestandighet sammenlignet med sement. I NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017 står det at kravene til k-verdi for flygeaske og silikastøv er høyeste verdi på henholdsvis 0,4 og 2.

K-verdi for flygeaske kan settes lik 1 med riktig dokumentasjon.

### 3.8.2 Tilsetningsmaterialer

Tilsetningsmaterialer er en del av bindemidlet i betongen og brukes som erstatning til en del av sement både i sementproduksjon i fabrikken og/eller ved blanding av betong (Byggforsk, 2016).

De mest benyttete tilsetningsmaterialene i Norge er silikastøv og flygeaske og kalles for pozzolaner. Pozzolaner kan brukes som erstatning til en del av sementmengden i betongen eller i tillegg til sementen (Maage, 2015).

Pozzolanene danner ikke sementlim direkte med vann, men sementen danner kalsiumhydroksid  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , som i reaksjon med pozzolaner (silika fra silikastøv eller flygeaske) danner bindestoffer kalsiumsilikathydrat (C-S-H). Dette kalles for pozzolanreaksjon (Maage, 2015).

Bruk av Pozzolaner (silikastøv og flygeaske) gir større porøsitet enn ren sement. Dette er ikke nødvendigvis en negativ effekt, fordi disse materialene gir en finere porestruktur og dermed en tettere og sterkere betong. Kalsiumhydroksid i seg selv gir betongen høy pH og beskytter armering mot korrosjon (Gjerp & Opsahl, 1998).

### **3.8.2.1 Silikastøv**

Silikastøv er et biprodukt fra rensing av røykgassen ved produksjon av silisium og ferrosilisium (Maage, 2015). Partiklene er i størrelsesorden 1/100 av sementpartiklene. Utnyttelse av silikastøv gjør at betongen blir stivere (binder opp mye vann), seigere (massen henger bedre sammen) og vanskelig å støpe. Det brukes vanligvis ikke mer enn ca. 5% av sementvekten. Silikastøv har en stor spesifikk overflate, noe som medvirker til at separasjonen blir redusert og dermed en homogen betong (Gjerp & Opsahl, 1998).

### **3.8.2.2 Flygeaske**

Flygeaske er et biprodukt fra rensing av røykgassen fra kullfyrte kraftverk (Maage, 2015). Partiklene er ca. 10-20 $\mu\text{m}$ , nesten samme størrelse som på sementkornene. Flygeaske bidrar til å forbedre støpeligheten i betongen og til å få høyere langtidsfasthet. Flygeaske tilsettes vanligvis omtrent 20 % av sementvekten, men det kan tilsettes større mengder, opptil 30-35 % av sementvekten (Standard Norge, 2017). Flygeaske reduserer varmeutviklingen i betong, dette bidrar til å redusere faren for dannelsen av riss og sprekker i herdefasen (Maage, 2015).

### **3.8.3 Tilsetningsstoffer**

Det finnes flere typer av tilsetningsstoffer som brukes, ut i fra hvilke egenskaper det er ønsket å modifisere i betongen. Det er kjemiske stoffer i form av pulver eller væske som tilsettes i betongsblandinger.

I følge NS-EN 934-2:2012 er tilsetningsstoffer definert som stoff som tilsettes under blandingen av betong i en mengde som ikke overstiger 5% av sementvekten i betong. Dette for å endre eller modifisere betongegenskaper i fersk og/eller herdet fase (Standard Norge, 2012b). Det er flere faktorer som påvirker virkningsgrad av tilsetningsstoffer; bestanddeler i betongen, mengde og type sement, mengde tilsetningsstoffer som tilsettes, og pozzolaner kan ha en funksjon (Byggforsk, 2010).

Tilsetningsstoffer kan ikke gjøre en dårlig betong til god, men en god betong bedre (Gjerp & Opsahl, 1998).

Tilsetningsstoffer er delt inn i hovedgrupper etter hvilken hovedfunksjon de har;

#### **3.8.3.1 Vannreducerende stoff (plastiserende og superplastiserende stoff)**

Dette er den største gruppen av tilsetningsstoffer. Hovedvirkningene av vannreducerende stoffer er å oppnå ønsket støpelighet uten å øke vanninnholdet i betongen. Ved bruk av vannreducerende stoffer øker fasthet og densitet fordi det oppnår krav til støpelighet uten å endre v/c-tallet (Maage, 2015).

P-stoff har både vannreducerende og retarderende effekt. P-stoff fører til en reduksjon i vanninnholdet opp til 8 % og brukes mest for å gi betongen lenger åpen tid. Mens SP-stoff er mindre retarderende og fører til en reduksjon i vanninnholdet på 12-40 %. SP-stoff har mye kortere virkningstid enn P-stoff og kan derfor etterdoseres (Gjerp & Opsahl, 1998). I forbindelse med denne oppgaven skal det prøves forskjellig mengder av SP-stoff for sjekke betongens konsistensutvikling.

### 3.8.3.2 Luftinnførende stoff eller L-stoff

Luftinnførende stoff bidrar til å tilføre små, runde og jevnt fordelte luftbobler i betong under blanding. Hovedgrunnen for å bruke luftinnførende stoff er for å øke frostbestandighet (Gjerp & Opsahl, 1998). Når vannet i porene i betongen fryser, så vil isen ekspandere inn i disse luftporene og dermed ikke forårsake frostsprengning. Derimot i betong som ikke er frostsikret (ikke tilsatt L-stoff) vil det når vannet fryser til is, utvide seg inne i betongen og kan dermed sprengte betongen i stykker.

Andre virkninger ved tilsetning av L-stoff; bidrar til å forbedre støpelighet fordi luftbobler virker som kulelager i systemer; redusere vannbehovet og redusere faren for separasjon av vann (bleeding) ved å redusere den indre bindekraften. En annen virkning ved tilsetning av L-stoff er å redusere forekomsten av plastisk svinn noe i betongen fordi luftinnførende stoff reduserer vannets overflatespenning. Denne fører til at undertrykket i kapillærporene synker når betongoverflaten tørker (Gjerp & Opsahl, 1998).

Betong uten luftinnførende stoff har høyere trykkfasthet sammenlignet med betong med luftinnførende stoff. En tommelfingerregel sier at for hver 1% lufttilførende stoff i betongen vil det gi reduksjon av fasthet med ca.5% pga. økning i luftporevolum (Maage, 2015). For å kompensere tapet av fasthet pga. bruk av L-stoff kan man redusere masseforhold ved bruk av vannreducerende stoff. All betongene vil inneholde luftporer fra blandedprosessen, vanligvis 1–3% av volum (Byggforsk, 2010).

Har betongen et luftinnhold på  $(5\pm 1,5)\%$  så er den betraktes som frostsikker, kontra betong med lavere luftinnhold. Økning utover dette vil redusere fastheten. Det er derfor viktig å ha kontroll på luft i blandingen, for lite luftinnhold reduserer frostbestandighet, men for mye luftinnhold reduseres fasthet (Maage, 2015).

I denne masteroppgaven skal det ikke brukes luftinnførende stoff, men det skal kontrollere luftinnholdet i betongblandinger ved å ta luftprøver.

### 3.8.3.3 Akselererende stoffer

Akseleratorer øker hydratiseringshastigheten. Fortgang i hydratasjons forårsaker enten forkortelse av størkningstid, raskere fasthetsutvikling eller begge deler. Bruk av akselerator medfører at varmen produseres tidligere (størkning), eller raskere (herding). Derfor ved måling av varmeutviklingen som produseres av hydratasjonsreaksjonene kan man bestemme størknings- og herdingsforløpet (Byggforsk, 2010).

Det må skille mellom to typer av akselererende stoffer;

1. Størkningsakselererende stoffer  
Størkningsakselererende stoffer bidrar til å redusere overgang fra plastisk til stiv tilstand. Betongen taper støpelighet og betongen får ikke en tidlig høy fasthet (Maage, 2015). Typisk bruksområder; ved ønsket tidlig glatting/ pussing av betonggulv, ved å redusere hydraulisk trykk i høye støpeformer og ved sprøytebetong (Byggforsk, 2010).
2. Herdingsakselererende stoffer



Herdingsakselererende stoffer bidrar til raskere utvikling av fastheten i betongen (Maage, 2015). Aktuelle brukes områder er ved vinterstøp for å sikre raskt fasthetsutvikling og frostsikkerhet og ved ønsket tidlig rive forskaling, etc. (Byggforsk, 2010).

### **3.8.3.4 Størknings retarderende stoff**

Retarderende stoff eller R-stoff har en retarderende effekt på betongens størkningsprosess. Hovedmålet er å utsette tidspunktet når betongen binder av (å øke overgangstiden fra plastisk til stiv tilstand) (Maage, 2015). Retarderende stoff påvirker reaksjonshastigheten mellom vann og sementens slik at den avtar (Byggforsk, 2010). Dette skjer ved at retarderende stoff legger seg som en hinne rundt sementkornene (Gjerp & Opsahl, 1998). Langsommere hydrasjonsforløp medfører enten forlengelse av størkningstid, saktere fasthetsutvikling eller begge deler (Byggforsk, 2010).

R-stoff benyttes i betong for å forlenge betongens bearbeidingsstid, å støpe i varmt vær, ved å pumpe, etc. (Gjerp & Opsahl, 1998).

### **3.8.4 Tilslag**

Stein og sand defineres som tilslag (Gjerp & Opsahl, 1998). Tilslag, som står for 60- 75 % av total mengde betong, er delt inn i to forskjellige kategorier i kornstørrelse -fin og grov (America's Cement Manufacturers PCA, 2018c). Fine tilslag består av partikler som er mindre enn 4mm. Grove tilslag er partikler som er større enn 4mm (Maage, 2015).

I Norge har fine tilslag ofte gradering f.eks. på 0-8 mm og grove tilslag 8-16mm og 16-22 mm. Gradering deles opp slik på grunn av at de mindre kornene skal fylles hulrommene mellom større kornene for å oppnå god gradering. Tilslag har stor betydning for egenskapene til fersk og hardnet betong (støpelighet, styrke, stivhet, etc.). Derfor er det viktig at man velger de riktige tilslag. (Maage, 2015)

Det kan skilles mellom to kategorier av tilslag i type: Naturlig Tilslag og Resirkulert tilslag.

#### **3.8.4.1 Naturlige Tilslag**

Naturlige tilslag er tilslag av mineralsk opprinnelse som bare har vært bearbeidet mekanisk og deles til to kategori (Maage, 2015):

- Naturtilslag: løsmasser som Natursand og Singel.
- Knusttilslag: maskinknust som Maskinsand og Pukk.

#### **3.8.4.2 Resirkulerte Tilslag**

Resirkulerte tilslag er tilslagene som kan skaffes fra oppbrytning og knusing av eksisterende sement- og strukturelle konstruksjoner (Department of the army U.S., 2004).

Resirkulerte tilslag oppnår fra behandlingen av uorganisk materiale som tidligere er blitt brukt i konstruksjonen. Disse materialene skyldes ødeleggelse av bygninger, veier, broer, og noen ganger til og med fra katastrofer, som krig og jordskjelv. Resirkulert tilslag er hovedsakelig laget av naturlig tilslag med fastholdt mørtel (Gonzalez-Taboada et al., 2016).

I følge NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017 er det forskjell mellom gjenvunnet tilslag og resirkulert tilslag. «Gjenvunnet tilslag produseres fra kunst herdet betong som ikke har vært brukt tidligere men resirkulert tilslag kommer fra bearbeiding av uorganisk materiale som tidligere har vært brukt i byggearbeider» (Standard Norge, 2017).

I følge (Byggforsk RESIBA, 2002) er resirkulert tilslag definert som «tilslag fra bearbeidelse av inerte materialer tidligere brukt i bygg- og anleggsbransjen».

Resirkulert tilslag stammer fra rivingsavfall fra konstruksjoner som fundamenter, bygninger eller veier (Concrete Technology Today, 2002). Resirkulert tilslag produseres vanligvis ved knusing av tungt byggavfall til masser (Byggforsk, 2015).

I følge (Byggforsk RESIBA, 2002) fremstilles resirkulert tilslag ofte ved å knuse og sikte betong og teglavfall fra bygg og anleggs. Resirkulert tilslag har ofte sorteringer på 0-10, 10-20, 20-38 og 38-120 mm.

Når revet betong knuses, forblir en viss mengde av mørtel og sementpasta fra den opprinnelige betong festet til stein partikler i resirkulert tilslag. Denne fastholdte mørtel er hovedårsaken til den lavere kvaliteten på resirkulert betong, sammenlignet med naturlig betong (Malešev et al., 2014).

Det er strenge kontrollkrav ved bruk av resirkulerte tilslag i betong, siden resirkulerte tilslag kan komme fra forskjellige kilder og hvor opprinnelsesmaterialet er ukjent. Når man bruker resirkulert tilslag fra bygninger kan de være forurenset av sulfater fra plast og gipsplanker. Dette kan medføre en mulighet for sulfatangrep hvis de resirkulerte tilslag brukes i ny betong som er tilgjengelig for fuktighet (Department of the army U.S., 2004).

Ett av hovedproblemene knyttet til bruk av resirkulert tilslag i betongproduksjon er Alkalireaksjon. Alkalireaksjonen danner et reaksjonsprodukt som kalles alkali gel som sveller ved vannopptak som resulterer i volumøkning, noe som medfører stor sannsynlighet for internt brudd og for tidlig oppsmuldring av betongen (Singh & Singh, 2015).

Bruken av avisings salt for å kontrollere utviklingen av is ved veikonstruksjon, gir en sterk mulighet for at kloridioner er til stede i resirkulert betong. Tilstedeværelsen av kloridioner i betong kan ha negativ innvirkning på armeringsstålet i betongen. Når man bruker forsterkende stål i nærvær av kloridioner kan dette reagere ved å danne jernoksid eller rust. Fortsetter dannelsen av jernoksid, er det stor sannsynlighet for delaminering av betongkonstruksjonen (Singh & Singh, 2015). Generelt bør graden av forurensning og potensiell reaktivitet av resirkulert tilslag ikke overstige grenser tillatt for naturlig tilslag. Å stille det samme kravene for resirkulert tilslag som naturlig tilslag (Byggforsk RESIBA, 2002).

For å kunne bruke resirkulert tilslag på samme bruksområde som naturlig tilslag, må egenskaper til resirkulert tilslag deklarerer. Egenskapene som må deklarerer er gradering, korndensitet, vannabsorpsjon, innhold av kjemiske stoffer, motstand mot knusing, finstoffinnhold etc. (Sintef, 2017).

### 3.8.4.3 Naturlig tilslag mot resirkulert tilslag



Figur 3-4. Sammenligning mellom naturlig tilslag til venstre og gjenvunnet tilslag til høyere.

- **Tekstur**

Formen på partiklene og overflatestruktur påvirker egenskapene til fersk betong mer enn egenskapene til herdet betong. Resirkulerte tilslag er grovteksturerte og kantete partikler, mens naturlig tilslag er glatte, avrundete og kompakte tilslag. Se figur 3-4. Grovteksturerte, kantet og avlange partikler krever mer vann for å produsere bearbeidbar betong enn glatte, avrundete og kompakte tilslag (Srivastava, 2013). Runde partikkel på overflaten til tilslag gir små hulrom mellom tilslag og dermed mindre bruk av matriskevolum. I motsetning til de kantete tilslagene, som medfører økning i hulrommene, og dermed vil det øke sementforbruk i betongen (Maage, 2015).
- **Kvalitet**

Kvaliteten på naturlig tilslag er basert på de fysiske og kjemiske egenskapene til opprinnelseskilden, mens resirkulert tilslag er avhengig av forurensning av avfallskilder. Naturressurser er egnet for flere produkter og har større markedsområder enn resirkulert tilslag. Kvaliteten er forskjellig mellom de ulike resirkulerte tilslagene (Srivastava, 2013).
- **Densitet**

Densitet på resirkulert tilslag er lavere enn naturlig tilslag. Dette er på grunn av den porøse fastholdte mørtel på overflatene til resirkulerte tilslag (Srivastava, 2013).
- **Fasthet**

Styrken på resirkulert tilslag er lavere enn naturlig tilslag. Dette skyldes den lave vekten av resirkulert tilslag (Srivastava, 2013).

## 3.9 Grunnleggende definisjoner

### 3.9.1 Bygg og rivingsavfall (B&RA)

Begrepene “bygging” og “riving” er vanligvis gruppert sammen og brukes til å beskrive et bredt utvalg av aktiviteter inkludert installasjon, fabrikasjon, ombygging, reparasjon, oppussing og fjerning av konstruksjoner.

B&RA er definert som avfallsmaterialer som produseres i prosessen med bygging, renovering, reparasjon eller riving av konstruksjoner. Konstruksjoner omfatter bygninger av alle typer, både boliger og næringsbygg samt veier og broer. Komponenter av B&RA inneholder vanligvis betong, asfalt, tre, metaller, gipsplank og takteking. B&RA kan inkludere farlige stoffer (protection, 2013).

The Environmental Protection Agency i USA (United States Environmental Protection Agency EPA, 2017) definerer bygg og rivning avfall som avfall som genereres ved bygging, renovering og rivning av konstruksjoner som boliger og næringsbygg, veier og broer. Når nye konstruksjoner som bolig og næringsbygg, offentlige arbeidsprosjekter blir bygget og/ eller eksisterende konstruksjoner blir revet eller renovert, er disse typer fastavfall som genereres heter B&RA. Hovedkomponentene av B&RA er; Treverk, ulike typer plastmaterialer, ulike typer metaller, betong, murstein, gips og glass samt dører; vinduer; etc. Rester fra landsrensing av materialer, slik som stubber, stein og smuss, er også inkludert i B&R-avfallsmateriale .

Byggavfall er materialer som produseres direkte eller indirekte, ved bygging eller industri. Dette omfatter byggematerialer som isolasjon, elektriske ledninger og etc. samt avfall som stammer fra utarbeidelse. Byggavfall kan inneholde farlige stoffer (Wikipedia, 2019). Mens rivingsavfall er avfall fra revet bygninger, veier, broer eller andre konstruksjoner. Avfallet varierer i sammensetning, men de viktigste komponentene, omfatter betong, tre produkter, murstein, stål, gips og etc. Det er mulighet for å gjenvinne mange elementene av rivingsavfall (Wikipedia, 2018b).

(Hamassaki & Neto, 1994) definerer B&RA som:

- a) Byggavfall er restmateriale etter et byggprosjekt, som keramiske, murstein, mørtel, betong og etc.
- b) Rivingsavfall anses å være et spesialtilfelle fordi det alltid er mulig på forhånd å evaluere kvalitet og kvantitet av det resulterende avfallet, som jo er selve bygningen. Det er mulig å planlegge beste løsning for å gjenbruke bygningsdeler som vinduer, dører eller rive andre deler som bygningsbetongelementer, vegger, murverk, mørtel, gulv og annet ferdig behandlet materiale.

(Worksafe Victoria, 2007) definerte B&R-materialet som overskuddsmateriell eller avfallsmaterialer knyttet til bygging og riving av bygninger og konstruksjoner, inkludert betong, murstein, stål, tømmer, plast og annet byggemateriale og produkter. Ifølge (Governments & Judith E. Kincaid, 1995) er bygg og rivingsavfall fast avfall som vanligvis inkluderer byggematerialer, søppel, rusk og murstein som følge av bygging, ombygging, reparasjon og riving.

### 3.9.2 Resirkulering/ gjenvinning og gjenbruk

(Clean energy ideas, 2018) definerte resirkulering som prosessen med ombruk et gitt produkt utover den tiltenkte bruken eller fremstilling av et nytt produkt fra et resirkulerbart materiale.

Ifølge (Governments & Judith E. Kincaid, 1995) er resirkulering definert som prosessen med sortering, rensing, behandling og rekonstituering av fastavfall og andre materialer som blir brukt for det formål å bruke det modifiserte materialet. Resirkulering inkluderer ikke forbrenning eller termisk ødeleggelse av avfall. Materialet eller produktet anses å være resirkulerbart dersom det har evnen til å bli gjenvunnet ved slutten av livssyklusen og omformet til et nytt produkt for gjenbruk av andre.

Gjenbruk betyr at man bruker en gjenstand eller et materiale om igjen, enten for det opprinnelige formål eller for lignende formål, uten drastisk å endre den fysiske formen til objektet eller materialet (World steel association, 2016).

### 3.10 Resirkuleringsprosessen

Resirkuleringsanlegg blir vanligvis plassert i utkanten av byene på grunn av støy som utstyret lager i resirkuleringsprosessen. Alle maskinene må bruke lyddempende utstyr for å redusere støyen fra prosessen. Hovedgrunnen til at man velger bygninger som kilden til resirkulert tilslag er fordi man kan lage ekstremt store mengder knust betong. Utstyret som brukes i resirkuleringsprosessen varierer med forholdene på stedet og også fra land til land. Det finnes forskjellige typer utstyr som effektivt kan knuse veibetong og bygninger. Det er få forskjellige typer utstyr hadde blitt brukt for å knuse veibetong. Utstyret er som følger:

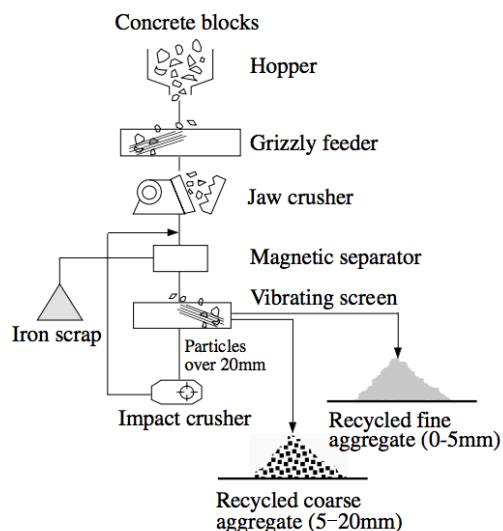
a) Pigghammer. Den er montert på en gravemaskin som med en 30 cm gittermønstret pigg knuser betongelementer..

b) Ripper (Nesehorntann for gravemaskin). Den brukes til å fjerne all stålforsterking som er igjen i betongelementer.

Knusingen er den første prosessen i produksjonen av bygg og rivingsavfall for å lage resirkulert tilslag. Betongmasser blir knust til biter i denne prosessen. Det utstyret som vanligvis brukes i knuseprosessen er enten kjeveknusere eller betongknuseri. Det uttalte også at alle resirkuleringsknuserne har spesiell beskyttelse på samlebåndene sine for å forhindre ødeleggelse fra stålforsterkningen som er i betongmasser. De settes på de magnetiske samlebåndene for å fjerne skrapmetallet. Betongavfallet vil brytes ned til omtrent tre tommer(inches). Det ble også nevnt at de betongknuseri vil knuse materialet til en ønsket størrelse, som varierte mellom 3/4 og 2 tommer. Prosessen som skiller de forskjellige størrelsene av resirkulert tilslag fra hverandre kalles sikting (Screening).

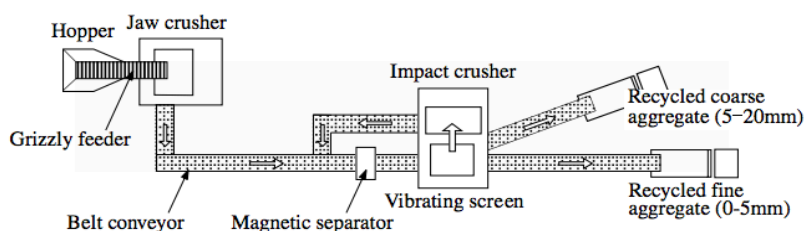
Sikteanlegget blir laget av en rekke store siler som deler materialet inn i de ønskede størrelsene. Størrelsen på sikten som ble brukt til å skille det grove resirkulerte tilslag og det fine resirkulerte tilslag er 3/8 tommer (tallet er i følge Amerikanske standard). Størrelsen på sikten som ble brukt til å skille det grove resirkulerte tilslag kan være på under eller over 3/4 tommer. De uttalte også at enda en sikt burde brukes for skille ut partiklene som er større enn den nevnte størrelsen (Srivastava, 2013).

Den nåværende metoden for å produsere resirkulert tilslag fjerner ikke festet mørtel, men justerer tilslagstørrelsen. Derfor består utstyret ganske enkelt av to typer knusere og en vibrerende skjerm, som vist på figur 3-5.



Figur 3-5. Produksjon av resirkulert tilslag (Eguchi et al., 2007).

Et produksjonsanlegg som brukes til å knuse betongblokk for gjenvinning, er vist i figur 3-6, noe som er litt justert og modifisert. Størrelsen på siktene er passende for betongtilslag.



Figur 3-6. Produksjonsanlegg for resirkulert tilslag (Eguchi et al., 2007).

Det må ikke komme noen fremmedlegemer inn i haugene med resirkulert tilslag. Det nevner også at kjøretøyene som blir brukt for å lage haugene må være uten fremmedlegemer (Srivastava, 2013).

### 3.11 Bruksområder av resirkulert tilslag

#### 3.11.1 Konstruksjonsbetong

Resirkulert tilslag ble brukt til å bygge en ny videregående skole utenfor Oslo, Norge i 2001. Se figur 3-7. Det ble erstattet 35% av grovt naturlig tilslag med resirkulert tilslag i fundamentene, halvparten av vegger og søyler i kjelleren. Flere tester ble utført på grunnlag av fersk og herdet betongegenskaper, og resultatene viste at betongen med 35% av resirkulert tilslag har god fryse-/tinnings motstand. Bruken av resirkulert tilslag viste ingen merkbar økning i sprekkdannelse (Mehus et al., 2002).



Figur 3-7. Bygging av ny videregående skole i Sørumsand, Oslo (Mehus et al., 2002).

### 3.11.2 Sprøytebetong

I 1999 ble det i Oslo startet et arbeid med sprøytebetong som inneholder resirkulert tilslag på den nye trikkelinjen i Gaustadbekkdalen. Dette var et av verdens første i sitt slag. Opp til 20% av sanden i sprøytebetongen ble byttet ut med resirkulert tilslag i de vertikale delene (Mehus et al., 2002).

### 3.11.3 Bygningsblokker

Resirkulert tilslag er blitt brukt som bygningsblokker. Det ble produsert Leca lydskilleblokk med resirkulert tilslag på opptil 30% i sortering (4-10mm). Se figur 3-8. Leca-blokker som ble produsert hadde oppfylt alle kravene under laborietesten (Mehus et al., 2002).



Figur 3-8. Resirkulert tilslag i bygningsblokker (Mehus et al., 2002).

### 3.11.4 Omfyllingsmateriale

Resirkulert tilslag kan brukes som fyllmateriale. Det indikerte at det resirkulerte betong tilslag kan benytte som omfyllingsmasse i grøfter etter å ha blitt testet i laboratoriet. I Asker kommune ble 1000 tonn av 10–20mm resirkulert tilslag brukt som omfyllingsmateriale (Mehus et al., 2002). Se figur 3-9.



Figur 3-9. Bruk av resirkulert tilslag som omfyllingsmateriale (Mehus et al., 2002).

### 3.11.5 Veioppbygging

Resirkulert tilslag kan brukes som forsterkningslag i veioppbygginger. I august 2000 har Vegvesenet i Oslo åpnet en ny motorvei gjennom Svartdalstunnelen. Se figur 3-10. Et 50 m prøvofelt ble etablert på utsiden av tunnelen ved hjelp av ca. 600 tonn resirkulert tilslag på sortering 20-120mm som forsterkningslag. Tykkelsen på forsterkningslaget var ca. 90 cm. I tillegg ble et 50 m referensefelt etablert ved bruk av naturlige tilslag i forsterkningslag. Resirkulert tilslag ble også brukt i 1996 som forsterkningslag på en bussparkering ved Klemetsrud i Oslo. I fleste land forventes resirkulert tilslag å være det viktigste bruksområde til ubundne applikasjoner som vei og grøfter (Mehus et al., 2002).



Figur 3-10. Bruk av resirkulert tilslag som forsterkningslag, Svartdalstunnelen, Oslo (Mehus et al., 2002).



### 3.11.6 Belegningsstein

Resirkulert tilslag har blitt brukt som belegningsstein i Hong Kong. Se figur 3-11. Det ble erstattet både de fine og grove naturlige tilslag med resirkulerte tilslag (The Hong Kong Polytechnic University PolyU, u.å.).



Figur 3-11. Resirkulert tilslag som belegningsstein (The Hong Kong Polytechnic University PolyU, u.å.).

## 3.12 Bruk og generering av B&RA på andre land over hele verden

Bygg og rivingsavfall utgjør en stor del av total avfallsproduksjon i verden, og mesteparten av den brukes i deponier. De genererte mengder av B&RA varierer fra land til land. I dette avsnittet vil det være fokus på bruk og generering av B&RA i mange land over hele verden:

### 3.12.1 USA

Produksjon og bruk av tilslag i USA siden 1990 har vært økende på ca. 2% per år (Robinson et al., 2004).

Av de nærmere 2,7 milliarder tonn tilslag som i dag blir brukt i USA, benyttes mesteparten i ny betong (ca.60-70%). Resterende brukes til veibetong (10-15%). Andre veibygging- og vedlikeholdsarbeider på veiene utgjør 20-30 %. For å fremme bruk av resirkulert tilslag blir det brukt insentiver for transport av betongavfall og behandlet tilslag fra produksjonssteder, selv om en stor andel av produksjonen bare kan brukes til fyllmasse eller grunnlag for bygninger (Rao et al., 2007).

### 3.12.2 EU

Det er anslått at den årlige dannelsen av bygg- og rivingsavfall i EU kan være så mye som 450 millioner tonn, som er det største forsøplingsområdet hvis man ser bort fra avfall fra landbruket. Selv om jord og andre avfallstyper ble fjernet, ville bygg- og rivingsavfall antas å være 180 millioner tonn hvert år. Med en befolkning på omtrent 370 millioner blir det 480 kg avfall per person per år.

Selv om klare tall om resirkulering ikke er tilgjengelige for det enkelte landet i EU.

En EU-studie beregnet at et gjennomsnitt på 28 % av alt bygg- og rivingsavfall ble resirkulert i slutten av 1990-årene. De fleste medlemslandene i EU har laget mål for resirkulering

som varierer mellom 50-90 % av deres bygg- og rivingsavfall. Resirkulerte materialer er i hovedsak billigere enn naturlige materialer, og det å resirkulere i Tyskland, Holland og Danmark koster mindre enn å kvitte seg med materialene (Rao et al., 2007).

### **3.12.3 Spania**

Ifølge (González-Fonteboa & Martínez-Abella, 2008) var mengden B&RA per person per år i Spania 326 kg, bare 5% av dette ble resirkulert. Dette representerer en klar kontrast med andre land som Nederland og Belgia. Takket være en rekke politiske initiativ, sammen med relevant lovgivning, spesifikke reguleringer og kontroller, har resirkulering nivået nådd henholdsvis 90% og 87% av henholdsvis 718 og 657 kg generert B&RA per person per år i disse to landene. For tiden, kan det antas at gjennomsnittlig mengde av rivingsavfall generert i Spania er på 750 kg /person /år.

### **3.12.4 Tyskland**

I Tyskland har avfallsreduksjon og gjenvinningsarbeid fokusert hovedsakelig på lovgivningen. Den viktigste bidragsyteren er Closed Substance Cycle and Waste Management Act (1996), som fastslår at produsentene har ansvar for hele livssyklusen for produktene de produserer. Til tross for sterk oppmuntring har det ikke vært stor økning i bruken av resirkulerte materialer.

Regjeringen spiller ikke en sentral rolle i forskning og markedsføring av resirkulert materiale, og det er generelt ingen bestemmelser i forbindelse med veibygging eller andre byggeprosjekter som favoriserer bruk av resirkulert materiale. En annen faktor som begrenser opptaket av resirkulert materiale i Tyskland, er den relativt lave kostnaden for naturlig tilslag og lave deponeringskostnader. Mangelen på spesifikasjoner og retningslinjer for bruk av resirkulert materiale, oppfattes som en annen hindring for videre opptak, selv om eksisterende spesifikasjoner ofte inneholder bestemmelser for bruk av resirkulert materiale (Crawford & Cullum-Kenyon, 2001).

### **3.12.5 Norge**

Den omtrentlige mengden av bygge- og rivingsavfall som genereres årlig er 1,5 millioner tonn, hvorav 1,1 millioner tonn er anslått til å bestå av betong og murverk. Anslått resirkuleringsprosent i Norge er 10-20% (Mehus et al., 2002).

(Mehus et al., 2002) redegjorde for årsakene til det lave resirkuleringsnivået i Norge. Med hensyn til landets overflate siden Norge er tynt befolket med bare 4,5 millioner innbyggere som er spredt ut over store arealer. I tillegg til omfattende tilgang naturressurser. Dette er hovedforskjellen mellom Norge og de europeiske landene, som f.eks. Nederland og Danmark. Disse landene har oppnådd høye resirkuleringsnivåer.

Den norske bygg- og anleggsbransjen har nylig publisert en nasjonal plan for B&R-avfall. Spesielt med hensyn til resirkulering var bransjens mål at innen 2005 ikke mer enn 30% av B&R-avfallet skal deponeres årlig.

### **3.12.6 Nederland**

Nederland har et avansert sett av politiske føringer, økonomiske verktøy og forskrifter, som er svært integrert for å øke resirkulering av B&RA. Sammen med Danmark er OECD (The Organisation for Economic Co-operation and Development ) høyt ansett for bruk av resirkulerte materialer. Drivkreftene for dette integrerte policysystemet er: anerkjennelse av fremtidig arealbehov for boliger, industri- jordbruksareal og Miljøvern.

Utvikling av politikk, retningslinjer og krav har inkludert sluttbrukere og industrien for å sikre gode løsninger. Samarbeidsforskningsprogrammer og utvikling av resirkuleringsteknologi, sammen med klar og entydig politikk for tekniske og miljømessige krav, har bidratt til å sikre nederlandsk suksess med sine resirkuleringsinitiativer (Crawford & Cullum-Kenyon, 2001).

### **3.12.7 Storbritannia**

Storbritannia brukte omtrent 330 millioner tonn tilslag i 1989, og bare rundt 10 % av dette var resirkulert materiale. Bare i England har det blitt rapportert at i 2001 ble det brukt 220 millioner tonn tilslag. En fjerdedel av dette var resirkulert materiale. Bygg- og rivingsavfall i England og Skottland utgjør i forholdvis omtrent to tredjedeler og halvparten av resirkulert tilslag (Rao et al., 2007).

### **3.12.8 Japan**

Det har imidlertid relativt lite betong blitt resirkulert i Japan. Selv om Japan har en historie på mer enn et kvart århundre med forskning om gjenbruk av revet betong. Den primære årsaken til dette er manglende godkjenning av betongen, siden den ikke samsvarer med JIS A-5308, som fastsetter spesifikasjoner for ferdigblandet betong. I 1991 etablerte den japanske regjeringen resirkuleringsloven. Den krevde at berørte departementer, som del av deres ansvar, skulle nominere materialer som de skulle kontrollere og oppmuntre til gjenbruk og resirkulering av.

The Ministry of Construction (MOC) nominerte revet betong, jord, asfalt betong og tre som biprodukter fra byggprosjekter. MOC introduserte "Recycle 21"-programmet i 1992, som angir konkrete mål for gjenvinning av flere typer biprodukter. I april 1994 ble "Tentative kvalitetsspesifikasjoner for gjenbruk av materialer fra revet betong for byggverk" utstedt av MOC med et mål på 90% resirkuleringsgrad. Som et resultat av disse tiltakene økte de faktiske resultatene fra bare 48% i 1990 til nesten 96% i 2000, hovedsakelig ved bruk i forsterkningslag i veibygging (Rao et al., 2007).

### **3.12.9 Danmark**

Den danske regjeringen jobber aktivt med å fremme resirkulering, gjennom forskning og utvikling og skattepolitikk på avfallsdeponi. Danmark jobber også aktivt med utvikling av retningslinjer og spesifikasjoner for resirkulering.

Myndighetene tar en aktiv rolle i å fremme positive holdninger til resirkulering hos folk. Dette er også en drivkraft i arbeidet for økt resirkulering. En viktig del av de danske initiativene til resirkulering er: felttester og testing av resirkulert materiale, inkludert langsiktig evaluering av hvordan materialet oppfører seg miljømessig. Regjeringen har samarbeidet med private partnerskap for å etablere anlegg for gjenbehandling av avfallsmaterialer og for å øke verdien av resirkulerte materialer.

I tillegg til den danske strategien for å etablere virkemidler som er positive for bruk av resirkulerte materialer, for eksempel gradvis innføring av skatt på deponi og anvending av avfallet som fyllmasse. Bruken av resirkulert asfaltveier i Danmark er godt etablert, med blandinger som inneholder 50 % av resirkulert asfaltveier for forsterkningslag og opp til 30 % av dette materialet i slitelaget. Prosessanlegg som resirkulerer bare opp til 15 % resirkulert asfaltveier brukes ikke mye lenger (Crawford & Cullum-Kenyon, 2001).

### **3.12.10 Bulgaria**

Siden 1990-tallet ga modernisering og bygging av infrastruktur som veier, broer, kommunale og industrielle konstruksjoner, kilder til en stor mengde byggavfall. Av 22% av de totale utgiftene for miljøvern og rehabilitering ble i år 2000 kun 0,5% brukt på håndtering av slikt avfall. Arbeidet for bedre utnyttelse av B&RA er i gang med bidrag fra byråer, inkludert Sofia kommune og det bulgarske vitenskapsakademiet, i tillegg til departementet for miljø og vannressurser (Rao et al., 2007).

### **3.12.11 Hongkong**

Hong Kong og Taiwan har også igangsatt programmer for å fremme B&R-avfallsbruk i ny betong. Omtrent 14 millioner tonn B&RA genereres i Hong Kong hvert år (Rao et al., 2007). Ifølge (Tam & Tam, 2006) genereres 38% av avfallet fra B&R-aktiviteter, som er rundt 6408 tonn avfall per år.

## **3.13 Egenskaper til resirkulerte tilslag fra tidligere studier**

Som med naturlig tilslag må kvaliteten på resirkulerte tilslag vurderes før tilslag brukes, i form av kornstørrelsesfordeling, vannabsorpsjon og densitet, etc. Noen av de viktige egenskapene til resirkulert tilslag diskuteres i de følgende avsnittene.

### **3.13.1 Effekt av det resirkulerte tilslaget form og gradering**

Partikkelform og overflatestruktur påvirker egenskaper til fersk betong mer enn egenskaper til herdet betong. Grovteksturerte, kantet og avlange partikler krever mer vann for å produsere arbeidbar betong enn glatt, runde tilslag. Vanligvis blir avlange partikler unngått eller begrenset til ca. 15 vekt-% av det samlede tilslaget (America's Cement Manufacturers PCA, 2018a). Bruk av fint resirkulert tilslag er følsomt fordi fine partikler har høy overflateareal. Økning i overflateareal reduserer bearbeidbarheten til betong og øker mengde vann som er nødvendig for å oppnå en viss synk (Brown & Marek, 1996). Det som påvirker resirkulert betong i ferskfasen er hvor mye fastholdt mørtel det er i resirkulert tilslag. Dette er på grunn av høyere porøsitet som den fastholdte mørtel har. Jo høyere mengde av resirkulert tilslag, jo dårligere blir kvaliteten på fersk betong (Buyle-Bodin & Hadjieva-Zaharieva, 2002).

### **3.13.2 Vannabsorpsjon**

Resirkulert tilslag har høyere vannabsorpsjonshastighet enn naturlig tilslag. Denne tilskrives til volum av fastholdt mørtel som følger med det opprinnelige tilslag (Obla et al., 2007).

I følge (Concrete Technology Today, 2002) er resirkulert tilslag mer porøs og absorberende enn naturlig tilslag pga. mørtel fra den opprinnelige knuste betongen.

Vannabsorpsjonen i resirkulert tilslag varierer fra 3-12% for grove og fine. Det kan bemerkes at denne verdien er mye høyere enn for naturlige tilslag som har vannabsorpsjon på mellom 0,5-1% (Rao et al., 2007).

Ifølge (Poon et al., 2004) øker vannabsorpsjon i resirkulert tilslag med økende mengde av fastholdt mørtel, siden resirkulert tilslag med 10 mm hadde vannabsorpsjon på 7,56% mens med 20mm hadde vannabsorpsjon på 6,28%.

(González-Fonteboa & Martínez-Abella, 2008) har rapportert at vannabsorpsjon til resirkulert tilslag er høyere enn for naturlig tilslag. Resirkulert grovt tilslag hadde vannabsorpsjon på 4-5%, og resirkulert fint tilslag hadde absorpsjon på 9-10%. Mens naturlig tilslag hadde

vannabsorpsjon på 0,5-1%. Ifølge (Eguchi et al., 2007) var vannabsorpsjonen i resirkulert tilslag i området 5-8%.

### **3.13.3 Densitet**

Ifølge (González-Fonteboa & Martínez-Abella, 2008) var den største differansen i egenskaper mellom naturlig og resirkulert tilslag i densitet og vannabsorpsjon. Forskjellene som observeres i disse to egenskapene skyldes hovedsakelig den lavere tettheten av den fastholdte mørtelen i det resirkulerte tilslaget. Som rapportert av mange andre forfattere har dette en negativ innvirkning på betongblandingene.

(Poon et al., 2004) har rapportert at resirkulert tilslag har lavere densitet enn det naturlige tilslag. Det ble vist at resirkulert tilslag hadde gjennomsnittlig densitet på 2350 kg/m<sup>3</sup> mens det naturlige hadde 2620 kg/m<sup>3</sup>.

Densiteten endres med tilslagetets størrelse, og det ble rapportert at intervallet av densitet er på 2290 -2490 kg/m<sup>3</sup> avhengig av tilslags størrelse (Singh & Singh, 2015).

De fleste av tidligere studier rapporterte det samme resultatet som indikerer at densiteten av resirkulert tilslag er mindre enn for naturlig tilslag.

## **3.14 Egenskaper til resirkulert betong fra tidligere studier**

### **3.14.1 Egenskaper til resirkulert betong i fersk fase**

#### **3.14.1.1 Støpelighet**

Støpelighet av resirkulert betong er lavere enn naturlig betong. Dette skyldes mørtelen fra den opprinnelige betongen som gjør resirkulert tilslag mer porøst og absorberende enn det naturlige motpart. Den ekstra absorpsjonen krever mer vann som bør tilsettes på resirkulert tilslag for å oppnå metning før det kan blandes i betongen (Department of the army U.S., 2004).

(Malešev et al., 2014) har uttalt at bruk av resirkulert tilslag påvirker konsistensen. Flyteevne til resirkulert betong reduseres på grunn av høyere vannabsorpsjon av resirkulerte tilslag og den mindre gunstige kornform og tekstur. Den nevnte egenskapen påvirkes betydelig av metoden for fremstilling av resirkulert tilslag i betongblandingprosessen. Ved å bruke mettet tørr overflate resirkulert tilslag, skiller ikke konsistensen seg så mye i resirkulert betong, sammenlignet med naturlig betong.

(Poon et al., 2004) viste at ved oven tørr tilstand i tilslag fører det til en høyere synkmål i starten og raskere konsistenstap, mens i SSD tilstand var det normal opprinnelig synkmål og konsistenstap. Den opprinnelige nedgangen i betong var sterkt avhengig av det første frie vanninnholdet i betongblandingene.

Hvis innholdet av resirkulert tilslag i betongblandinger øker, avtar bearbeidbarheten. For å produsere lignende bearbeidbarhet som naturlig betong, var det nødvendig med 5% mer blandingsvann ved bruk av bare grove resirkulerte tilslag og opptil 15% mer blandevann ved bruk av både grove og fine resirkulerte tilslag. Inkludering av resirkulerte fine partikler i resirkulert betong forårsaker problemer med bearbeidbarheten. Av den grunn, er det anbefalt at fint resirkulert tilslagsnivå forblir ved eller under 30% av total findelt tilslagsinnhold (Obla et al., 2007).

Rapporter fra mange studier viser at resirkulert betong med samme vanninnhold har lavere bearbeidbarhet enn vanlig betong, spesielt når erstatningsnivåene overstiger 50%. For å forbedre bearbeidbarheten har det blitt foreslått visse tiltak, f.eks. å endre fuktighetstilstanden til resirkulert tilslag. For å lage bearbeidelig betong, ble det funnet ut at ekstra vann

tilsvarende absorpsjon av resirkulert tilslag må blandes under fremstilling av betong (Rao et al., 2007).

(González-Fonteboa & Martínez-Abella, 2008) presenterte i sitt forskningsstudie at alle blandinger av resirkulert betong hadde synkmål på mellom 6 og 9 cm.

### **3.14.1.2 Luftinnholdet**

Luftinnholdet i resirkulert betong ved 100% erstatning er høyere 4-5,5% enn betong laget med naturlig tilslag (Rao et al., 2007). Dette økte luftinnholdet kan tilskrives høyere porøsitet i resirkulert tilslag. Andre studier viser at bruk av kun resirkulert grovt tilslag ikke har noen effekt på mengden luft i fersk betong. I tillegg ble det i noen undersøkelser funnet informasjon om økning av luftmengden opptil 1%, noe som kan betraktes som ubetydelig (Malešev et al., 2014).

### **3.14.1.3 Densitet**

Ifølge (Rao et al., 2007) ligger densitet av fersk naturlig betong i området 2400 kg/m<sup>3</sup>, mens densiteten for fersk resirkulert betong er betydelig lettere rundt 2150 kg/m<sup>3</sup>. Den lavere densiteten er resultatet av tilslagetets densitet. I tillegg fører økt luftinnhold i resirkulert betong til reduksjon i densiteten av den ferske betongen.

En økning i en andel av resirkulert tilslag i total masse av komponenttilslaget reduserer densitet av fersk betong. Til sammenligning var den resirkulerte betongens densitet 5-10% lavere enn naturlig betong. Men betong som er laget med resirkulert grovt tilslag og naturlig fint tilslag hadde densitet på 1-5% lavere enn i den sammenlignbare naturlige betongen. Generelt spenner verdiene av densitet av fersk resirkulert betong fra 2280-2360 kg/m<sup>3</sup> (Malešev et al., 2014).

Densitet av betong laget med resirkulert tilslag ble funnet å ligge innenfor 85 -95% av den naturlige betongen (Obla et al., 2007).

## **3.14.2 Egenskaper til resirkulert betong i herdet fase**

### **3.14.2.1 Trykkfasthet**

Forskere har rapportert en reduksjon i fasthet av resirkulert betong. Graden av reduksjon er relatert til parameterne slik som; hvilken type betong blir tilslag laget av (høy, middels eller lav styrke), erstatningsprosent, vann/semment-forhold og fukttilstanden til det resirkulerte tilslaget (Rao et al., 2007).

(Andres Salas et al., 2013) har også vist hvordan tilslagetets fukttilstand hadde en betydelig effekt for trykkfasthet. Med SSD eller delvis SSD tilstand i tilslag ga det høyere styrke for både naturlig og resirkulert betong enn oven tørr tilstand i tilslag.

Trykkfasthet til betong som inneholder resirkulert tilslag er avhengig av styrken til den opprinnelige knuste betongen hvorfra det resirkulerte tilslaget ble fremstilt. Desto mere resirkulert fint tilslag jo lavere er trykkfastheten. Reduksjonen i styrken er rapportert til å være mellom 5- 24% når bare grovt resirkulert tilslag blir brukt, og mellom 15 - 40% når det blir brukt grovt og fint resirkulert tilslag. Når det fine resirkulerte tilslaget i betongen overstiger 60% av den totale mengden fint tilslag, blir styrkereduksjon mer markert (Obla et al., 2007).

I følge (Nelson & NGO, 2004) synker trykkfastheten med rundt 15% ved bruk av 20% resirkulert tilslag i betongblanding med 0,45 på v/c-tallet. Trykkfastheten reduseres 16%, 21% og 30% ved bruk av resirkulert tilslag i henholdsvis på 40%, 60% og 80% med 0,45 på v/c-

tallet. For 100% resirkulert tilslag med 0,43 v/c-tallet, er det et fall på 21% av trykkfastheten. Det er kun et fall på 5% av trykkfastheten ved bruk av 100% resirkulert tilslag med 0,36 v/c-tallet i betongen. Hovedårsaken til dette er lavere vann/semest-forhold og størrelsen på det resirkulerte tilslaget som brukes i denne blandingen. Resultatet av denne rapporten viser at det er det mulig å bruke 100% resirkulert tilslag med mindre v/c-tall.

(González-Fonteboa & Martínez-Abella, 2008) har dokumentert at ved å øke mengden av semest fra 325 til 345 kg/m<sup>3</sup> med sammen v/c-tall=0,55 og ved bruk av 50% tørr resirkulert tilslag, ble trykkfastheten observert i resirkulert betong til å være lik den til referanse betong med naturlig tilslag.

Som dokumentert av (González-Fonteboa & Martínez-Abella, 2008) kan trykkfastheten til den resirkulerte betongen betraktes som kontrollert av tre faktorer:

- Mengden vann som faktisk har en effekt på blandingene. Resirkulerte tilslag viser betydelig høy vannabsorpsjon. Derfor vil mengden vann som er tilstede i pastaen av resirkulert betong være lavere enn for konvensjonell betong, noe som betyr at de er i stand til å utvikle større trykkfasthet.
- Mengden semest. Jo mer semest jo høyere trykkfasthet.
- Tilslagets egenskaper. Generelt reduserer bruk av resirkulerte tilslag trykkfasthet til betongen. Dette er avhengig av prosentandelen av resirkulerte tilslag som brukes.

(Andres Salas et al., 2013) konkluderte at trykkstyrken til den resirkulerte betongen var lik den vanlig betongen. Studien har også vist at ved erstatning av naturlig tilslag med grov og fin resirkulert tilslag resulterte i en liten reduksjon i styrke.

Bruken av grovt resirkulert tilslag i betongen påvirker ikke i vesentlig grad trykkfastheten. Mens ved bruk av fint resirkulert tilslag faller styrken med mellom 35-50% sammenlignet med betong laget med naturlig fint tilslag (Department of the army U.S., 2004).

### **3.14.2.2 Elastisitetsmodul**

Elastisitetsmodul for resirkulert betong er rapportert til å ligge i området 50-70% av den naturlige betongen, avhengig av vann/semest-forholdet og utskiftnings andel av naturlig tilslag med resirkulert tilslag (Rao et al., 2007).

Fra de eksperimentelle resultatene til (Nelson & NGO, 2004) synker elastisitetsmodul med rundt 17% ved bruk av 20% resirkulert tilslag i blanding, sammenlignet med 100% naturlig betong. Elastisk modul går ned med 20%, 37%, 37,4% av naturlig betong ved bruk av resirkulert tilslag på henholdsvis 40%, 60% og 80%. Det viser at prøver fremstilt med resirkulert tilslag har mindre elastisitetsmodul verdi enn den prøven fremstilt med naturlig tilslag. Jo høyere andel resirkulert tilslag, jo mindre blir verdien på elastisitetsmodul. En studie til viste resultater som stemmer med (Nelson & NGO, 2004) med tanke på elastisitetsmodulen. (Malešev et al., 2014) rapporterte at resirkulert betong har mindre elastisitetsmodul enn naturlig betong. I betong med 100% resirkulert grovt tilslag og naturlig fint tilslag, reduseres elastisitetsmodulen med opptil 20%, i forhold til betong med 100% naturlig tilslag. Mens i tilfelle betong som produseres med 100% grov og fin resirkulerte tilslag, faller elastisitetsmodulen fra 15-45% i forhold til naturlig betong.

I følge resultatene oppnådd ved (González-Fonteboa & Martínez-Abella, 2008) synker elastisitetsmodul med 11,33% i resirkulert betong med 50% erstatning ved 28 døgn sammenlignet med den naturlige betongen. Resultatene viser også at ved bruk av silikastøv i betongen ble det ikke så større fall i elastisitetsmodul (falte 12,95% i resirkulert betong med silikastøv sammenlignet med naturlig betong med silikastøv ved 28 døgn).

Elastisitetsmodulen minker med økende mengder resirkulert tilslag. Med 100% resirkulert tilslag er elastisitetsmodulen av betong ca. 35% lavere enn for naturlig betong (Department of the army U.S., 2004).

### **3.14.2.3 Densitet av herdet betong**

(González-Fonteboa & Martínez-Abella, 2008) viser at densiteten av resirkulert betong uten pozzolaner var i gjennomsnitt  $2390 \text{ kg/m}^3$ , der gjennomsnittlig densitet av naturlig betong er  $2410 \text{ kg/m}^3$ . Men ved bruk av silikastøv gikk densitet ned til  $2300 \text{ kg/m}^3$  i resirkulert betong.

### **3.14.2.4 Bøyefasthet (flexural strength)**

Resirkulert betong med grovt tilslag har omtrent den samme eller 10% mindre bøyefasthet enn naturlig betong. I enkelte studier er det funnet at ved bruk av grove og fine resirkulert tilslag i betongen kan reduksjon i bøyefasthet være mellom 10-40% sammenlignet med naturlig betong (Obla et al., 2007).

### **3.14.2.5 Spaltfasthet (splitting strength)**

(González-Fonteboa & Martínez-Abella, 2008) konkluderte med at verken inkludering av resirkulert tilslag eller tilsetning av silikastøv hadde noen spesiell innvirkning på spaltfastheten til resirkulert betongen. I kontrast viser (Ajdukiewicz & Kliszczewicz, 2002) at bruk av tilsetningsmaterialer og superplastiserende i blandinger bidrar til å forbedre egenskapene til både naturlig og resirkulert betong.

En studie har vist at ved bruk av 100% resirkulert grovt tilslag i betongen førte det til en reduksjon i strekkstyrke opp til maksimum 10%. Forskjeller i strekkfasthet i forhold til naturlig betong kan forventes i området fra 10-20% bare i tilfeller der betong er med 100% resirkulert tilslag. Ved bruk av grovt resirkulert tilslag mellom 20% og 50% resulterer det vanligvis i ca. 2% lavere strekkfasthet i forhold til betongen med 100% naturlig tilslag. Fint resirkulert tilslag fører til høyere reduksjon i strekkfasthet i forhold til de grove resirkulerte fraksjonene (Malešev et al., 2014).

Ifølge (Nelson & NGO, 2004) viser det tydelig at strekkfasthet gradvis avtar med økende prosentandel av resirkulert tilslag i betongprøver. Strekkfastheten vil forbli høyere når vann/semment-forholdet blir lavere ved bruk av resirkulert tilslag.

(Andres Salas et al., 2013) viser det samme, at betong spaltfasthet avtar med økende mengde resirkulert tilslag i betong.

### **3.14.2.6 Svinn**

(Ajdukiewicz & Kliszczewicz, 2002) konkluderte med at svinn av betongprøver med fullt resirkulert tilslag er 35-45% høyere enn i betong med naturlig tilslag.

(Malešev et al., 2014) har uttalt at svinn av betong øker med økende andel av resirkulert tilslag i betongblanding, på grunn av den gamle fastholdte mørtelen. Det er vist at sammenlignet med naturlig betong er krympingsverdiene 4-70% høyere ved resirkulert betong.

(Rao et al., 2007) har uttalt at bruk av resirkulert tilslag i betong fører til en stor svinn på grunn av den høye absorpsjon av resirkulerte tilslagene. Noen studier viste at resirkulert betong kan krympe omtrent  $0,55\text{-}0,8 \text{ mm/m}$  etter 90 dager, mens den sammenlignbare verdien for naturlig betong er ca.  $0,30 \text{ mm/m}$ .



Uttørkingssvinn og kryp av betong øker betydelig ved bruk av resirkulert tilslag, og spesielt fint tilslag. Kritiske applikasjoner der dette ikke ville være akseptabelt, broer og veibelegg på flyplasser (Department of the army U.S., 2004).

### **3.14.2.7 Kryp**

(Malešev et al., 2014) har vist at kryptet i betong, designet med 100% resirkulert grovt tilslag, er 25- 60% større enn kryp i den sammenlignbare naturlige betongen.

### **3.14.2.8 Bestandighet av herdet resirkulert betong**

Holdbarhetsstudier er gjort for bedre å forstå effekten av å bruke forskjellige kvaliteter av resirkulert tilslag på egenskapene til resirkulert betong.

Selv om noen studier har vist at resirkulert betong er betydelig mer permeabel enn naturlig betong, bør det også bemerkes at de bestandighetsgenskaper kan forbedres ved bruk av flygeaske og silikastøv, etc.

## 4 Metode

Dette kapittel beskriver eksperimentell metodikk utført for å oppnå de nødvendige dataene. Her presenteres betongblandingsdesign, blandingsprosedyrer og testprosedyrer for tilslag, fersk betong og herdet betong. Dessuten presenteres materialene som brukes i denne studien. Resultater på betongen er i kapittel 5.

### 4.1 Forsøksplan

Studien fokuserte på å utvikle blandingsdesignet for å produsere resirkulert betong med akseptable egenskaper i ferske og herdede fase. Det ble undersøkt påvirkningen av gjenvunnet tilslag på betongegenskaper ved å forberede flere betongblandinger i forskjellige prosentandeler av gjenvunnet tilslag. For å kunne utnytte resirkulert betong må den oppfylle de samme kravene som naturlig betong for å sikre tilfredsstillende nasjonale standard og krav. Programmet omfatter støp av en betongtype med to forskjellige tilslagstyper: med naturlig tilslag og med gjenvunnet tilslag med varierende prosentandel. I denne studie ble det brukt en type gjenvunnet tilslag med fraksjon på 10-20 mm, på følgende prosentandelene 25%, 50% og 100% av naturlig grovt tilslag.

I blandingene ble det erstattet naturlig grovt tilslag 8-16mm fraksjon fra Svelvik med 10-20mm gjenvunnet tilslag med utvalgte prosent andel. Det ble testet en småsteinresept (56% fint tilslag og 44% grovt tilslag) , denne fordelingen ble valgt for å oppnå optimal kornfordeling og hulrom.

I dette arbeidet ble det valgt fasthetsklasse B30 og bestandighetsklasse M60 for de utvalgte betongtyper, med samme masseforhold på 0,57, med synkmål mellom 100-150 mm etter 90 minutter.

Bakgrunnen for valg av dette området for konsistens er at i Syria er det vanlig å støpe betong med konsistens på område 100-120mm, mens det i Norge er vanlig med 180-220mm. Jeg har valgt å legge meg på en mål mellom dette av hensyn til anvendelighet av resultatene.

Hensikten med valg av fasthet B30 er grunnet i Syria siden betongen benyttes stor sett fasthet mellom B20 og B40.

Konsistensutvikling over tid ble undersøkt ved 00, 30, 60 og 90 minutter. Det ble totalt støpt ut 7 betongblandinger, 1 med naturlig betong og 6 resirkulert betong med forskjellige prosentandeler av gjenvunnet tilslag 25%, 50% og 100%. Den naturlige betongblandingen er referanse betongen for sammenligning av resultater.

I studiet ble det ikke vurdert utskifting av naturlig fin tilslag med gjenvunnet fint tilslag.

Dette skyldtes det faktum at resirkulerte/ gjenvunnet fine tilslag inneholder en stor mengde fastholdt mørtel, noe som resulterer i vanskeligheter med å skaffe de nødvendige synkmål i fersk betong. I tillegg fører det til en betydelig økning i deformasjon og stort fall i elastisitetsmodul og styrke.

## 4.2 Testmetoder og standarder

Tabell 4-1 viser de forskjellige testene som ble gjennomført i denne studien på tilslag og på betong i fersk og herdet fase. Dessuten står det i tabellen i henhold til hvilke standarder eller prøvemethoder (Håndbok) testene ble gjennomført i.

Tabell 4-1. Testmetoder og standarder for tilslag og betong.

	Test	standarder	Antall
Tilslag	Kornfordeling	NS-EN 933-1: 2012	2 prøver
	Korndensitet	NS-EN 1097-6 : 2013	2 prøver
	Vannabsorpsjon	NS-EN 1097-6 : 2013	2 prøver
	Organisk materiale	NS-EN 1744-1: 2009+A1:2012	1 prøve
	Materialsammensetting	NS-EN 933-11: 2009	1 prøve
Fersk betong	Synkmål	NS-EN 12350-2: 2009	5 per resept
	Synkutbredelsesmål	NS-EN 12350-8: 2010	4 per resept
	Densitet	NS-EN 12350-6: 2009	1 per resept
	Luftinnhold	NS-EN 12350-7: 2009	1 per resept
	Utstøping	NS-EN-12390-1: 2012/NS-EN 12390-2: 2009	6 terninger, 3 sylindere per resept
Herdnet betong	Trykkfasthet	NS-EN 12390-3:2009	etter 2, 7, 28 døgn
	Densitet	NS-EN 12390-7:2009	etter 28 døgn
	E-modul	Statens vegvesens Håndbok R210, 423	etter 28 døgn

Undersøkelser ble hovedsakelig utført etter felleseuropeiske og norske standarder. Noen av prøvene ble utført i samsvar med Statens vegvesen Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser. De fleste testene ble utført i Unicon laboratorium, avdeling Sjursøya. Det ble brukt varmeskap i Statens Vegvesen sin lab for å tørke ut tilslag for utførelse av tester.

## 4.3 Betongresept

Referanseresept som ble benyttet i dette studie var en B30M60 betongresept fra Unicon avd. Sjursøya. Vedlegg B.1.

Alle betongblandningene ble gjennomført i hele arbeidet med samme v/c-tallet 0,57, mengde luftinnholdet på 2%, pulver (80% sement+ 20% flyge aske) og med 56% fintilslag og 44% grovt tilslag. Prøveblandinger med gjenvunnet tilslag måtte superplastiserende og pastavolum økes for å oppnå samme ferskbetongegenskaper som betong med naturlig tilslag. Mere informasjon om dette kommer under punkt 4.10.

Det ble bestemt volum per betongblanding ut i fra antall prøvestykker (terninger og sylindere) som er nødvendig for å utføre prøveprogrammet til denne studien. Se tabell 4-2. Siden tvangsblender hadde kapasitet på 20 liter, ble det kjørt en blanding på 10 liter for å måle konsistensutvikling og en blanding på 20 liter for å måle Luftinnhold og densitet og å støpe terning og sylindere.

Tabell 4-2. Beregning av blandevolum.

<b>Luftinnhold, Densitet</b>
Bestemmes i beholder med kjent volum på 8 liter.
<b>Trykktesting</b>
Ternings mål 100*100*100mm – 6 terninger
Volum per terning: 100*100*100 = 1 L
2 døgn 1 * 2 = 2 liter
7 døgn 1 * 2 = 2 liter
28 døgn 1 * 2 = 2 liter
Totalt 6 liter
<b>E-modul</b>
Sylinder mål: diameter 100mm og høyde 200mm
Sylindervolum: Areal * høyde
Areal= $\pi*r^2=\pi*(0,05)^2=0,00785 \text{ m}^2$
Sylindervolum= $0,00785*0,2=1,57*10^{-3} \text{ m}^3=1,57 \text{ liter}$
Sylindervolum = 1,57liter
Totalt 4,71 liter

#### 4.4 Blandeprosedyre

En tvangsblender med 20 liters kapasitet ble benyttet i dette studiet for å blande betongen. Se figur 4-1.

Metoden som benyttes for sammensetningen av delmaterial i maskinblanding for fremstilling av betong, har stor betydning for betongens egenskaper (konsistens og styrke).

I Statens Vegvesens Håndbok R210 beskrives en metode for fremstilling av betong. Denne metoden ble brukt i labarbeidet i noen av de første forsøksblandingene. Det ble oppdaget at denne metoden måtte modifiseres på grunn av de egenskapene som gjenvunnet tilslag hadde. Nedenfor er det beskrevet Statens Vegvesens sin metode og den utviklete metoden som er brukt i resten av blandingene i arbeidet.



Figur 4-1. Tvangsblender som ble brukt i arbeidet.

#### 4.4.1 Metode fra Statens vegvesen

Prosedyre (Statens Vegvesen, 2016):

1. Maskinen fuktes.
2. Delmaterialer tilsettes i følgende rekkefølge: a. sand, b. stein, c. pulver.
3. De tørre materialene blandes i maskinen i 1 minutt.
4. Væske tilsettes slik:
  - Omtrent 50% vannmengde tilsettes i løpet av 30 sek.
  - L-stoff, eventuelt andre stoffer, ekskludert SP-stoff, med resterende vannmengde, 60 sek.
  - Materialene blandes i 30 sek.
  - Maskinen stoppes med lokket på i 120 sek.
  - SP-stoff tilsettes i løpet av 30 sekunders blanding.
5. Våtmaterialene blandes i 90 sek.
6. Betong konsistens måles før 5 min har gått. Om konsistens er riktig, bestemmer densitet og luftinnhold.
7. Hvis konsistensen er for stiv, tilsettes mer SP-stoff i 30 sek blanding. Deretter blanding i 90 sek.

#### 4.4.2 Metode utviklet i lab

Prosedyre:

1. Før man begynner å rotere blanderen, legges det grove tilslag og 50% av vannmengde i blanding.
2. Start mikseren i 3 minutter.
3. Stoppe maskinen i 2 minutter
4. Deretter legges til det fine tilslag og blandes i 2 min.
5. Tilsett pulver med resterende vannmengde, bland i 3 min.
6. Stopp blandingen i 2 minutter med lokket på for å forhindre fordampning under hvileperioden.
7. Bland i 1 minutt.
8. Ta en synkmål uten SP-stoff, bruker ca. 2 min.
9. Tilsett SP-stoff, bland våtmaterialene i 1 min.
10. Ta ny synkmål med SP-stoff.

Det ble brukt ca. 16 minutter til først konsistensmål med SP-stoff.

Betongblandingsprosessen for alle prøver som ble støpt, ble fullført i henhold til utviklet blandemetode.

## **4.5 Materialer**

### **4.5.1 Bindemiddel**

I denne studie benyttes det Aalborg Rapid (CEM 1 52,2 N) + Eminent B4 flygeaske i samtlige blandinger. I henhold til NS-EN 197-1 tilfredsstiller kravene som stilles for CEM I 52,5 N. I tekst betyr denne betegnelsen, Portlandsement og fasthetsklasse 52,5 med normal tidligfasthet. Se vedlegg A.1.

### **4.5.2 Tilsetningsstoffer**

I denne studie ble brukt superplastiserende tilsetningsstoff Glenium Sky 899 i flytende form i alle blandinger. Se vedlegg A.2.

### **4.5.3 Vann**

Vannet som brukes må være rent. Derfor ble kommunalt vann fra Oslo kommune som anses som tilfredsstillende renhet vannet brukt i samtlige blandinger.

### **4.5.4 Tilslag**

Siden det fortsatt er krig i Syria er det umulig å få tak i materialer derifra - resirkulert tilslag fra revet bygninger. Etter samtale med veilederne benyttes tilgjengelig gjenvunnet tilslag i Norge.

#### **4.5.4.1 Naturlig tilslag**

I samtlige blandinger ble det brukt samme type tilslag, fraksjon 0-8 mm og 8-16 mm fra Svelvik. Alle egenskaper for naturlig tilslag var deklarerert i henhold til NS-EN 12620 i følge Unicon Sjursøya avdeling (kornfordeling, finstoffinnhold, densitet og vannabsorpsjon, etc.) Se vedlegg A.3 og A.4.

#### **4.5.4.2 Gjenvunnet tilslag**

I denne studie ble det brukt gjenvunnet tilslag i fraksjon 10-20 mm fra Veidekke Hokksund Pukkverk. Den knuste betongen kommer fra feilproduksjon av kummer og hulldekker hos Loe betong.

Det var veldig vanskelig å få tak i resirkulert tilslag fra revet bygninger i Oslo område med fornuftig fraksjon for å utføre testen. De fleste deponier hadde store betongmasser i store fraksjoner fra revet bygninger. Det lot seg ikke gjøre å skaffe knusemaskinen for å knuse betongmassene til ønsket størrelse.

Etter stor innsats fikk jeg tak i gjenvunnet tilslag fra Veidekke Hokksund pukkverk i fraksjon 4-20 mm. Utfordringen med denne massen var at hele mengden måtte siktes gjennom 11,2 mm siktet for å få ønsket fraksjon 10-20mm.

For å kunne få et gjennomsnittlig resultat av helle massen ble en skuffe av hver sekk siktet samtidig. Eksempel på gjennomføring av blandingsmetode er: fra figur 4-2 pose nummer 1 ble tømt. Det ble tatt en skuffe av gjenvunnet tilslag fra pose 2 og en skuffe fra pose 3 for å bli siktet. Materialet fra siktingen ble lagt i pose nummeret 1.



Figur 4-2. Sikte metode for å få riktig fraksjon.

## 4.6 Prøving av gjenvunnet tilslag

Det er eksperimentelt arbeidet som er den grunnleggende metodikk for dette studie. Det ble gjort en rekke prøver på gjenvunnet tilslag for å sammenligne med det naturlige tilslag. Resultater er vist i kapittel 5. Egenskapene på tilslag er viktige faktorer for en direkte effekt på betongegenskaper.

### 4.6.1 Kornstørrelsesfordeling (siktanalyse) og finstoffinnhold

Kornstørrelsesfordeling ble utført i samsvar med NS-EN 933-1: 2012, (Standard Norge, 2012a).

Siktanalysen er vanligvis kjent som graderings, og er en grunnleggende test for tilslag. Graderingen er et kjennetegn på partikkelstørrelsesfordeling av tilslag, dvs. hvor stor andel det er av de ulike fraksjonene innenfor en gitt prøve. Gradering bestemmes ved å føre tilslag gjennom en serie av overliggende sikter med firkantede hull, med åpning ordnet i avtagende størrelse. Siktanalyse er et viktig verktøy i oppgaven. Dette er fordi graderingen påvirker betongens støpelighet, vannbehov, fastheten og luftinnholdet. Figur 4-3 viser siktmaskinen og ovnen som ble brukt i studiet.

En partikkelstørrelsesfordelingskurve eller siktkurven oppnås ved å tegne og plote siktanalysen i et diagram. På x-aksen i diagrammet tegnes siktåpningsstørrelsen og på y-aksen tegnes resten på siktene i prosent av massen i vekt.

Prosedyre som ble brukt for å utføre prøven :

1. En mengde av tilslag må bestemmes for å analysere. Fra tabell 1 i NS-EN 933-1: 2012 kan minimumsmengden bestemmes ved å interpolere eller ut fra formelen  $M=(D/10)^2$  der M er minimumsmengden og D er øvre kornstørrelse til prøven.
2. Prøven vaskes. I dette arbeidet ble tilslag ikke vasket siden nøyaktighet for å måle finstoff i tilslaget var viktig for å unngå segregering i betong. Derfor ble tilslag ikke vasket ved siktprøven.



3. Prøven tørkes i ovnen på temperatur  $(110 \pm 5) \text{ C}^\circ$ . Etter avkjøling veies prøven og vekten registreres som M1.
4. Deretter helles prøven i en siktmaskin, prøven ristes i maskin i 10 min.
5. Etter at maskinen stopper, tas siktene ut av maskinen, så sikter man prøven manuelt fra hver sikte på et plastlokk for å sjekke om det passer mer. Så helles det som står på lokket (det som har passert siktåpning) over i sikten under.
6. Restprøven som ligger på hver sikte veies. Veiing starter med største maskevidde i siktesatsen og massen registreres som R1, deretter veies restprøven på underliggende sikte og massen registreres som R2 så R3, R4,...Rn til bunnpanna P.
7. Summen av prøverester på alle siktene registreres som M2.
8. Tilslutt må det testes om analysen er godkjent ved å regne ut prosentandel på tapet på prøven. Dette må ikke overstige 1%. Hvis tapet på prøven er mer enn 1% må ny prøve utføres.
9. Tegnes en siktkurve.

Gjennomgangsverdier i masseprosent skal sammenlignes med graderingskrav. Se tabell 2 i standarder NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016, (Standard Norge, 2016).

I tillegg til gradering skal mengde finstoff i tilslag bestemmes. Det ble bestemt i henhold til tabell 11 i NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016, samtidig med kornstørrelsesfordeling test. Finstoff er partikkel som er mindre enn  $0,063\text{m}$ .



Figur 4-3. Siktmaskin som ble brukt i studien til venstre og til høyere vises det ovnen.



## 4.6.2 Vanninnhold

Det er nødvendig å ta et fuktinnhold i tilslag før veiing av delmaterialer til betongblanding for å bestemme riktig mengde vann som må tilsettes i betongblanding. Dette er fordi tilslag kan inneholde vann eller absorbere vann. Vannmengde i betongblandingen må bestemmes forsiktig for å unngå blødning eller segregasjon i blandingen.

I forhold til Statens Vegvesen for å kunne måle fuktinnhold i tilslag må en minste mengde brukes, mengde sand må være minst 500gr og mengde grov tilslag D max >8mm er 1000gr (Statens Vegvesen, 2016 s. 307).

Fuktinnholdet ble målt i laben ved å tørke stikkprøver av tilslag i en stekepanne - se figur 4-4, slik at fuktigheten damper og tilslag blir veid til en konstant vekt. Tilslag veies før og etter tørking, differanse mellom vekten før og etter tørking er fuktighet i tilslag.

Fuktighetsinnhold i tilslag ble målt hver dag før blandinger, noe som ble tatt i betraktning i proporsjonering.



Figur 4-4. Måling av vanninnhold i tilslag.

## 4.6.3 Korndensitet og vannabsorpsjon

Korndensitet og vannabsorpsjon ble utført og målt i samsvar med NS-EN 1097-6: 2013, (Standard Norge, 2013).

Korndensitet og vannabsorpsjon er to viktige parametere i tilslag for betong. Vannabsorpsjon test i tilslag er en metode for å bestemme tilslagetts evne til å absorbere vann (vannmengden som tilslagskornene kan suges i seg). «Vannabsorpsjon er den vannmengde i % av tørremasse som finnes i porene i de enkelte korn av et materiale i mettet overflatetørr tilstand.

Mettet overflatetørr tilstand betyr at alle porene er fylt med vann og at det ikke er noe blankt på overflaten av kornene». Vannabsorpsjonen beskrives indirekte på tilslagetts porøsitet.

Korndensiteten «bestemmes ved veiing i ulike fukttilstander og oppgis som overflatetørr, vannmettet og ovnstørr».

Det er viktig å måle hvor mye vann tilslag kan absorbere, slik at vannbehovet til betongen bestemmes riktig.

Prosedyre for å utføre testen:

1. En mengde av tilslag må bestemmes for å analysere. Fra Tabell 2 i NS-EN 1097-6: 2013 ble minimumsmengden bestemt ved å interpolere.

2. Tilslag vaskes på 31,5mm sikt og 4mm sikt for å fjerne finstoff.
3. En pyknometer med lokk påfylles med vasket tilslag, og resten av pyknometer fylles med vann. Denne beholdes i vannbad på  $(22 \pm 3) \text{ C}^\circ$  i 24 timer.
4. Dagen etter tas lokket av pyknometeret og fylles med vann på temperatur  $(22 \pm 3) \text{ C}^\circ$ , og så settes lokket på, tørkes på utsiden. Deretter veies pyknometer med lokk fylt med tilslag og vann, massen registreres som M2.
5. Tilslag tas ut fra pyknometer og settes på vannabsorberende stoff (håndkle), man må passe på at ingen av kornene ligger opp på hverandre. Overflaten tørkes til at det ikke er noe synlig blankt på kornene. Så veies den vannmettete tørroverflate tilslag, vekten registreres som M1.
6. Pyknometer fylles med vann på temperatur  $(22 \pm 3) \text{ C}^\circ$ , tørkes på utsiden, massen av pyknometer med lokket påfylt av vann registreres som M3.
7. Prøven tørkes og veies etter avkjøling, vekten registreres som M4.
8. Korndensitet og vannabsorpsjon kan beregnes etter formene som står i ligning 6, 7, 8, 9 i NS-EN1097-6: 2013.

#### 4.6.4 Innhold av organisk materiale – humusinnhold

Humusinnhold er utført i henhold til NS-EN 1744-1: 2009+A1:2012, (Standard Norge, 2012c). Humus er en fellesbetegnelse på organisk materialer (finfordelte, delvis nedbrutte plante- og dyrerester) i jord- og steinmaterialer. Humusprøving er en undersøkelse for å bestemme mengde av humus i tilslag. Humusinnhold undersøkes ved sammenligning av fargen på prøven opp mot standardfargeskiver. I NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 står det at høyt innhold av humus i tilslag kan øke størkningstiden og gi reduksjon i trykkfastheten. Det stilles krav til maksimum tillatte verdier, for størkningstiden må ikke økes mer enn 120 min, og for trykkfastheten må ikke minske mer enn 20%.

Prosedyren for å utfør prøven er:

1. I starten lages en NaOH-løsning ved å oppløse 30gr av NaOH peller i 1 liter vann. NaOH-løsning helles i en gradert målesylinder til høyden på 80 mm.
2. En minimum mengde må bestemmes for å analyses fra tabell 1 i NS-EN 1744-1: 2009+A1:2012.
3. Testdelen tørkes i ovnen med temperatur på  $(110 \pm 5) \text{ C}^\circ$ , legges på siktmaskin. Prøven ristes i maskin i 10 min, så tas fraksjonen som passer 4mm sikt. Alle fraksjoner som passer 4mm blandes sammen.
4. En mengde av blandingen som passer 4mm helles i målesylinderen opp på NaOH blanding til høyden på 120mm for både.
5. Flasken ristes for at luftboblene skal slippe.
6. Korken settes på flasken, ristes i minst 1 min.
7. Flasken med korken på må stå i 24 timer.

For å undersøke hvor mye humus det er i prøven etter 24 timer undersøkes fargen på væsken ut fra en fargeskala, fargen vil blir mørkere med økende mengde humus. Se figur 4-5.

KONTROLLIDET for Leiebyggprosjekter			
VEDLEGG 2 : BEDØMMELSE AV HUMUSPRØVE			
Farge beskrivelse	Fargestyrke	Humusinnhold i henhold til fargenivå	
Fargeløs- svak gul mot sterk gul	Lysere enn 0,5	Prøven inneholder humusstoffer i så ubetydelige mengder at det ikke er skadelig for betong	
Sterk gul til mørkgul/lysbrun	0,5-1	Prøven inneholder humusstoffer i så ubetydelige mengder at det ikke er skadelig for betong. Dersom fargenivået nærmer seg 1, da er det nødvendig med videre undersøkelse.	
Mørk brun eller brunrød	Mørkere enn 1	Prøven inneholder humusstoffer i store mengder at det kan være skadelig for betong.	

Fargeplansen er hentet fra NS 427A Del 2. Denne standarden er imidlertid formelt trukket tilbake, men plansen benyttes fordi det pr. dato ikke finnes annet tilgjengelig.

Figur 4-5. Datablad for humusinnhold fra bygglab til venstre. Til høyere vises tabell som beskriver humusinnhold i forhold til farge.

#### 4.6.5 Materialsammensetning

Materialsammensetning av gjenvunnet tilslag ble utført i samsvar med NS-EN 933-11:2009, Annex B, (Standard Norge, 2009a).

Målet med prøven er å bestemme, uttrykke og beregne proporsjonering av bestanddeler i en testdel av det brukte materialet. Prøven gjennomføres med en håndsortering av partikler fra en testdel av det brukte tilslaget, til en liste for å gi oversikt over bestanddeler av tilslag som brukes. Se figur 4-6. Deretter bestemmes hver bestanddel i prøven og uttrykkes som en prosentandel av massen, bortsett fra en del som kalles flytende partikkel som bestemmes og uttrykkes som et volum av masse.

Prosedyre for å gjennomføre testen:

1. En mengde av tilslag må bestemmes for å analysere. Fra Tabell 3 i NS-EN 933-11:2009 kan minimumsmengden bestemmes.
2. Prøven tørkes i ovnen med temperatur  $(40 \pm 5) \text{ C}^\circ$ . Valgte temperatur er på grunn av sensitive komponenter i testdel. Etter tørking veies prøven M0.
3. Deretter helles prøven i en siktmaskin, prøven ristes i maskin i 10 min.
4. Etter at maskinen stopper, tas siktene ut av maskinen, så sikter man prøven manuelt for å sjekke om det passer mer fra sikt med åpning på 4mm for å sikre fullstendig separasjon av partikler større enn 4 mm.
5. Resten av prøven på sikt med åpning på 63mm veies, registreres som M63.
6. Massen av prøven som passer sikt med åpning på 4mm veies, registreres som M4.
7. Massen som passer 63mm og står på 4mm veies, vekten registreres som M1.
8. Kille leire og jord fra prøvedelen og beholdes på et brett.
9. Fylle en tank med vann, dyppe resten av testdelen inn i tanken for å vaske partiklene, partiklene røres godt i tanken til flytende partikler flyter opp.

10. Disse flytende partiklene samles, så bestemmes volumet  $V_{FL}$  slik: overflaten til de flytende partikler tørkes med håndkle, og deretter innføres dem i en gradert målesylinder fylt med et kjent volum av vann som er tilstrekkelig til å tillate total nedsenking av flytende partikkel. Så brukes stempelet for å oppnå total nedsenking av de flytende partikler alene, ikke la stempelet i seg selv senkes. Bruk sylindrens gradering for å lese den oppnådde volumøkning i sylindren, denne økning i volumet er volumet til de flytende partiklene.
11. Resten av partiklene som er ikke flytende fra tanken samles og veies M2.
12. Partiklene tørkes i ovnen med samme temperatur og veies M3. Spre disse partiklene på et brett sammen med jord og leire som skilt i starten.
13. Separerer for hånd til bestanddelene som definert i tabell 2 i NS-EN 933-11:2009, så veies og registreres massen av hver av partikkeltypen som :
  - $M_{Rc}$ : massen av knust betong.
  - $M_{Ru}$ : massen av naturlig tilslag.
  - $M_{Rb}$ : massen av knust murverk.
  - $M_{Ra}$ : massen av knust gjenbruk asfalt.
  - $M_{Rg}$ : massen av glass.
  - $M_x$ : massen av annet som metall, jord, etc.



Figur 4-6. Håndsortering av delmaterialer.

## 4.7 Fersk betong

Prøving av fersk betong består av fire tester: synkmål, synkutbredelsesmål, densitet og luftinnhold.

### 4.7.1 Synkmål

Synkemålet ble utført i samsvar med NS-EN 12350-2:2009, (Standard Norge, 2009b). Det ble utført på fersk betong etter blanding for å måle bearbeidbarheten av hver blanding. Den er mest universelt brukt test som måler konsistensen av betongen.

Synkmål verdi er lik vertikal avstand mellom synkekjeglens topp til høyeste punkt på betongoverflaten etter å ha hevet synkekjeglen.



Prosedyrer for å utføre prøven:

1. En synkekjegle med diameter bunn  $200 \pm 2$  mm, topp  $100 \pm 2$  mm og høyde  $300 \pm 2$  mm plasseres på et jevnt og horisontalt plant underlag.
2. Før prøven starter ble overflaten av synkekjeglen og plateunderlaget rengjort og fuktet med en fuktig klut.
3. Synkekjeglen holdes fast med en vekt mot underlaget mens man fyller i betong som vist i figur 4-7.
4. Synkekjeglen skal fylles i tre omtrent like tykke lag, hvert lag er rundt en tredjedel av synkekjeglens høyde.
5. Hvert lag komprimeres med en komprimeringsstav med 25 støt jevnt fordelt over tverrsnittet flate. Det første laget komprimeres gjennom hele sin dybde. Men det skal unngås å stampe mot underlaget. Støt det andre laget og topplaget hver gjennom sin dybde, slik at komprimeringsstaven så vidt trenger igjennom til det underliggende lag.
6. Dersom betongen under bearbeiding synker ned under kjeglens toppflate, fylles resten opp av kjeglen og støtes igjen 25 ganger.
7. Når kjeglen er fylt opp, avrettes toppen, kjeglen løftes loddrett opp i jevn fart uten vridninger og sidebevegelser.
8. Betong vil synke ned, differansen til det høyeste punktet av betongkjeglen til toppen av synkekjeglen er synkmål. Se figur 4-7 til venstre.

Fullfør hele testen fra begynnelsen av fyllingen ved fjerning av formen uten avbrudd og fullfør den innen 2,5 minutter. Utstyr som brukt i dette forsøket er vist i figur 4-7 til høyre.



Figur 4-7. Måling av synk til venstre og utstyr til høyere.

#### 4.7.2 Synkutbredelsesmål

Utbredelsesmålene er tatt i forbindelse med synkmålene. Utbredingsmål ble målt i laben ved å måle gjennomsnittlig diameter på betongprøven (den største diameteren på betongen og på tvers av dette, utbredelse verdi er lik gjennomsnittet av disse to målene). Se figur 4-8. Synkutbredelsesmål brukes som betegnende på betongens mobilitet.



Figur 4-8. Måling av synkutbredelsesmål.

### 4.7.3 Densitet

Densitet til fersk betong ble utført og målt i samsvar med NS-EN 12350-6:2009, (Standard Norge, 2009c). Beholderen skal ikke være mindre enn 5 liter. Derfor ble den samme beholderen som brukes for å måle luftinnholdet også brukt til å måle densitet.

Prosedyrer for å utføre prøven:

1. Beholderens volum er kjent, registreres som v.
2. Beholderen veies før det blir fylt av betongblanding og verdien registreres som m1.
3. Beholderen fylles med betong i 3 lag og komprimeres med komprimeringsstav 25 støt.
4. Beholderen veies med betong og verdien registreres som m2.

Densitet kan derfor beregnes etter følgende formel:

$$D = \frac{m2 - m1}{v}$$

Der,

D: densiteten av den ferske betongen, kg/m<sup>3</sup>.

m1: er beholderen masse, kg.

m2: er beholderen masse fylt med komprimert betong, kg.

v: er beholderen volum, m<sup>3</sup>.

### 4.7.4 Luftinnhold

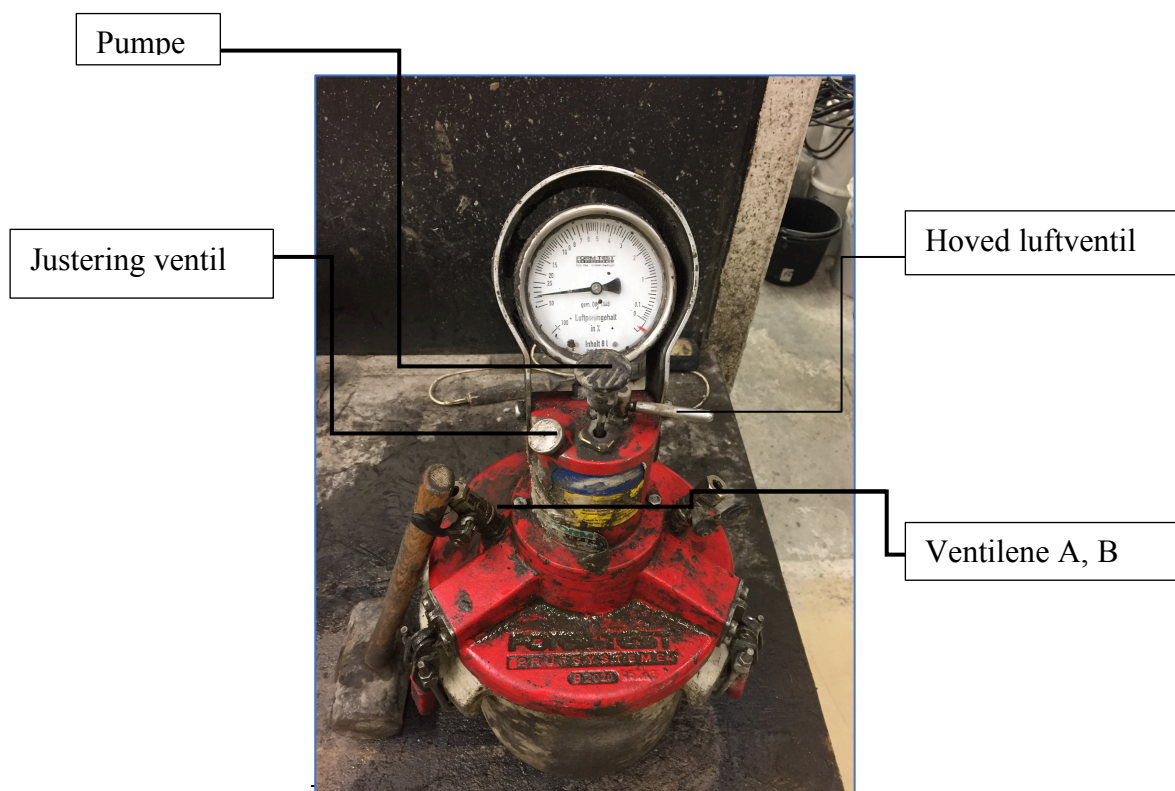
Luftinnholdet ble utført og målt i samsvar med NS-EN12350-7:2009, (Standard Norge, 2009d). Det benyttes Trykkmetoden i denne studien.

Prosedyrer for å utføre prøven:

1. En beholder med volum på 8 liter ble brukt. Beholderen plasseres på en horisontalt planflate.
2. Beholderen fylles med betong i tre lag, hvert lag komprimeres med komprimeringsstav 25 støt.

3. En tre-/gummihammer brukes til å banke på beholderen, slik at luftbobler som er fanget i betongen skulle boble opp (for å fjerne innesluttet luft).
4. Toppen avrettes, før lokket settes på plass blir kantene rengjort godt. Deretter klemmes det.
5. Beholderens lokk har to luftventiler. Vann presses i den ene ventilen til at det kommer rent vann uten luftbobler ut fra den andre ventilen, samtidig med dette blir det pumpet inn luft ved hjelp av en pumpe til det er på startpunktet på måleren. Hvis det blir over startpunkt slippes luft ved hjelp av en justeringsventil på lokket. Lufttrykket må være stabilisert ved startpunktet.
6. Ventilene lukkes.
7. Hoved luftventilen åpnes, etter 20 sekunder kan luftinnholdet leses på måleren i prosent.

Utstyr som ble brukt i dette forsøket er vist i figur 4-9.



Figur 4-9. Måling av luftinnholdet.



## 4.8 Utstøping, lagring og herding

Utstøping og herding ble utført i samsvar med NS-EN 12390-1:2012, (Standard Norge, 2012d) og NS-EN 12390-2:2009 (Standard Norge, 2009e). For dette laboratoriearbeidet ble det utstøpt både prøvelegemer i terninger for trykktesting og sylindere for testing av elastisitetsmodul.

Tabell 4-3 beskriver hvilke geometriske prøvestykker som skal benyttes i de forskjellige prøvene og antall prøver per blandingsresept:

Tabell 4-3. Geometrisk til prøvestykker og antall prøvestykker per blanding.

Prøve	Størrelse mm	Antall prøvestykker per blanding
Trykkfasthet	b=100, l=100, h=100	6 terninger
Elastisitetsmodul	d=100, h=200	3 sylindere

Fremgangsmåten for utstøping:

- For sylinder betongprøver ;
  1. Sylinderprøvene smøres innvendig med et tynt lag av olje.
  2. Prøvene fylles opp med fersk betong i 3 lag.
  3. Hvert lag vibreres med et vibrasjonsbord.
  4. For å sørge for at luften kom seg ut ble det banket på sidene av kassene med en plastikkhammer 3 til 5 ganger.
  5. Topplaget avrettes.
  6. Prøvene dekkes etterpå med et topplokk for å forhindre tap av fuktighet fra prøvene. Prøvene lagres i  $24 \pm 8$  timer på laben ved  $23 \pm 2$  grader.
  7. Formene fjernes etter 24 timer. Prøvene nummereres, markeres og plasseres i vannbad ved  $23 \pm 2$  grader til et bestemt herdetid. Se figur 4-11.
- Metode for utstøping og herding for terningsprøver er som beskrevet ovenfor for sylindere kun fylt av fersk betong i 2 lag, og prøvene dekkes med plastfolie for å forhindre tap av fuktighet fra prøvene.

Figur 4-10 illustrerer utseendet til lagringsmetode i første 24 timer til venstre og til høyre vises former som ble brukt i denne studien.



Figur 4-10. Lagring metode i de første 24 timer til venstre og former som ble brukt i denne studien til høyre.





Figur 4-11. Herding av terning og sylindre i vannbad.

## 4.9 Herdet betong

Prøving av herdet betong består av tre tester: trykkfasthet, densitet og elastisitetsmodul.

### 4.9.1 Trykkfasthet

Trykkfasthet ble utført og målt i henhold til NS-EN 12390-3:2009, (Standard Norge, 2009f). Etter at prøvelegemer av terninger med dimensjon på  $b=100\text{mm}$ ,  $l=100\text{mm}$  og  $h=100\text{mm}$  ble støpt, herdet i vannbad til en bestemt tid, testet med hensyn til trykkfasthet etter 2, 7 og 28 dager. Styrken av betongprøver ved hver test ble representert av gjennomsnittet på to prøver. Det benyttes en aksiell trykkprøvemaskin for å belaste prøvestykker til brudd, trykkemaskinen er godkjent i henhold til NS-EN 12390-4.

Brudd skjer i betongprøver når prøver oppnår maksimale spenning som den tåler.

Trykkfasthetsverdi er lik maksimal spenning dividert på tverrsnitts areal. Gjennomsnittlig verdi av de to prøvene etter 28 dager ble vurdert som trykkfasthet til forsøket.

Prosedyre for å utføre prøven:

1. Terningene tas ut av vannbad etter en bestemt herdetid og tidligst en halv time før prøven begynner.
2. Overflate til prøver tørkes og renses for partikkel slik at det ikke er fritt vann eller partikkel på overflaten.
3. Deretter plasseres betongprøver i senter av prøvemaskin.
4. Belastningen påføres kontinuerlig med en konstant belastningshastighet på  $0,8\text{MPa/s}$  inntil brudd i prøvestykket.
5. Kraften registreres.

Trykkfasthet beregnes etter følgende formel:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Der,

$f_c$ : trykkfasthet i MPa.

F: bruddlasten i N.

$A_c$ : tverrsnittarealet i  $\text{mm}^2$ .

Trykkemaskinen som ble brukt i labarbeidet ga direkte trykkfasthetsresultater og maksimum kraft. Figur 4-12 viser trykkemaskinen som ble brukt i undersøkelsen.



Figur 4-12. Trykkemaskinen som ble brukt i undersøkelse.

#### 4.9.2 Densitet av herdet betong

I labarbeidet ble det tatt densitet av herdet betong etter 28 døgn i henhold til NS-EN 12390-7:2009, (Standard Norge, 2009g). Terningen som ble brukt for trykkstesting, ble også brukt for å bestemme densitet for herdet betong.

Prosedyre:

1. Terningene ble lagret i vannbad i 28 dager.
2. Terningene ble tatt ut av vann, og overflaten ble tørket.
3. Teningene ble veid, tall registrert.
4. Volumet ble bestemt ved fastsatte mål 100\*100\*100 mm<sup>3</sup>.

Densitet kan derfor beregnes etter følgende formel:

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

Der,

D: er densiteten, kg/m<sup>3</sup>.

m: er terningsmasse, kg.

v: er terningsvolum, m<sup>3</sup>.

### 4.9.3 Elastisitetsmodul

Elastisitetsmodul ble utført i henhold til prosedyre i Håndbok R210, kapittel 423, (Statens Vegvesen, 2016). Prosedyren som er beskrevet er tatt fra denne håndboken. Elastisitetsmodul sier noe om materialenes motstand mot deformasjonen, hvor stiv betongen er. E-modul er forhold mellom spenning og tilsvarende tøyning i elastisk område. Elastisitetsmodul bestemmes ut fra minst tre prøvelegemer av sylindere etter 28 døgns lagring i vannbad og 2 terninger for bestemmelse av benyttet trykkfasthet for sylindere. I arbeidet ble det brukt sylindere med diameter på 100 mm og lengde lik 200 mm. Stivhet er avhengig av betongens fasthet og stivhet til tilslag. Stivheten øker med økende betongfasthet og økende stivhet til tilslag. E-modul testes etter 28 døgn fordi stivhet øker med økende fasthet.

Prosedyre for å utføre prøven:

1. Sylindere tas ut av vannbad tidligst en halv time før prøven begynner.
2. Prøven slippes for å få en jevn overflate.
3. Alle målingene på diameteren og høyden av sylindere ble målt ved hjelp av skyvelær. Målingene ble brukt i dataprogrammet.
4. Overflaten tørkes før prøving av elastisitetsmodul.
5. Før testen blir kjørt, skal det bestemmes benyttet trykkfasthet for sylindere. Dette er for å bestemme spenninger i maskinen. Benyttet trykkfasthet for sylindere ble bestemt ved å multiplisere gjennomsnittsverdi til trykkfastheten av terningene etter 28 døgn med 0.81, det tallet ble forklart i punkt 3.4.
6. Deformasjonsmålerne settes på sylindere deretter plasseres i prøvemaskinen. Pålastning og avlastning utføres med en hastighet på  $(0,8 \pm 0,2)$  MPa/s. Et styringsprogram brukes for å lese av kraft og deformasjon.
7. Programmet utføres i tre lastsykluser på prøvestykker (tre belastninger og avlastninger), elastisitetsmodulen blir bestemt ved den tredje syklusen,  $E_c$ .
  - Prøvestykket belastes med grunnbelastningen  $\sigma_0 = 0,5$  MPa. Belastningen økes jevnt opp til  $\sigma_1 = (0,45 \times \text{sylinder trykkfasthet})$  belastningen holdes konstant i 60 sek. Og avleses deformasjonene. Tøyningen ( $\epsilon_{01}$ ) pga. belastnings økningen fra  $\sigma_0$  til  $\sigma_1$  beregnes. Hvis deformasjonen langs en av generatrisene avviker mer enn 20 % fra middelverdien av deformasjonene for alle generatrisene, må prøvestykket sentreres på nytt og prosedyren gjentas. Hvis sentreringen er tilstrekkelig nøyaktig, avlastes prøvestykket til grunnbelastningen 0,5 MPa. Belastningen holdes konstant i 60 sek, og deformasjonsmålerne avleses. Belastningen kalles  $\sigma_{01}$ .
  - Belastningen økes på nytt opp til  $0,30 \times \text{sylinder trykkfasthet}$ . Belastningen holdes konstant i 60 sek. Prøvestykket avlastes ned til 0,5 MPa. Belastningen holdes konstant i 60 sek.
  - Belastningen økes på nytt opp til ( $\sigma_2 = 0,30 \times \text{sylinder trykkfasthet}$ ). Belastningen holdes konstant i 60 sek. Deretter avleses deformasjonsmålerne. Prøvestykket avlastes ned til  $\sigma_{02} = 0,5$  MPa holdes konstant i 60 sek og deformasjonsmålerne avleses. Tøyningen ( $\epsilon_{02}$ ) pga. belastningsendringen fra  $\sigma_2$  til  $\sigma_{02}$  beregnes.
8. Deformasjonsmålerne fjernes. Prøvestykket belastes til brudd.

Elastisitetsmodul bregnes etter følgende formel:

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_{02}}{\epsilon_{02}}$$

Der,  $E_c$ : elastisitetsmodulen i GPa.

$\sigma_2, \sigma_{02}$ : belastningsnivåene i Mpa.

$\epsilon_{02}$ : tøyningen i % fra belastning  $\sigma_2$  til  $\sigma_{02}$ .

Elastisitetsmodulen skal angi til nærmeste 0,1 GPa.

Data programmet ga  $E_c$ ,  $E_0$  resultater i GPa der  $E_0$  er Verdi for E-modul som oppnås ved den første belastningen.

Figur 4-13 viser testing på E-modul i Statens Vegvesen sin lab.



Figur 4-13. Testing på E-modul i Statens Vegvesen sin lab.



## 4.10 Fremgangsmåte av laboratorium program

Målet med studie var å oppnå resirkulert betong med minimumstyrke på 37 Mpa ternings trykkfasthet og konsistens i område 100-150mm ved 90minutter etter blandetid. For å kunne komme fram til forskningsmålene ble det tenkt å teste resirkulert betong med 100% gjenvunnet tilslag som ga tilfredsstillende verdier i forhold til mine grenser og krav til konsistens. Deretter ble det laget prøveblandinger med forskjellige prosentandeler med gjenvunnet tilslag som skulle testes mot styrke.

Siden det var ønskelig å forandre den resirkulerte betongens konsistens i ferskfase, ble det tenkt å gjøre dette på følgende måter:

1. Ved å øke kun mengde pastavolum i blandingene med samme mengde SP-stoff som i referanseresept og deretter måle konsistensutvikling over tid. Dette var for å sjekke hvordan økning av pastavolum i stor grad påvirker resirkulert betongen blandinger ved å ha konstant masseforhold.  
Etter bestemmelse av pastavolum ble det testet flere blandinger med forskjellige prosentandeler av gjenvunnet tilslag som nevnt tidligere. Deretter sjekkes mot styrken.
2. Ved å øke mengde pastavolum i mindre grad enn som ved punkt 1 og heller å øke doseringsmengde av SP-stoffet enn det som ble tilsatt ved punkt 1. For å sjekke hvordan dette påvirker resirkulert betong.

Det ble tatt hensyn til tilslagets fukttilstand i de støpte blandingene ved å la tilslaget trekke til seg vann i 12-15 timer før blandinger.

Videre i oppgaven blir forkortelse brukt for betongen slik:

N3: naturlig betong som er referansen.

R25: resirkulert betong med 25% grov gjenvunnet tilslag.

R50: resirkulert betong med 50% grov gjenvunnet tilslag.

R100: resirkulert betong med 100% grov gjenvunnet tilslag.

P: stor «P» betyr at kun pastavolum ble økt i resirkulert betong, hvis det skal følges med et tall indikerer tallet til antall liter som blir økt av pastaen i forhold til naturlig betongen.

pT: stor «T» betyr at det er økt mengde av tilsetningsstoffer og liten «p» betyr mindre pastavolum blir økt i resirkulert betong.

RP: resirkulert betong med kun pasta økning.

RpT: resirkulert betong med økning i pastavolumet i mindre grad enn det er brukt i RP og høyere dosering av SP-stoff enn det er brukt i RP.

Det ble gjennomført flere tester i laboratoriet for å komme til påkrevet mengde pastavolum i blandinger med gjenvunnet tilslag. Dette for å få akseptabelt synkmål.

I starten ble det blandet en naturlig betong N3 som referansebetong. Så ble det testet en resirkulert betong med 100% grov gjenvunnet tilslag R100 uten å øke pasta mengde eller SP-stoff, for å observere oppførselen til det gjenvunnede tilslag i betongen. R100 har samme resept som naturlig N3 bare at type tilslag 8-16mm Svelvik ble byttet ut helt med 10-20 mm gjenvunnet tilslag. Resultatene av synkmål er vist i tabell 5-9 i punkt 5.6.

### Undersøkelse av fukttilstand i gjenvunnet tilslag på betongen

Det ble gjort to tester med 100% gjenvunnet tilslag med to forskjellige tilslag fukttilstander, delvis mettet og helt mettet tilslag. Dette for å kunne undersøke effekten av fukttilstand i

tilslag på betongens konsistens i ferskfase. Det ble økt pastavolum på 30 liter i begge blandinger for å kunne lage en bearbeidelig betong.

Begge blandningene hadde samme resept, den eneste forskjellen var fukttilstand i gjenvunnet tilslag. Dette for å få sammenlignbare blandinger mot hverandre med hensyn til konsistensutvikling. Den første konsistensmålingen ble gjort rett etter betongen var ferdig blandet uten tilsetning av SP-stoff, og deretter ble Konsistensutvikling målinger tatt ved tilsetning av SP etter 0, 30, 60 og 90 minutter.

For å få tilslaget til å bli delvis mett, ble det sprøytet på med litt vann og ble lagret i laboratoriet i to dager i romtemperatur på  $20 \pm 3$ , deretter ble fuktinnholdet i tilslaget målt før blanding. Samme metode gjelder også for mett tilslag, her ble det sprøytet på med en høyre andel vann (ikke nedsunket i vann), tilslaget ble deretter lagret i 12-15 timer. Deretter ble tilslagets fuktinnhold målt før prøving.

Det ble utført to blandinger R100P30 med 100% gjenvunnet tilslag hvor pastavolum ble økt med 30 liter i forhold til referanseblanding, men med forskjellige fukttilstand og innhold. Resultater er vist i tabell 5-10 i punkt 5.6.

### **Økning av kun pastavolum, påvirkning på konsistens:**

I blandningene som kommer så er det tatt i betraktning tilslagets fukttilstand (tilslag var mett for blandinger) for å minimere konsistenstap under blanding.

Det ble testet flere blandinger med 100% grov gjenvunnet tilslag R100 med økt pastavolum på varierende mengder (20 liter, 30 liter, 50 liter og 80 liter ) for å finne frem til riktig pastavolum som måtte til for å oppnå akseptabel konsistens. Resultatene er vist i tabell 5-11 i punkt 5.6.

En økning i pastavolumet på 80 liter i forhold til naturlig betong ble brukt med 100% innblanding av grovt gjenvunnet tilslag.

Blandingene ble deretter justert for produksjon av resirkulert betong med forskjellige prosentandeler av innblanding av grov gjenvunnet tilslag og behovet med økning i pastavolumet. Vannbehovet og hulrom for 50% erstatningsnivå er mindre enn 100%, fordi gjenværende mørtel mengde som fester seg til overflaten av partiklene er mindre ved 50% enn 100%. Derfor ved 50% erstatning ble det økt pastavolum på 40 liter og 20 liter ved 25% erstatning. Vannbehovet og hulrom avtar med avtagende mengde innblanding av gjenvunnet tilslag.

I Tabell 4-4 er det gitt en oversikt over de reseptene som ble benyttet i prosjektet N3 og resirkulert betong RP med økning i kun pastamengde med variert tall i henhold til prosentandel av gjenvunnet tilslag som ble brukt. Dette var for å oppnå en ønsket konsistens. Pastavolum i referanseresept var 270 liter i  $1\text{m}^3$ . I Tabellen viser også økning av pastaen i % av den naturlige betongen.

Tabell 4-4. Betongresepter N3 og RP med kun økning pastavolumet.

Type betong	Økning kun i Pasta(liter)	Økning i %
N3	270	0 %
R25P	290	7,41 %
R50P	310	14,80 %
R100P	350	29,63 %

R25P: resirkulert betong med 25% gjenvunnet tilslag og økning i pasta på 20 liter. Denne økning tilsvarer 7,41% mer enn det som ble brukt i naturlig blanding N3.

R50P: resirkulert betong med 50% gjenvunnet tilslag og økning i pasta på 40 liter. Denne økning tilsvarer 14,80 % mer enn det som ble brukt i naturlig blanding N3.

R100P: resirkulert betong med 100% gjenvunnet tilslag og økning i pasta på 80 liter. Denne økning tilsvarer 29,63 % mer enn det som ble brukt i naturlig blanding N3. Resultater på konsistens er vist i punkt 5.7.

### Økning pasta og SP-stoff

Pastavolumet og mengde tilsetningsstoffer i resirkulert betong ble økt for å oppnå en konsistens som ligner på naturlig betong. Med 100% erstatningsnivå ble pastavolumet økt med 30 liter mer enn det som er brukt i naturlig betong, og i tillegg ble det tilsatt mer superplastiserende stoff i betongen for å få bedre støpelighet. Tabell 4-5 viser økning av pastaen i % av det som ble brukt i naturlig betong. Tabell 4-6 viser økning av SP-stoff i % av det som ble brukt i referanse betong. Resultater på konsistens er vist i punkt 5.7.

Tabell 4-5. Resirkulert betong RpT, økning i pasta.

Type betong	Økning i pasta (Liter)	Økning i %
N3	270	0 %
R25pT	278	2,96 %
R50pT	285	5,56 %
R100pT	300	11,11 %

Tabell 4-6. Resirkulert betong RpT, økning i SP-stoff.

Type betong	Økning i SP-stoff	Økning i %
N3	0,63	0 %
R25pT	0,77	22,22 %
R50pT	0,9	42,86 %
R100pT	1,14	80,95 %

Blandeskjemaer for N3 er lagt ved i vedlegg B.1.

Blandeskjemaer for R25P, R50P, R100P er lagt ved i vedlegg B.2.

Blandeskjemaer for R25pT, R50pT, R100pT er lagt ved i vedlegg B.3.

Mer informasjon om utstøpingsdato av alle blandingene er lagt ved i vedlegg C.

I tre av de resirkulerte betongene ble det økt kun pastavolum og i tre ble det brukt mindre pastavolum og økt mengde tilsetningsstoffer. Det kommer mer info om resultater på konsistens og styrke i kapittel 5.

På begge metoder, ved å øke kun pastavolum eller pastavolum og mengde Sp-stoff, ble det på en måte laget en selvkompimerende betong men ble støpt som vanlig.

## 5 Resultater

I dette kapittelet blir det vist alle resultatene som er oppnådd fra testing på gjenvunnet tilslag, naturlig betong og resirkulert betong, i fersk og herdet fase. Eksperimentelt resultat blir presentert.

### 5.1 Kornstørrelsesfordeling (siktanalyse) og finstoffinnhold

Fra test om sikteanalyse som vist i kapittel 4.6.1 har vi følgende resultater som er vist i tabell 5-1 og tabell 5-2. Det ble utført to kornstørrelsesfordeling test av det gjenvunnet tilslag som ble benyttet i arbeidet. Gjennomsnittlig resultat av test 1 og test 2 er vist i tabell 5-3 og figur 5-1.

Generelle graderingskrav i følge NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 er vist i tabell 5-4.

Sikteuren av betong med naturlig tilslag er vist i figur 5-2.

Sikteuren av betong med grov gjenvunnet tilslag er vist i figur 5-3.

Tabell 5-1. Siktanalyse av gjenvunnet tilslag, test 1.

<b>Kornstørrelsesfordeling (siktanalyse) NS-EN 933-1</b>					
Fuktig vekt	5330	g			
Tørr vekt	5037,8	g			
Vanninnhold	5,80	%			
Siktstørrelse mm	Rest på sikt (g)	Kumulativ verdi	Rest på sikt %	Gjennomgang Kumulativ (g)	gjennomgang %
25	5	5	0,10	5032,8	99,9
22,4	49,7	54,7	1,09	4983,1	98,92
16	2004,7	2059,4	40,88	2978,4	59,12
14	1121,9	3181,3	63,15	1856,5	36,85
11,2	1411,9	4593,2	91,18	444,6	8,83
8	310,8	4904	97,35	133,8	2,66
4	1,8	4905,8	97,38	132	2,62
2	4,3	4910,1	97,47	127,7	2,53
1	2,4	4912,5	97,51	125,3	2,49
0,5	5,2	4917,7	97,62	120,1	2,38
0,25	25	4942,7	98,11	95,1	1,89
0,125	34	4976,7	98,79	61,1	1,21
0,063	23	4999,7	99,25	38,1	0,76
Bunn	38	5037,7	100,00	0,1	0,0020
Sum	5037,7				



Tabell 5-2. Siktanalyse av gjenvunnet tilslag, test 2.

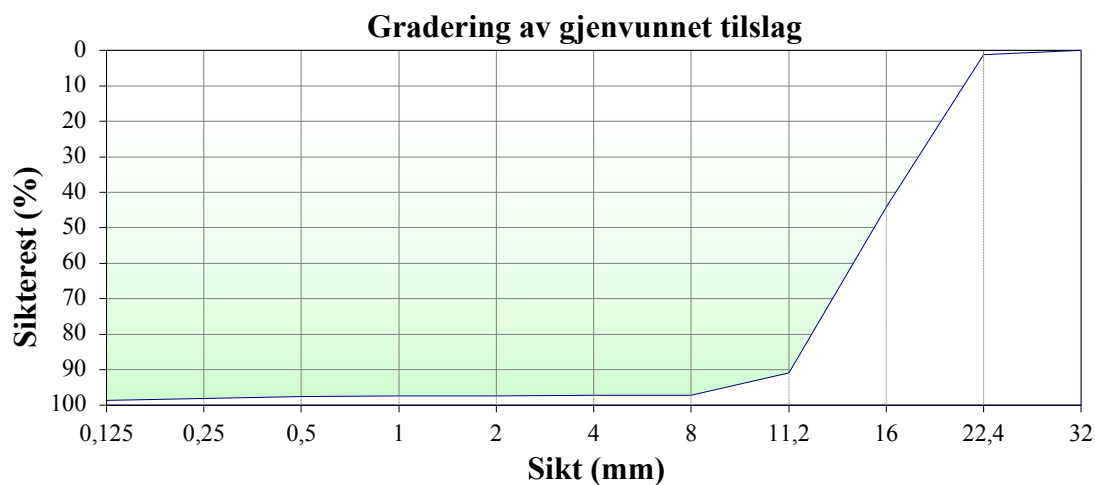
<b>Kornstørrelsesfordeling (siktanalyse) NS-EN 933-1</b>					
Fuktig vekt	10000,7	g			
Tørr vekt	9569,5	g			
Vanninnhold	4,51	%			
Siktstørrelse mm	Rest på sikt (g)	Kumulativ verdi	Rest på sikt%	Gjennomgang Kumulativ (g)	Gjennomgang %
25	15	15	0,16	9554,5	99,85
22,4	105	120	1,25	9449,5	98,75
16	4436	4556	47,61	5013,5	52,39
14	1989,9	6545,9	68,41	3023,6	31,60
11,2	2124,9	8670,8	90,61	898,7	9,39
8	618,6	9289,4	97,08	280,1	2,93
4	1,9	9291,3	97,09	278,2	2,91
2	9,8	9301,1	97,20	268,4	2,80
1	4,8	9305,9	97,25	263,6	2,75
0,5	20,5	9326,4	97,46	243,1	2,54
0,25	50	9376,4	97,98	193,1	2,02
0,125	68,7	9445,1	98,70	124,4	1,30
0,063	46,8	9491,9	99,19	77,6	0,81
Bunn	77,4	9569,3	100,00	0,20	0,0021
Sum	9569,30				

Tabell 5-3. Gjennomsnittlig gradering av test 1 og test 2 av gjenvunnet tilslag.

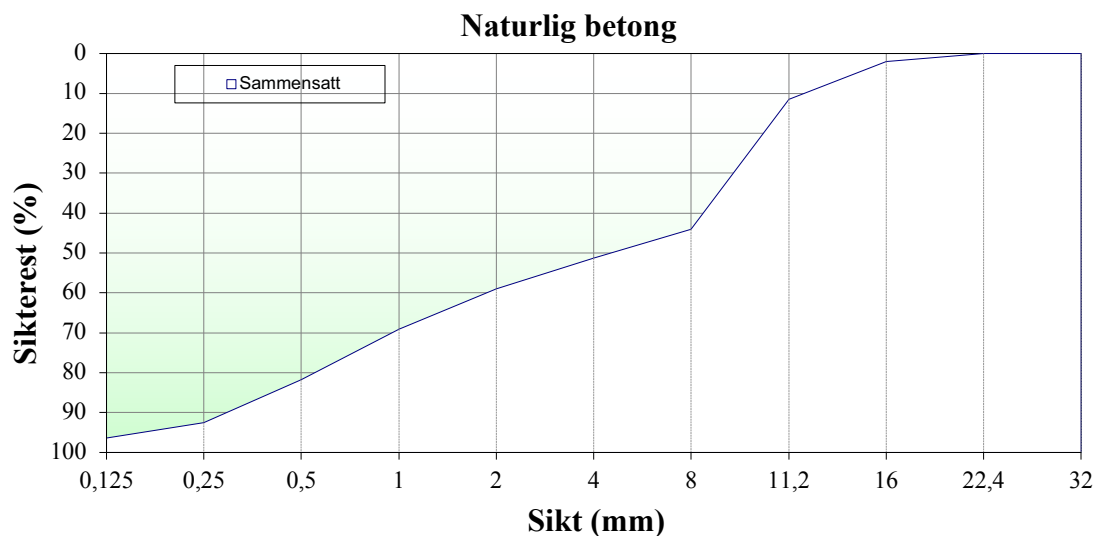
Siktstørrelse mm	Gjennomsnittlig av gjennomgang %
25	99,87
22,4	98,83
16	55,76
14	34,22
11,2	9,11
8	2,79
4	2,76
2	2,67
1	2,62
0,5	2,46
0,25	1,95
0,125	1,26
0,063	0,78
Bunn	0,002038

Tabell 5-4. Generelle graderingskrav i følge NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 (Standard Norge, 2016).

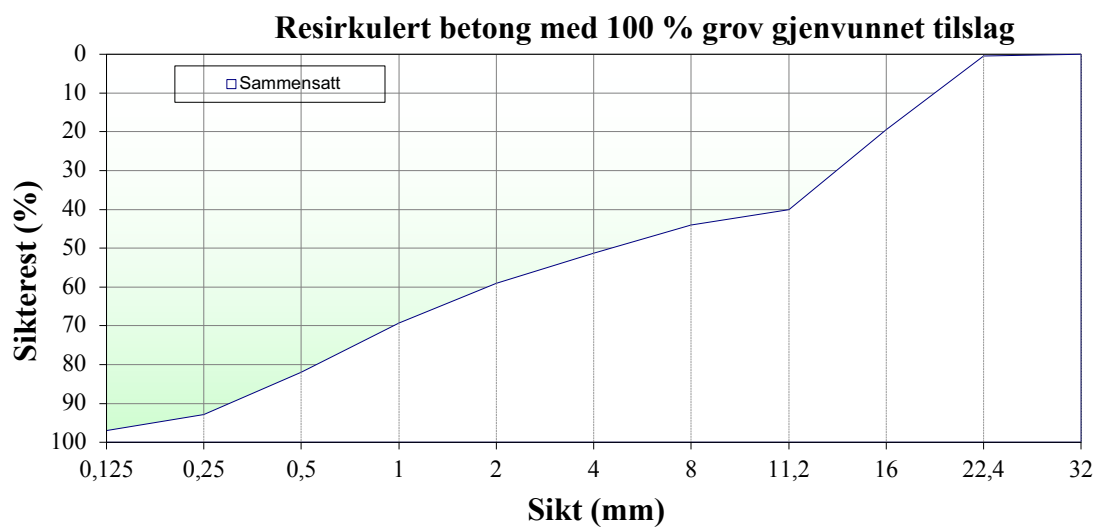
Siktstørrelse mm	Gjennomsnittlig av gjennomgang % av gjenvunnet tilslag	NS-EN 12620		Sjekk med NS-EN
		Min	Max	
25	99,87	98	100	OK
22,4	98,83	85	99	OK
16	55,76	-	-	-
14	34,22	-	-	-
11,2	9,11	0	20	Ok
8	2,79	0	5	Ok



Figur 5-1. Siktekurv på gjennomsnittlig resultat av test1 og test 2 av gjenvunnet tilslag.



Figur 5-2. Siktekurv av betong med naturlig tilslag.



Figur 5-3. Siktekurv av betong med gjenvunnet grov tilslag.

## 5.2 Vanninnhold

Resultat på en måling av vanninnhold i tilslag er vist i tabell 5-5.

Tabell 5-5. Måling av vanninnhold.

Vanninnhold		
Utstyr	Vekt	Enhet
Skål M2	376,7	g
Skål+ våt tilslag	4500,6	g
Våt tilslag M1	4123,9	g
Skål+ tørr tilslag	4244,4	g
Tørr tilslag M3	3867,7	g
Vanninnhold	6,62	%

### 5.3 Korndensitet og vannabsorpsjon

Det ble utført to testprøver, resultatene fra labarbeidet er vist i tabell 5-6 og tabell 5-7. Ut fra beregningene som er vist i tabeller så er gjennomsnittlig verdi på densitet i gjenvunnet tilslag i mettet overflatetørr tilstand lik 2547,5 kg/m<sup>3</sup> og gjennomsnittlig verdi på vannabsorpsjon lik 4,51%.

Tabell 5-6. Korndensitet og vannabsorpsjon til gjenvunnet tilslag, test1.

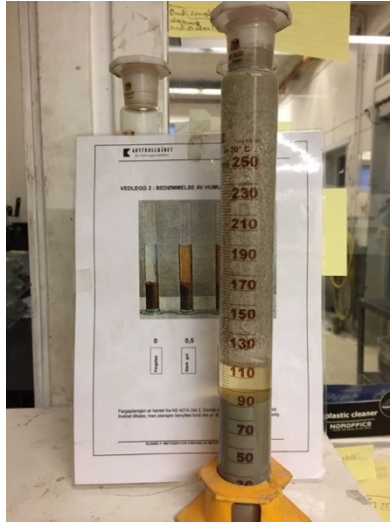
Korndensitet og vannabsorpsjon NS-EN 1097-6			
Betegnelsen	Vekt	Enhet	
Masse av tilslag SSD (M1)	5070,15	g	
Masse av pyknometer + vann+ tilslag SSD (M2)	8996,1	g	
Masse av pyknometer+ vann (M3)	5931,9	g	
Tørre masse av tilslag (M4)	4837,9	g	
Densitet	Fortegnelse	Verdi	Enhet
Vann densitet	$\rho_w$	1000	kg/m <sup>3</sup>
Tilsynelatende densitet	$\rho_a$	2728	kg/m <sup>3</sup>
Ovnstørket densitet	$\rho_{rd}$	2412	kg/m <sup>3</sup>
Overflatetørr densitet	$\rho_{SSD}$	2528	kg/m <sup>3</sup>
Vannabsorpsjon	WA	4,80	%

Tabell 5-7. Korndensitet og vannabsorpsjon til gjenvunnet tilslag, test 2.

Korndensitet og vannabsorpsjon NS-EN 1097-6			
Betegnelsen	Vekt	Enhet	
Masse av tilslag SSD (M1)	3441,4	g	
Masse av pyknometer + vann+ tilslag SSD (M2)	7392,4	g	
Masse av pyknometer+ vann (M3)	5291,4	g	
Tørre masse av tilslag (M4)	3302	g	
Densitet	Fortegnelse	Verdi	Enhet
Vann densitet	$\rho_w$	1000	kg/m <sup>3</sup>
Tilsynelatende densitet	$\rho_a$	2749	kg/m <sup>3</sup>
Ovnstørket densitet	$\rho_{rd}$	2463	kg/m <sup>3</sup>
Overflatetørr densitet	$\rho_{SSD}$	2567	kg/m <sup>3</sup>
Vannabsorpsjon	WA	4,22	%

## 5.4 Innhold av organisk materiale – humusinnhold

I studiet ble Humus testen utført sammen med siktanalyse. Det ble gjennomført kun en test. Resultatet fra undersøkelsen er vist i figur 5-4.



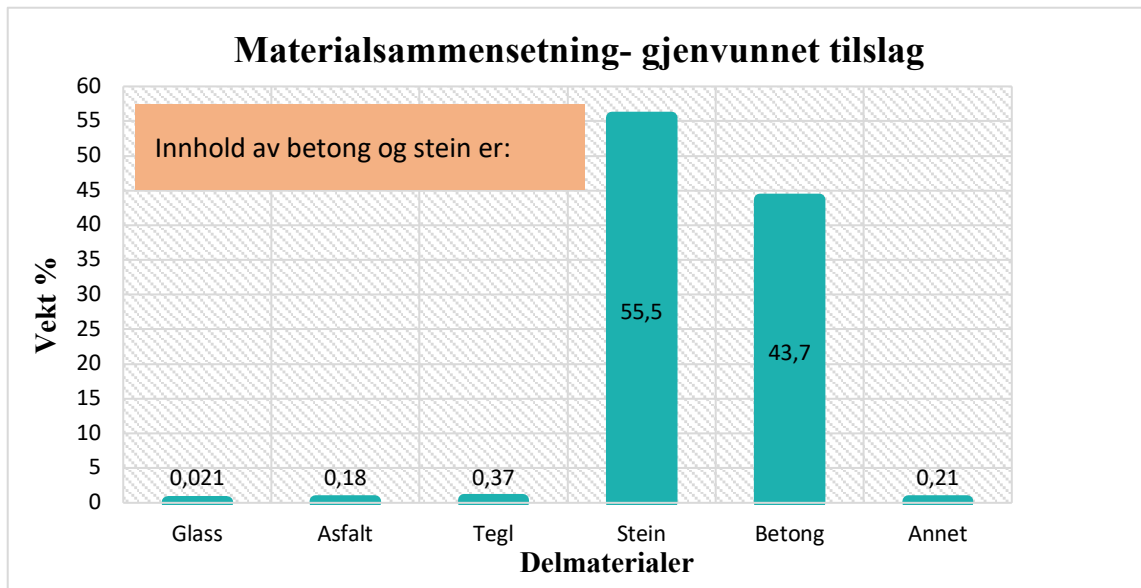
Figur 5-4. Prøveresultat av humustest.

## 5.5 Materialsammensetning

Det ble utført en test på gjenvunnet tilslag for å bestemme, uttrykke og beregne proporsjonering av bestanddeler. Resultatene fra undersøkelsen er vist i tabell 5-8 og figur 5-5.

Tabell 5-8. Materialsammensetning- gjenvunnet tilslag.

<b>Materialsammensetning</b>			
Betegnelse	Mengde	Enhet	
Mo (tørket massen)	9995,9	g	
M63(partiklene på 63 mm)	0	g	
M4 (partiklene som passer 4mm)	250,9	g	
M1 (partiklene mellom 63mm og 4mm)	9745	g	
M2 (resten av partiklene i tanken)	9749	g	
M3 (tørket prøven)	9461	g	
Bestanddelene	Massebetegnelse	Mengde, g	Proporsjon, %
X (annet)	$M_x$	20,2	0,21
Rc ( knust betong)	$M_{Rc}$	4130,8	43,7
Ru (naturligt tilslag)	$M_{Ru}$	5248,9	55,5
Rb (knust murverk)	$M_{Rb}$	35,3	0,37
Ra (gjenbruk asfalt)	$M_{Ra}$	17,3	0,18
Rg (glass)	$M_{Rg}$	2	0,021
	Sum	9454,5	99,97
Betegnelse	Mengde	Enhet	Proporsjon (cm <sup>3</sup> /kg)
V <sub>FL</sub> (flytende partiklene volumet)	1	ml	0,103



Figur 5-5. Materialsammensetning- gjenvunnet tilslag.

## 5.6 Resultat fra fremgangsmåte av laboratorium program

Resultatene av synkmål til N3 og R100 er vist i tabell 5-9.

Tabell 5-9. Synkmål av R100 og N3.

	R100	N3
Synk uten SP mm	15	60
Synk med SP mm	100	220

### Undersøkelse av fukttilstand i gjenvunnet tilslag på betongen

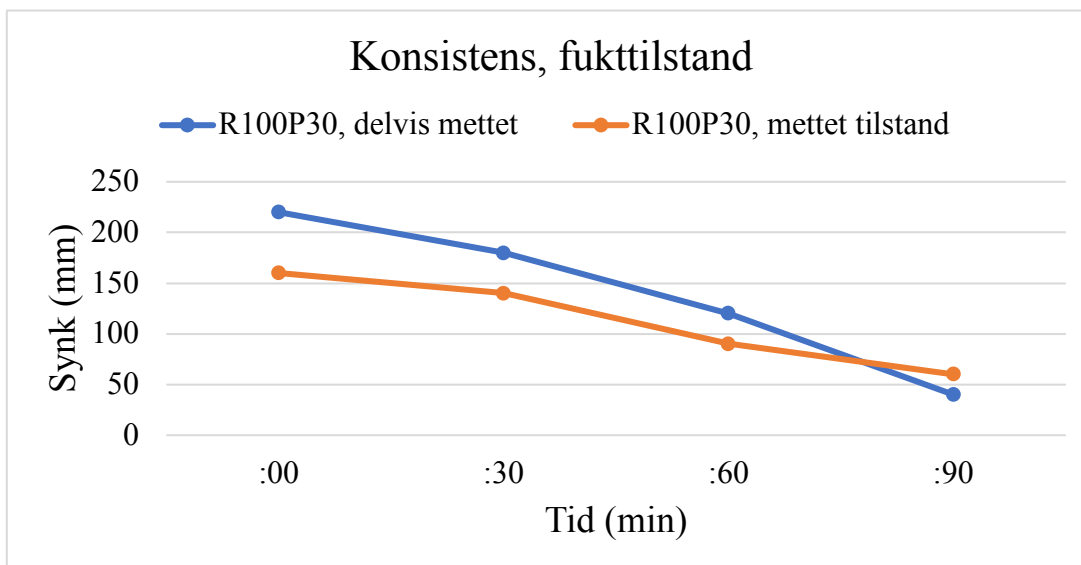
Fukttinnhold i tilslaget ved prøve 1 ble målt til 2,2%, og ved prøve 2 til 6,1%.

Resultatene er vist i tabell 5-10.

Konsistensutvikling etter tilsatt av SP-stoff over tid ble undersøkt og er vist figur 5-6.

Tabell 5-10. Konsistensutvikling med hensyn til fukttilstand i tilslag.

Prøve 1, delvis mett	R100P30	Vanninnhold på tilslag 2,2%				
	Synk uten SP mm	130				
	Tid	:00	:30	:60	:90	tapet
	Synk med SP mm	230	170	100	40	190
Prøve 2, mett tilstand	R100P30	Vanninnhold på tilslag 6,1%				
	Synk uten SP mm	70				
	Tid	:00	:30	:60	:90	tapet
	Synk med SP mm	160	140	90	60	100



Figur 5-6. Konsistensutvikling etter tilsatt SP med hensyn til fukttilstand i tilslag.

#### Økning av kun pastavolum, påvirkning på konsistens:

Det ble testet flere blandinger med 100% grov gjenvunnet tilslag R100 med økt pastavolum på varierende mengder (20 liter, 30 liter, 50 liter og 80 liter ) for å finne frem til riktig pastavolum som måtte til for å oppnå akseptabel konsistens. Resultat av synkmål før og etter tilsatt SP-stoff er vist i tabell 5-11.

Tabell 5-11. Synmål resultater før og etter tilsatt SP-stoff.

N3					
Synk uten SP mm	60				
Tid	:00	:30	:60	:90	tapet
Synk med SP mm	220	190	165	120	100
R100P20		vanninnhold på 4,9%			
Synk uten SP mm	35				
Tid	:00	:30	:60	:90	tapet
Synk med SP mm	140	110	80	40	100
R100P30		vanninnhold på 6,1%			
Synk uten SP mm	70				
Tid	:00	:30	:60	:90	tapet
Synk med SP mm	160	140	90	60	100
R100P50		vanninnhold på 4,9%			
Synk uten SP mm	120 mm				
Tid	:00	:30	:60	:90	tapet
Synk med SP mm	190	160	120	90	100
R100P80		vanninnhold på 6,3%			
Synk uten SP mm	200				
Tid	:00	:30	:60	:90	tapet
Synk med SP mm	270	230	200	170	100

## 5.7 Konsistens (synkmål og synkutbredelsesmål)

Resultater på synkmål av både naturlig N3 og resirkulert betong RP og RpT før tilsetning av SP-stoff er vist i tabell 5-12.

Tabell 5-12. Synkmål før tilsatt SP-stoff.

Betong resept	Synkmål før tilsatt SP-stoff (mm)
N3	60
R25P	135
R50P	160
R100P	200
R25pT	70
R50pT	60
R100pT	80

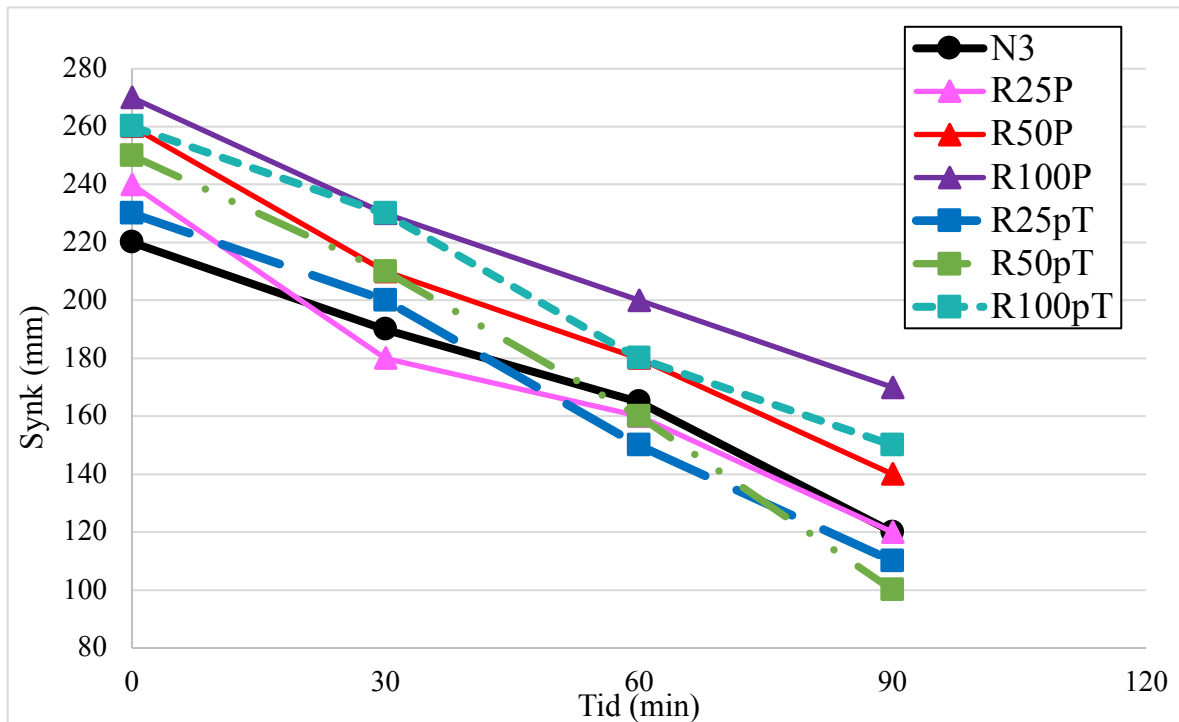
Synkmål og synkutbredelsesmål resultater av både naturlig og resirkulert betong etter tilsatt SP-stoff er vist i tabell 5-13.

Tabell 5-13. Konsistensutvikling over tid etter tilsatt SP-stoff.

Konsistensutvikling over tid							
Betong resept	N3	Tid	:00	:30	:60	:90	Konsistenstap
		Synk med SP mm	220	190	165	120	100
		Utbredelse mm	400	320	270	230	170
	R25P	Tid	:00	:30	:60	:90	Konsistenstap
		Synk med SP mm	240	180	160	120	120
		Utbredelse mm	560	370	240	190	370
	R50P	Tid	:00	:30	:60	:90	Konsistenstap
		Synk med SP mm	260	210	180	140	120
		Utbredelse mm	570	400	280	220	350
	R100P	Tid	:00	:30	:60	:90	Konsistenstap
		Synk med SP mm	270	230	200	170	100
		Utbredelse mm	610	460	380	280	330
	R25pT	Tid	:00	:30	:60	:90	Konsistenstap
		Synk med SP mm	230	200	150	110	120
		Utbredelse mm	420	300	260	220	200
	R50pT	Tid	:00	:30	:60	:90	Konsistenstap
		Synk med SP mm	250	210	160	100	150
		Utbredelse mm	590	340	250	220	370
R100pT	Tid	:00	:30	:60	:90	Konsistenstap	
	Synk med SP mm	260	230	180	150	110	
	Utbredelse mm	610	490	280	250	360	

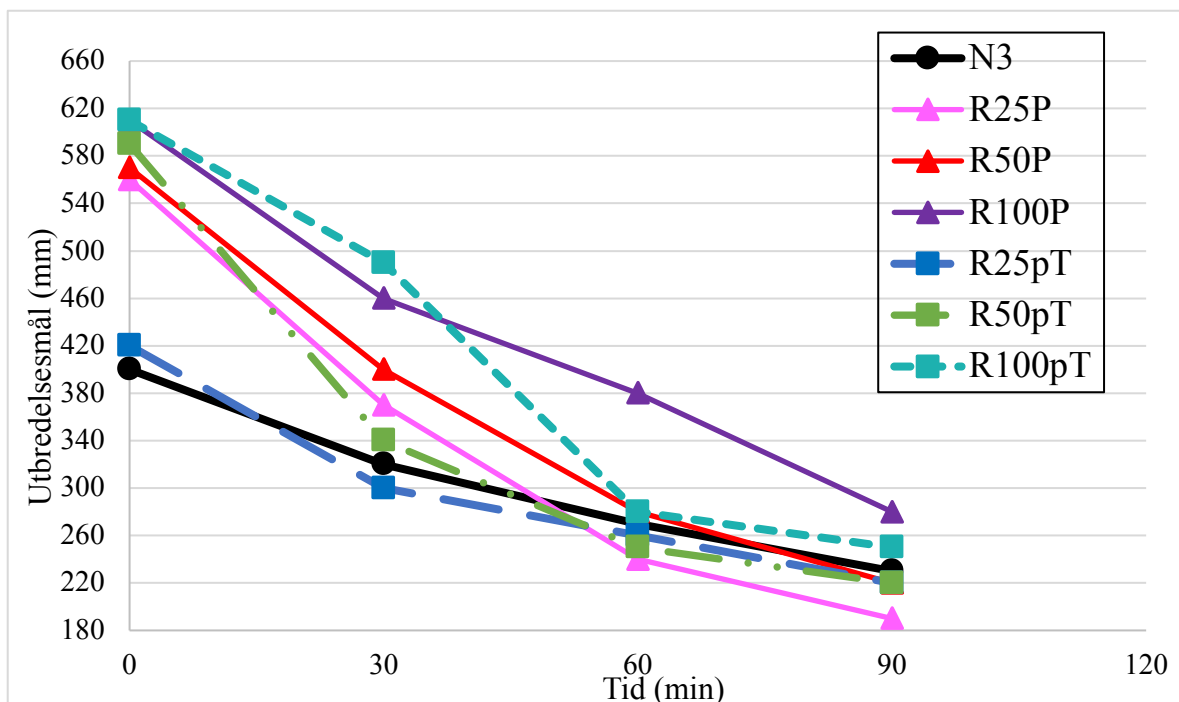


Figur 5-7 viser utvikling av synkmålene over tid av både naturlig betong og resirkulert betong etter tilsatt SP-stoff.



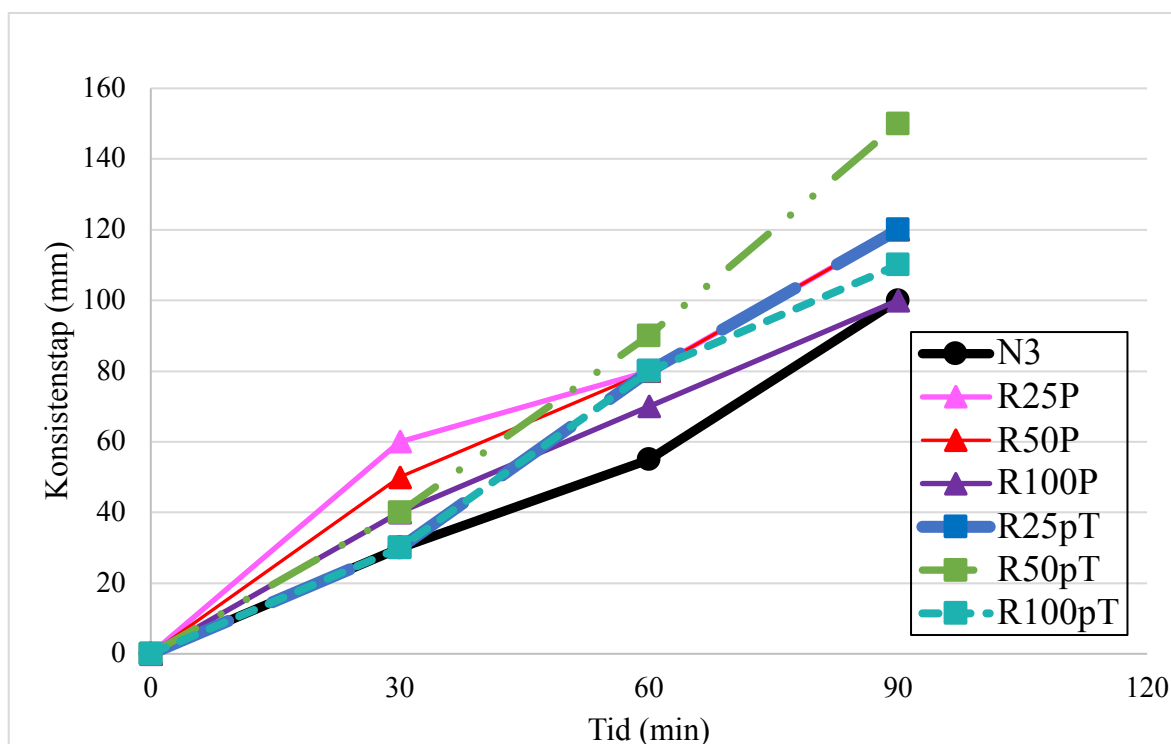
Figur 5-7. Synkeutvikling over tid etter tilsatt SP-stoff.

Figur 5-8 viser utvikling av utbredelsesmålene over tid av både naturlig og resirkulert betong etter tilsatt SP-stoff.



Figur 5-8. Utbredelsesutvikling over tid etter tilsatt SP-stoff.

Figur 5-9 viser reduksjon i synkmålene (Konsistenstap) over tid av både naturlig betong og resirkulert betong etter tilsatt SP-stoff.



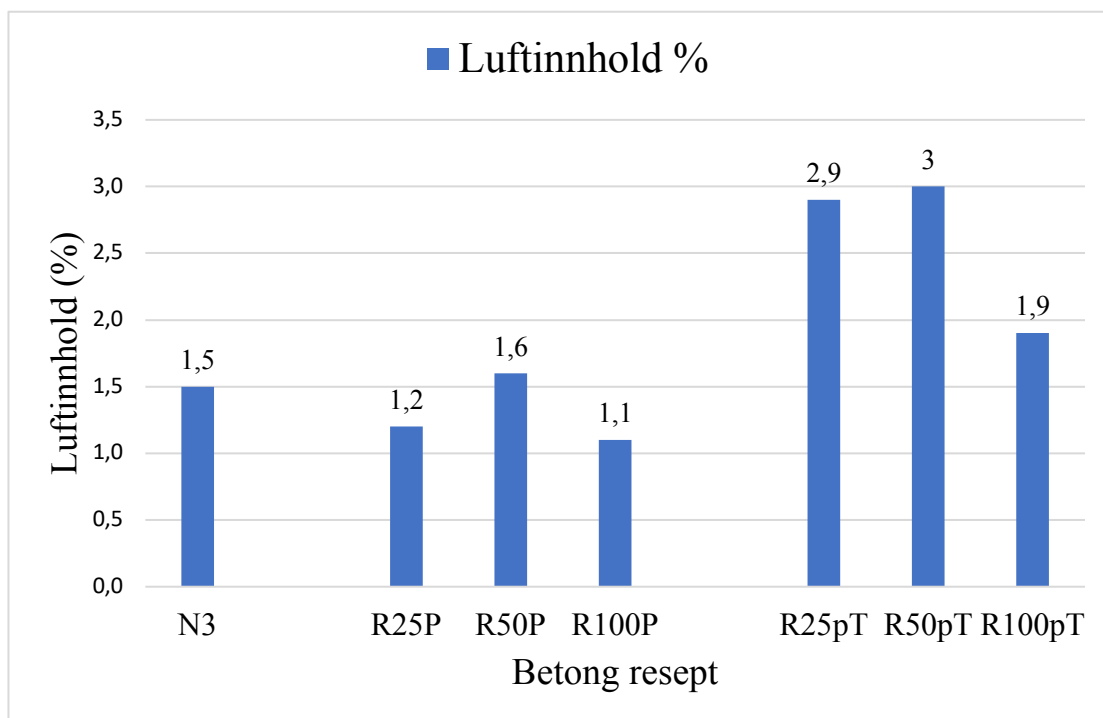
Figur 5-9. Reduksjon i synkmålene over tid etter tilsatt SP-stoff.

## 5.8 Luftinnhold

Luftinnhold resultater av både naturlig betong og resirkulert betong i ferskfase er vist i tabell 5-14 og figur 5-10.

Tabell 5-14. Luftinnhold på fersk betong.

Luftinnhold i fersk betong	
Betong resept	Luftinnhold (%)
N3	1,5
R25P	1,2
R50P	1,6
R100P	1,1
R25pT	2,9
R50pT	3
R100pT	1,9



Figur 5-10. Luftinnhold i fersk betong.

## 5.9 Densitet av fersk og herdet betong

Densitet resultater av både naturlig og resirkulert betong i ferskfase er vist i tabell 5-15.

Densitet til både naturlig og resirkulert betong i herdet fase etter 28 døgn er vist i Tabell 5-16 (terningenes densitet med gjennomsnittlige verdier).

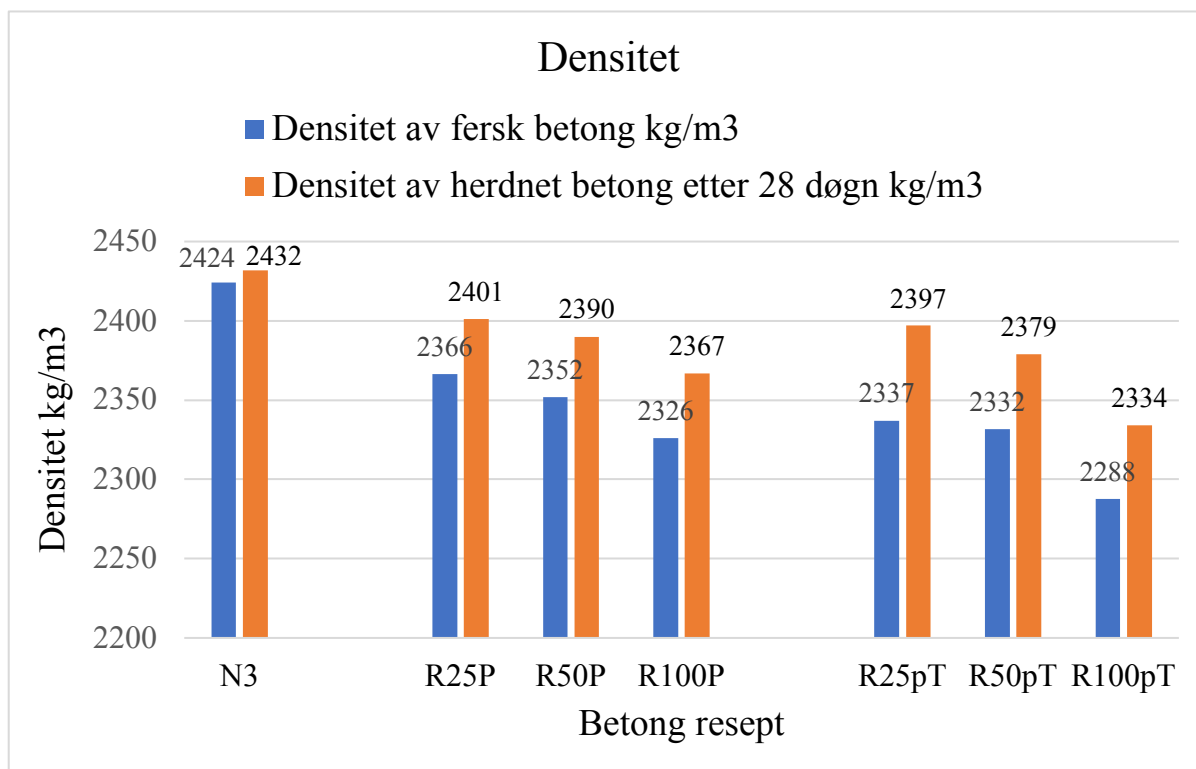
Figur 5-11 viser samlet densitet resultater av alle type betong både i fersk og herdet fase.

Tabell 5-15. Densitet av fersk betong.

Densitet av fersk betong	
Betong resept	Densitet kg/m <sup>3</sup>
N3	2424
R25P	2366
R50P	2352
R100P	2326
R25pT	2337
R50pT	2332
R100pT	2288

Tabell 5-16. Densitet av herdet betong etter 28 døgn.

Densitet av herdnet betong ved 28 døgn							
Betong resept	a mm	b mm	h mm	Areal mm <sup>2</sup>	Romvekt g	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Gjennomsnitt verdi kg/m <sup>3</sup>
N3	100	100	100	10000	2439	2439	2432
	100	100	100	10000	2424	2424	
R25P	100	100	100	10000	2399	2399	2401
	100	100	100	10000	2403	2403	
R50P	100	100	100	10000	2379	2379	2390
	100	100	100	10000	2400	2400	
R100P	100	100	100	10000	2369	2369	2367
	100	100	100	10000	2365	2365	
R25pT	100	100	100	10000	2390	2390	2397
	100	100	100	10000	2403	2403	
R50pT	100	100	100	10000	2358	2358	2379
	100	100	100	10000	2400	2400	
R100pT	100	100	100	10000	2333	2333	2334
	100	100	100	10000	2335	2335	



Figur 5-11. Densitet av fersk og herdet betong.

## 5.10 Trykkfasthet

Trykkfasthetstesting på teninger ble gjennomført etter 2, 7 og 28 døgn, 6 terninger for hver blanding ble testet. Det ble testet 2 terninger etter 2 døgn, 2 terninger etter 7 døgn og 2 terninger etter 28 døgn. Resultatene og gjennomsnittsverdier er vist i tabeller 5-17, 5-18, 5-19, 5-20, 5-21, 5-22, 5-23 og figur 5-12.

Trykkfasthetsresultater etter 2, 7 og 28 døgn til naturlig betong N3 er vist i tabell 5-17.

Tabell 5-17. Trykkfasthet resultater av N3 etter 2, 7 og 28 døgn.

<b>Trykkfasthet N3</b>				
Betong resept	Prøve nr.	Trykkraft KN	Trykkfasthet N/mm2	Gjennomsnitt verdi N/mm2
2 døgn	T2	205,466	20,547	19,716
	T2	188,851	18,885	
7 døgn	T7	365,723	36,572	37,53
	T7	384,926	38,493	
28 døgn	T28	527,605	52,761	52,12
	T28	514,851	51,485	

Trykkfasthetsresultater etter 2, 7 og 28 døgn til resirkulert betong RP med kun økning i pastavolumet er vist i tabeller 5-18, 5-19 og tabell 5-20.

Tabell 5-18. Trykkfasthet resultater av RP etter 2 døgn.

<b>Trykkfasthet etter 2 døgn (kun pasta)</b>				
Betong resept	Prøve nr.	Trykkraft KN	Trykkfasthet N/mm2	Gjennomsnitt verdi N/mm2
R25P	T2	131.608	13,161	13,0885
	T2	130.157	13,016	
R50P	T2	145,828	14,583	14,4125
	T2	142,418	14,242	
R100P	T2	155,768	15,577	15,334
	T2	150,907	15,091	

Tabell 5-19. Trykkfasthet resultater av RP etter 7 døgn.

<b>Trykkfasthet etter 7 døgn (kun pasta)</b>				
Betong resept	Prøve nr.	Trykkraft KN	Trykkfasthet N/mm2	Gjennomsnitt verdi N/mm2
R25P	T7	248,851	24,885	24,0545
	T7	232,237	23,224	
R50P	T7	274,027	27,403	27,5985
	T7	277,944	27,794	
R100P	T7	301,737	30,174	30,268
	T7	303,621	30,362	

Tabell 5-20. Trykkfasthet resultater av RP etter 28 døgn.

<b>Trykkfasthet etter 28 døgn (kun pasta)</b>				
Betong resept	Prøve nr.	Trykkraft KN	Trykkfasthet N/mm <sup>2</sup>	Gjennomsnitt verdi N/mm <sup>2</sup>
R25P	T28	399,054	39,905	39,24
	T28	385,793	38,579	
R50P	T28	425,068	42,507	42,68
	T28	428,547	42,855	
R100P	T28	444,344	44,434	44,93
	T28	454,272	45,427	

Trykkfasthets resultater etter 2, 7 og 28 døgn til resirkulert betong RpT med økning av pastavolumet og SP-stoff er vist i tabeller 5-21, 5-22 og 5-23.

Tabell 5-21. Trykkfasthet resultater av RpT etter 2 døgn.

<b>Trykkfasthet etter 2 døgn (Pasta+ SP)</b>				
Betong resept	Prøve nr.	Trykkraft KN	Trykkfasthet N/mm <sup>2</sup>	Gjennomsnitt verdi N/mm <sup>2</sup>
R25pT	T2	196,324	19,632	19,411
	T2	191,898	19,19	
R50pT	T2	173,906	17,391	17,514
	T2	176,372	17,637	
R100pT	T2	137,848	13,785	13,843
	T2	139,008	13,901	

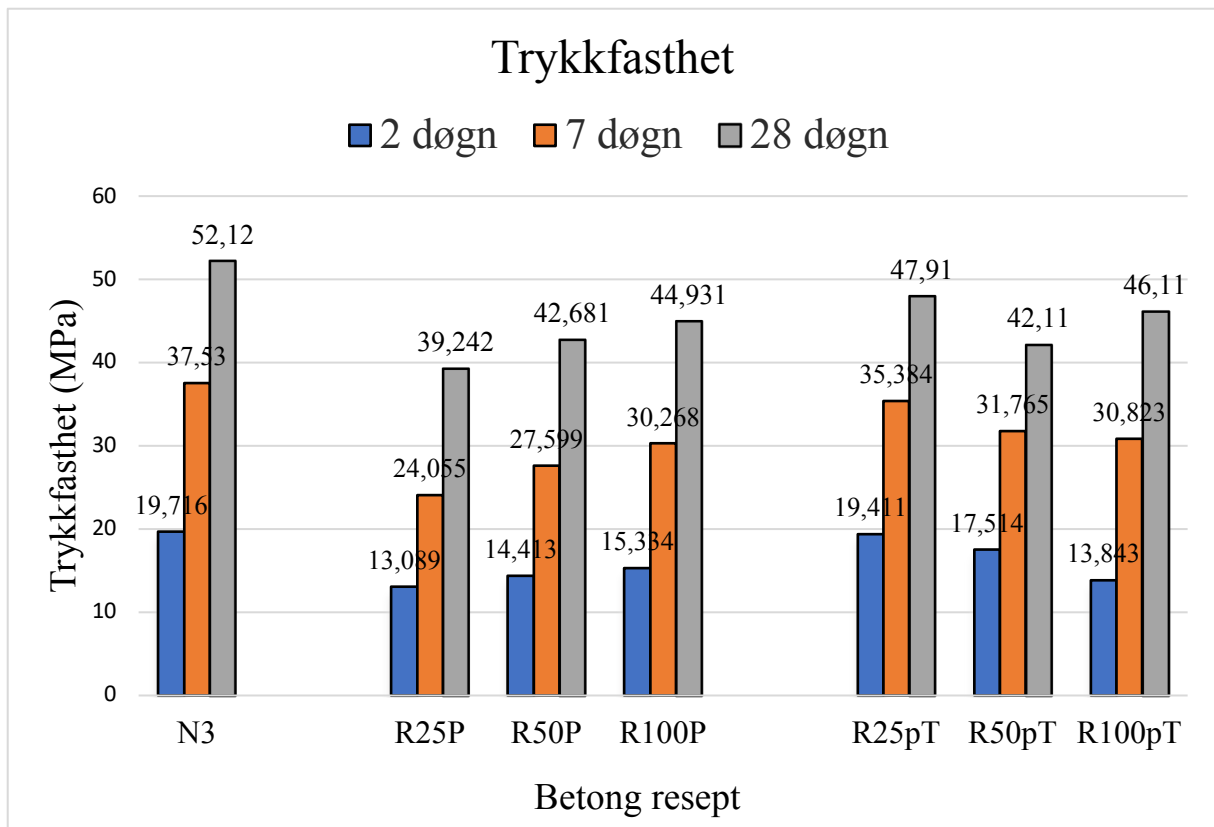
Tabell 5-22. Trykkfasthet resultater av RpT etter 7 døgn.

<b>Trykkfasthet etter 7 døgn (Pasta+ SP)</b>				
Betong resept	Prøve nr.	Trykkraft KN	Trykkfasthet N/mm <sup>2</sup>	Gjennomsnitt verdi N/mm <sup>2</sup>
R25pT	T7	347,683	34,768	35,384
	T7	360,002	36	
R50pT	T7	306,452	30,645	31,7645
	T7	328,843	32,884	
R100pT	T7	311,521	31,152	30,8225
	T7	304,927	30,493	

Tabell 5-23. Trykkfasthet resultater av RpT etter 28 døgn.

Trykkfasthet etter 28 døgn (Pasta+ SP)				
Betong resept	Prøve nr.	Trykkkraft KN	Trykkfasthet N/mm2	Gjennomsnitt verdi N/mm2
R25pT	T28	479,999	48	47,91
	T28	478,115	47,811	
R50pT	T28	439,419	43,942	42,11
	T28	402,825	40,282	
R100pT	T28	473,043	47,304	46,11
	T28	449,057	44,906	

Resultater av trykktesting på terning etter 2, 7 og 28 døgn til alle reseptene N3, RP, RpT som ble utstøpt, er vist i figur 5-12.



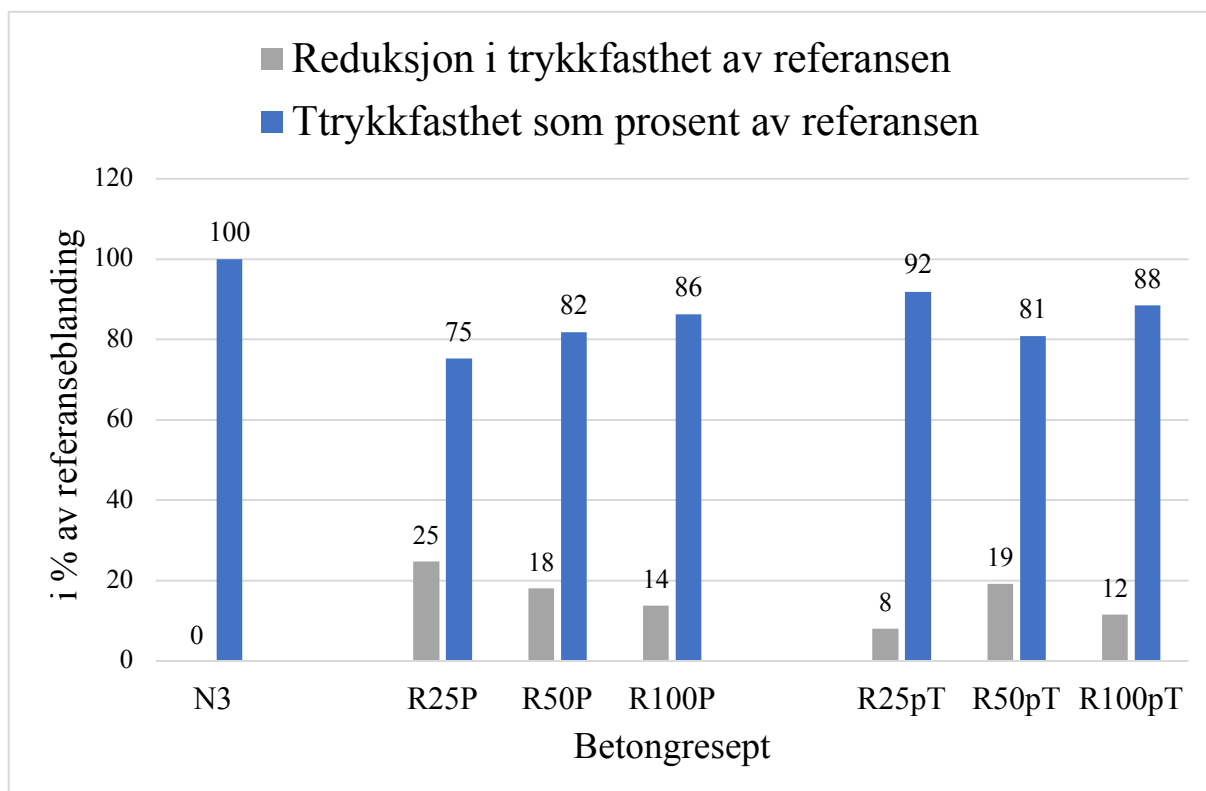
Figur 5-12. Trykkfasthet etter 2, 7 og 28 døgn for alle resepter.

Trykkfasthet resultater basert på 28 døgn for de resirkulert betong med ulike erstatningsnivå i % av det referanse betongen er vist i tabell 5-24 og figur 5-13. Trykkfastheten til naturlig betong, ble tatt som 100% trykkfasthet.

Bruddformer til terningene som ble trykket er vist i vedlegg D.1.

Tabell 5-24. Trykkfasthet resultater etter 28 døgn i % av referanse.

Betong resept	Reduksjon i trykkfasthet av referanse ved 28 døgn	Trykkfasthet som prosent av referanse ved 28 døgn
N3	0	100
R25P	25	75
R50P	18	82
R100P	14	86
R25pT	8	92
R50pT	19	81
R100pT	12	88



Figur 5-13. Trykkfasthet resultater etter 28 døgn i % av referanse.

## 5.11 Elastisitetsmodul

Totalt var det 21 kjerner for E-modul. De fleste utfordringene i testene var med elastisitetsmodul test fordi Unicon lab, avdeling Sjursøya ikke hadde maskin for å utføre testen. Det ble kjørt E-modul test på 12 kjerner i Staten Vegvesen sin lab i Oslo region øst og resten som er 9 kjerner ble sendt til Unicon lab i Danmark og der ble bestemt E-modul iht.



DS-EN 12390-13 og trykkfasthet i henhold til DS-EN 12390-3. Testene i Danmark ble ikke kjørt etter 28 døgn siden det var nødvendig å avrette sylindrene før testingen, og det var derfor ikke mulig å gjøre målingene ved ankomst dato den 21. desember, hvor de var 28 dager. Av hensyn til juleferie ble testene først utført etter 45-47 dager. For mer info se vedlegg E.

E-modul resultater er vist i forskjellige tabeller fordi testing er utført i to ulike lab.

E-modul resultatene etter 28 døgn til naturlig betong N3 og resirkulert betong RP med kun økning i pastavolumet er vist i tabell 5-25. Testene ble utført i Staten Vegvesen region øst avdeling Oslo.

E-modul resultater til resirkulert betong RpT er vist i tabell 5-26. Testen er utført i Unicon lab i Danmark. En sylinder fra hver serie er innledningsvis trykket til bestemmelse av belastning til E-modul. Så er E-modul gjennomsnittet av to verdier.

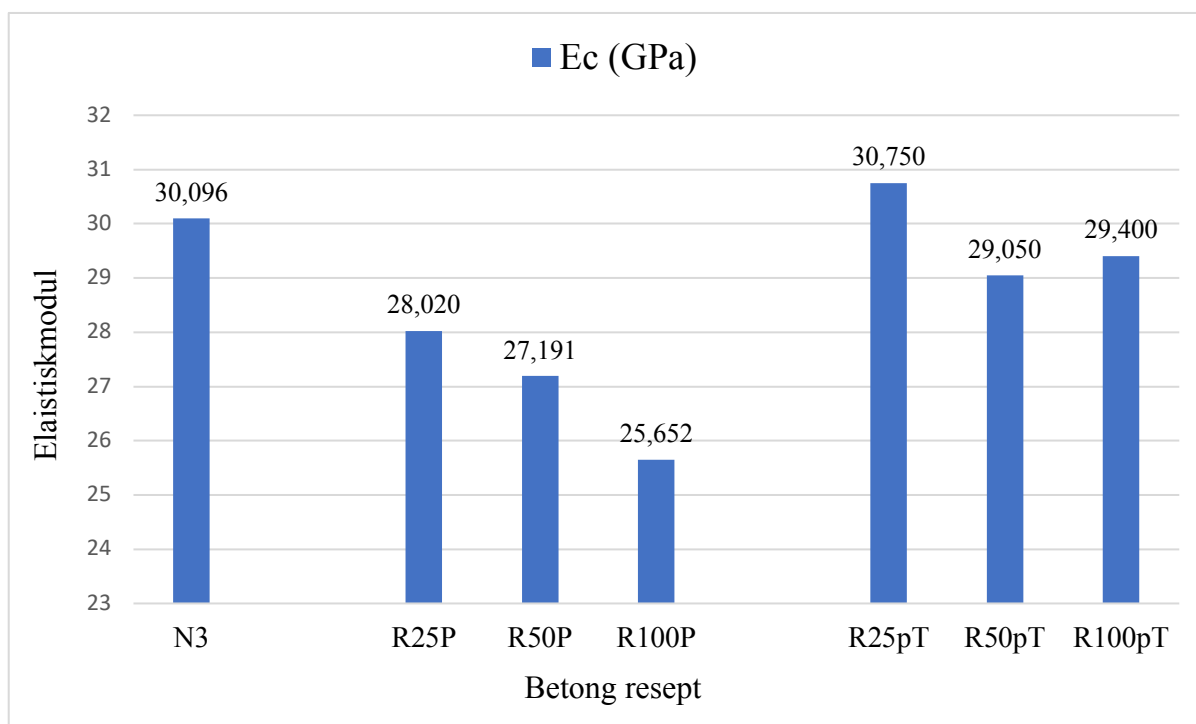
Tabell 5-25. E-modul resultater av N3 og RP etter 28 døgn.

<b>E-modul etter 28 døgn for N3 og RP</b>							
Betong type	Prøve nr.	E0 (GPa)	Gjennomsnitt verdi av E0	Ec (GPa)	Gjennomsnitt verdi av Ec	Sylindere Trykkfasthet (MPa)	Gjennomsnitt verdi av styrke (MPa)
N3	1	29,949	29,273	30,346	30,096	42	43,333
	2	29,591		30,471		44	
	3	28,280		29,470		44	
R25P	1	27,037	27,473	27,519	28,020	34	34,000
	2	27,498		27,671		34	
	3	27,885		28,869		34	
R50P	1	27,875	26,428	28,301	27,191	35	35,333
	2	25,970		26,872		37	
	3	25,440		26,399		34	
R100P	1	24,745	24,666	25,788	25,652	39	39,667
	2	24,729		25,716		41	
	3	24,523		25,452		39	

Tabell 5-26. E-modul resultater av RpT.

<b>E-modul for RpT</b>					
Betong type	Prøve nr.	Ec (GPa)	Gjennomsnitt verdi av Ec	Sylindere trykkfasthet (MPa)	Gjennomsnitt verdi av styrke (MPa)
R25pT	1	-	30,750	47,2	45,533
	2	30,4		45,6	
	3	31,1		43,8	
R50pT	1	-	29,050	43,3	43,667
	2	29,1		43,5	
	3	29		44,2	
R100pT	1	-	29,400	46,8	47,067
	2	30,5		47,3	
	3	28,3		47,1	

Figur 5-14 viser gjennomsnittlig resultater på E-modul testing til alle reseptene N3, RP, RpT.

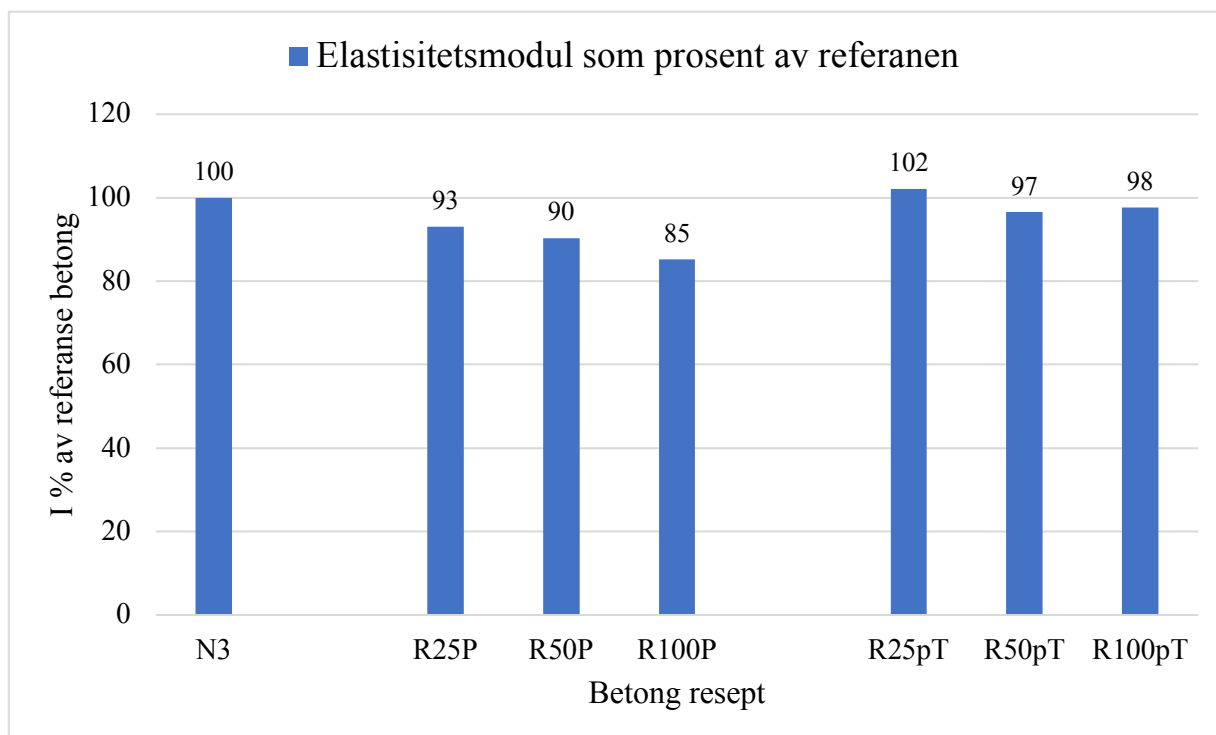


Figur 5-14. E-modul for alle resepter.

Resultater på E-modul i % av referanseblanding er vist i tabell 5-27 og figur 5-15.

Tabell 5-27. Elastisitetsmodul i % av referanse.

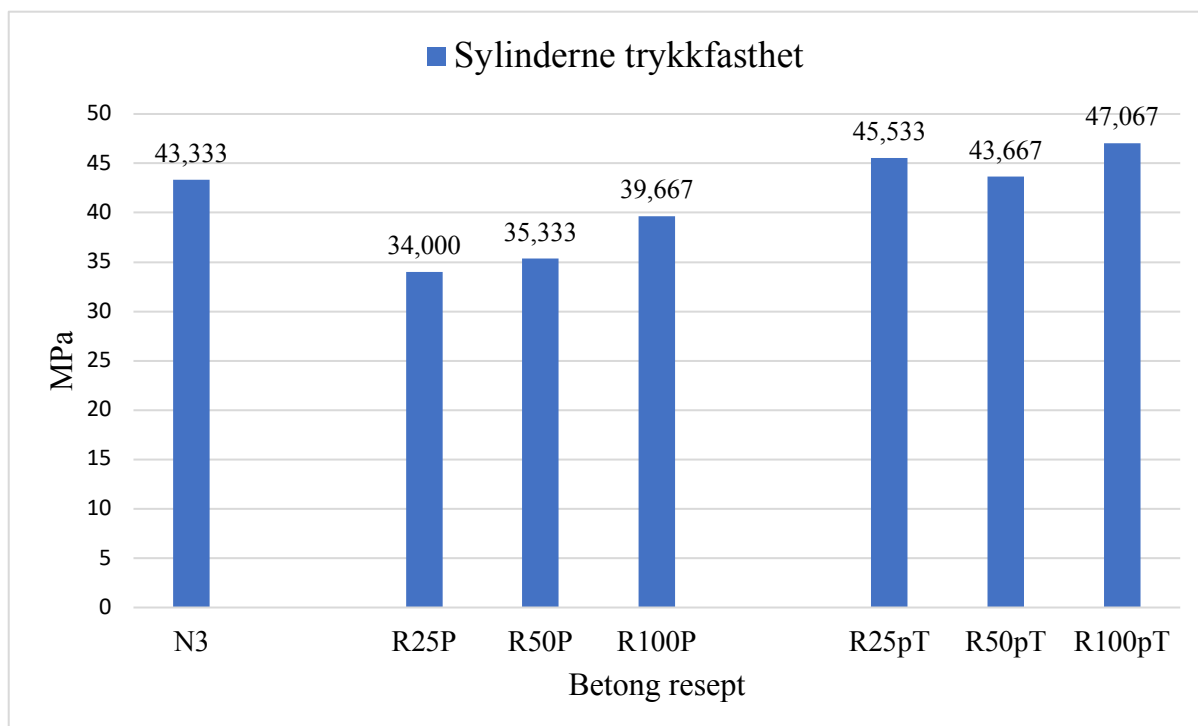
Betong resept	Elastisitetsmodul som % av referansen
N3	100
R25P	93
R50P	90
R100P	85
R25pT	102
R50pT	97
R100pT	98



Figur 5-15. Elastisitetsmodul i % av referanse.

Trykkfasthet ble testet på sylindrerne på E-modul testing og resultater for alle resepter N3, RP og RpT er viste i figur 5-16.

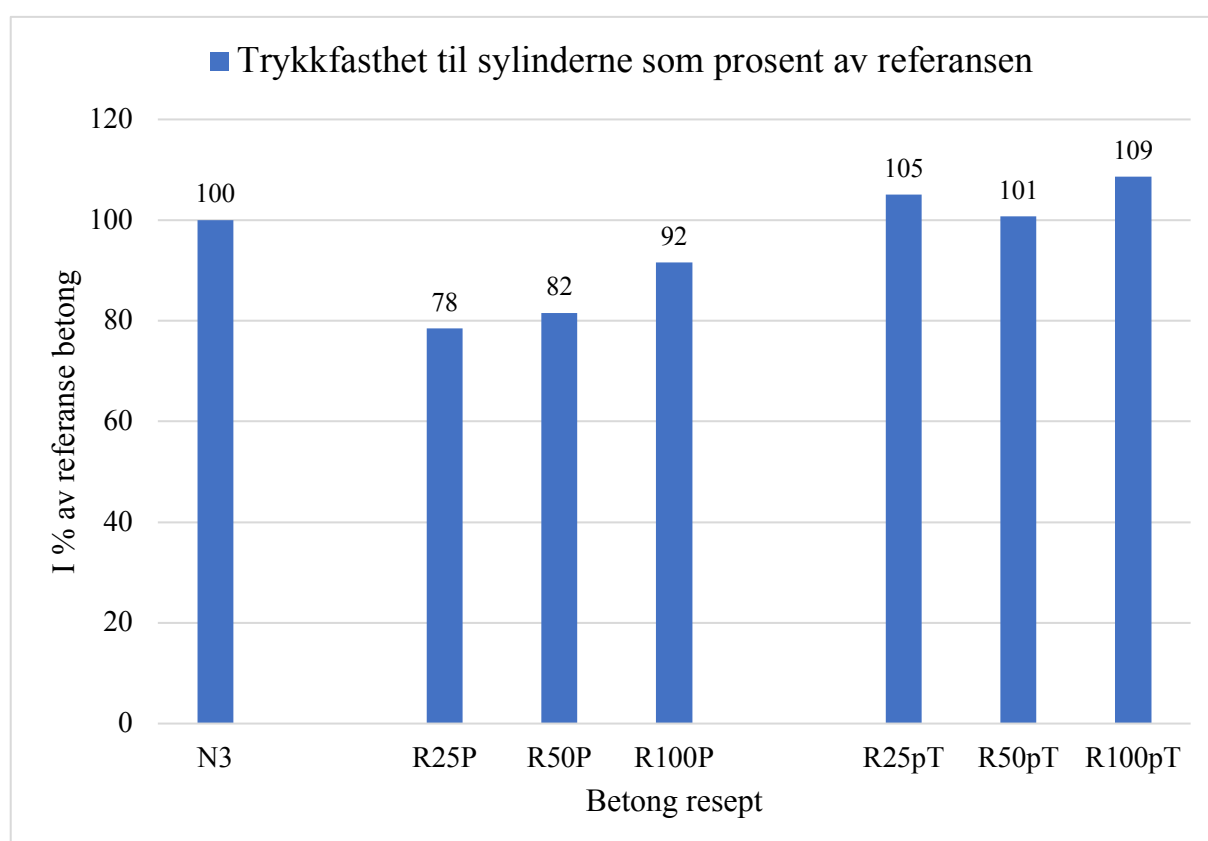
Sylindrerne trykkfasthets resultater i % av referanse blanding er vist i tabell 5-28 og figur 5-17. Brudd former til sylindrerne er vist i vedlegg D.2.



Figur 5-16. Sylindre Trykkfasthetsresultater.

Tabell 5-28. Sylindre trykkfasthetsresultater i % av referanse betong.

Betong type	Trykkfasthet til sylindrerne som prosent av referansen
N3	100
R25P	78
R50P	82
R100P	92
R25pT	105
R50pT	101
R100pT	109



Figur 5-17. Sylindre trykkfasthet resultater i % av referanse betong.

## 6 Diskusjon

I dette kapittelet er resultater forklart, diskutert og analysert. Testresultater av resirkulert betong og naturlig betong ble sammenlignet mot hverandre og mot teorien.

### 6.1 Kornstørrelsesfordeling (siktanalyse) og finstoffinnhold

For å bestemme Max og Min graderingskrav verdier til tilslag må det bestemmes hvilke kategori tilslag befinner seg i. Dette bestemmes slik :

- D: er øvre kornstørrelse, er 20 mm i følge det brukte gjenvunnet tilslag.
- d : er nedre kornstørrelse, er 10 mm i følge det brukte gjenvunnet tilslag.
- I følge studie er  $D/d=2$ .

Så fra tabell 2 i NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016 når  $D/d \leq 2$  så er det brukt gjenvunnet tilslag av kategori Gc85/20.

Dette betyr minimums 85 vekt-% av kornene (grovt tilslag) skal passere siktestørrelse  $D=20$  mm og maksimum 20 vekt-% av kornene kan passere siktestørrelse  $d=10$  mm. Inntil 2% av kornene kan ligge i intervallet ( $1,4D=28$  mm til  $2D=40$  mm), og 13% inntil intervallet ( $1,4D=28$  mm til  $D=20$  mm).

I følge NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016, når  $D > 11,2$  mm og  $D/d \leq 2$  er tilslag ensgradert grove tilslag og skal det ikke være tillegg krav til de som står i tabell 2 i NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016.

Det ble sammenlignet gjennomsnittlig resultater av test 1 og test 2 av siktanalysen av gjenvunnet tilslag med graderingskrav. Det var innenfor kravet som vist i tabell 5-4.

Ved å se på siktekurv av gjenvunnet tilslag i figur 5-1 så viser det at 3% av tilslag er under 8mm og et par er over 22,4mm. Det viser at mer en 95% av tilslag er mellom 10-20mm.

Ved å se på intervallet mellom 10-20 mm er tilslag velgradert.

Ved å se på sammensatt siktekurv på naturlig betong i figur 5-2 og resirkulert betong i figur 5-3 viser kurvene at den er velgradert.

Finstoff i tilslag, siden det er tørr sikting så beregnes finstoff etter formelen:  $f=100P/M1$ . Mengde finstoff f er mindre enn 1,5masse-%.

Fra tabell 11 i NS-EN 12620: 2002+A1:2008+NA:2016 er det kategori f1,5. Men som det ble observert så var det store mengder fastholdt mørtel på tilslaget. Når posene ble tømt var det mye finstoff i posene.

### 6.2 Vanninnhold

Fuktighetsinnhold i tilslag ble målt hver dag før det ble laget blandinger, noe som ble tatt i betraktning i proporsjonering. Det ble tatt hensyn til tilslagets fukttilstand i oppgaven (tilslag ble mettet før blandinger). Derfor var vanninnholdet på alle blandinger i tilslag mer enn absorpsjonskapasiteten til tilslag.

### 6.3 Korndensitet og vannabsorpsjon

Resultatene fra tabell 5-6 og tabell 5-7 viser at densiteten av grov gjenvunnet tilslag er lavere enn for grov naturlig tilslag.

Densitet til gjenvunnet tilslag er på omtrent 6% mindre enn for naturlig tilslag. Denne reduksjonen kan skyldes fastholdt mørtel fra den opprinnelige betongen.

Vannabsorpsjonskapasiteten til gjenvunnet tilslag (4,51%) er ca.6 ganger høyere enn naturlig tilslag (0,8%). Denne er pga. når betong knuses, forblir en viss mengde mørtel fra den opprinnelige betong festet til partiklene i de gjenvunnede tilslagene. Den fastholdte mørtelen gjør at gjenvunnet tilslag blir mer absorberende enn naturlig tilslag.

#### **6.4 Innhold av organisk materiale – humusinnhold**

Det ble sjekket humusinnhold siden betong ikke bør inneholder humus i skadelige mengder. Fra figur 5-4 ser man at væsken er lysere enn 0,5 sammenlignet med standardfarge. Prøven inneholder humusstoffer i så ubetydelige mengder at det ikke er skadelig for betong. Siden det brukte tilslaget er gjenvunnet av vrak fra hulldekker og kummer er dette tilslag med redusert forurensning. Det ble det derfor utført kun en test. Ved bruk av gjenvunnet tilslag som man ikke har like god kontroll over kan flere tester være nødvendig.

#### **6.5 Materialsammensetning**

Fra tabell 5-8 og figur 5-5 viser innhold at betong og stein av det gjenvinnende tilslag er 99,2 % av massen.

Prøven tilfredsstillende kravet til andel hoveddelmateriale (betong og stein) gitt i tabell NA.3 i NS-EN 12620. Summen av betong og stein  $R_{cu} > 99$ .

#### **6.6 Resultat fra fremgangsmåte av laboratorium program**

Tabell 5-9 viser at resirkulert betong R100 har lavere synkmål enn referanse betong N3. Forutsetningen er at det gjenvunnede tilslag er mer porøst og absorberende enn naturlig tilslag. Absorpsjonskapasitet for gjenvunnet tilslag er nesten seks ganger større enn for naturlig tilslag som er motparten. Dette grunnet fastholdt mørtel som følger med fra den opprinnelige betongen. Dessuten har den mindre gunstig kornform og overflatestruktur som gir større friksjon og reduserer konsistens. Derfor er det behov for økning av pastavolum ved bruk av gjenvunnet tilslag i forhold til naturlig tilslag, for å kompensere den høyere vannabsorpsjon av gjenvunnet tilslag og fylle hulrommene mellom partikler.

#### **Undersøkelse av fukttilstand i gjenvunnet tilslag på betongen**

Tabell 5-10 viser at synkmål i R100P30 delvis mettet var på 130mm mens på R100P30 med mettet tilslag var det 70mm før tilsetning av SP-stoff.

Figur 5-6 viser også at konsistenstapet er større i R100P30 med delvis mettet tilslag enn med mettet tilslag. Forutsetninger er at i første blanding med delvis mettet tilslag er det mer fritt vann enn med mettet tilslag, og dette medfører til høyre synkeverdi rett etter blanding, bløtere betong, ettersom tilslaget trenger tid for å absorbere vannet og verdien til synkmål synker raskt den første timen. Det betyr at tilslag fortsetter å absorberer vann.

Betong blandingen med mettet tilslag har lavere konsistens og er mere stabil med tanke på konsistenstap fra starten dette grunnet mindre fritt vann da tilslaget er vannmettet fra før.

Det har vist seg at fukttilstand i tilslag har stor betydning for konsistens rett etter blanding og på konsistensutvikling. I dette tilfelle holder konsistensen seg mere stabilt med mettet tilslag enn ved delvis mettet tilslag.

Ved bruk av gjenvunnet tilslag kan konsistenstap være en utfordring siden tilslag kan absorbere vann etter blanding. Dette problemet kan kontrolleres ved å blande med mettet

tilslag, dette vil føre til nøyaktigere målinger og resultater ettersom tilslaget absorberer det vannet som tilsvarer absorpsjonskapasitet før blanding.

#### **Økning av kun pastavolum, påvirkning på konsistens:**

Ut fra resultater i tabell 5-11 viser at økning i pastavolumet øker bearbeidbarhet i resirkulert betong. Forutsetning er at mer vann øker avstand mellom partikler og hulrommene reduseres ved bruk av mer sement.

Fra tabell 5-11 ser man at i R100P80 har en synkmål på 170 mm etter 90 minutter. Det ble valgt den blanding som utgangspunkt for å lage resten av blandingen. R100P80 hadde en synkmål på 170 mm større en for N3. Derfor er det mer bearbeidelig.

### **6.7 Konsistens (synkmål og synkutbredelsesmål)**

Tabell 5-12 viser at synkmålene i de resirkulerte betongene med ulike prosentandeler av gjenvunnet tilslag før tilsetning av SP-stoff, var høyere enn naturlig betong ( resirkulert betong er bløtere enn naturlig betong ) ettersom det ble tilsatt mer pastavolum i de resirkulerte betongene.

Fra tabell 5-13 og figur 5-7 ser man at referanse betong hadde en synkmål på 120mm etter 90 min. Resirkulert betong RP med innblanding på 25% gjenvunnet tilslag hadde den samme bearbeidingstid som referanse betongen (en synk på 120mm etter 90 min). Dette er fordi ved å erstatte 25% det naturlige tilslag med gjenvunnet tilslag oppførte betong seg som naturlig betong.

Mens i resepten R50P og R100P var bearbeidingstiden høyere enn det var for referanse. Dette er pga. økning i pastavolumet i resirkulert betongene, pastavolumet økte med økning av innblanding av gjenvunnet tilslag. Konsistens blir bedre med økning i pastavolumet selv om innblanding av gjenvunnet tilslag også øker.

I figur 5-7 viser det at resirkulert betong med resepter RP har høyere synkmål verdier enn RpT resepter etter 90 min. Dermed har den høyere bearbeidingstid enn RpT ettersom det ble brukt høyere pastavolum i RP enn RpT. Selv om det ble brukt mer SP-stoff i RpT mister den sin effekt fort.

Selv om bearbeidingstid i RpT var kortere enn RP men allikevel var det innenfor det akseptable intervallet (en synkmål etter 90 minutter skulle være mellom 100-150 mm).

Generelt var resirkulert betong RP og RpT lett å jobbe etter de tiltakene som ble gjennomført. Det ble ikke observert at støpning og komprimering ble vanskelig når det økte innblanding av gjenvunnet tilslag. Dette kan skyldes enten økning i pastavolumet eller SP-stoff som ble tilsatt i blandingene med gjenvunnet tilslag.

Fra figur 5-8 ser man at referanse naturlig betong hadde en utbredelsesmål på 230mm etter 90 min.

I resirkulert betong lå utbredelsesmålene generelt mellom 190- 280 mm. Det var ikke noe konkrete krav på utbredelsesmål. Resirkulert betong RP og RpT med utbytting på 100% hadde høyere utbredelse enn referanse betong etter 90 min.

I resirkulert betong var det høyere tap på utbredelsesmål enn det var på naturlig betong. Jeg tror at årsaken kan være at på resirkulert betong i det første målet på utbredelse var det mye fritt vann, etter hvert hadde det begynt å reagere med sementen og laget pastaen.



Figur 5-9 viser at R50pT hadde høyeste konsistenstap på 150 mm etter 90 min. Mens konsistenstapet på alle de andre resepter lå mellom 100-120 mm, Dette er akseptabelt sammenlignet med referanse betongen siden fallet var i området 1-2 cm mer en referansen. Resirkulert betong med 100% innblanding av gjenvunnet tilslag hadde lavere konsistenstap enn innblanding på 25% og 50%. Dette kan være enten pga. økning i pastavolumet eller at det ble brukt høyere dosering av SP-stoff.

## 6.8 Luftinnhold

Ut i fra resultatene som er vist i tabell 5-14 og figur 5-10, er resultatene til luftinnhold mellom 1-3 %. Det ble ikke observert særlige endringer i luftinnholdet enn det som er vanlig. Dette stemmer med teorien av noen studier som sier at påføringen av resirkulert grov tilslag har ingen effekt på luftinnholdet i fersk betong. Forskjellen mellom RP og RpT er at i RpT er det tilsatt mer SP og mindre pastavolum, noe som kan være grunnen til at luftinnholdet er blitt høyere i RpT enn RP.

## 6.9 Densitet av fersk og herdet betong

Densitet i ferskfasen ble målt direkte etter blanding for alle resepter.

Resultatene fra figur 5-11 viser at densiteten av resirkulert betong er lavere enn for naturlig betong både i fersk og herdet fase. Det er vist en tendens til reduksjon i densitet av fersk og herdet betong som funksjon av økende innblanding av gjenvunnet tilslag. Betongen som hadde høyest andel resirkulert tilslag hadde lavest densitet. Denne reduksjonen kan skyldes lavere densitet av gjenvunnet tilslag enn naturlig tilslag. Densitet til gjenvunnet tilslag er på omtrent 6% mindre enn for naturlig tilslag. Denne lette vekten er pga. fastholdt mørtel fra den opprinnelige betongen.

Fra figur 5-11 ser man at ved 100% erstatningsnivå ga det en synking i densiteten til herdet betong på mellom 2-4 %.

Alle blandinger av naturlig og resirkulert betong har en densitet mellom 2000 kg/m<sup>3</sup> og 2600 kg/m<sup>3</sup>. Derfor kan resirkulert betong antas som vanlig betong.

Resultatene på densitet i fersk fasen stemmer med teorien om at resirkulert betong i fersk fasen har en densitet i intervallet 2280-2360 kg/m<sup>3</sup>.

## 6.10 Trykkfasthet

Ut ifra trykktestingsmålingene på terning etter 28 døgn kan man bestemme den avgjørende trykkfastheten i betongblandingene. Fra figur 5-12 ser man at den naturlige betongen har en klar tendens til å utvikle høyere trykkfasthet etter 2, 7 og 28 døgn enn resirkulerte betongene. Dette stemmer også med det som står i teori kapittel av tidligere studier.

Reduksjon i styrke i resirkulert betong kommer på grunn av bruk av gjenvunnet tilslag, sammenlignet med naturlige blanding.

Fra figur 5-12 ser man at både naturlig og resirkulert betong oppnådde trykkfasthet over 5 MPa etter 2 døgn, som er kravet i NS-EN 13670:2009+NA:2010 (Standard Norge, 2010). Fasthetsresultatene etter 28 døgn tilsier at alle blandinger med resirkulert betongen RP og RpT med forskjellig prosentandeler av gjenvunnet tilslag tilfredsstillt kravene i oppgaven på minste trykkfasthet etter 28 døgn som tilsvarer 37Mpa terningstrykkfasthet.

Resultatene fra RP resepter i figur 5-12 viser at utviklingen av gjennomsnittlig trykkfasthet følger samme spor etter 2, 7 og 28 døgn, styrken øker med økt innblanding av gjenvunnet tilslag og økt pastavolum. Den eneste forskjellen i reseptene er økt pastavolum og økt mengde gjenvunnet tilslag.

Prøvestykkene av blandinger RP viser at R25P har lavest fasthet, R50P noe høyere og R100P høyest.

I utgangspunktet burde resultatene være motsatt at økt gjenvunnet tilslag og pastavolumet burde gi lavere trykkfasthet. En årsak til dette kan være relatert til økning av pastavolum. Resepten som er brukt har et v/c-tall på 0,57. De resirkulerte tilslagene stammer fra hulldekker som har meget lav v/c tall ved støpning. Trolig er noe av sementen i det knuste tilslaget ikke hydratisert. Det vil medføre at når tilslaget blandes med vår resept vil v/c tallet synke og dermed gi større fasthet. Dette kan være en årsak til sammenheng mellom økning av sementinnholdet og økning i trykkfasthet i resirkulert betongen med økt prosentandelen av gjenvunnet tilslag. Ifølge teorien øker fasthet i betongen med økende sementinnhold. Siden alle prøvene hadde tilfredsstillende fasthet er det ikke jobbet videre med forklaring av fenomenet i denne oppgaven.

I resirkulert betong RpT som ble tilsatt mindre pasta viser det seg at det ikke kan trekkes direkte sammenheng mellom gjennomsnittlig målt trykkfasthet og økende innblanding av gjenvunnet tilslag i reseptene R25pT, R50pT og R100pT. Resultatene er ikke klare nok siden R50pT har mindre trykkfasthet enn R100pT og R25pT etter 28 døgn. Se figur 5-12.

### **Sammenligning mellom RP og RpT (å se på påvirkning av forskjellig mengde pastavolumet i blandinger med gjenvunnet tilslag):**

Ved erstatningsnivå på 25%, hadde R25P lavere trykkfasthet enn R25pT. Dette var ikke forventet da ved konstant masseforhold burde ikke fastheten bli påvirket i stor grad. Det kan være en mulig feil ved proporsjonering, blanding eller støpning som ikke ble oppdaget ved testing. Blandingene burde gjentas men tiden var begrenset.

Trykkfasthet resultat på R25pT ser mer logisk ut grunnet den har høyere fasthet enn R50pT og R100pT. Dette stemmer med teorien som sier mere av gjenvunnet tilslag gir mindre styrke i forhold til naturlig betong.

Ved å se bort fra resultater på R25P og R25pT i figur 5-12, så ser man at begge resepter RP og RpT hadde nesten samme trykkfasthetsresultater på (R50P og R50pT) og på (R100P og R100pT).

Det er vist en sammenheng mellom økning av pastavolum og økning av prosentandel gjenvunnet tilslag, gir økt fasthet. Som nevnt tidligere antar jeg at årsak til fasthets økning kan ligge i at mere uhydratisert sementkorn og at dette fungerer som tilslag (uhydratisert sement har høyere fasthet enn herdet sementpasta).

Fra figur 5-13 viser det at gjennomsnittlig trykkfasthet for resirkulert betong RP og RpT ved 100 % erstatning etter 28 døgn var redusert til henholdsvis 86 % og 88 % av referanse betong. Basert på oppnådd resultat så er det mulig å bruke 100% gjenvunnet tilslag forutsatt økning av pastavolum på ca. 30 liter mer enn naturlig betong.

## 6.11 Elastisitetsmodul

Fra figur 5-14 fikk naturlig betong en E-modul verdi på 30,096 GPa. I følge tabell 3.1 i NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA: 2018 (Standard Norge, 2018) vil en betong med fasthetsklasse B30 ha elastisitetsmodul på 33 GPa. Derfor er resultatet fra prøven på omtrent 9 % mindre enn verdien fra standarden. Grunnen til avviket er vanskelig å si. Testing på reseptene N3 og RP ble utført med samme måleutstyret, det er derfor kan resultatene sammenlignes med hverandre.

Fra figur 5-14 ble det observert at det er en reduksjon i elastisitetsmodulen i alle resirkulert betong.

Gjennomsnittlige resultater på E-modul testing etter 28 døgn på resirkulert betong RP viser en avtagende tendens på E-modul verdier med økende andel av gjenvunnet tilslag.

I resirkulert betong RpT kan det ikke trekkes en direkte sammenheng mellom økning av prosentandel av gjenvunnet tilslag og E-modul verdier. Resirkulert betong RpT viser høyere verdier på E-modul enn det er i RP. Dette kan være fordi RpT resepter ble ikke testet etter 28 døgn men etter 45 og 47 dager. Dette kan være en av grunnen til at det utviklet høyere E-modul verdier. Resultatene tyder på at det gjenvunnede tilslag også er av god kvalitet.

RP og RpT kan ikke sammenlignes direkte fordi RpT ble ikke testet etter 28 døgn.

På figur 5-15 vises at de gjennomsnittlige verdier på E-modul på betongresepter RP og RpT ved å erstatte 100 % av det naturlige tilslag med gjenvunnet tilslag ble redusert i henholdsvis 85 og 98 % av referanse betong.

Resultatet stemmer med tidligere studier som har vist at ved 100% innblanding av grov resirkulert tilslag kommer elastisitetsmodul til å bli redusert med opptil 20% enn naturlig betongen.

Til slutt kan man si at ved å sammenligne resirkulert betong med 100% erstatningsnivå, vil resept med redusert pastavolum ha den høyeste verdien av elastisitetsmodul.

Figur 5-17 viser at trykkfasthet til sylindere i RP resepter som prosent av naturlig betongen øker med økt innblanding av gjenvunnet tilslag. Trykkfasthet resultater på sylindere for RP følger samme sporet som trykkfasthet på terninger. Årsaken er forklart tidligere i punkt 6.10. Reseptene R25pT, R50pT og R100pT er utført i Unicon lab i Danmark, resultater viser at de reseptene har høyere trykkfasthet enn naturlig betongen. Dette er fordi testene ble utført etter 45 og 47 dager, ikke etter 28 døgn. Brudd former til sylindere er vist i vedlegg D.2.

## 7 Konklusjon

Hovedmålet med arbeidet var å undersøke muligheten for bruk av grov gjenvunnet tilslag i betongblandinger i stedet for naturlig tilslag med hensyn til støpelighet og styrke. Ifølge eksperimentelle resultater er det mulig å benytte grov gjenvunnet tilslag i betongblandinger som et alternativ av naturlig grov tilslag med varierende prosentandeler. Påvirkningen av grov gjenvunnet tilslag på betonegenskaper ble undersøkt både i fersk og herdet fase. Det har vist seg at det kan oppnås god kvalitet på resirkulert betong. Resultatene viste generelt en god bearbeidbarhet av resirkulert betong og en reduksjon på styrke sammenlignet med den naturlige betongen. Basert på dette forskningsarbeidet med de forutsetningene som er fastsatt kan følgende konklusjoner trekkes:

- **Gjenvunnet tilslag**

Generelt har gjenvunnet tilslag dårlige egenskaper enn naturlig tilslag. Spesielt er det verdt å nevne at sammenlignet med naturlig tilslag har gjenvunnet tilslag høyere vannabsorpsjon og lavere densitet. Vannabsorpsjonskapasiteten til gjenvunnet tilslag (4,51%) er ca.6 ganger høyere enn naturlig tilslag (0,8%). Densiteten til gjenvunnet tilslag er 6% mindre enn naturlig tilslag.

Resirkulert betonegenskaper er avhengig av egenskapene til gjenvunnet tilslag, som i hovedsak er avhengig av egenskaper til opprinnelige betong som tilslag kommer fra og mengde fastholdt mørtel.

Når betong knuses, forblir en viss mengde mørtel fra den opprinnelige betong festet til partiklene i de gjenvunnede tilslagene. Den fastholdte mørtelen gjør at gjenvunnet tilslag blir mer porøst og absorberende enn naturlig tilslag.

Støpelighet i betongens ferskefase er avgjørende for å oppnå en betongmasse som fyller ut forskalingene. Derfor er det nødvendig med økning i pastavolumet for å kompensere vannabsorpsjon til gjenvunnet tilslag og fylle hulrommene mellom partikler. Økning av pastavolumet vil medføre økt vannmengden i blandinger som fører til å øke støpelighet i fersk betong siden vannet øker avstanden mellom partiklene.

- **Fersk betong**

I blandinger av resirkulert betong ble det ikke observert store avvik i luftinnholdet enn det som er normalt, 1-3 %.

Densiteten av resirkulert betong er lavere enn for naturlig betong. Det er vist en tendens til reduksjon i densitet av fersk og herdet betong som resultat av økende innblanding av gjenvunnet tilslag.

Generelt er konsistens av resirkulert betong lavere enn naturlig betong uten å utføre tiltak for å øke konsistensen. Dette er på grunn av fastholdt mørtel fra opprinnelig betong som gjør gjenvunnet tilslag mer porøs og dermed mer absorberende enn det naturlige tilslaget. Dessuten er det også pga. gjenvunnet tilslags form. For å opprettholde en bearbeidelig betong med gjenvunnet tilslag viser det en tendens til økning i pastavolumet med økning prosentandel av gjenvunnet tilslag. Dette er for å kompensere for høy vannabsorpsjon av gjenvunnet tilslag og for å fylle hulrommene mellom de kantete formede og langstrakte partiklene.

Dessuten er det nødvendig med økning i superplastifiserende stoffer for å oppnå den nødvendige bearbeidbarheten.

Resultatene fra arbeidet viser at ved bruk av opptil 100 % gjenvunnet tilslag vil det ikke forårsake redusert støpelighet over tid sammenlignet med referanse ved økning

av pastavolum og SP-stoff. I blandingene ble det tatt hensyn til det gjenvunne tilslagets absorpsjonsevne (12-15 timer sug i vann).

- **Herdet fase**

Som nevnt tidligere kan vi konkludere med at resirkulert betong har mindre trykkfasthet enn naturlig betong. Trykkfastheten til resirkulert betong med reseptene R25P, R50P og R100P øker med økt innblanding av gjenvunnet tilslag og mengde pastavolum.

Men på reseptene R25pT, R50pT og R100pT var det vanskelig å trekke en sammenheng, siden R100pT og R25pT hadde høyere trykkfasthet enn R50pT. Ved å sammenligne de forskjellige typer av 100% resirkulert betong, ble det funnet at den med redusert pastavolum og økning på SP-stoff indikerer en høyere styrke, og konsistensen var innenfor akseptabelt nivå (tilfredsstilte krav i følge oppgaven). I følge oppgaven var det mulig å fremstille resirkulert betong som er 100% innblanding av gjenvunnet tilslag med en pastavolum som er høyere enn den i referanse betong på 11,11%. Resirkulert betong R100pT hadde en bedre konsistens enn det naturlige motstykke, men trykkfastheten var redusert med 12% av det i referanse betongen.

Det ble observert at det er en reduksjon i elastisitetsmodulen i all resirkulert betong. Resultatene viste en reduksjon i gjennomsnittlig E-modul ved 100 % erstatning på opptil 15% i RP og 2% i RpT. Maksimalt tap i den 28-dagers E-modul er 15% i tilfelle der den resirkulerte betongen er 100% laget av gjenvunnet tilslag.

Til slutt, basert på min personlige eksperimentelle studie, kan det konkluderes med at gjenvunnet tilslag er egnet for produksjon av betong. Dette har stor betydning, særlig for mitt land Syria som pga. av krigen har store mengder bygg- og rivingsavfall. Dette må landet bli kvitt.

## 8 anbefalinger for fremtidige studier

Nedenfor er noen av anbefalingene for videre studier:

1. Flere Labororienterte tester bør gjøres på tilslag f.eks. Los Angeles test, tester for å sjekke tilslaget kjemiske egenskaper (sulfatinnhold og kloridinnhold), etc. I tillegg bør det sjekkes effekten av gjenvunnet tilslag på betongens egenskaper i herdet fase slik som bøyestrekfasthet, spaltfasthet, betongens svinn og kryp, etc.
2. Flere forsøk med flere forskjellige prosentandeler for utskifting av gjenvunnet tilslag (20, 40, 60, 80 og 100%) anbefales for å få mer oversiktlige resultater.
3. Lab forsøk om bruk av høyere doseringer av SP-stoff, og bruke mindre mengde pastavolum enn det ble brukt i RpT for å oppnå ønsket støpelighet.
4. Det er anbefalt å bruke størkningsretarderende med SP-stoff for å oppnå støpelighet i betongen uten å øke pastavolumet i blanding. Siden redarasjon er mindre jo mer finmalt sement, og retarderende effekten vil avta med økende vanninnhold i betongen.
5. Lab tester bør gjøres med å bruke større prosentvis av flygeaske i sement for å gjøre betong billigere og dens påvirkning på egenskapene til resirkulert betong i fersk og herdet fase.
6. Flere studier bør gjøres for å vurdere den økonomiske siden ved resirkulering av bygg og rivingsavfall og ved bruk av mer pastavolum i resirkulert betong.
7. Flere labororienterte tester bør gjøres for å finne andre bruksområder av fint gjenvunnet tilslag.
8. Flere studier og undersøkelser bør gjøres for å lage bygningsspesifikasjon og standarder for bruk av gjenvunnet tilslag i konstruksjon betong som naturlig tilslag.

## 9 Referanser

- Ajdukiewicz, A. & Kliszczewicz, A. (2002). Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. *Cement and Concrete Composites*, 24 (2): 269-279. doi: [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00012-9).
- America's Cement Manufacturers PCA. (2018a). *Aggregates*. Tilgjengelig fra: <https://www.cement.org/cement-concrete-applications/concrete-materials/aggregates>.
- America's Cement Manufacturers PCA. (2018b). *Concrete materials*. Tilgjengelig fra: <https://www.cement.org/cement-concrete-applications/concrete-materials> (lest 17.02.2019).
- America's Cement Manufacturers PCA. (2018c). *How concrete is made*. Tilgjengelig fra: <https://www.cement.org/cement-concrete-applications/how-concrete-is-made>
- Andres Salas, Brand, A. S., Roesler, J. R., Arboleda, C. & Lange, D. A. (2013). *Properties of recycled concrete aggregates for airfield rigid pavements* 34.
- Angulo, S. C., Carrijo, P. M., Figueiredo, A. D., Chaves, A. P. & John, V. M. (2010). On the classification of mixed construction and demolition waste aggregate by porosity and its impact on the mechanical performance of concrete. *Materials and Structures*, 43 (4): 519-528. doi: 10.1617/s11527-009-9508-9.
- Bistandsaktuelt. (2016). *Kostnader Syria*. Tilgjengelig fra: <https://bistandsaktuelt.no/nyheter/2016/kostnader-syria/> (lest 14.02.2019).
- Brown, R. H. & Marek, C. R. (1996). *Effect of crusher operation on coarse aggregate shape*. Tilgjengelig fra: [http://www.theconcreteproducer.com/\\_view-object?id=00000154-1cf8-db06-a1fe-7ff8052d0000](http://www.theconcreteproducer.com/_view-object?id=00000154-1cf8-db06-a1fe-7ff8052d0000) (lest 19.12.2018).
- Buyle-Bodin, F. & Hadjieva-Zaharieva, R. (2002). Influence of industrially produced recycled aggregates on flow properties of concrete. *Materials and Structures*, 35 (252): 504-509. doi: 10.1007/bf02483138.
- Byggforsk. (2010). *Tilsetningsstoffer for betong*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer\\_for\\_betong](https://www.byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer_for_betong) (lest 19.02.2019).
- Byggforsk. (2015). *Resirkulert tilslag av tegl og betong*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/3162/resirkulert\\_tilslag\\_av\\_tegl\\_og\\_betong](https://www.byggforsk.no/dokument/3162/resirkulert_tilslag_av_tegl_og_betong) (lest 14.02.2019).
- Byggforsk. (2016). *Sement typer, egenskaper og bruksområder*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/589/semnt\\_typer\\_egenskaper\\_og\\_bruksomraader](https://www.byggforsk.no/dokument/589/semnt_typer_egenskaper_og_bruksomraader) (lest 19.02.2019).
- Byggforsk RESIBA. (2002). *Forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag*. Tilgjengelig fra: <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2418539/Prosjektrapport328.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (lest 18.02.2019).
- Clean energy ideas. (2018). *Recycling definition*. Tilgjengelig fra: <https://www.clean-energy-ideas.com/energy-definitions/recycling-definition/> (lest 15.02.2019).
- Concrete Technology Today. (2002). *Recycled aggregate for reinforced concrete?* Tilgjengelig fra: [http://www2.cement.org/pdf\\_files/ct022.pdf](http://www2.cement.org/pdf_files/ct022.pdf) (lest 18.02.2019).
- Crawford, H. S. & Cullum-Kenyon, S. (2001). *Market development study for recycled aggregate products*. Tilgjengelig fra: <https://p2infohouse.org/ref/17/16669.pdf> (lest 29.02.2019).
- Department of the army U.S. (2004). *Reuse of concrete materials from building demolition*. Tilgjengelig fra: [https://www.wbdg.org/FFC/ARMYCOE/PWTB/pwtb\\_200\\_1\\_27.pdf](https://www.wbdg.org/FFC/ARMYCOE/PWTB/pwtb_200_1_27.pdf) (lest 18.02.2019).



- Dosho, Y. (2007). Development of a sustainable concrete waste recycling system - Application of recycled aggregate concrete produced by aggregate replacing method. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 5 (1): 27-42. doi: 10.3151/jact.5.27.
- Eguchi, K., Teranishi, K., Nakagome, A., Kishimoto, H., Shinozaki, K. & Narikawa, M. (2007). Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction. *Construction and Building Materials*, 21 (7): 1542-1551. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.023>.
- Fabeko. (2004). *Ny europeisk betongstandard*. Tilgjengelig fra: [https://fabeko.no/assets/Ny\\_eur\\_betongstandard-juli\\_2004.pdf](https://fabeko.no/assets/Ny_eur_betongstandard-juli_2004.pdf) (lest 16.02.2019).
- Fabeko. (2013). *VEILEDNING BRUK AV NS-EN 206:2013+NA:2014*. Tilgjengelig fra: [https://fabeko.no/assets/FABEKO\\_Veil-NS-EN206-2013\\_LowR.pdf](https://fabeko.no/assets/FABEKO_Veil-NS-EN206-2013_LowR.pdf) (lest 16.02.2019).
- Fatta, D., Papadopoulou, A., Avramikos, E., Sgourou, E., Moustakas, K., Kourmoussis, F., Mentzis, A. & Loizidou, M. (2003). Generation and management of construction and demolition waste in Greece—an existing challenge. *Resources, Conservation and Recycling*, 40 (1): 81-91. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(03\)00035-1](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(03)00035-1).
- Gjerp, P. & Opsahl, M. (1998). *Grunnleggende betongteknologi*. Oslo: Bygg og anlegg Media AS.
- González-Fonteboa, B. & Martínez-Abella, F. (2008). Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. Materials and mechanical properties. *Building and Environment*, 43 (4): 429-437. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.008>.
- Gonzalez-Taboada, I., Gonzalez-Fonteboa, B., Martinez-Abella, F. & Carro-Lopez, D. (2016). Study of recycled concrete aggregate quality and its relationship with recycled concrete compressive strength using database analysis. *Materiales De Construccion*, 66 (323): 18. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2016.06415>.
- Governments, T. J. C. o. & Judith E. Kincaid, J. D., Project Manager. (1995). *Model Specifications for Construction Waste Reduction, Reuse, and Recycling*. Tilgjengelig fra: <http://www.seas.columbia.edu/earth/RRC/documents/Model%20Specifications%20for%20Construction%20Waste%20reduction,%20reuse%20and%20recycling.pdf>.
- Hamassaki, L. T. & Neto, C. S. (1994). *Technical and economic aspects of constructioni demolltion w aste utiliza tion* Tilgjengelig fra: [https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB\\_DC24831.pdf](https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC24831.pdf) (lest 22.02.2019).
- Ismail, S. & Ramli, M. (2013). Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications. *Construction and Building Materials*, 44: 464-476. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.014>.
- Lauritzen, E. (2004). *Recycling concrete - An overview of challenges and opportunities*, b. 219. Farmington hills, farmington hills, mich.
- Li, X. (2008). Recycling and reuse of waste concrete in China: Part I. Material behaviour of recycled aggregate concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 53 (1): 36-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.09.006>.
- Malešev, M., Radonjanin, V. & Broćeta, G. (2014). Properties of recycled aggregate concrete *Contemporary Materials*, 2: 239 - 249.
- Mehta, P. K. & Monteiro, P. J. M. (2006). *Concrete: microstructure, properties and materials*. 3 utg. USA: McGraw-Hill Professional.
- Mehus, J., Lillestøl, B., Petkovic, G., Skaare, L. & Dønaasen, E. (2002). *The use of recycled concrete aggregates in the Norwegian building and construction industry* Tilgjengelig fra: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB4338.pdf> (lest 20.02.2019).
- Mishra, R. K., Tripathi, R. K. & Dubey, V. (2016). Early age shrinkage pattern of concrete on replacement of fine aggregate with industrial by-product. *Journal of Radiation*

- Research and Applied Sciences*, 9 (4): 386-391. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2016.05.003>.
- Modulus of elasticity*. (u.å.). Tilgjengelig fra: <https://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/BUM1/Chapter15.pdf>.
- Maage, M. (2015). *Betong Regelverk, teknologi og utførelse*. 1. utg. Oslo: Byggenæringens Forlag AS.
- Najjar, A. (2018). *Damage caused by the syrian civil war: What the data say?: Towards Data Science*. Tilgjengelig fra: <https://towardsdatascience.com/damage-caused-by-the-syrian-civil-war-what-the-data-say-ebad5796fca8> (lest 18.02.2019).
- Nelson & NGO, S. C. (2004). *High-Strength Structural Concrete with Recycled Aggregates*: University of Southern Queensland Faculty of Engineering Surveying.
- Norsk Betongforening. (2016). *Visste du dette om betong og miljø?* Tilgjengelig fra: [https://betong.net/wp-content/uploads/175705-Visste-du-dette-om-betong-og-milj%C3%B8\\_Oppdatert-versjon.pdf](https://betong.net/wp-content/uploads/175705-Visste-du-dette-om-betong-og-milj%C3%B8_Oppdatert-versjon.pdf).
- Obla, K., Kim, H. & Lobo, C. (2007). *Crushed returned concrete as aggregates for new concrete* Tilgjengelig fra: [http://triagstone.com/cms/ReadyMixfiles/PDF/Sustainability/Crushed\\_Retuned\\_Concrete\\_Aggregates.pdf](http://triagstone.com/cms/ReadyMixfiles/PDF/Sustainability/Crushed_Retuned_Concrete_Aggregates.pdf) (lest 17.02.2019).
- Paranavithana, S. & Mohajerani, A. (2006). Effects of recycled concrete aggregates on properties of asphalt concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 48 (1): 1-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.12.009>.
- Poon, C. S., Shui, Z. H., Lam, L., Fok, H. & Kou, S. C. (2004). Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, 34 (1): 31-36. doi: [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00186-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00186-8).
- protection, D. o. e. e. (2013). *What is construction and demolition waste?* . Tilgjengelig fra: <https://www.ct.gov/deep/cwp/view.asp?A=2718&Q=325398> (lest 17.02.2019).
- Ramchuriter, A. S. C. a. M. (2014). Use of recycled concrete aggregates in structural concrete in Mauritius.
- Rao, A., Jha, K. N. & Misra, S. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 50 (1): 71-81. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.010>.
- research, U. n. i. f. t. a. (2013-2017). *Maps, Syria*. Tilgjengelig fra: <https://www.unitar.org/unosat/maps/SYR> (lest 16.02.2019).
- Robinson, G. R., Menzie, W. D. & Hyun, H. (2004). Recycling of construction debris as aggregate in the Mid-Atlantic Region, USA. *Resources, Conservation and Recycling*, 42 (3): 275-294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.04.006>.
- Šahinagić-Isović, M., Goran Markovski & Čeček, M. (2012). *Shrinkage strain of concrete causes and types*. Tilgjengelig fra: [http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE\\_64\\_2012\\_9\\_2\\_1017\\_EN.pdf](http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE_64_2012_9_2_1017_EN.pdf) (lest 17.02.2019).
- Shepard, N. G. a. K. (2006). *The history of concrete*. Tilgjengelig fra: <https://www.nachi.org/history-of-concrete.htm> (lest 18.02.2019).
- Singh, R. & singh, J. (2015). *Recycled aggregate concrete (RAC)- a sustainable approach for construction industry*. Tilgjengelig fra: <http://euroasiapub.org/recycled-aggregate-concrete-rac-a-sustainable-approach-for-construction-industry/> (lest 18.02.2019).
- Sintef. (2017). *Utvikling og gjenbruk av resirkulert tilslag fra gravemasser*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/utvikling-og-gjenbruk-av-resirkulert-tilslag-fra-g/> (lest 16.02.2019).
- Srivastava, A. K. L. (2013). *Study on the use of recycled aggregate in concrete*. IJESRT Tilgjengelig fra:

- [http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archives%202013/feb\\_2013/3.pdf](http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archives%202013/feb_2013/3.pdf) (lest 19.02.2019).
- Standard Norge. (2009a). *NS-EN 933-11: 2009. Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 11: Metode for klassifisering av bestanddelene av grovt resirkulert tilslag.*
- Standard Norge. (2009b). *NS-EN 12350-2: 2009. Prøving av fersk betong - Del 2: synkmål.*
- Standard Norge. (2009c). *NS-EN 12350-6: 2009. Prøving av fersk betong - Del 6: densitet.*
- Standard Norge. (2009d). *NS-EN 12350-7: 2009. Prøving av fersk betong - Del 7: luftinnhold - trykkmetoder.*
- Standard Norge. (2009e). *NS-EN 12390-2: 2009. Prøving av herdnet betong - Del 2: støping og herdning av prøvelegemer for fasthetsprøving.*
- Standard Norge. (2009f). *NS-EN 12390-3:2009. Prøving av herdnet betong - Del 3: prøvelegemers trykkfasthet.*
- Standard Norge. (2009g). *NS-EN 12390-7:2009. Prøving av herdnet betong - Del 7: Densitet av herdnet betong.*
- Standard Norge. (2010). *NS-EN 13670:2009+NA:2010. Utførelse av betongkonstruksjoner.*
- 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 934-2:2009+A1:2012. Tilsetningsstoffer for betong, mørtel og injiseringsmasse - Del 2:tilsetningsstoffer for betong - definisjoner, krav, samsvar, merking og etikettering.*
- Standard Norge. (2012c). *NS-EN 1744-1:2009+A1:2012. Prøvningsmetoder for kjemiske egenskaper for tilslag - Del 1: kjemisk analyse.*
- Standard Norge. (2012d). *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. (2016). *NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2016. Tilslag for betong.*
- Standard Norge. (2017). *NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017. Betong - spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar.*
- Standard Norge. (2018). *NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA: 2018, Eurokode 2: prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: allmenne regler og regler for bygninger.*
- Statens Vegvesen. (2009). *Volumendringer og risstendens i betong.* Tilgjengelig fra: [https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/194017/volumendringer\\_og\\_risstendens\\_i\\_betong.pdf?sequence=1](https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/194017/volumendringer_og_risstendens_i_betong.pdf?sequence=1) (lest 18.02.2019).
- Statens Vegvesen. (2016). *Laboratorieundersøkelser, Håndbok R210.* Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/attachment/185231/binary/1090658> (lest 18.02.2019).
- Store norske leksikon. (2009). *kryp.* Tilgjengelig fra: <https://snl.no/kryp> (lest 19.02.2019).
- Tam, V. W. Y. & Tam, C. M. (2006). Evaluations of existing waste recycling methods: A Hong Kong study. *Building and Environment*, 41 (12): 1649-1660. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.06.017>.
- Tam, V. W. Y., Tam, C. M. & Le, K. N. (2007). Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches. *Resources, Conservation and Recycling*, 50 (1): 82-101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.012>.
- Teach Engineering. (2011). *Mechanics of Elastic Solids.* Tilgjengelig fra: [https://www.teachengineering.org/lessons/view/cub\\_surg\\_lesson02](https://www.teachengineering.org/lessons/view/cub_surg_lesson02) (lest 17.02.2019).
- The Hong Kong Polytechnic University PolyU. (u.å.). *Environmentally friendly bricks & blocks from recycled aggregates.* Tilgjengelig fra: <http://www.zn903.com/cecspoon/gd.pdf> (lest 16.02.2019).

- The Statistics Portal. (2010-2017). *Percentage of housing units damaged or destroyed in Syria as of 2017, by city*. Tilgjengelig fra: <https://www.statista.com/statistics/742054/share-of-housing-damaged-or-destroyed-syria/> (lest 16.02.2019).
- United States Environmental Protection Agency EPA. (2017). *Sustainable Management of Construction and Demolition Materials*. Tilgjengelig fra: <https://www.epa.gov/smm/sustainable-management-construction-and-demolition-materials> (lest 21.02.2019).
- Wagih, A. M., El-Karmoty, H. Z., Ebid, M. & Okba, S. H. (2013). Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete. *HBRC Journal*, 9 (3): 193-200. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2013.08.007>.
- Wikipedia. (2018a). *Betong*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Betong> (lest 15.02.2019).
- Wikipedia. (2018b). *Demolition waste*. Tilgjengelig fra: [https://en.wikipedia.org/wiki/Demolition\\_waste](https://en.wikipedia.org/wiki/Demolition_waste) (lest 15.02.2019).
- Wikipedia. (2019). *Construction waste*. Tilgjengelig fra: [https://en.wikipedia.org/wiki/Construction\\_waste](https://en.wikipedia.org/wiki/Construction_waste) (lest 15.02.2019).
- Worksafe Victoria. (2007). *Recycling construction and demolition material*. Tilgjengelig fra: <https://www.worksafe.vic.gov.au/resources/recycling-construction-and-demolition-material> (lest 18.02.2019).
- World steel association. (2016). *Steel - the permanent material in the circular economy*. Tilgjengelig fra: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:7e0dc90a-3efe-41bc-9fb4-85f9e873dfc7/Steel+-+The+Permanent+Material+in+the+Circular+Economy.pdf> (lest 18.02.2019).
- Aatheesan, T. (2011). *Engineering properties and applications of recycled brick rubble*. Doctor of Philosophy Swinburne University of Technology

## 10 Vedlegg

### 10.1 Vedlegg A: Materialer

#### 1. Aalborg Rapid og Flygeaske



#### Ytelseserklæring

Nr. 9806/04-01-DoP

<b>1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen:</b>		
RAPID®-sment – Portlandsement EN 197-1:2011 - CEM I 52,5 N		
<b>2. Bruksområder:</b>		
Fremstilling av betong, murmørtel, injiseringsmørtel og andre blandinger til bygningsformål og til produksjon av bygningsprodukter.		
<b>3. Produsent:</b>		
Aalborg Portland A/S, Rørdalsvej 44, 9220 Aalborg, Danmark		
<b>4. Autorisert representant:</b>		
Ikke relevant		
<b>5. AVCP-system:</b>		
System 1+		
<b>6. Harmonisert standard:</b>		
EN 197-1:2011 Bureau Veritas-sertifisering – ID-nummer 0615		
<b>7. Deklarert ytelse:</b>		
<b>Vesentlige egenskaper</b>	<b>Ytelse</b>	<b>Harmonisert teknisk spesifikasjon</b>
Hovedbestanddeler og sammensetning	Portlandsementklinker 95–100 % Ytterligere bestanddeler i mindre mengder 0–5 %	EN 197-1:2011
Trykkfasthet: 2 dager	≥ 20,0 MPa	
28 dager	≥ 52,5 MPa	
Tid til begynnende styrkning	≥ 45 min.	
Uløselig rest	≤ 5,0 %	
Glødetap	≤ 5,0 %	
Volumbestandighet - Ekspansjon - SO <sub>3</sub> -innhold	≤ 10 mm ≤ 4,0 %	
Kloridinnhold	≤ 0,10 %	

8. Ytelsen til produktet som er angitt ovenfor, samsvarer med de deklarete ytelsene. Denne ytelseserklæringen er i utstedt i samsvar med forordning (EU) nr. 305/2011 på eget ansvar av produsenten som er angitt ovenfor.

Aalborg 8. desember 2017

På vegne av produsenten:

  
Henriette Charlotte Nikolaisen, Manager Environment, Energy and QMS  
Aalborg Portland A/S





# Declaration of Performance



pursuant to Annex III of Regulation (EU) No. 305/2011

No. 0432-CPR-00045-01

- 1 Identification code Fly ash for concrete to DIN EN 450-1  
 2 Type designation **Moorment**  
 3 Intended use Additive for the manufacture of concrete  
 4 Manufacturer Vattenfall Heizkraftwerk Moorburg GmbH  
 Moorburger Schanze 2  
 D-21079 Hamburg / Germany  
 5 Authorized representative N/A  
 6 System of assessment System 1+  
 7 Declaration of performance The notified body Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen (NB 0432) has performed the
- determination of the product type on the basis of a type test (including sampling),
  - initial inspection of the plant and the factory production control,
  - continuing surveillance, assessment and evaluation of the factory production control, and
  - random sample testing of samples taken before the product was put on the market
- in accordance with System 1+, and has issue the certificate of constancy of performance no. 0432-CPR-00045-01.

8 Declared performance	Essential characteristic	Performance	Harmonized technical specification
	Activity index	Passed	EN 450-1: 2012
	Fineness	Category N 15–35 % by mass	
	Soundness	Passed	
	• Expansion	Passed	
	• Free CaO	Passed	
	Loss on ignition	Category A	
	Composition		
	• Total content of silicon dioxide, aluminium oxide and iron oxide	Passed	
	• Total content of alkalis	Passed	
	• Reactive silicon oxide	Passed	
	• Sulphate content	Passed	
	• Chloride	Passed	
	• Reactive calcium oxide	Passed	
	• Magnesium oxide	Passed	
	• Soluble phosphate	Passed	
	• Total phosphate content	Passed	
	Particle density	2.070 – 2.470 kg/m <sup>3</sup>	
	Initial setting time	Passed	
	Durability	Given	
	Dangerous substances and emission of radioactivity	Harmless as per Z-3.31-2088	

- 9 Responsibility No data required under Article 31 of REACH. The product is registered and does not have any hazardous properties under CLP regulations.  
 The performance of the product identified in nos. 1 and 2 is in conformity with the declared performance in no. 8. This declaration of performance is issued under the sole responsibility of the manufacturer identified in no. 4.

Signed for and on behalf of the manufacturer by:

Hamburg, 15.02.2017

  
 Dr. Karsten Schneiker, Head of Moorburg Power Plant

## 2. Superplastiserende stoff



# MasterGlenium SKY 899

Aug. 2016

### Lav viskositet, superplastiserende tilsetningsstoff til produksjon av alle typer betong

#### PRODUKTBEKRIVELSE

MasterGlenium SKY 899 er et superplastiserende tilsetningsstoff basert på polykarboxylater (PCE). MasterGlenium SKY 899 er primært utviklet til bruk ved produksjon av ferdigbetong. Den gir en forsinkelse i absorpsjonen på sementpartiklene og dispergerer dermed effektivt. Sammenlignet med andre PCE-produkter, er det mulig å oppnå høykvalitetsbetong med lang brukstid uten at herdeprosessen forsinkes.

Total Performance Control konseptet sikrer at betongprodusenter, entreprenører og byggherrer får en betong som er av samme høye kvalitet som opprinnelig spesifisert.

#### BRUKSOMRÅDER

MasterGlenium SKY 899 anvendes til produksjon av alle typer betong.

#### EGENSKAPER

MasterGlenium SKY 899 gir følgende fordeler:

- Høy plastiserende effekt.
- God stabilitet.
- Lang brukstid.
- Lite konsistenstap over de første 90 minutter.
- Rask styrkning og herding.
- Rask innblandingstid

#### DOSERING

Minimum: 0,2 % av sementmengden + pozzolaner  
Maksimum: 2,0 % av sementmengden + pozzolaner

Andre doseringsmengde kan være aktuelt i spesielle tilfeller og under spesielle bygge omstendigheter. Ta kontakt BASF AS.

#### BRUKSANVISNING

MasterGlenium SKY 899 er klar til bruk og tilsettes betongblandingen som en separat komponent. For å oppnå optimalt resultat, anbefales det å tilsette MasterGlenium SKY 899 sammen med blandevannet eller når alle materialer er våte. Unngå tilsetning av MasterGlenium SKY 826 i tørre materialer.

#### KOMPATIBILITET

Kan benyttes sammen BASF AS sine tilsetningsstoffer etter henvisning fra BASF AS sitt personale. I tilfelle med optimering av spesielle krav kan anvendelse av følgende kompatible produkter anbefales:

- MasterMatrix 101 for fremstilling av betong med enda bedre stabilitet.
- Luftinnførende tilsetningsstoff MasterAir 100 eller MasterAir 11 for å forbedre fryse/tine motstand.
- Master X-Seed akselerator for høyere tidlig- fasthet.
- MasterSet R433 for retardering av betongblandingen.

#### FORPAKNING

Leveres i bulk, IBC, 200 L Fat.

#### LAGRING

Produktet skal oppbevares i tett lukket beholder ved temperaturer mellom +5 °C og +30 °C.

Holdbarheten er 12 mnd. Omrøring anbefales.

#### SIKKERHETSTILTAK

Se eget sikkerhetsdatablad.

Forbehold for endringer og trykkfeil.





## MasterGlenium SKY 899

Aug. 2016

Lav viskositet, superplastiserende tilsetningsstoff til produksjon av alle typer betong

Tekniske data	
Produkt	Superplastiserende tilsetningsstoff
Konsistens	Viskøs væske
Farge	Gul
Tørrestoff	20 ±1,5%
Kloridinnhold	<0,01%
Ekvivalent Na <sub>2</sub> O	<2,0%
Density	1,04±0,02 kg/ltr.
pH-verdi	8,0±1,5

<b>CE</b>	
1111	
BASF AS Granerud Industriområde NO-2120 Sagstua 1111-CPD-0034 EN 934-2:2001	
<b>MasterGlenium SKY 661</b> Vannreducerende/superplastiserende tilsetningsstoff	
NS-EN 934-2; T3.1/3.2	
Maksimum kloridinnhold:	< 0,01 %
Maksimum alkalieinnhold:	< 1,0 %
Helseskadelige bestanddeler:	Ingen

**BASF AS**  
Gullfotdalen 4  
NO-2120 Sagstua  
T +47 62 97 00 20  
F +47 62 97 18 85  
[www.master-builders-solutions.basf.no](http://www.master-builders-solutions.basf.no)



**NOTE:**

Teknisk informasjon og arbeidsanvisning er overlevert av BASF AS med det formål å hjelpe brukeren til å få det best mulige og mest økonomiske resultatet. Våre anvisninger er basert på mange års erfaring og på våre nåværende kunnskaper. Fordi arbeidsforholdene hos brukeren ligger utenfor vår kontroll, kan vi ikke påta oss ansvar for resultatene som en bruker oppnår ved bruk av dette produktet. Det påligger alltid brukeren å ta de nødvendige forholdsregler i det aktuelle tilfellet for å overholde gjeldende regler. Hvis det oppstår tvil om produktets egenskaper eller bruk, skal BASF AS kontaktes umiddelbart.

NB Fordi alle våre datablader oppdateres løpende, er det brukerens ansvar å skaffe seg siste versjon.

### 3. Naturlig tilslag Svelvik 0-8 mm



#### YTELSESERKLÆRING NR. YT12620-1100082-7 CPR 14.08.17

1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen	1100082- 0/8 støpesand
2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4	støpesand 0/8
3. Produsentens tilsktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen	Tilslag for betong
4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5	Svelviksand AS Fjordveien 21b 3490 Klokkarstua
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 som 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:2009 Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med System 2+ basert på første-gangsrevisjon 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:	

Cecilie Hagby, Daglig leder

(navn og stilling)

Verket, 14.08.17

(sted og utstedelsesdato)



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

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	0/8
Gradering	G <sub>NG</sub> 90
Deklarerte typisk gradering (sikterest)	0,063 mm: 97-100% 0,125 mm: 94-98% 0,250 mm: 85-95% 1 mm: 45-57% 2 mm: 24-36% 8 mm: 0-6%
Kornform for grovt tilslag	Ikke bestemt
Korndensitet	2.67
Vannabsorpsjon	0.7
Skjellinnhold i grovt tilslag	Ikke bestemt
Motstand mot frysing/fining for grovt tilslag	Bestendig pga. 0,7% vannabsorpsjon
Finstoffinnhold	f10 (normalverdi: 4,5%)
Kvalitet på finstoff	Ikke bestemt
Slaminhold	7 %
Alkali-silika-reaktivitet	SV=30,5%
Klorider	0,0001%
Syreløselig sulfat	AS <sub>0,2</sub>
Totalt innhold av svovel	0,026%
Bestanddelere som påvirker styrknings- og herdetiden for betong	Lysere enn standardfarge
Farlige stoffer	ingen kjente
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	Sand fra løsmasseforekomst. Inneholder granitt-, gneis-, silt-, sand- og leirstein samt mørke bergarter og frikorn av kvarts og feltspat. Kornformen er hovedsak kubisk med rundet og kantrundet kornform. Kornene hadde et tynt støvbelegg som lar seg lett vaske av med vann. Kornoverflatene er friske og uforvittret. enkelte svake korn kan forekomme.
Innholder < 15% kalkstein	Ja
Motstand mot knusing	LA <sub>20</sub>
Motstand mot polering/slitasje	Ikke bestemt
Volumstabilitet	Ikke bestemt
Sammensetning/innhold: - Bestanddeler i grovt resirkulert tilslag - Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag - Innflytelse på begynnende styrkning av sement (resirkulert tilslag) - Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong	Ikke bestemt

## 4. Naturlig tilslag Svelvik 8-16 mm



### YTELSESERKLÆRING NR. YT12620-1208162-7 CPR 14.08.17

1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen	1208162 - singel 8/16
2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4	
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 i henhold til artikkel 11 nr. 5	Svelviksand AS Fjordveien 21b 3490 Klokkarstua
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 som 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:2009 Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med System 2+ basert på første-gangsrevisjon 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:	

cecilie Hagby, Daglig leder

(navn og stilling)

Verket, 14.08.17

(sted og utstedelsesdato)



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

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	8/16
Gradering	G <sub>8</sub> 80/20
Deklarerte typisk gradering (sikterest)	
Kornform for grovt tilslag	FI <sub>16</sub>
Kordensitet	2.7
Vannabsorpsjon	0.8
Skjellinnhold i grovt tilslag	SC (Normalverdi: %) 100
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	Bestendig pga. 0,8% vannabsorpsjon
Finstoffinnhold	f4 (Normalverdi: <2%)
Kvalitet på finstoff	Ikke bestemt
Alkali-silika-reaktivitet	SV=57,2%
Klorider	0.0001%
Syreløselig sulfat	AS <sub>0,2</sub>
Totalt innhold av svovel	0,098%
Bestanddeler som påvirker styrknings- og herdetiden for betong	Lysere enn standardfarge
Farlige stoffer	Ingen kjente
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	Natur og delvis knust singel fra løsmasseforekomst. Inneholder granitt-, gneis-, silt-, sand- og leirstein samt mørke bergarter og frikom av kvarts og feltspat. Kornformen er hovedsak kubisk med rundet og kantrundet kornform. Kornene hadde et tynt støvbelegg som lar seg lett vaske av med vann. Kornoverflatene er friske og uforvitret. Det er påvist enkelte svake brunlige korn.
Innholder < 15% kalkstein	Ja
Motstand mot knusing	LA <sub>20</sub>
Motstand mot polering/slitasje	Ikke bestemt
Volumstabilitet	Ikke bestemt
Sammensetning/innhold: - Bestanddeler i grovt resirkulert tilslag - Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag - Innflytelse på begynnende styrkning av sement (resirkulert tilslag) - Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong	Ikke bestemt

## 10.2 Vedlegg B: Blandeskjemaer

### 1. Naturlig betong N3

unicon CEMENTIR HOLDING		N3, referansebetong B30M60 med 100% Svelvik.							Blandeskjema		unicon CEMENTIR HOLDING
Delmat Delmaterialer		k=	kg	pulver	liter	Densitet kg/l	FA andel %	kg	20	Liter	
Pulver	Aalborg Rapid	1,00	237,2	80,00	75,1	3,16	0 %	0	4,744	kg	Aalborg Rapid
	FA	1,00	59,3	20,00	25,8	2,30	0 %	0	1,186	kg	FA
	Silika	2,00	0	0,0	0,0	2,20			0,000	kg	Silika
		0,00	0		0,0	2,20			0,000	kg	0
				Sum pulver:	100,0		% FA =	0,0%			
TSS	slurry		0,00	0,00	0,00	1,70		50,0 %	0	g	slurry
	Amex 11 1:19		0,00	0,00	0,00	1,00		99,1 %	0	g	Amex 11 1:19
	SP-stoff		1,50	0,63	1,43	1,05		80,0 %	30	g	SP-stoff
Tilslag	0-8 Svelvik	San	1069	56,0	397,6	2,69	0,7%	2,3%	21,739	kg	0-8 Svelvik
	8-16 Svelvik	<16m	845	44,0	312,4	2,71	0,8%	0,8%	16,906	kg	8-16 Svelvik
	Resirkulert	>16m	0	0,0	0,0	2,55	4,5%	6,3%	0,000	kg	Resirkulert
		>16m	0	0,0	0,0	0,00	0,0%		0,000	kg	0
				Sum tilslag:	100,0		Abs Fukt				
LUFTINNHOOLD I FERSK BETONG			2,0		20,0				0,4	Liter	luft
v/(c*k+s*k+fa*k)			0,570						0,569	masseforhold	
VANN			169,3			1,00					
Tilsatt vann			168,1		168,1				3,004	Tilsatt vann	
SUM			2380,5		1000				47,609	kg	
Matrix			296						20,000	liter	
Pasta			270						Terninger merkes		
Effektiv Bindemiddel			296,5	kg	Pulver	296,00	kg				
Matrix											
Pasta inkl Luft			290	Pastavolum brukes							
Beregnet Pasta ex Luft			270								

## 2. Resirkulert betong RP med økning i kun pasta.

- R25P

unicon CEMENTIR HOLDING		R25P							Blandeskjema		unicon CEMENTIR HOLDING
Delmat Delmaterialer		k=	kg	vekt % pulver	liter	Densitet kg/l	FA andel % kg		20	Liter	
Pulver	Aalborg Rapid	1,00	254,8	80,00	80,6	3,16	0 %	0	5,096	kg	Aalborg Rapid
	FA	1,00	63,7	20,00	27,7	2,30	0 %	0	1,274	kg	FA
	Silika	2,00	0	0,0	0,0	2,20			0,000	kg	Silika
		0,00	0		0,0	2,20			0,000	kg	0
			Sum pulver:	100,0			% FA =	0,0%			
TSS	slurry		0,00	0,00	0,00	1,70		50,0 %	0	g	slurry
	Amex 11 1:19		0,00	0,00	0,00	1,00		99,1 %	0	g	Amex 11 1:19
	SP-stoff		1,50	0,59	1,42	1,05		80,0 %	30	g	SP-stoff
				Sum TSS:							
Tilslag	0-8 Svelvik	San	1039	56,0	386,3	2,69	0,7%	2,0%	21,063	kg	0-8 Svelvik
	8-16 Svelvik	<16m	616	33,0	227,7	2,71	0,8%	0,6%	12,295	kg	8-16 Svelvik
	Resirkulert	>16m	193	11,0	75,9	2,55	4,5%	4,9%	3,883	kg	Resirkulert
		>16m	0	0,0	0,0	0,00	0,0%		0,000	kg	0
				Sum tilslag:	100,0						
LUFTINNHOOLD I FERSK BETONG			2,0		20,0				0,4	Liter	luft
v/(c*k+s*k+fa*k)			0,570						0,571	masseforhold	
VANN			181,3			1,00					
Tilsatt vann			180,1		180,1				3,328		Tilsatt vann
SUM			2348,5		1000				46,970	kg	
Matrix			313						20,000	liter	
Pasta			290								
Effektiv Bindemiddel			318,5	kg	Pulver	319,00	kg				Terninger merkes
Matrix											
Pasta inkl Luft			310		Pastavolum brukes						
Beregnet Pasta ex Luft			290								



- R50P

unicon CEMENTIR HOLDING		R50P							Blandeskjema		unicon CEMENTIR HOLDING
Deimat Deimaterialer		k=	kg	vekt % pulver	Densitet liter	FA andel kg/l	%	kg	20	Liter	
Pulver	Aalborg Rapid	1,00	272,4	80,00	86,2	3,16	0 %	0	5,448	kg	Aalborg Rapid
	FA	1,00	68,1	20,00	29,6	2,30	0 %	0	1,362	kg	FA
	Silika	2,00	0	0,0	0,0	2,20			0,000	kg	Silika
		0,00	0		0,0	2,20			0,000	kg	0
Sum pulver			100,0			% FA =	0,0%				
TSS	slurry		0,00	0,00	0,00	1,70		50,0 %	0	g	slurry
	Amex 11 1:19		0,00	0,00	0,00	1,00		99,1 %	0	g	Amex 11 1:19
	SP-stoff		1,50	0,55	1,42	1,05		80,0 %	30	g	SP-stoff
Tilslag	0-8 Svelvik	San	1009	56,0	375,1	2,69	0,7%	2,3%	20,501	kg	0-8 Svelvik
	8-16 Svelvik	<16m	399	22,0	147,4	2,71	0,8%	0,6%	7,959	kg	8-16 Svelvik
	Resirkulert	>16m	375	22,0	147,4	2,55	4,5%	4,9%	7,541	kg	Resirkulert
		>16m	0	0,0	0,0	0,00	0,0%		0,000	kg	0
Sum tilslag			100,0								
LUFTINNHOOLD I FERSK BETONG			2,0		20,0				0,4	Liter	luft
v/(c*k+s*k+fa*k)			0,570						0,571	masseforhold	
VANN			193,8			1,00					
Tilsatt vann			192,6		192,6				3,515	Tilsatt vann	
SUM			2317,8		1000				46,356	kg	
SUM			2317,8		1000				20,000	liter	
Matrix			331	L ex luft							
Pasta			310	L ex luft							
Effektiv Bindemiddel			340,5	kg	Pulver	341,00	kg				
Matrix											
Pasta inkl Luft			330	Pastavolum brukes							
Beregnet Pasta ex Luft			310								



- R100P

unicon CEMENTIR HOLDING		R100P							Blandeskjema		unicon CEMENTIR HOLDING
Delmat Delmaterialer		k=	kg	vekt % pulver	liter	Densitet kg/l	FA andel % kg		20	Liter	
Pulver	Aalborg Rapid	1,00	307,6	80,00	97,3	3,16	0 %	0	6,152	kg	Aalborg Rapid
	FA	1,00	76,9	20,00	33,4	2,30	0 %	0	1,538	kg	FA
	Silika	2,00	0	0,0	0,0	2,20			0,000	kg	Silika
		0,00	0		0,0	2,20			0,000	kg	0
Sum pulver				100,0			% FA =		0,0%		
				% sement				Fuktinnhold			
TSS	slurry		0,00	0,00	0,00	1,70	50,0 %		0	g	slurry
	Amex 11 1:19		0,00	0,00	0,00	1,00	99,1 %		0	g	Amex 11 1:19
	SP-stoff		1,50	0,49	1,42	1,05	80,0 %		30	g	SP-stoff
				% restvolum				Abs Fukt			
Tilslag	0-8 Svelvik	Sanv	949	56,0	352,7	2,69	0,7%	2,3%	19,287	kg	0-8 Svelvik
	8-16 Svelvik	<16m	0	0,0	0,0	2,71	0,8%	0,8%	0,000	kg	8-16 Svelvik
	Resirkulert	>16m	706	44,0	277,1	2,55	4,5%	6,3%	14,369	kg	Resirkulert
		>16m	0	0,0	0,0	0,00	0,0%		0,000	kg	0
Sum tilslag				100,0							
LUFTINNHOOLD I FERSK BETONG			2,0		20,0				0,4	Liter	luft
v/(c*k+s*k+fa*k)			0,570						0,571	masseforhold	
VANN			218,9			1,00					
Tilsatt vann			217,7		217,7				3,793	Tilsatt vann	
SUM			2258,4		1000				45,169	kg	
SUM									20,000	liter	
Matrix			367	L ex luft							
Pasta			350	L ex luft							
Effektiv Bindemiddel			384,5	kg	Pulver	385,00	kg		Terninger merkes		
Matrix											
Pasta inkl Luft			370	Pastavolum brukes							
Beregnet Pasta ex Luft			350								

### 3. Resirkulert betong RpT med økning i pasta og SP-stoff.

- R25pT

unicon CEMENTIR HOLDING		R25pT							Blandeskjema	
Delmat Delmaterialer		k=	kg	vekt % pulver	liter	Densitet kg/l	FA andel %	kg	20	Liter
Pulver	Aalborg Rapid	1,00	244,4	80,00	77,3	3,16	0 %	0	4,888	Aalborg Rapid
	FA	1,00	61,1	20,00	26,6	2,30	0 %	0	1,222	FA
	Silika	2,00	0	0,0	0,0	2,20			0,000	Silika
		0,00	0		0,0	2,20			0,000	0
Sum pulver:				100,0			% FA =	0,0%		
TSS	slurry		0,00	0,00	0,00	1,70		50,0 %	0 g	slurry
	Amex 11 1:19		0,00	0,00	0,00	1,00		99,1 %	0 g	Amex 11 1:19
	SP-stoff		2,00	0,82	1,90	1,05		80,0 %	40 g	SP-stoff
Tilslag	0-8 Svelvik	San	1058	56,0	393,2	2,69	0,7%	3,9%	21,825	0-8 Svelvik
	8-16 Svelvik	<16m	627	33,0	231,7	2,71	0,8%	1,2%	12,586	8-16 Svelvik
	Resirkulert	>16m	197	11,0	77,2	2,55	4,5%	6,2%	4,001	Resirkulert
		>16m	0	0,0	0,0	0,00	0,0%		0,000	0
Sum tilslag:				100,0			Abs Fukt			
LUFTINNHOOLD I FERSK BETONG			2,0		20,0				0,4	Liter luft
v/(c*k+s*k+fa*k)			0,570						0,569	masseforhold
VANN			173,9			1,00				
Tilsatt vann			172,3		172,3				2,663	Tilsatt vann
SUM			2361,2		1000				47,224	kg
									20,000	liter
Matrix			301	L ex luft						
Pasta			278	L ex luft						
Effektiv Bindemiddel			305,5	kg	Pulver	305,00	kg			
Matrix										
Pasta inkl Luft			297,5	Pastavolum brukes						
Beregnet Pasta ex Luft			277,5							

- R50pT

UNICON CEMENTIR HOLDING		R50pT							Blandeskjema		UNICON CEMENTIR HOLDING
Deimat Deimaterialer		k=	kg	vekt % pulver	liter	Densitet kg/l	FA andel %	kg	20	Liter	
Pulver	Aalborg Rapid	1,00	250,8	80,00	79,4	3,16	0 %	0	5,016	kg	Aalborg Rapid
	FA	1,00	62,7	20,00	27,3	2,30	0 %	0	1,254	kg	FA
	Silika	2,00	0	0,0	0,0	2,20			0,000	kg	Silika
		0,00	0		0,0	2,20			0,000	kg	0
			Sum pulver:	100,0			% FA =	0,0%			
TSS	slurry		0,00	0,00	0,00	1,70		50,0 %	0	g	slurry
	Amex 11 1:19		0,00	0,00	0,00	1,00		99,1 %	0	g	Amex 11 1:19
	SP-stoff		2,50	1,00	2,38	1,05		80,0 %	50	g	SP-stoff
Tilslag				% restvolum			Abs Fukt				
	0-8 Svelvik	San	1047	56,0	389,1	2,69	0,7%	3,9%	21,596	kg	0-8 Svelvik
	8-16 Svelvik	<16m	414	22,0	152,9	2,71	0,8%	1,2%	8,303	kg	8-16 Svelvik
	Resirkulert	>16m	389	22,0	152,9	2,55	4,5%	6,2%	7,917	kg	Resirkulert
		>16m	0	0,0	0,0	0,00	0,0%		0,000	kg	0
			Sum tilslag:	100,0							
LUFTINNHOLD I FERSK BETONG			2,0		20,0				0,4	Liter luft	
v/(c*k+s*k+fa*k)			0,570						0,569	masseforhold	
VANN			178,4			1,00					
Tilsatt vann			176,4		176,4				2,706	Tilsatt vann	
SUM			2342,1		1000				46,842	kg	
									20,000	liter	
Matrix			307	L ex luft							
Pasta			285	L ex luft							
Effektiv Bindemiddel			313,5	kg	Pulver:	313,00	kg				Terninger merkes
Matrix											
Pasta inkl Luft			305	Pastavolum brukes							
Beregnet Pasta ex Luft			285								

- R100pT

unicon CEMENTIR HOLDING		R100pT							Blandeskjema		unicon CEMENTIR HOLDING	
Delmat Delmaterialer		k=	kg	vekt % pulver	liter	Densitet kg/l	FA andel %	kg	20	Liter	Oppveide mengder	
Pulver	Aalborg Rapid	1,00	263,6	80,00	83,4	3,16	0 %	0	5,272	kg	Aalborg Rapid	
	FA	1,00	65,9	20,00	28,7	2,30	0 %	0	1,318	kg	FA	
	Silika	2,00	0	0,0	0,0	2,20			0,000	kg	Silika	
		0,00	0		0,0	2,20			0,000	kg	0	
Sum pulver:				100,0			% FA =:	0,0%				
TSS	slurry		0,00	0,00	0,00	1,70		50,0 %	0	g	slurry	
	Amex 11 1:19		0,00	0,00	0,00	1,00		99,1 %	0	g	Amex 11 1:19	
	SP-stoff		3,00	1,14	2,86	1,05		80,0 %	60	g	SP-stoff	
Tilslag	0-8 Svelvik	San	1024	56,0	380,6	2,69	0,7%	4,1%	21,177	kg	0-8 Svelvik	
	8-16 Svelvik	<16m	0	0,0	0,0	2,71	0,8%	0,8%	0,000	kg	8-16 Svelvik	
	Resirkulert	>16m	762	44,0	299,0	2,55	4,5%	5,0%	15,311	kg	Resirkulert	
		>16m	0	0,0	0,0	0,00	0,0%		0,000	kg	0	
Sum tilslag:				100,0								
LUFTINNHOOLD I FERSK BETONG			2,0		20,0				0,4	Liter luft		
v/(c*k+s*k+fa*k)			0,570						0,569	masseforhold		
VANN			188,1			1,00						
Tilsatt vann			185,7		185,7				2,939		Tilsatt vann	
SUM			2303,9		1000				46,077		kg	
Matrix			319						20,000		liter	
Pasta			300						Terninger merkes			
Effektiv Bindemiddel			329,5	kg	Pulver	329,00	kg					
Matrix												
Pasta inkl Luft			320	Pastavolum brukes								
Beregnet Pasta ex Luft			300									

### 10.3 Vedlegg C : info om utstøpingsdato

#### Utsøpingsdato av alle blandingene:

Blanding Type	Utsøpingsdato	2døgn	7døgn	28 døgn
N3	10.10.2018	12.10.2018	17.10.2018	07.11.2018
R25P	24.10.2018	26.10.2018	31.10.2018	21.11.2018
R50P	24.10.2018	26.10.2018	31.10.2018	21.11.2018
R100P	25.10.2018	27.10.2018	01.11.2018	22.11.2018
R25pT	23.11.2018	25.11.2018	30.11.2018	21.12.2018
R50pT	23.11.2018	25.11.2018	30.11.2018	21.12.2018
R100pT	21.11.2018	23.11.2018	28.11.2018	19.12.2018



## 10.4 Vedlegg D : brudd former

### 1. Brudd former til terning etter trykktesting.

- Kun med pasta økning:

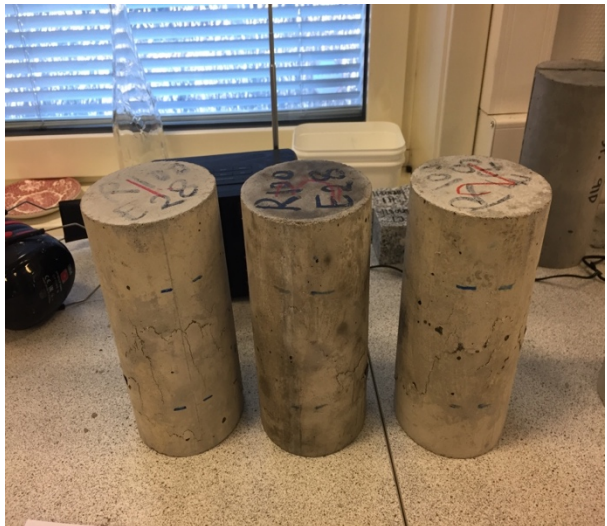
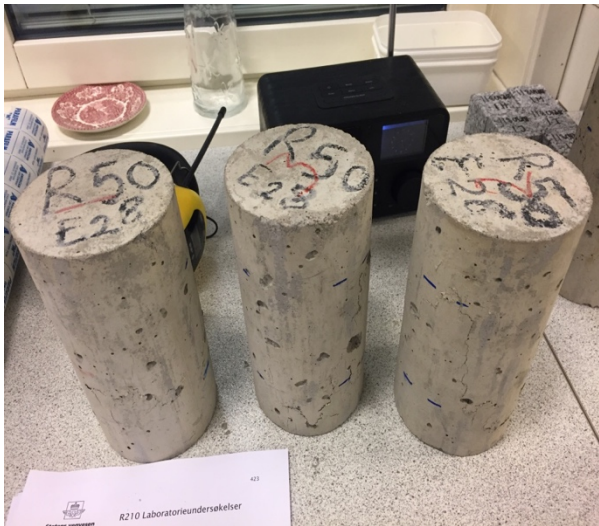
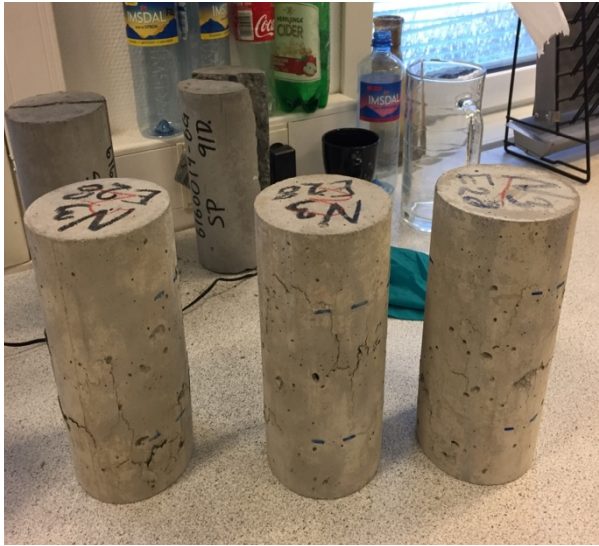


- Pasta økning + SP-stoff





## 2. Brudd former til sylindrerne etter trykking på E-modul test.





## 10.5 Vedlegg E : Unicon rapport for E-modul

### Unicon rapport

#### NOTAT

**Vedr.:** Unicon – forsøg med genbrugsbeton/recirkuleret tilslag  
**Til:** Kaiwan Koplanto og Berit Gudding Petersen, Unicon Norge  
**Fra:** Lasse Frølich, RQC

---

#### Introduktion

RQC har d. 21. december 2018 modtaget 9 stk. 10/20 cylindre fra Unicon i Oslo. Det drejer sig om tre serier B30M60 beton med forskellig andele genbrugsbeton/recirkuleret tilslag.

Blandinger:	Udstøpingdato	Testdato	Alder ved test
R25, 25% Resirkulert tilslag	23.11.2018	07.01.2019	45 døgn
R50, 50% Resirkulert tilslag	23.11.2018	07.01.2019	45 døgn
R100, 100% Resirkulert tilslag	21.11.2018	07.01.2019	47 døgn

Det var nødvendigt, at afrette cylindrene inden test, og det var derfor ikke muligt, at foretage målingerne ved ankomst d. 21. december, hvor de var 28 døgn.

#### Undersøgelser

Der er bestemt E-modul iht. DS/EN 12390-13 og trykstyrke iht. DS/EN 12390-3. En cylinder fra hver serie er indledningsvis trykket til bestemmelse af belastning til E-modul.

#### Resultater

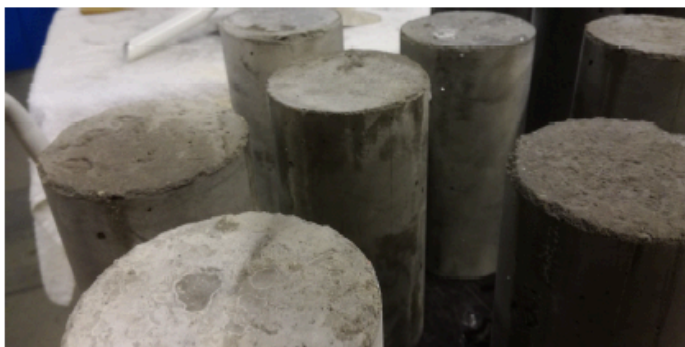
Resultater fremgår af nedenstående tabel.

	25 % recirkuleret		50 % recirkuleret		100 % recirkuleret	
	E-modul [GPa]	Trykstyrke [MPa]	E-modul [GPa]	Trykstyrke [MPa]	E-modul [GPa]	Trykstyrke [MPa]
Cylinder 1	-	47,2	-	43,3	-	46,8
Cylinder 2	30,4	45,6	29,1	43,5	30,5	47,3
Cylinder 3	31,1	43,8	29,0	44,2	28,3	47,1
<b>Middel</b>	<b>30,7</b>	<b>45,5</b>	<b>29,0</b>	<b>43,6</b>	<b>29,4</b>	<b>47,0</b>
Spredning	0,4	1,7	0,0	0,5	1,6	0,3

# NOTAT

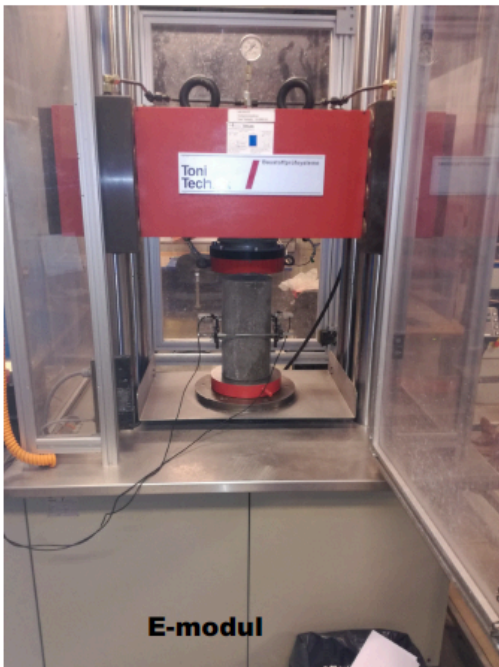
## Billeder

Cylindre ved modtagelse



## NOTAT

Test af trykstyrke og E-modul ses på nedenstående billeder (arkivfoto)





**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway