

Masteroppgave

NTNU  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for konstruksjonsteknikk

Petter Wedø Gjengår, Håkon Farestvedt Nesse,  
Vibeke Heitmann Solheim

# Biocrete – Biokull i betong

Trondheim, juni 2021

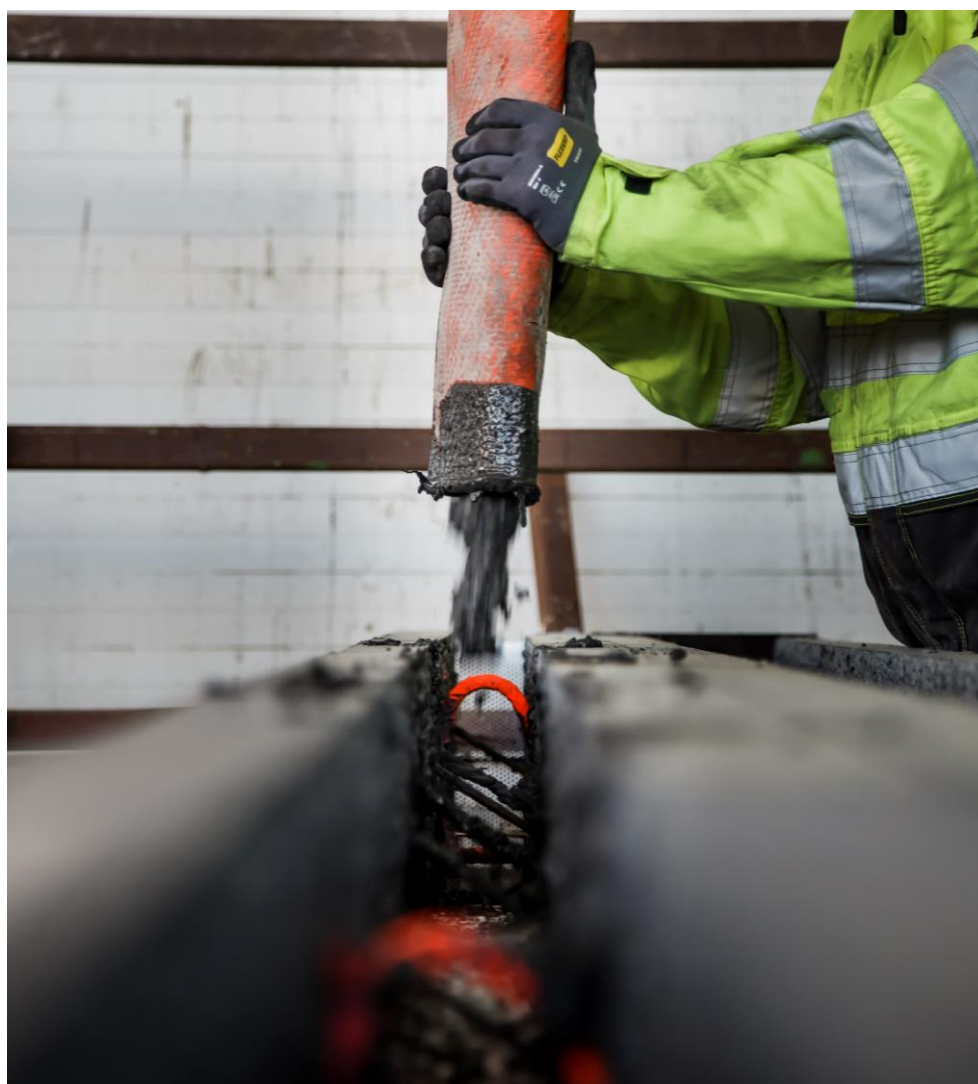


Foto: Ketil Jacobsen og Snøhetta







## MASTEROPPGAVE 2021

FAGOMRÅDE: Betongteknologi	DATO: 08.06.2021	ANTALL SIDER: 111 sider + 154 sider appendiks
-------------------------------	---------------------	--

TITTEL:

**Biocrete – Biokull i betong**

Biocrete – Biochar in concrete

UTFØRT AV:

Petter Wedø Gjengår, Håkon Farestvedt Nesse, Vibeke Heitmann Solheim

Ekstrakt:

Som en del av et FoU-prosjekt ledet av Snøhetta har muligheten for å tilsette biokull i betong blitt undersøkt. Betongindustrien står for om lag 8 % av verdens CO<sub>2</sub> utslipp, samt at byggeindustrien produserer mye treavfall som går til forbrenning. Idéen er at dette treavfallet, via pyrolyse, skal bli til biokull som kan brukes i betong. Når biokullet blir brukt i betongen vil det lagre karbon som ellers hadde blitt sluppet ut via forbrenning av treavfallet. Ved tilsetning av biokull i betong er det dermed mulig å kompensere for betongens klimagassavtrykk.

Betongresepter med biokull har blitt tilpasset til bruk i Con-Form skallvegelementer gjennom innledende forsøk på laboratoriet. Det ble utviklet en resept til vangene og en til senter. Betongen til vangene og senter bestod av henholdsvis 63 og 78 kg biokull per kubikk betong. Det har i tillegg blitt gjort forsøk og tilpasninger rundt vannabsorpsjonen og densiteten til biokullet, samt nedkningen under blandedeprosessen.

Bruksegenskapene ble prøvd ut i fullskala ved produksjon av skallelementer og utstøping av kjernebetonger i fire skallvegelementer hos Con-Form og Betong Øst i Orkanger. Etter fullskala prøveblanding ble biokullinnholdet til senterbetongen økt til 90 kg per kubikk betong. Vangebetongen tilfredsstiller kravet til fasthetsklasse B25, mens senterbetongen tilfredsstiller kravet til fasthetsklasse B10 med god margin.

Det har også blitt gjort forsøk med å produsere biokullstaver for innstøpning i betongvegg og -dekker. Stavene består av biokullpartikler bundet sammen med et tilpasset sementlim.

Karbonregnskapet for de produserte skallvegelementene viser at biokullet ikke bare har kompensert for betongmaterialets karbonavtrykk, men også armeringsstålets og andre utslipp forbundet med skallvegelementene. Dette betyr at verdens første karbonnøytrale betongvegg har blitt produsert.

Grunnet uviss endelig partikkelfordeling til biokullet i betongen er siktekurven som ligger i reseptene ikke korrekt. Dette medfører at parametrene masseforhold, vannabsorpsjon og matriksvolum ikke representerer virkeligheten. Estimeringer av korrekte verdier har blitt gjort etter endt fullskala arbeid.

FAGLÆRER(E): Sverre Smeplass (Skanska Norge AS), Terje Kanstad (Institutt for konstruksjonsteknikk)

VEILEDER: Sverre Smeplass (Skanska Norge AS)

UTFØRT VED: Institutt for konstruksjonsteknikk

# Forord

Denne rapporten er en besvarelse på masteroppgaven i emnet TKT4950, skrevet våren 2021 ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU). Det er en oppgave ved institutt for konstruksjonsteknikk med fordypning i betong.

Rapporten er en fortsettelse på en prosjektoppgave gjennomført høsten 2020, hvor det ble det utført innledende tester for å undersøke om det er mulig å erstatte noe av tilslaget i betong med biokull. Disse testene ga positive svar, og flere muligheter for betong med biokull ble åpnet. Ut fra disse resultatene var motivasjonen stor for å fortsette testene med biokull i betong. Denne rapporten er en presentasjon av arbeidet som har blitt gjort og funnene våre fra våren 2021.

Arbeidet er utført i samarbeid med Snøhetta, Con-Form, Oplandske Bioenergi, Betong Øst og Skanska Norge AS. Rapporten tar utgangspunkt i et FoU-prosjekt ledet av Snøhetta hvor målet er å undersøke bruksområder for biokull i betong som en metode for å lagre karbon.

Vi vil spesielt takke Sverre Smeplass fra Skanska for god veiledning, god støtte, motivasjon og avgjørende tilførsel av høy faglig kompetanse om betong. Vi vil også takke Snøhetta for muligheten til å delta i prosjektet. Oplandske Bioenergi og Oppredningslaboratoriet ved NTNU har vært til stor hjelp ved henholdsvis levering og sikting av biokull. Vi vil også gi en stor takk til Betong Øst og Con-Form etter at vi har fått blandet betong i fullskala og støpt vegger hos dem. Til slutt vil vi takke Steinar Seehus og Per Øystein Nordtug for assistanse og veiledning på laboratoriet.

Avslutningsvis vil vi takke hverandre for god motivasjon, støtte og ikke minst godt samarbeid.

# Sammendrag

Betong er et av verdens mest populære byggematerialer, men samtidig en klimaversting. Produksjon av bindemiddelet i betong, sement, er anslått til å stå for rundt 8 % av verdens totale CO<sub>2</sub>-utslipp. Samtidig produserer byggebransjen mye avfall som går til forbrenning. En del av dette er trematerialer i form av kapp, forskalings- og rivningsmaterialer. Dette bidrar ytterligere til klimagassutslipp fra næringen.

Som en del av et FoU-prosjekt ledet av Snøhetta, har tilsetning av biokull i betong blitt undersøkt basert på resultatene fra innledende forsøk i tilhørende prosjektoppgave. Biokull er et materiale produsert ved pyrolyse; termisk nedbrytning av organisk materiale under begrenset tilførsel av oksygen. Ideen er at dette skal produseres av treavfall fra byggebransjen. Ved tilsetning av biokull som tilslag eller tilsetningsmateriale i betong, er det mulig å binde opp karbon som ellers ville gitt betydelige klimagassutslipp. Ved forbrenning vil 1 kg karbon tilsvare et utslipp av 3,67 kg CO<sub>2</sub>. Biokullet inneholder ca. 94 % rent karbon, og binder dermed 3,45 kg CO<sub>2</sub> per kg biokull. Ved tilsetning av biokull i betong er det dermed mulig å kompensere for betongens klimagassavtrykk ved lagring av karbon som ellers ville blitt sluppet ut gjennom alminnelig forbrenning av treavfall.

Betongresepter med biokull har blitt tilpasset til bruk i Con-Form skallvegelementer gjennom innledende forsøk på laboratoriet. På bakgrunn av dette har det blitt utviklet resepter på to ulike grunnlag; én resept med fokus på trykkfasthet til bruk i vangene på skallveggen, og én resept med fokus på støpelighet tilsvarende selvkomprimerende betong til bruk i senter av skallveggen. Felles for alle reseptene var fokuset på stabile og homogene betonger.

Det har blitt fokusert på å optimalisere mengden biokull opp mot de nevnte kriteriene. Samtidig har det blitt gjort forsøk og tilpasninger rundt vannabsorpsjonen og densiteten til biokullet, i tillegg til nedknusingen under blandeprosessen.

Fra laboratoriet ble det utviklet to resepter til fullskala testing. Disse reseptene inneholder henholdsvis 63 og 78 kg biokull per kubikk, der førstnevnte er ment til bruk i vangene og sistnevnte til senter. Reseptene ble henholdsvis basert på kravet til trykkfasthet på 10 MPa etter 16 timer og ønsket støpelighet tilsvarende selvkomprimerende betong. Betongene ble proporsjonert med en antatt vannabsorpsjon fra biokullet på 150 %, masseforhold på 0,35 og inneholder både superplastiserende tilsetningsstoff og luftdemper.

Bruksegenskapene ble undersøkt i fullskala ved produksjon av skallelementer og utstøpning av kjernebetonger i fire skallvegelementer hos Con-Form og Betong Øst i Orkanger. Fra innledende prøveblanding i fullskala ble det gjort små endringer på reseptene fra laboratoriet. Proporsjonert vannabsorpsjon ble økt til 180 % grunnet redusert fuktinnhold i biokullet. Blandeprosessen i fullskala ga mer nedknust biokull i forhold til blandeprosessen på laboratoriet, som resulterte i en mer stabil betong. Dette åpnet opp for en økning i mengde biokull for betongen til bruk i senter. Dermed ble betongen til senter av skallveggen tilsatt 90 kg biokull per kubikk, samtidig som den beholdt støpeligheten. Betongene oppnådde høyere trykkfasthet enn tilsvarende resepter produsert på labora-

toriet. Vangebetongen tilfredsstiller kravet til fasthetsklasse B25, mens senterbetongen tilfredsstiller kravet til fasthetsklasse B10 med god margin.

Det har også blitt gjort forsøk med produksjon av biokullstaver for innstøpning i betongvegg og -dekker. Stavene består av biokullpartikler bundet sammen med et tilpasset sementlim. Denne bruken av biokull er tenkt som et alternativ til innblanding av biokull i selve betongen, og vil kunne gi samme positive effekt på konstruksjonens karbonregnskap.

Reseptene benyttet i forbindelse med denne rapporten inneholder en siktekurve for biokullet som ikke er korrekt i forhold til den endelige partikkelfordelingen til biokullet. Dette er fordi den endelige partikkelfordelingen ikke er kjent, og ved bruk av denne siktekurven blir deler av sanden og pukken direkte erstattet med noe av biokullet. Det medfører i tillegg at flere andre parametre i reseptene ikke stemmer med virkeligheten. Reseptene for betongene brukt til å støpe veggelement hos Con-Form ble lagt opp med et masseforhold på 0,35 og 180 % vannabsorpsjon. Etter beregninger for å estimere densiteten og vannabsorpsjonen til biokullet ble det estimert at det virkelige masseforholdet til vangen trolig er 0,41, mens masseforholdet til senterbetongen er 0,44. Videre har det blitt estimert at den virkelige vannabsorpsjonsverdien er mellom 145 og 150 % og at densiteten til biokullet er i intervallet 350 til 400 kg/m<sup>3</sup>.

Beregninger på sand- og pukkmengden i forhold til en normalbetong viser at biokullet har erstattet mellom 9 til 24 % av sanden og mellom 15 til 36 % av pukken.

Karbonregnskapet for de produserte skallveggelementene viser at biokullet ikke bare har kompensert for betongmaterialets karbonavtrykk, men også armeringsstålets avtrykk og andre utslipp forbundet med skallveggelementene. Dette betyr at verdens første karbonnøytrale betongvegg har blitt produsert.

# Summary

Concrete is one of the most widely used building materials, but has a massive carbon footprint. Production of the binder in concrete, cement, contributes to about 8 % of the world's total CO<sub>2</sub>-emissions. The construction industry also produces a substantial amount of waste that is incinerated. This includes stubb ends, formwork and demolition waste made of wood. This contributes even further to emissions of greenhouse gases from the industry.

As part of a research and development project led by Snøhetta, the addition of biochar in concrete has been researched based on the initial results from the specialization project prior to this report. Biochar is a material produced by pyrolysis; thermal decomposition of organic material with limited access to oxygen. The idea is using wood waste from the construction industry for the production of biochar. By adding biochar as an aggregate or as an additive material in concrete, it is possible to capture carbon that would otherwise produce significant greenhouse gas emissions. By incineration, 1 kg of carbon corresponds to an emission of 3.67 kg CO<sub>2</sub>. Biochar contains about 94 % pure carbon, corresponding to 3.45 kg CO<sub>2</sub> per kg biochar. With the addition of biochar in concrete, it is thus possible to compensate for the concrete's carbon footprint by storing carbon that would otherwise have been emitted through ordinary incineration of wood waste.

Concrete recipes with biochar have been adjusted for use in Con-Form shell wall elements through initial experiments in the laboratory. Based on this, recipes have been developed on two different bases; a recipe focusing on compressive strength for use in the outer parts of the shell wall, and a recipe focusing on the workability corresponding to self-compacting concrete for use in the center of the shell wall. Common for all the recipes was the importance of producing stable and homogenous concretes. The overall focus has been on optimizing the amount of biochar according to the mentioned criterias. Experiments and adjustments have also been made regarding the water absorption and density of the biochar, as well as the crushing during the mixing process. Two recipes for full-scale testing were developed from the laboratory. These recipes contain 63 and 78 kg of biochar per cubic meter, with the former intended for use in the outer parts of the shell wall and the latter for the center. The recipes were based on the requirement for compressive strength of 10 MPa after 16 hours and the desired workability corresponding to self-compacting concrete. The concretes were proportioned with an estimated water absorption from the biochar of 150 %, w/c-ratio of 0.35 and contains both superplasticizer and air detainer.

The utility properties were tested in full scale production of four shell wall elements at Con-Form and Betong Øst in Orkanger. Small changes from the laboratory were made to the recipes produced in full scale. Proportioned water absorption was increased to 180 % due to reduced moisture content in the biochar. The full-scale mixing process resulted in more crushed biochar compared to the mixing process in the laboratory, which gave a more stable concrete. This provided opportunities for an increase in the amount of biochar for the concrete used in the center. Thus, there was added 90 kg of

biochar per cubic meter to the concrete for the center of the shell wall, while maintaining the workability. The concretes achieved higher compressive strength than similar recipes produced in the laboratory. The concrete for the outer parts satisfies the requirement for strength class B25, while the center concrete by far satisfies the requirement for strength class B10.

Attempts have also been made to produce biochar rods for embedding in concrete walls and decks. The rods consist of biochar particles bonded together with a custom cement glue. The use of biochar this way is intended as an alternative to mixing biochar into the concrete, and could have the same positive effect on the construction's carbon footprint.

The concrete recipes used in this report contain a sieve curve for the biochar that does not match the final particle distribution of the biochar. This is because the final particle distribution is unknown, and when using this sieve curve, parts of the sand and crushed stone are directly replaced with some of the biochar. This also implies that some other parameters in the recipes do not correspond to reality. The recipes for the concrete used for the shell wall elements at Con-Form were proportioned with a w/c-ratio of 0.35 and 180 % water absorption. After calculating the estimates for the density and water absorption of the biochar, the actual w/c-ratio for the shell elements is about 0.41, while it is 0.44 for the concrete in the center. Furthermore, the water absorption is estimated to be between 145 and 150 %, and the density of the biochar to be between 350 and 400 kg/m<sup>3</sup>. Calculations of the amount of sand and crushed stone in relation to a normal concrete show that biochar has replaced between 9 to 24 % of the sand and between 15 to 36 % of the crushed stone.

Calculations of the carbon footprint for the produced shell wall elements, shows that adding of biochar has compensated for both the footprint of the concrete, the reinforcing steel and other emissions associated with the shell wall elements. This implies that the world's first carbon-neutral concrete wall has been produced.

# Innholdsfortegnelse

<b>Ekstrakt</b>	<b>i</b>
<b>Forord</b>	<b>ii</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>iii</b>
<b>Summary</b>	<b>v</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b>	<b>vii</b>
<b>Figur- og bildeliste</b>	<b>xii</b>
<b>Tabelliste</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Oppgavebeskrivelse . . . . .	1
1.2 Oppgavens oppbygging . . . . .	2
1.3 Notasjon . . . . .	2
1.4 Samarbeid eksterne bedrifter . . . . .	2
<b>2 Mål og hensikt</b>	<b>3</b>
<b>3 Teoretisk grunnlag</b>	<b>4</b>
3.1 Biokull og karbonfangst . . . . .	4
3.1.1 Biokull . . . . .	4
3.1.2 Lavkarbonbetong . . . . .	5
3.1.3 Karbonregnskapet . . . . .	5
3.1.4 Life Cycle Assessment (LCA) . . . . .	6
3.2 Prefabrikkerte elementer . . . . .	6
3.2.1 Con-Form veggelement . . . . .	7
3.3 Produksjons- og materialegenskaper . . . . .	7
3.3.1 Betongbil . . . . .	7
3.3.2 Pumping av betong . . . . .	8
3.3.3 SKB - Selvkomprimerende betong . . . . .	9
3.3.4 Modenhetsprinsippet . . . . .	10
3.3.5 Fukt . . . . .	11
3.4 Resultater fra prosjektoppgaven . . . . .	12
<b>LABORATORIEARBEID</b>	<b>13</b>
<b>4 Mål og hensikt for laboratoriearbeid</b>	<b>13</b>
4.1 Fremgangsmåte . . . . .	13
<b>5 Proporsjonering av betongreseptene</b>	<b>15</b>
5.1 Partikkel-matriks modell . . . . .	15
5.1.1 Matriksfasen . . . . .	15
5.1.2 Partikkelfasen . . . . .	15

5.2	Regneverktøy . . . . .	15
5.3	Pozzolaner . . . . .	16
5.3.1	Silikastøv . . . . .	16
5.3.2	Flygeaske . . . . .	16
5.4	Tilsetningsstoffer i betong . . . . .	16
5.4.1	Plastiserende tilsetningsstoff . . . . .	16
5.4.2	Akselererende tilsetningsstoff . . . . .	17
5.4.3	Luftdempende tilsetningsstoff . . . . .	17
5.5	Delmaterialer på laboratoriet . . . . .	17
5.6	Navngiving av betongreseptene . . . . .	19
5.7	Proporsjonering av vangebetongene . . . . .	20
5.8	Proporsjonering av senterbetongene . . . . .	20
5.9	Proporsjonering av biokullstaver . . . . .	21
<b>6</b>	<b>Prosedyrer og testing på laboratoriet</b>	<b>23</b>
6.1	Blandeprosedyre . . . . .	23
6.1.1	Blandeprosedyre for betong . . . . .	23
6.1.2	Blandeprosedyre for biokullstaver . . . . .	24
6.1.2.1	Blandeprosedyre for biokullstaver - første forsøk . . . . .	24
6.1.2.2	Blandeprosedyre for biokullstaver - andre forsøk . . . . .	24
6.2	Testing av biokull . . . . .	25
6.2.1	Estimering av biokullets partikkeldensitet ved bruk av ren parafinvoks . . . . .	25
6.2.2	Estimering av biokullets fuktinnhold . . . . .	27
6.2.3	Biokullets effektive sikterkurve etter nedknusing under blanding . . . . .	28
6.2.3.1	Estimering av biokullets siktekurve fra laboratoriet . . . . .	28
6.2.3.2	Estimering av biokullets siktekurve fra fullskalaforsøk . . . . .	29
6.3	Testmetoder for fersk betong . . . . .	30
6.3.1	Slump og utbredelse . . . . .	30
6.3.2	Luftinnhold . . . . .	32
6.3.3	Densitetsmåling ved bruk av luftprøvingsbeholder . . . . .	33
6.4	Testmetoder for herdet betong . . . . .	33
6.4.1	Trykktest . . . . .	33
6.4.2	Densitetsmåling av betongen ut i fra terninger støpt for trykktesting . . . . .	35
6.5	Begrensninger . . . . .	36
6.5.1	Materialer . . . . .	36
6.5.2	Utstyr . . . . .	36
6.5.3	Tid . . . . .	36
<b>7</b>	<b>Resultater fra laboratoriearbeid</b>	<b>37</b>
7.1	Biokull . . . . .	37
7.1.1	Partikkeldensitet målt ved bruk av parafinvoks . . . . .	37
7.1.2	Fuktinnhold i biokull . . . . .	37
7.1.3	Siktekurver . . . . .	38
7.1.3.1	Siktekurve for biokull som benyttes på laboratoriet . . . . .	38
7.1.3.2	Siktekurve for biokull som benyttes i fullskalaforsøk . . . . .	38
7.2	Betong til vangene . . . . .	39
7.2.1	V50-41-200-2 . . . . .	39
7.2.2	V45-41-200-2 . . . . .	40
7.2.3	V45-55-200-2 . . . . .	41
7.2.4	V45-41-150-5 . . . . .	42
7.2.5	V45-55-150-5 . . . . .	43
7.2.6	V35-41-150-5 . . . . .	44
7.2.7	V35-41-150-5-aks+Ld . . . . .	45
7.2.8	V35-55-150-5-aks+Ld . . . . .	46



7.2.9	V35-60-150-5-aks+Ld	47
7.2.10	V35-63-150-5-aks+Ld	48
7.3	Betong til senter	49
7.3.1	S50-59-100-2	49
7.3.2	S45-88-100-5	50
7.3.3	S45-59-150-5	51
7.3.4	S35-67-150-5	51
7.3.5	S35-88-150-5	52
7.3.6	S35-78-150-5-Ld	53
7.4	Biokullstaver	54
7.4.1	Biokullstav - 1	54
7.4.2	Biokullstav - 2	55
7.4.3	Veggelement med biokullstaver	56
<b>8</b>	<b>Diskusjon - laboratoriearbeid</b>	<b>57</b>
8.1	Biokull	57
8.1.1	Knusing av biokullet	57
8.1.2	Vannabsorpsjon i biokullet	58
8.1.3	Fuktinnhold i biokull	58
8.1.4	Partikkeldensitet til biokull målt ved bruk av parafinvoks	59
8.2	Betongen	60
8.2.1	Støpelighet og konsistens	60
8.2.2	Trykkfasthet	61
8.2.3	Luftinnhold	62
	<b>FULLSKALAFORSØK</b>	<b>64</b>
<b>9</b>	<b>Mål og hensikt for fullskalaforsøket</b>	<b>64</b>
9.1	Fremgangsmåte	64
<b>10</b>	<b>Proporsjonering av betongreseptene</b>	<b>66</b>
10.1	Proporsjoneringsmodell	66
10.2	Regneverktøy	66
10.3	Navngiving av betongreseptene	67
10.4	Delmaterialer på blandeverk	68
10.5	Proporsjonering og prøveblanding av betongene til fullskalaforsøk	69
<b>11</b>	<b>Prosedyrer og testing for fullskalaforsøk</b>	<b>71</b>
11.1	Blandeprosedyre på blandeverk	71
11.2	Produksjon av vangene	71
11.3	Produksjon av senterbetong	73
11.4	Testing av betongen	73
11.5	Testing av biokull	74
11.6	Estimering av biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet	75
<b>12</b>	<b>Resultater fra fullskalaforsøk</b>	<b>77</b>
12.1	Prøveblanding på betongbil hos Betong Øst	77
12.1.1	Vange-Car63	77
12.1.2	Senter-Car78	78
12.2	Støp av veggelementer	78
12.2.1	Første vangebetong - Vange-Op61	79
12.2.2	Andre vangebetong - Vange-Op63	80
12.2.3	Senterbetong - Senter-Op90-nr.1	81
12.2.4	Senterbetong - Senter-Op90-nr.2	82
12.3	Estimering av biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet	83

<b>13 Diskusjon - fullskalaforsøk</b>	<b>84</b>
13.1 Biokull	84
13.1.1 Nedknusing av biokull	84
13.1.2 Estimering av biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet	84
13.1.2.1 Estimering av vannabsorpsjon	85
13.1.2.2 Estimering av biokullets partikkeldensitet	85
13.1.2.3 Fritt vann	86
13.1.2.4 Masseforhold og matriksvolum	86
13.2 Anbefaling til oppsett av betongresepter	87
13.3 Betongen	88
13.3.1 Trykkfasthet	88
13.4 Prøveblanding på betongbil	90
13.5 Prøvestøp	91
13.5.1 Støp av første vangebetong	91
13.5.2 Støp av andre vangebetong	92
13.5.3 Støp av senterbetong	93
13.5.4 Pumpbarhet for senterbetongen	94
<b>14 Tynnslianalyse utført av SINTEF</b>	<b>95</b>
<b>KARBONFANGST OG LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)</b>	<b>97</b>
<b>15 Karbonfangst og Life Cycle Assessment (LCA)</b>	<b>97</b>
15.1 Lavkarbonbetong med biokull	98
15.2 Con-Form skallvegelement	100
15.3 Veggelement med biokullstaver	102
15.4 Dekker	104
<b>KONKLUSJON</b>	<b>107</b>
<b>16 Konklusjon</b>	<b>107</b>
16.1 Laboratoriearbeid	107
16.1.1 Støpelighet og konsistens	107
16.1.2 Trykkfasthet	107
16.2 Fullskalaforsøk	108
16.2.1 Støpelighet og konsistens	108
16.2.2 Trykkfasthet	108
16.2.3 Anbefalinger til partikkeldensitet, vannabsorpsjon og oppsett av betongreseptene	109
16.2.4 Con-Form skallvegelement	109
<b>17 Videre arbeid</b>	<b>110</b>
<b>Referanser</b>	<b>112</b>
<b>Innholdsfortegnelse for appendiks</b>	<b>116</b>

## Figur- og bildeliste

Bilde 3.3.1	Betongbil brukt til prøveblanding hos Betong Øst. . . . .	8
Figur 3.3.2	Hovedprinsippet for pumping av betong. . . . .	8
Bilde 3.3.3	Pumpemikser brukt til veggstøp hos Betong Øst. . . . .	9
Figur 5.6.1	Forklaring på navnoppsettet til reseptene. . . . .	19
Bilde 6.1.1	Blandemaskinen som benyttes på laboratoriet. . . . .	23
Bilde 6.1.2	Blanding av sementlim med sementmikser. . . . .	24
Bilde 6.1.3	Fallblander brukt til å blande sementlimet med biokull. . . . .	25
Bilde 6.2.1	Biokull støpt inn i parafinvoks. . . . .	26
Figur 6.2.2	Illustrasjon av hvordan volumet av parafinvoks med biokull regnes ut. . .	27
Bilde 6.2.3	Ulike fraksjoner av sand og biokull separert etter sikting. . . . .	29
Bilde 6.3.1	Bilde fra slumpetest av betong. . . . .	31
Bilde 6.3.2	Testing av luftinnholdet i betong. Bildet viser luftbeholderen med lokk på.	32
Bilde 6.4.1	Trykkpressemaskinen som benyttes på laboratoriet. . . . .	34
Figur 6.4.2	Illustrasjon som viser hvilke betongterninger som benyttes for å beregne densitetsøkning. . . . .	35
Figur 7.1.1	Resultat fra sikteforsøk utført på biokullet som benyttes på laboratoriet.	38
Figur 7.1.2	Resultat fra sikteforsøk utført på biokullet som benyttes hos Betong Øst.	39
Bilde 7.4.1	Biokullstaver etter forsøk nr.2 . . . . .	55
Bilde 7.4.2	Oppsett og delmaterialer til veggelement med biokullstaver og ferdig støpt element. . . . .	56
Bilde 8.1.1	Bruddflaten til en av terningene testet på laboratoriet. . . . .	57
Bilde 8.1.2	Form med parafinvoks og biokull delt i to. . . . .	60
Bilde 11.1.1	Bildet viser en sekk med biokull som er løftet opp før innholdet slippes ned i betongbilen. . . . .	71
Figur 11.2.1	Prosedyre for å produsere vane til veggelementet hos Con-Form. . . . .	72
Bilde 11.3.1	Fra pumping av senterbetongen inn mellom vangebetongene. . . . .	73
Bilde 11.4.1	Testing av fersk betong hos Betong-Øst. . . . .	74
Figur 11.6.1	Et eksempel fra regnearket benyttet til å estimere biokullets vannabsorp- sjon og partikkeldensitet. . . . .	75
Bilde 11.6.2	En kjerneboringsprøve fra et veggelement støpt hos Con-Form. . . . .	76
Bilde 12.2.1	Første vangebetong under støp og ferdig herdet. . . . .	80
Bilde 12.2.2	Den ferske betongen i metallformen uten vibrasjon. . . . .	81
Bilde 13.3.1	Snitt av en separert terning støpt under fullskalaproduksjon. . . . .	89
Bilde 13.5.1	Uttak fra betongbilen når det er tilsatt for lite fukt og det er for dårlig blandet. . . . .	92
Bilde 13.5.2	Slumpetest av betongen brukt til støp av andre vange. . . . .	93
Bilde 13.5.3	Pumping av senterbetongen inn mellom vane. . . . .	94
Bilde 14.0.1	Bildet viser luftblærer i lys grønn rundt en biokullpartikkel midt i bildet.	95

Bilde 14.0.2 Bildet viser mange jevnt fordelte biokullpartikler i finfraksjonen som er godt integrert i sementpastaen . . . . .	96
Figur 15.1.1 Grafisk fremstilling av styrken til betongen i forhold til mengde biokull tilsatt. . . . .	98
Figur 15.2.1 Mulig oppsett for skallveggelement levert av Con-Form. . . . .	100
Figur 15.2.2 Sammenligning av karbonavtrykket av alternativene fra fullskala og en standard Con-Form vegg med og uten senterbetong. . . . .	102
Bilde 15.3.1 Bilder fra prosessen av å lage et veggelement med biokullstaver. . . . .	103
Figur 15.4.1 Eksempel på plattendekke. . . . .	105
Figur 15.4.2 Sammenligning av karbonavtrykket for bruk av enten Lavkarbon B betong eller biokullbetong i plattendekker. . . . .	106

# Tabelliste

Tabell 3.1	Lavkarbonbetongklasser med grenseverdier for klimgassutslipp i henhold til publikasjon nr. 37. . . . .	5
Tabell 3.2	Resultater fra reseptene blandet i forbindelse med prosjektoppgaven. . . .	12
Tabell 6.1	Mengde sand, pukk og biokull benyttet i sikteforsøket. . . . .	28
Tabell 7.1	Partikkeldensitet til biokull målt ved bruk av parafinvoks. . . . .	37
Tabell 7.2	Fuktinnholdet i biokullet brukt på laboratoriet og hos Betong Øst . . . .	37
Tabell 7.3	Resultater fra testing på fersk betong av V50-41-200-2. . . . .	39
Tabell 7.4	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V50-41-200-2. . . . .	40
Tabell 7.5	Resultater fra testing på fersk betong av V45-41-200-2. . . . .	40
Tabell 7.6	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V45-41-200-2. . . . .	41
Tabell 7.7	Resultater fra testing på fersk betong av V45-55-200-2. . . . .	41
Tabell 7.8	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V45-55-200-2. . . . .	42
Tabell 7.9	Resultater fra testing på fersk betong av V45-41-150-5. . . . .	42
Tabell 7.10	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V45-41-150-5. . . . .	43
Tabell 7.11	Resultater fra testing på fersk betong av V45-55-150-5. . . . .	43
Tabell 7.12	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V45-55-150-5. . . . .	44
Tabell 7.13	Resultater fra testing på fersk betong av V35-41-150-5. . . . .	44
Tabell 7.14	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V35-41-150-5. . . . .	45
Tabell 7.15	Resultater fra testing på fersk betong av V35-41-150-5-aks+Ld. . . . .	45
Tabell 7.16	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V35-41-150-5-aks+Ld. . .	46
Tabell 7.17	Resultater fra testing på fersk betong av V35-55-150-5-aks+Ld. . . . .	46
Tabell 7.18	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V35-55-150-5-aks+Ld. . .	47
Tabell 7.19	Resultater fra testing på fersk betong av V35-60-150-5-aks+Ld. . . . .	47
Tabell 7.20	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V35-60-150-5-aks+Ld. . .	48
Tabell 7.21	Resultater fra testing på fersk betong av V35-63-150-5-aks+Ld. . . . .	48
Tabell 7.22	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V35-63-150-5-aks+Ld. . .	49
Tabell 7.23	Resultater fra testing på fersk betong av S50-59-100-2. . . . .	49
Tabell 7.24	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av S50-59-100-2. . . . .	50
Tabell 7.25	Resultater fra testing på fersk betong av S45-88-100-5. . . . .	50
Tabell 7.26	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av S45-88-100-5. . . . .	51
Tabell 7.27	Resultater fra testing på fersk betong av S35-67-150-5. . . . .	52
Tabell 7.28	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av S35-67-150-5. . . . .	52
Tabell 7.29	Resultater fra testing på fersk betong av S35-88-150-5. . . . .	53
Tabell 7.30	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av S35-88-150-5. . . . .	53
Tabell 7.31	Resultater fra testing på fersk betong av S35-78-150-5-Ld. . . . .	54
Tabell 7.32	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av S35-78-150-5-Ld. . . . .	54
Tabell 10.1	Oversikt over navngiving av reseptene i rapporten og appendiks, i tillegg til bruksområde. . . . .	67
Tabell 12.1	Resultater fra testing på fersk betong av Vange-Car63. . . . .	77
Tabell 12.2	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Vange-Car63. . .	77
Tabell 12.3	Resultater fra testing på fersk betong av Senter-Car78. . . . .	78
Tabell 12.4	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Senter-Car78. . .	78

Tabell 12.5	Resultater fra testing på fersk betong av Vange-Op61. . . . .	79
Tabell 12.6	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Vange-Op61. . .	79
Tabell 12.7	Resultater fra testing på fersk betong av Vange-Op63. . . . .	81
Tabell 12.8	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Vange-Op63. . .	81
Tabell 12.9	Resultater fra testing på fersk betong av Senter-Op90-nr.1. . . . .	82
Tabell 12.10	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Senter-Op90-nr.1.	82
Tabell 12.11	Resultater fra testing på fersk betong av Senter-Op90-nr.2. . . . .	82
Tabell 12.12	Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Senter-Op90-nr.2.	83
Tabell 12.13	Resultater fra estimering av biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet.	83
Tabell 15.1	Beregnet mengde sement per kubikk betong for de ulike fasthetsklasse- ne brukt til sammenligning av klimagassutslipp for Lavkarbonbetong og betong med biokull. . . . .	99
Tabell 15.2	Lavkarbonbetongklasser med grenseverdier for klimagassutslipp i henhold til publikasjon nr 37, sammenlignet med et estimat for klimagassutslippet til betong med biokull produsert på laboratoriet. . . . .	99
Tabell 15.3	Karbonregnskap for betongene til bruk i Con-Form veggelement. Positivt fortegn betyr at veggelementet lagrer CO <sub>2</sub> . . . . .	101
Tabell 15.4	Avtrykket til et veggelement på 10 m <sup>2</sup> med total tykkelse 200 mm og 250 mm. . . . .	101
Tabell 15.5	Oppsummering av delmaterialenes avtrykk og bidrag til veggen støpt på laboratoriet. . . . .	104
Tabell 15.6	Sammenligning av veggelement med biokullstaver og veggelement produ- sert i fullskala med tykkelse 200 mm. . . . .	104
Tabell 16.1	Trykkfastheten til betongene brukt som utgangspunkt for fullskalaproduk- sjon. . . . .	108
Tabell 16.2	Trykkfastheten til betongene brukt i vangene på veggelementene. . . . .	108
Tabell 16.3	Trykkfastheten til betongene brukt i senter på veggelementene. . . . .	109

# 1 Innledning

Betong er et av verdens mest brukte byggematerialer. Hvert år bygges det 10 kubikkilometer, noe som tilsvarer et Mount Everest, i betong [1]. Materialet er populært blant annet på grunn av sin anvendelighet, lange levetid og styrkeegenskaper, men anses samtidig som en klimaversting. Den viktigste bestanddelen i betong er sement, og under produksjonen av sement slippes det ut store mengder CO<sub>2</sub>. Ved produksjon av ett tonn sementklinker vil det bli sluppet ut omtrent ett tonn CO<sub>2</sub>, så lenge ingen tiltak blir iverksatt. Utslippet av CO<sub>2</sub> kommer fra kalsinering av kalkstein, samt energi fra forbrenningen [2]. Utslippene fra sementindustrien er estimert til å være rundt 8 % av det totale utslippet av CO<sub>2</sub> i verden [3].

På grunn av de store klimautfordringene ved produksjon av sement til betong er det gjort en rekke tiltak for å enten gjøre produksjonen av sement mer klimavennlig, eller å kutte ned bruken av sement i betong. Eksempler på dette kan være å produsere sement uten oppvarming [1] eller å bytte ut noe av sementen med flygeaske. Løsninger som innebærer karbonfangst og lagring er også en del av mulighetsbildet. Ved å tilsette biokull i betongen kan man gjøre nettopp dette, nemlig å fange karbonet som er lagret i biokullet. Metoden er undersøkt i sementmørtel [4] og til bruk i jord. Biokull er kull produsert ved pyrolyse av biomasse, og inneholder omtrent 90 % karbon.

Byggebransjen produserer mye avfall hvorav mye av dette går til forbrenning. Dette gjelder for eksempel det meste av trevirke i form av kapp, forskalings- og rivningsmaterialer. Dette gir også et betydelig bidrag i klimagassregnskapet for næringen. Den norske byggebransjen har innsett at den samlede miljøpåvirkningen ikke er bærekraftig, og har nå en sterk ambisjon om å redusere utslipp og overforbruk av materialer. Biokullet vil produseres av trevirkeavfall og dermed hindre at avfallet forbrennes og karboninnholdet slippes ut i atmosfæren som CO<sub>2</sub>. Med den store mengden betong som produseres er mulighetene til å lagre mye karbon betydelige.

## 1.1 Oppgavebeskrivelse

Denne rapporten undersøker potensialet til betong med biokull i laboratoriet og i fullskala. Dette er en videreføring av en prosjektoppgave utført høsten 2020 [5]. Betongens egenskaper med biokull i fersk tilstand og styrkeegenskaper i herdet tilstand vil bli kartlagt, samtidig som muligheten til bruk i prefabrikkerte veggelementer undersøkes i praksis. Mulige løsninger for andre bruksområder vil også bli diskutert. Til slutt vil utvikling av resepter og anbefalinger til oppsett av egne resepter legges frem.

## 1.2 Oppgavens oppbygging

Arbeidet i denne rapporten er delt opp i 4 deler. Den første delen, kapittel 3, tar for seg den teoretiske bakgrunnen som blir brukt i resten av rapporten. Del 2 består av kapittel 4-8 og tar for seg laboratorieforsøkene. Del 3 består av kapittel 9-14 og tar for seg fullskalaforsøkene. Del 2 og 3 inneholder mål og hensikt, proporsjonering av betongresepter, prosedyrer og testing, resultater og diskusjon. Den siste delen, kapittel 15, omhandler karbonfangst og Life Cycle Assessment (LCA). I denne delen blir det også sett på andre muligheter til å bruke biokull i betong. Del 4 består av resultater og noe diskusjon. Til slutt kommer en konklusjon av alt arbeidet som er gjort i forbindelse med denne rapporten, og en vurdering av videre arbeid.

## 1.3 Notasjon

I rapporten brukes notasjonen ”karbonpositiv” dersom betongen eller konstruksjonen er klimapositiv. Det vil si at ”karbonpositiv” innebærer en netto lagring av karbon. ”Karbonnegativ” brukes dersom det totale regnskapet medfører et netto utslipp av karbon. ”Karbonnøytral” betyr at biokullet nuller ut avtrykket fra betongen eller konstruksjonen.

## 1.4 Samarbeid eksterne bedrifter

Denne rapporten var en del av et FoU-prosjekt ledet av Snøhetta og hadde som mål å undersøke om biokull kan brukes til å redusere klimagassutslippene fra betongindustrien. Snøhettas visjon er å kutte alle klimagassutslippene fra deres prosjekter innen 2030. Utgangspunktet for dette prosjektet var at betongindustrien står for en betydelig del av klimagassutslippene til byggebransjen. I tillegg til Snøhetta var Skanska, Betong Øst, Con-Form og Oplandske Bioenergi også en del av prosjektet, samt at det ble støttet av Innovasjon Norge.

Oplandske Bioenergi har investert i et pyrolyseanlegg som omdanner biomasse fra landbruk og skogbruk til biokull. De forsynte prosjektet med biokull og kunnskapen om produktet. Skanska tilførte betongkunnskap og det er dem det har blitt samarbeidet tettest med i dette prosjektet. Con-Form er en totalleverandør av råbygg i betong. De var med på å designe og lage prefabrikkerte veggelementer i betong med biokull. Betong Øst har bidratt med betongbil, blandeverk og betong til fullskalaforsøkene. Laboratorieforsøkene som er gjort i denne masteroppgaven er utført på konstruksjonslaboratoriet på NTNU, med assistanse fra Per Øystein Nordtug og Steinar Seehuus. Fullskalaforsøkene ble utført i Orkanger på Betong Øst og Con-Form sine anlegg. Veilederen for denne masteroppgaven var Sverre Smeplass.



## 2 Mål og hensikt

Målet med prosjektet var å undersøke om det er mulig å produsere betong med biokull som kan brukes til å produsere karbonnøytrale prefabrikkerte vegger og andre karbonreduerte konstruksjoner. Byggindustrien står for en betydelig del av verdens totale klimagassutslipp med produksjon av betong som en stor bidragsyter. Bruk av betong med biokull kan bidra til å redusere klimagassutslippene.

Byggeindustrien produserer en betydelig mengde treavfall som brennes og dermed slipper ut CO<sub>2</sub>. Ved å heller produsere biokull av treavfallet kan karbonet bli bundet opp i biokullet, samtidig som det blir produsert energi.

Det var ønskelig at karbonet biokullet inneholder skal nulle ut både CO<sub>2</sub>-utslippet fra betongen den tilsettes, og i tillegg så mye som mulig av det øvrige karbonavtrykket i konstruksjonen betongen brukes i. Først og fremst var det ønskelig å produsere et karbonnøytralt veggelement. Dette gjøres ved at karbonet som blir lagret i biokull i betongen utligner utslippene av CO<sub>2</sub> som kommer fra de ulike prosessene og delmaterialene til produksjonen av veggen. Det innebærer også utslippene fra produksjonen av armeringen i veggkonstruksjonene. Det ble i tillegg produsert prismar bestående av biokull og sementlim, heretter kalt biokullstaver. Disse skal kunne støpes inn i vegger og dekker for å kompensere for betongens klimaavtrykk.

Ut fra forsøkene som har blitt gjort i dette prosjektet var det ønskelig å kartlegge om fastheten til betongen var tilstrekkelig til bruk i et veggelement, samt om betongen hadde god nok støpelighet og var homogen. Eventuelle andre bruksområder har også blitt undersøkt. Overgangen fra produksjon i laboratoriet til produksjon i fullskala ble kartlagt, og det ble sett på om det var mulig å støpe ut veggelementene med ordinær produksjonsteknikk uten problemer. Biokullstavene ble vurdert på om de var håndterbare og ikke ødelegges når de støpes inn i en vegg.

I denne rapporten fokuseres det på å produsere en stabil og homogen betong med ulike trykkfastheter etter 28 døgn. Det ble derimot ikke fokusert på parametre som påvirker bestandigheten til betongen, som for eksempel hvordan biokullet vil påvirke karbonatiseringen av betongen. Andre parametre som permeabilitet og effekten av det ekstra vanninnholdet i betongen ble heller ikke vurdert. Brannegenskaper og langvarige styrkeegenskaper har ikke blitt målt. Disse egenskapene, sammen med flere andre, er viktige å ha kontroll på for å kalle biokullbetongen et ferdig produkt.

# 3 Teoretisk grunnlag

## 3.1 Biokull og karbonfangst

### 3.1.1 Biokull

Biokull er et fast, men porøst, materiale som kommer fra termisk nedbrytning av organisk materiale under begrenset tilførsel av oksygen. Denne nedbrytningsprosessen kalles pyrolysing. Potensialet til å forhindre utslipp av drivhusgasser som CO<sub>2</sub> er stort, da biokullet kan inneholde over 90 % karbon [6]. Dette kommer av at biokullet hindrer biomassen i å råtne. Når biomassen ikke råtner hindres karbonet, som ellers vil binde seg til oksygenet i luften og danne CO<sub>2</sub>, i å slippe ut. En forutsetning for at karbonregnskapet fra delkapittel 3.1.3. [Karbonregnskapet](#) er gjeldene, er at biomassen til biokullet kommer fra en masse som ellers ville ha råtnet eller blitt brent opp.

I Norge ble det produsert 778 000 tonn treavfall i 2017. Av dette ble 96 % sendt direkte til energigjenvinning, noe som fører til utslipp av CO<sub>2</sub>. Byggebransjen sto for 32,5 % av den totale mengden treavfall i Norge [7]. For å få ned utslippene av CO<sub>2</sub> har det i de siste årene blitt et større fokus på bruk av biokull i konstruksjonsmaterialer. Det har blitt sett på i sammenheng med å fange karbonet til biokull i mørtel [4]. Treprodukter vil kunne slippe ut alt karbonet det inneholder som CO<sub>2</sub> i løpet av et eller to tiår, mens biokull kan holde på sitt karbon i flere hundre eller opptil tusen år [8]. Kvaliteten til biomassen er avgjørende når det kommer til hvor mye karbon biokullet inneholder. En belgisk rapport fra et Biomaconanlegg viser at biokull kan inneholde så mye som 95 % karbon [6].

Biokull lages gjennom forskjellige metoder, der en fellesnevner er oppvarming av biomasse med lite eller ingen tilgang på oksygen. Da kvitter biomassen seg med overflødig gasser, og står igjen med mest mulig karbon. Denne prosessen kalles termisk nedbrytning og blir som oftest gjennomført ved en pyrolyse. Her blir 50 % av karbonet som kommer fra biomassen omgjort til biokull, mens resten blir omgjort til biodrivstoff [9].

Det er mange faktorer som har innvirkning på fysiske egenskaper og den kjemiske sammensetningen til biokull, som oppvarmingshastighet, partikkelstørrelse, trykk og forbrenningstemperatur. Disse faktorene har en direkte innvirkning på frigjøringen av overflødig gasser, den fysiske formen til partiklene og porestørrelsene [4]. Karboninnholdet og porevolumet i biokullet øker ved økt forbrenningstemperatur. En rask økning av temperaturen vil gi et lavere karboninnhold i biokullet, samt mindre partikler [10].

I forbindelse med denne rapporten ble det benyttet to forskjellige typer, levert av to ulike leverandører. På laboratoriet ble bare biokull levert av Carbofex brukt, mens under fullskala ble det brukt biokull levert av både Carbofex og av Oplandske Bioenergi.

Biokullet levert av Carbofex ble laget av grantre massevirke og ble produsert på 600 °C med en oppholdstid i reaktoren på mindre enn 10 minutter. Etter produksjon ble

biokullet fuktet med vann for å hindre støving. Biokullet levert av Oplandske Bioenergi ble produsert på 650 °C med en oppholdstid i reaktoren på 2 timer, og var laget av grantre biovirke som har råte eller er tørrgran. Dette biokullet ble ikke fuktet etter produksjon. Analyseprøver for begge typene biokull er gitt i Appendiks G.

### 3.1.2 Lavkarbonbetong

Norsk betongforenings publikasjon nr. 37 Lavkarbonbetong (NB37) [11] definerer lavkarbonbetong som konstruksjonsbetong produsert i samsvar med reglene i NS-EN 206+NA [12], der det er gjort tiltak for å begrense klimagassutslippet. Klimagassutslippet defineres i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, mens bidraget fra andre gasser enn CO<sub>2</sub> skaleres i henhold til GWP (Global Warming Potential). Publikasjonen definerer klassegrensene for utslipp av klimagasser for fire ulike nivåer; Lavkarbon B, Lavkarbon A, Lavkarbon pluss og Lavkarbon Ekstrem. Den mest brukte er Lavkarbon B, en lavkarbonbetong som kan oppnås med ordinære resepttekniske tiltak. Reduksjon i klimagassutslipp oppnås blant annet gjennom tilsetning av silikastøv, flygeaske og slagg som erstatning for sement. En oversikt over de ulike lavkarbonklassene er gitt i tabell 3.1.

**Tabell 3.1:** Lavkarbonbetongklasser med grenseverdier for klimagassutslipp i henhold til publikasjon nr. 37 [11]. I denne tabellen beskriver positivt fortegn utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

Fasthetsklasse og lavkarbonklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65
	Maksimalt tillatt klimagassutslipp [kg CO <sub>2</sub> -ekv.pr. m <sup>3</sup> betong]						
Bransjereferanse	240	260	280	330	360	370	380
Lavkarbon B	190	210	230	280	290	300	310
Lavkarbon A	170	180	200	210	220	230	240
Lavkarbon Pluss			150	160	170	180	190
Lavkarbon Ekstrem			110	120	130	140	150

### 3.1.3 Karbonregnskapet

Biokull inneholder lagret karbon som i reaksjon med oksygen vil kunne danne CO<sub>2</sub> som vist i ligning (3.1).



Med utgangspunkt i karbonets og oksygenets molmasse kan man finne vektforholdet mellom reaktantene og produktet. Karbonet og oksygenet har en molmasse på henholdsvis 12  $\frac{g}{mol}$  og 16  $\frac{g}{mol}$ . Tar man utgangspunkt i 1 kg karbon tilsvarer dette 3,67 kg CO<sub>2</sub>, som vist i ligning (3.2):

$$\frac{1000 \text{ g}}{12 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 83,33 \text{ mol (C)}$$

$$2 \cdot 83,33 \text{ mol} = 166,66 \text{ mol (O)}$$

$$83,33 \text{ mol} \cdot 12 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 166,66 \text{ mol} \cdot 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 3666,5 \text{ g (CO}_2\text{)} \quad (3.2)$$

Analyseprøvene for biokullet brukt i dette prosjektet, gitt i Appendiks G, viser at biokullet inneholder 94 % karbon. Dermed vil 1 kg biokull inneholde 0,94 kg karbon som har potensialet til å binde  $0,94 \cdot 3,67 \text{ kg} = 3,45 \text{ kg CO}_2$ .

Med utgangspunkt i resultatet i ligning (3.2) og biokullets innhold på 94 % karbon kan man finne nødvendig mengde biokull per kubikk betong for å nøytralisere klimagassutslippet fra betongen.

For en spesifikk utregning av CO<sub>2</sub>-utslipp tas det utgangspunkt i verdiene fra EPD-en (Environmental Product Declaration) til Standard FA sement fra Norcem, vedlagt i Appendiks B.2. Her deklarerer 1000 kg Standard FA sement med et utslipp på 584,61 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, eller 0,585 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg sement. Med en antagelse om at sement utgjør 90 % av betongens utslipp [11], vil avtrykket til den enkelte resept kunne regnes ut etter ligning (3.3):

$$\text{Betongens avtrykk} = \frac{X \text{ [kg sement]} \cdot 0,585 \text{ [kg CO}_2\text{-ekv. per kg sement]}}{0,90} \quad (3.3)$$

### 3.1.4 Life Cycle Assessment (LCA)

Dagens miljøproblemer gjør at mange bedrifter går over til mer bærekraftige løsninger for å redusere miljøavtrykket. Life Cycle Assessment (LCA) er en metode som brukes for å anslå miljøavtrykket til et produkt. Denne metoden tar for seg alle produksjonsstegene til produktet, fra uthenting av råvarer, gjennom produksjon og bruk, til endt livsløp. Endt livsløp kan inkludere resirkulering, materialgjenvinning eller ombruk [13]. For bedrifter er LCA analyser nyttig informasjon som kan hjelpe dem med å gjøre produktene deres mer bærekraftige.

## 3.2 Prefabrikkerte elementer

Prefabrikkerte elementer er betongprodukter som er produsert i fabrikker, før det fraktes til byggeplassen og monteres i sin tiltenkte posisjon. Disse elementene kan være armert med både ordinært og forspent armeringsstål. De vanligste typene for prefabrikkerte elementer er bjelker, søyler, takteking, plater og fasader. I tillegg finnes spesielle elementer som trapper, broer, tunneler og mer [14].

Produksjon av betongelementer startet i Norge på 50-tallet. Bruk av elementer skulle bidra til en effektiv gjenoppbygging av landet etter andre verdenskrig. Forbruket av betongelementer har siden den tid økt, og sto i 2016 for omtrent 15 % av det totale sementforbruket i Norge. Plateelementer alene hadde samtidig en markedsandel på omtrent 50 % [14].

Fordelen med prefabrikkerte elementer er først og fremst den økonomiske besparelsen som følge av mindre tidsbruk i byggefasen. Prefabrikkerte elementer er ofte estetisk penere enn tilsvarende elementer støpt på byggeplassen, fordi de er støpt under kontrollerte forhold i en fabrikkhall. Den største utfordringen vil være det store antallet sammenkoblinger mellom elementene. Dette er utsatte områder for inntrenging av nedbrytningsmekanismer som vann, klorider, karbondioksid og lignende dersom det ikke vedlikeholdes jevnlig og utformes på en robust måte (S. Smeplass, personlig kommunikasjon, 12. februar 2021). Det er vanlig å bruke selvkomprimerende betong under produksjon av betongelementer, med unntak av hulldekker.

### 3.2.1 Con-Form veggelement

Con-Form leverer halv-prefabrikkerte forskalingsvegger i betong, produsert i stålform i fabrikk. Veggene er bygget opp av to armerte betongskiver kalt vanger, som produseres i fabrikk, med et hulrom i midten som støpes ut på byggeplass. Produktet som leveres er en skallvegg med hensikt å kombinere fordelene fra prefabrikkert og plaststøpt konstruksjon [15]. Betongen til vangene vil ha andre krav enn betongen som skal støpes ut i senter på byggeplass når det gjelder både støpelighet og styrke. Vangene vil fungere som de bærende elementene. Hulrommet vil blant annet brukes til føringer.

Det ble i forbindelse med denne rapporten produsert tre veggelementer. Alle veggelementene har lengde 4 m og høyde 2,5 m. To av veggene er totalt 200 mm tykke, og det siste er 250 mm tykt. Hver vange er 60 mm tykk, mens senter er enten 80 mm eller 130 mm. En av veggene som er 200 mm tykk har i tillegg en utsparring midt i vegg. Denne utsparringen har dimensjoner 1,2x1,2 m. Tegningene for veggelementene er gitt i Appendiks I.

## 3.3 Produksjons- og materialegenskaper

### 3.3.1 Betongbil

Den vanligste typen betongbil er der trommelen er skråstilt med skovler, ofte kalt automikser. Betongen blir fylt gjennom den bakre åpningen og skrudd inn i trommelen ved å rotere den med høy hastighet i blanderetningen. Når betongen tømmes ut endrer trommelen rotasjonsretning og skrur betongen ut av trommelen. Under transport blir trommelen rotert langsomt for å unngå segregering. Automiksere kan også brukes som en betongblander ved å veie og tilsette alle materialene direkte inn i trommelen. Betongen blir da blandet under transporten. På byggeplassen er det vanlig å teste konsistensen til betongen, ved å blant annet gjennomføre en slumpetest. Hvis slumpen er for lav er det vanlig å tilsette et superplastiserende tilsetningsstoff i betongen og blande det i trommelen [14].

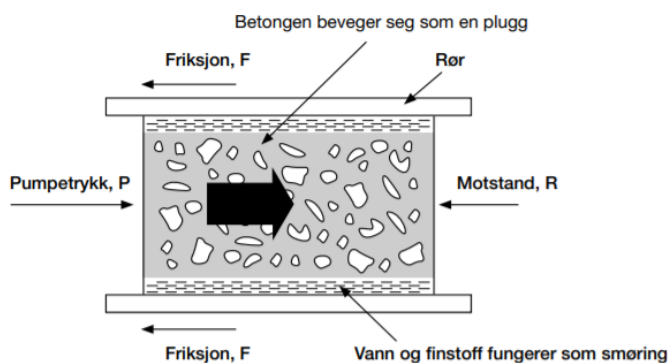


Bilde 3.3.1: Betongbil brukt til prøveblanding hos Betong Øst.

### 3.3.2 Pumping av betong

Pumping av betong er en effektiv og fleksibel distribusjon som kan benyttes for de fleste betongtyper. Pumping av betong har en rekke fordeler som økt støpehastighet, jevnere støpehastighet og enklere utstøpning dersom utstøpingspunktet er plassert på et vanskelig sted, som for eksempel under et overbygg [16].

Prinsippet for pumping er at pumpetrykket må være større enn friksjonen mellom betongen og rørveggen, motstanden i massen og strømmingstapet i rørgatene. Dersom det pumpes mot gravitasjonen må også vekten av betongen være med i trykkberegningen. Dette medfører at betongen må være homogen og ikke separerer selv under høyt pumpetrykk. Det er finstoffet i betongen som fungerer som smøring. Figur 3.3.2 viser hovedprinsippet for pumping.



Figur 3.3.2: Hovedprinsippet for pumping av betong. Pumpetrykket må være større enn friksjonen ( $F$ ) og motstanden ( $R$ ) [17].

Betong som skal pumpes må proporsjoneres som en spesiell betong i henhold til visse



retningslinjer. Når betongen trykkes fremover er det i praksis vannet som presses fremover. Hvis vannet presses ut av betongen på grunn av segregering, vil friksjonen mellom de største partiklene øke og til slutt føre til en plugg i pumpesystemet. På den andre siden kan økt friksjon mellom for mye finstoff føre til at motstanden blir så stor at det kreves et stort pumpetrykk for liten flyt. Dette vil naturligvis føre til lavere kapasitet på pumpingen [14].

Viktige parametre for proporsjonering av betong som skal pumpes er fordeling av partikkelstørrelse, form på partiklene, mengden finstoff og konsistens. Målet er å produsere en stabil betong som ikke segregerer, men som samtidig er lettflytende. Den viktigste parameteren er derfor mengden finstoff i blandingen. Bruk av luftinnførende tilsetningsstoff, silika og plastiserende tilsetningsstoff kan bidra til en godt egnet pumpbar betong. I passende mengder bidrar disse til en mer stabil betong med redusert sannsynlighet for segregering [14]. I forsøkene gjort i forbindelse med denne rapporten ble det brukt luftdempende tilsetningsstoff. Dette bidrar ikke til bedre pumpbarhet, men var nødvendig av andre hensyn som kommer frem senere i rapporten.



Bilde 3.3.3: Pumpemikser brukt til veggstøp hos Betong Øst.

### 3.3.3 SKB - Selvkomprimerende betong

Selvkomprimerende betong (SKB) beskriver ulike typer betong som ikke krever komprimeringsenergi under plasseringsprosessen. Komprimeringen av betongen kommer fra tyngdekraften alene. Det er flere grunner til å velge SKB. For det første blir arbeidsmiljøet forbedret ved at arbeiderne ikke blir utsatt for like mye støy og vibrasjon. En annen faktor er at kvaliteten til den herdede betongen blir mindre variabel, siden den ikke er avhengig av graden av vibrasjon. En tredje fordel er at bruken av SKB øker produktiviteten forbundet med støpearbeidet av betong. Dette er fordi det kreves mindre ressurser og arbeidet går fortere [14].

SKB er et relativt nytt konsept. Det har i mange år blitt brukt betonger med lignende egenskaper, men introduksjonen av nye superplastiserende og stabiliserende tilsetnings-

stoffer har gjort det lettere å lage SKB.

SKB er beskrevet gjennom partikkel-matriks modellen. I denne modellen blir betongen delt opp i to faser: en partikkelfase og en matriksfase. En SKB er alltid dominert av matriksfasen, og volumet av matriksfasen er større enn for vanlig betong. Når volumet av matriksfasen øker vil avstanden mellom partikkelen øke. Dette vil redusere friksjonen og blokkeringseffekten partikkelfasen har i betongen, og fører til at betongen blir mer lettflytende. For å teste om betongen er en SKB brukes en utbredelsestest. Prinsippet i denne testen er lik som ved en slumpetest, men i stedet for å måle høydeforskjellen på slumpen måles diameteren på utbredelsen. Et vanlig krav for SKB er en diameter på minst 600 mm [14].

Stabilitet og segregering i SKB er en utfordring. Denne type betong er svært lettflytende og segregering er en risiko. Den nyeste generasjonen av superplastiserende, kopolymerer, gir en veldig lav flyteskjærspenning, som vil si liten motstand mot at en bevegelse starter. I tillegg blir betongen viskøs, noe som gjør den tyktflytende og seig. Dette fører til at betongen oppfører seg som en tung væske, og det tar lang tid før den flyter helt ut i formverket. En slik oppførsel av SKB er spesielt vanlig for betonger med høy trykkfasthet, på grunn av lavt masseforhold og et høyt matriksvolum. Det er derimot også mulig å lage en SKB med lav trykkfasthet (høyt masseforhold), men det er noe mer utfordrende. Dette kommer av at det er en større utfordring å få nok matriksvolum når man har et høyt masseforhold. En løsning er å bruke et tilslag med et høyt nok innhold av fine partikler som vil bli en del av matriksfasen [14].

I den innledende prosjektoppgaven ble det observert at betongen oppførte seg noe seigere når det ble tilsatt biokull [5]. Det antas dermed at biokullet kan påvirke mulighetene for å lage en SKB. Nedknust biokull kan ha en fillereffekt på betongen og dermed bidra til å gjøre den mer stabil, og på denne måten blir det mulig å lage en SKB med biokull. Filler er en ikke-aktiv tilsetning, som er mindre enn 0,125 mm. Aktive tilsetninger har også en fillereffekt.

Under produksjon av Con-Form sine prefabrikkerte veggelementer ble vangene støpt med vanlig betong med slump på omtrent 220 mm på vibreringsbord. Det var ikke ønskelig å bruke SKB i vangene fordi denne betongen lettere kunne separere under vibrering. Betongen som ble fylt i senter, mellom vangene, var ønskelig å ha som SKB da dette gir en lettere og mer effektiv fyllingsmetode.

### 3.3.4 Modenhetsprinsippet

Under produksjonen av Con-Form sine veggelementer er det ønskelig at betongen til vangene oppnår en trykkfasthet på 10 MPa etter 16 timer i 30 °C. Betongen på laboratoriet ble testet etter 24 timer i 20 °C. For å kunne sammenligne trykkresultatene fra laboratoriet med ønsket fasthet under de gitte herdebetingelsene, brukes modenhetsprinsippet. Reaksjonshastigheten ved sementhydratasjon er sterkt temperaturavhengig. Betongens fasthetsutvikling er derfor påvirket av herdeprosessens temperaturforløp. Ved hjelp av modenhetsprinsippet kan fasthetsutviklingen beregnes i forhold til temperaturforløpet. Modenhetsprinsippet er basert på hastighetsfunksjonen, en funksjon som angir reak-



sjonshastigheten for sementhydratasjon relativt til reaksjonshastigheten ved 20 °C, se ligning (3.4) [14]. Denne temperaturen tilsvarer laboratorietemperatur og har verdien 1 for alle typer betong. For temperatur på 10 °C er verdien ca. 0,5, som betyr at betongen utvikler modenhet omtrent halvparten så fort som den gjør ved 20 °C. For temperaturer over 20 °C vil verdien være større enn 1,0 og dermed føre til økt reaksjonshastighet. Hastighetsfunksjonen bestemmes for hver enkelt betongtype gjennom måling av temperaturfølsomhet [18].

$$H(\theta) = e^{\frac{E(\theta)}{R} \cdot (\frac{1}{293} - \frac{1}{273+\theta})} \quad (3.4)$$

Hvor:

$E(\theta)$  = aktiveringsenergi, kJ/mol

$\theta$  = temperatur, °C

R = gasskonstanten, 8,314 J/mol·°C

For høy varme kan også medføre skade eller redusert kvalitet på betongen. Temperaturer på over 40 °C kan resultere i dårligere kvalitet og redusert styrke sammenlignet med herding ved lavere temperatur. Effekten avhenger av sammensetningen av bindemidlene i betongen [14].

Gjennom overvåking av herdetemperatur kan modenheten beregnes ved å summere betongens ekvivalente tid ved 20 °C. Dette gjøres ved å multiplisere tiden betongen har herdet i de ulike temperaturene med sine respektive hastighetsfunksjoner. For eksempel vil en betong som har herdet 10 timer i 10 °C ha en modenhet på 0,5·10 timer som tilsvarer 5 timer. Dersom man i tillegg har målt fasthetsutviklingen til den aktuelle betongtypen i laboratoriet, kan forventet fasthetsutvikling ved ulike temperaturnivåer beregnes [14]. På denne måten kan man estimere betongens fasthetsutvikling gjennom et kjent temperaturforløp. Dermed kjenner man blant annet tidspunkt for forskalingsriving og når betongen kan belastes.

### 3.3.5 Fukt

Uttørking av betong er en langsom prosess og er avhengig av blant annet betongkvalitet og type konstruksjon. Nystøpt betong har fritt vann og fuktmettet luft i alle porer. Porene oppstår som følge av reaksjonen mellom sement og vann under hydratiseringen. Dette medfører en volumreduksjonen, som vanligvis tildeles vannet ved å si at det kjemisk bundne vannet mister 25,4 % av sitt volum før hydratisering, også kjent som kjemisk svinn. Sementreaksjonen skaper på den måten noen luftfylte porer i sementpastaen når den er fuktisolert fra omgivelsene. Mengden vann som bindes kjemisk og dermed volumet av luftporene som dannes er avhengig av masseforholdet til betongen [14].

I nystøpt betong er relativ luftfuktighet (RF) i poreluften nær 100 %. RF vil over tid jevnes med RF i miljøet betongen står i. Vanligvis er ikke dette et problem for betong uten biokull.

Biokull absorberer mye fukt, og den frie fukten i betongen vil være høyere. Fukten som absorberes av biokullet i fersk betong med biokull vil bidra til å holde RF på et høyt nivå over lang tid. Dette er gunstig for herdingen, men kan skape en utfordring for materialet

som er i kontakt med betongen og innemiljøet. Det antas at betongen vil inneholde så mye fukt at den ikke kan lukkes inne bak fuktsensitive materialer, som for eksempel treverk.

Det er anslått at 60-80 % av alle byggskader skyldes fuktpåvirkning i en eller annen form. Typiske problemer som kan oppstå er mugg- og svertesopp på overflater, råte i trevirke, nedbrytning av lim og mer [19].

### 3.4 Resultater fra prosjektoppgaven

Resultatene fra det innledende arbeidet er rapportert i prosjektoppgaven [5]. De viktigste resultatene fra laboratorietestene er listet opp i tabellen under, tabell 3.2. Disse resultatene med tilhørende observasjoner la grunnlaget for videre utvikling av betongresepter med biokull.

**Tabell 3.2:** Resultater fra reseptene blandet i forbindelse med prosjektoppgaven. Her er det første tallet masseforholdet og bokstaven forteller om betongen er Referansebetong, Nøytral eller Positiv. Nøytral eller Positiv beskriver om betongen er karbonnøytral eller karbonpositiv.

Betong:	55-R	55-N-3	70-R	70-N	70-P
Slump [mm]	190	250	185	180	90
Utbredelse [mm]	-	560	-	290	-
Luftinnhold [%]	1,90	3,60	1,40	5,10	4,90
Fersk densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2371,40	2154,50	2352,30	2123,30	2092,10
Biokull [kg/m <sup>3</sup> ]	0	70,80	0	60,90	82,50
Trykkfasthet 7 døgn [MPa]	36,12	26,74	23,46	15,60	16,82
Trykkfasthet 28 døgn [MPa]	49,01	36,21	35,00	22,01	23,88

Forsøkene resulterte i viskøse blandinger, men med god støpelighet og uten tegn til separasjon av biokullet. En oppknusing av biokullet og tilhørende vannabsorpsjon medførte økt behov for superplastiserende (SP) tilsetningsstoff grunnet en reduksjon av betongens proporsjonerte masseforhold. Et sikteforsøk viste at over 40 % av biokullet var knust ned til fraksjoner mindre enn 0,5 mm. I utgangspunktet ble biokullet tilsatt i fraksjoner mellom 4 og 16 mm.

Som tabell 3.2 viser, er styrken for betong med biokull redusert sammenlignet med referansebetongen. Dette skyldes blant annet det høye luftinnholdet i betongen med biokull, samt svak mekanisk styrke i biokullet. Resultatene viser uansett at flere av reseptene har tilstrekkelig trykkfasthet til bruk i prefabrikkerte veggelementer, i tillegg til brukbare egenskaper i fersk tilstand.

# LABORATORIEARBEID

## 4 Mål og hensikt for laboratoriearbeid

Målet med laboratoriearbeidet var å undersøke om det er mulig å lage stabile og homogene betonger med biokull. I tillegg ble det undersøkt hvilken trykkfasthet som er mulig å oppnå med varierende innhold av biokull. Det har også blitt undersøkt hvilken vannabsorpsjonsverdi for biokullet som er fornuftig å bruke. Arbeidet var en videreføring av prosjektoppgaven om biokull i betong fra høsten 2020. Sluttmålet var å produsere betonger som kan overføres til fullskalaforsøk.

Det var ønskelig å optimalisere mengden biokull i betongene både med tanke på trykkfasthet og støpelighet. Mengden biokull som kan tilsettes ut i fra de to kriteriene ble undersøkt separat. Det er i tillegg gjort undersøkelser for å få kontroll på materialsammensetningen for betongene med biokull. Dette har blitt gjort ved å undersøke densiteten og vannabsorpsjonen til biokullet, samt nedknusingen av biokullet.

Hensikten med laboratoriearbeidet var å utvikle betong som skulle benyttes i fullskalaforsøk. Betongene som ble laget på laboratoriet, og kunnskapen som ble tilegnet gjennom forsøkene på laboratoriet, la grunnlaget for betongene som skulle produseres i fullskala og hvordan disse ble tilpasset.

Det ble i tillegg laget prismer bestående av biokull og sementlim, heretter kalt biokullstaver. Målet med å produsere biokullstaver på laboratoriet var å undersøke om det er mulig å produsere en vegg med staver støpt inn. Hensikten var å vurdere en alternativ metode til å lage karbonnøytrale vegger på.

### 4.1 Fremgangsmåte

For å oppnå målet med laboratoriearbeidet ble det blandet forskjellige betongresepter med varierende mengde biokull, vannabsorpsjon til biokullet og masseforhold. For alle betongene ble det testet luftinnhold, slump og eventuelt utbredelse. I tillegg ble det støpt terninger til trykktesting for å undersøke styrkeutviklingen og den endelige trykkfastheten til alle reseptene. Blandeprosedyre og alle testmetodene er beskrevet i kapittel 6. [Prosedyrer og testing på laboratoriet](#).

Under arbeidet har resultatet fra ett forsøk gitt en pekepinn på hvilken retning de senere forsøkene skulle ta. Fokuset under forsøkene har vært styrkeutviklingen og støpeligheten til betongen, og ut fra dette ble masseforholdet, vannabsorpsjonen til biokullet og mengde biokull justert. Målet var å lage en vangebetong som skulle oppnå en trykkfasthet på 10

MPa etter 16 timer ved 30 °C og ha en endelig trykkfasthet tilsvarende en B30, samt en senterbetong med egenskaper tilsvarende SKB. I tillegg ble biokullet testet for å estimere densitet, nedknusing og fuktinnhold.

To forsøk på å lage biokullstaver ble gjennomført. Målet med biokullstavene var å finne en alternativ metode til å lage karbonnøytrale vegger. For å bekrefte om dette var gjennomførbart ble to biokullstaver støpt inn i en liten betongvegg på laboratoriet.

# 5 Proporsjonering av betongreseptene

## 5.1 Partikkel-matriks modell

Partikkel-matriks modellen er utviklet for å gi en bedre forståelse av hvordan de ulike komponentene i betongen virker sammen og påvirker egenskapene til både fersk og herdet betong. Det er denne modellen som ble benyttet for proporsjonering av betongene i denne rapporten. Modellen deler opp betongen i to faser: matriksfasen og partikkelfasen.

### 5.1.1 Matriksfasen

Matriksfasen består av fritt vann, tilsetningsstoffer, sement og alle partikler med partikkelstørrelse mindre enn 0,125 mm. Dette er den flytende delen av den ferske betongen. I en vanlig betong vil matriksfasen ha mindre styrke enn tilslaget, og vil dermed være avgjørende for hvilken trykkfasthet betongen får etter herding. Hovedfaktorene som bestemmer egenskapene til matriksfasen er masseforholdet,  $m$ , og mengden sement.

### 5.1.2 Partikkelfasen

Partikkelfasen består av tilslaget og alle partikler med partikkelstørrelse større enn 0,125 mm. Biokull og absorbert vann i tilslaget er i tillegg definert som en del av partikkelfasen. Partikkelfasen er avgjørende for egenskapene til den ferske betongen. Tilslagets størrelse og form avgjør hvor mye matriks som er nødvendig for å oppnå ønsket støpelighet.

For betongene produsert i forbindelse med dette prosjektet vil deler av partikkelfasen bestå av biokull. Det antas at biokullet er den svakeste komponenten i betongen og dermed vil biokullet i partikkelfasen være med på å bestemme styrken til betongen.

## 5.2 Regneverktøy

I samarbeid med Skanska ble deres regneark benyttet, videre referert til som ”Proporsjonering-Skanska.xlsm”, for proporsjonering av betongreseptene. Dette regnearket er basert på partikkel-matriks modellen. Forfatterne av denne rapporten har fått opplæring i bruk av regnearket av Sverre Smeplass fra Skanska.

I forsøkene utført i prosjektoppgaven [5] ble det ikke tatt tilstrekkelig hensyn til vannabsorpsjon i biokullet. Sverre Smeplass har gjennomført små endringer i regnearket brukt i prosjektoppgaven slik at det i denne rapporten er muligheter for å legge inn vannabsorpsjon for biokull i regnearket.

## 5.3 Pozzolaner

Pozzolaner er en gruppe aktive mineraltilsetninger som har den egenskapen at de reagerer med Portlandsement og/eller hydratiseringsprodukter fra sementhydratasjonen. De to vanligste pozzolanene er silikastøv og flygeaske [14].

### 5.3.1 Silikastøv

Silikastøv er et biprodukt fra smelteprosessen brukt til å produsere silisiummetall og ferrosilisium. Med et overflateareal på omtrent  $20 \text{ m}^2/\text{g}$ , høyt innhold av  $\text{SiO}_2$  og en amorf struktur, er silikastøv veldig reaktivt med biproduktet kalsiumhydroksid fra sementhydratasjonen. Bruk av silikastøv gjør betong mer sammenhengende og mindre utsatt for segregering. For herdet betong vil silikastøv ha en positiv innvirkning på endelig styrke [14].

### 5.3.2 Flygeaske

Flygeaske er et restprodukt fra kull brukt i kullkraftverk. Det kan blandes sammen med sement, eller brukes som tilsetningsmateriale i betong. Flygeaske brukes først og fremst som erstatning for sement, og medfører dermed en reduksjon i  $\text{CO}_2$ -utslippet til betongen. Flygeaske bidrar i tillegg til en tettere betong og lavere varmeutvikling [20].

## 5.4 Tilsetningsstoffer i betong

Tilsetningsstoffer benyttes for å gi fersk og herdet betong bedre egenskaper med tanke på blant annet støpelighet og styrke. Det er vanlig å bruke tilsetningsstoffer i all betong [14].

I forsøkene gjort i forbindelse med denne rapporten har superplastiserende, akselererende og luftdempende tilsetningsstoffer blitt tilsatt i diverse blandinger.

### 5.4.1 Plastiserende tilsetningsstoff

Plastiserende og superplastiserende tilsetningsstoffer er de mest brukte tilsetningsstoffene i Norge. Det finnes flere undergrupper hvor de to vanligste i Norge er lignosulfonat og polykarboksylat. Begge er organiske polymerer med hovedkjeder og sidekjeder [14]. Mapei SX-23, brukt i forsøkene, er et polycarboxylat og faller inn under kategorien superplastiserende tilsetningsstoff.

Ved bruk av plastiserende tilsetningsstoffer oppnår man en reduksjon av betongens vannbehov og kan dermed produsere en betong med lavere masseforhold og fortsatt god støpelighet. Reduksjon i masseforholdet medfører også økt trykkfasthet. En ulempe er

at plastiserende tilsetningsstoff kan virke retarderende på herdeprosessen, i tillegg kan tilsetning av for mye plastiserende tilsetningsstoff resultere i separasjon.

#### 5.4.2 Akselererende tilsetningsstoff

De kjemiske stoffene som fører til en økning i hydratiseringsraten, som en akselererende effekt, blir kalt akselererende tilsetningsstoffer eller bare akseleratorer. En akselerator blir tilsatt betongen for å korte ned herdetiden og/eller øke tidlig styrkeutvikling. Akseleratorer som korter ned herdetiden virker i den plastiske fasen til betongen, mens de som påvirker tidlig styrke virker i herdefasen [14].

I enkelte blandinger har herdingsakselerator blitt brukt. Dette tilsetningsstoffet fremskynder herdeprosessen slik at betongen utvikler trykkfasthet tidligere. Denne type akselerator vil ha liten eller ingen effekt på støpeligheten til fersk betong [21]. Bruk av herdingsakselerator fører til en økning i styrke på 20-50 % de første 10-24 timene, men bidrar ikke til en økning i endelig styrke [14].

#### 5.4.3 Luftdempende tilsetningsstoff

Alle typer betong inneholder luft avhengig av hvilke delmaterialer som er brukt og blandeprosedyre. Normalt inneholder betong mellom 1-3 % luft. En tommelfingerregel er at en økning i luftinnhold på 1 % reduserer trykkfastheten med 5 % [22]. Luftdempende tilsetningsstoff reduserer overflatespenningen til betongen og gjør det enklere for luftlommer å unnsnippe betongen i fersk tilstand. Denne type tilsetningsstoff vil ikke endre noen andre egenskaper hos den ferske betongen [23].

### 5.5 Delmaterialer på laboratoriet

#### Tilslag

Tilslaget benyttet i alle betongene er sand og pukk fra Årdal, henholdsvis i fraksjonene 0/8 mm og 8/16 mm. Årdal 0/8 mm har densitet 2650 kg/m<sup>3</sup>, mens Årdal 8/16 mm har densitet 2700 kg/m<sup>3</sup>. Fraksjonen 0/8 mm inneholder 2,5 % filler. Fuktinnholdet i fraksjonen 0/8 mm ble målt før den første blandingen, og deretter fortløpende da det ble ansett som fornuftig å gjennomføre nye målinger.

#### Sement

Det har blitt brukt sement fra 2016 av typen Norcem Standard FA, som i følge Norsk Standard NS-EN 197-1 [24] er klassifisert som CEM II/A-V 42.5 R. Sementen har densitet 3000 kg/m<sup>3</sup> og inneholder 18 % flygeaske, samt 82 % klinker.

Da sementen fra 2016 ble brukt opp ble det bestilt inn ny sement. Denne sementen er og av typen Norcem Standard FA, men er i følge Norsk Standard NS-EN 197-1 [24] klassifisert som CEM II/B-M 42.5 R. Sementen har densitet 3000 kg/m<sup>3</sup> og inneholder 18 % flygeaske, 4 % kalksteinmel og 78 % klinker. Begge sementene er levert av Norcem og er produsert i Brevik.

### **Silikastøv**

I alle betongene ble det tilsatt enten 2,0 % eller 5,0 % av bindemiddelmengden med Elkem Microsilica. Silikastøvet har en densitet på 2200 kg/m<sup>3</sup>.

### **Flygeaske**

I begge biokullstavene ble det tilsatt enten 25,0 % eller 35,0 % av bindemiddelmengden med flygeaske. Denne flygeasken har en densitet på 2200 kg/m<sup>3</sup>.

### **Filler - Kalksteinsmel**

Det ble benyttet kalksteinsmel av typen Betofill VK150, levert av Miljøkalk. Kalksteinsmelet ble bare benyttet i det andre forsøket på å lage biokullstaver og det ble tilsatt 28 % av bindemiddelmengden i den blandingen. Kalksteinsmelet har en densitet på 2720 kg/m<sup>3</sup>.

### **Tilsetningsstoffer**

Det ble benyttet superplastiserende (SP) tilsetningstoff av typen Dynamon SX-23 fra Mapei, som har densitet 1050 kg/m<sup>3</sup> og inneholder 23 % tørrstoff.

I enkelte blandinger ble det benyttet en akselerator. Akseleratoren er av typen Master X-Seed 100, har densitet 1140 kg/m<sup>3</sup> og inneholder 22 % tørrstoff. Når akselerator har blitt benyttet i en blanding ble det tilsatt 6 kg/m<sup>3</sup>.

Det ble i tillegg benyttet et luftdempende tilsetningstoff kalt MasterCast 202 i noen blandinger. Dette tilsetningsstoffet har densitet lik 1020 kg/m<sup>3</sup> og inneholder 8,3 % tørrstoff. Dersom luftdemper benyttes i en blanding ble det tilsatt enten 1 eller 2 kg/m<sup>3</sup>.

### **Biokull**

Biokullet benyttet på laboratoriet ble levert av Carbofex, gjennom Oplandske Bioenergi. Biokullet var produsert ved omtrent 600 °C i mindre enn 10 minutter, og var laget av grantre massevirke. Biokullet har en overflate tilsvarende 279 m<sup>2</sup>/g. Analyseprøver av biokullet er gitt i Appendiks G.

Oppredningslaboratoriet ved NTNU har siktet biokullet i fire ulike fraksjoner: 4/8 mm, 8/12 mm, 12/16 mm og finstoff <0,25 mm. Det er bare de tre største fraksjonene som ble benyttet i proporsjonering av betong.

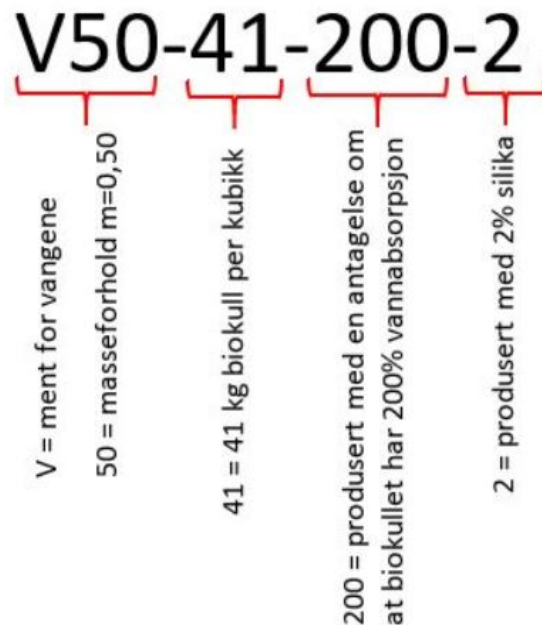
Etter tidligere testing i prosjektoppgaven [5] har det blitt antatt at biokullet har en densitet på 355 kg/m<sup>3</sup>. Denne densiteten ble benyttet i regnearket "Proporsjonering-Skanska.xlsm" for proporsjonering av betongreseptene.

Siktekurven til biokullet ble målt både i prosjektoppgaven [5] og i forbindelse med denne rapporten. Resultatet fra forsøkene viste at siktekurvene er ganske ulike den først antatte siktekurven for biokullet, se delkapittel 7.1.3.1. [Siktekurve for biokull som benyttes på laboratoriet](#). Siktekurven benyttet for proporsjonering av betongene i forbindelse med denne rapporten ble satt lik den kurven som ble funnet i prosjektoppgaven. Det ble valgt å holde siktekurven konstant i alle reseptene, selv etter ny måling av siktekurven, fordi en endring av siktekurve vil påvirke matriksvolumet. Ingen av siktekurvene som er funnet anses å være helt korrekte for partikkelfordelingen i den endelige betongen. Det er en usikkerhet rundt hva den reelle partikkelfordelingen er fordi nedmalingseffekten på biokullet etter vanntilsetning ikke ble målt.



## 5.6 Navngiving av betongreseptene

Alle betongene har fått tildelt et navn som inneholder informasjon om hva reseptene er basert på. Hver resept består av minst fem deler; hvor betongen er ment å brukes, masseforhold, mengde biokull, vannabsorpsjon og mengde silika. I forbindelse med denne rapporten ble det forsøkt å produsere en betong til vangene i et veggelement og en til senter av veggelementet. Betongene er derfor navngitt etter hvor de er ment for å brukes og markeres med V for vangene og S for senter. Figur 5.6.1 forklarer hvordan navnene er satt opp og hva hvert tall representerer.



**Figur 5.6.1:** Forklaring på hva de ulike delene i navnet på betongreseptene representerer. Dersom betongen skulle vært brukt i senter av veggelementet ville navnet startet med S.

Alle betongene som starter med V inneholder mindre biokull enn betongene som starter med S grunnet av hensyn til trykkfastheten som kreves av betongen i vangene. Betongene som starter med S inneholder nok biokull til å enten være karbonnøytrale eller karbonpositive. Disse er ment til bruk i senter av veggene og har ikke like strenge krav til trykkfastheten. Betongene har derimot strenge krav til støpeligheten og det er ønskelig at de skal være SKB og være pumpbar for effektiv plassering av betongen i senter av veggelementene.

Enkelte reseptnavn inneholder i tillegg forkortelsene "aks" og/eller "Ld". Dette beskriver om betongen er tilsatt akselerator og/eller luftdempende tilsetningstoff. Alle betongene inneholder det superplastiserende tilsetningstoffet Dynamon SX-23 og dette tilsetningsstoffet er dermed ikke representert i reseptnavnene.

## 5.7 Proporsjonering av vangebetongene

Alle reseptene som har blitt laget er basert på partikkel-matriks modellen, beskrevet i kapittel 5.1. [Partikkel-matriks modell](#). Blandeskjema for alle betongene er gitt i Appendiks A.1. Blandeprosedyren er beskrevet under delkapittel 6.1.1. [Blandeprosedyre for betong](#).

For de første betongene lå fokuset på å finne riktig vannabsorpsjonsverdi for biokullet, samt finne det mest fornuftige masseforholdet. Det ble først forsøkt noen blandinger med 200 % vannabsorpsjon. Disse blandningene ble ganske bløte, og det ble antatt at vannabsorpsjonen måtte være lavere enn dette. For resten av vangebetongene ble vannabsorpsjonen satt lik 150 % mens masseforholdet og matriksvolumet ble justert.

Con-Form, som produserer veggelementene, krever at vangebetongene skal ha en minimum trykkfasthet på 10 MPa etter 16 timer. Dette er ved herding i 30 °C. På laboratoriet herder betongen i 20 °C. Ved bruk av modenhetsprinsippet, beskrevet i delkapittel 3.3.4. [Modenhetsprinsippet](#), kan man regne ut at trykkfastheten etter ett døgn til en betongterning herdet i 20 °C, tilsvarer trykkfastheten til en betong herdet i 30 °C etter 16 timer.

Det ble observert at en endring i masseforholdet ga en relativt stor endring i trykkfastheten til betongen. Masseforholdet ble justert fra 0,50 til 0,45 og videre ned til 0,35. For å beholde god støpelighet ble matriksvolumet økt fra 310 L/m<sup>3</sup> til 320 L/m<sup>3</sup>. Silika virker stabiliserende og hindrer separasjon, og innholdet av silika ble dermed økt fra 2 til 5 %.

Mengden biokull i betongen påvirker trykkfastheten. Det var ønskelig å få mest mulig biokull inn i betongen, men styrkekravene satte en begrensning på hvor mye som kunne tilsettes. Det ble forsøkt å strekke grensene for tilsetning av biokull, og den siste betongen som ble produsert på laboratoriet kan anses som karbonnøytral. Karbonregnskapet for hver betong som ble produsert er gitt i Appendiks F.

Betongene som ble produsert inneholder mye luft, noe som ikke er ønskelig i dette tilfellet grunnet det medfører en reduksjon i trykkfastheten. Det ble derfor besluttet å tilsette luftdemper. En reduksjon av luftinnholdet i betongen har en positiv innvirkning på trykkfastheten.

De siste vangebetongene som ble produsert ble blandet ganske tett opp mot prøveblanding hos Betong Øst. For å sikre at betongene tilfredstilte kravene til tidlig trykkfasthet fra Con-Form ble det tilsatt herdingsakselerator.

## 5.8 Proporsjonering av senterbetongene

Alle reseptene som ble laget er basert på partikkel-matriks modellen, beskrevet i kapittel 5.1. [Partikkel-matriks modell](#). Blandeskjema for alle betongene er gitt i Appendiks A.2. Blandeprosedyren er beskrevet under delkapittel 6.1.1. [Blandeprosedyre for betong](#).

Samme metode som for vangebetongene ble benyttet også for senterbetongene. For de første betongene som ble produsert lå fokuset på vannabsorpsjonen til biokullet og masseforholdet. De to første blandningene, av alle betongene, var to senterbetonger med vannabsorpsjon satt lik 100 %. Det ble antatt at dette var for lite, og sammen med testing av vangebetonger med 200 % vannabsorpsjon ble det valgt å sette absorpsjonsveriden til 150 %.

Senterbetongene har i motsetning til vangebetongene ikke like strenge styrkekrav. Det er vangebetongene som er de bærende elemente i veggene, og dermed kreves det ikke at senterbetongene skal ha høy trykkfasthet. Con-Form ønsket at senterbetongene skal ha en trykkfasthet på minimum 10 MPa etter 28 døgn.

Den viktigste faktoren for senterbetongen er at den har god støpelighet, og det er ønskelig at den er en SKB. Det ble observert at betongen virker noe ustabil ved høyt masseforhold, dermed ble masseforholdet justert fra 0,50 til 0,45 og videre ned til 0,35. For å forsøke å lage en SKB ble matriksvolumet endret fra 300 L/m<sup>3</sup> til 320 L/m<sup>3</sup>, videre til 330 L/m<sup>3</sup> og til slutt til 340 L/m<sup>3</sup>. Silikamengden ble økt fra 2 til 5 %.

Det ble observert at mengden biokull som ble tilsatt påvirket støpeligheten til betongen. Den begrensende faktoren for tilsetning av biokull var i dette tilfellet derfor støpeligheten til betongen. Det ble også observert at det er mulig å tilsette mer biokull enn det som kreves for å nulle ut CO<sub>2</sub>-utslippet til betongen. Overskuddet kan da nulle ut det resterende CO<sub>2</sub>-utslippet til vangebetongen, samt utslippet til armeringen og andre bidrag i veggelementene. Det ble målt relativt høyt luftinnhold i senterbetongene, mellom 4 og 6 %, noe som ikke er ønskelig. Den siste betongen som ble produsert på laboratoriet ble derfor tilsatt luftdemper.

## 5.9 Proporsjonering av biokullstaver

Alle reseptene ble proporsjonert i regnearket ”Proporsjonering-Skanska.xlsm”, og reseptene er gitt i [Appendiks A.4](#). Blandeprosedyren er beskrevet under delkapittel [6.1.2](#). [Blandeprosedyre for biokullstaver](#).

Regnearket ”Proporsjonering-Skanska.xlsm” er basert på partikkel-matriks modellen. Denne modellen stemmer ikke helt overens med hvordan de første stavene ble produsert, men det ble likevel valgt å benytte dette regnearket og justere inndataene til å stemme overens med det som var ønsket i dette tilfellet. Partikkel-matriks modellen tar utgangspunkt i en kompakt betong, hvor matriksen fyller alle hulrommene. I de første biokullstavene som ble produsert var det hensiktsmessig å ha hulrom mellom biokullbitene. Luftinnholdet i regnearket ble dermed satt relativt høyt for å representere disse hulrommene. Dette skal representere de grove hulrommene mellom partiklene, og ikke faktisk luftinnhold. På den måten kan regnearket benyttes til å proporsjonere biokullstaver som ikke følger partikkel-matriks modellen.

Det skulle forsøkes å lage biokullstaver som minner om lekablokker. Stavene skulle ha hulrom mellom biokullbitene og bare henge sammen ved bruk av et type sementlim. For å få frem luftrommene i resepten ble luftinnholdet i resepten satt til 10 %. Masseforholdet

ble satt til 0,35 og mengden matriks til 300 L/m<sup>3</sup>. Det ble antatt at dette vil være nok til å legge et lag med sementlim utenpå alle biokullbitene. Det var hensiktsmessig å bruke minst mulig sement for å få et mest mulig positivt karbonregnskap. Dermed ble det valgt å bytte ut 35 % av sementen med flygeaske. Det ble antatt at biokullet ikke ville trekke til seg like mye vann i dette tilfellet som når det blandes i betong, og vannabsorpsjonen ble satt til 30 %.

Under blanding ble det observert at sementlimet mistet fuktigheten ganske fort når det ble tilsatt biokullet, og det ble derfor vanskelig å få sementlimet fordelt på alt biokullet. Det så ut til at biokullet trakk til seg mer vann enn det som ble antatt.

Det ble støpt tre terninger og to prizmer. Under avforming ble det observert at de var veldig skjøre og biokullet i de ytre lagene falt svært lett av. Ut i fra dette ble det antatt at å lage staver som tåler håndtering på denne måten vil være tilnærmet umulig.

Resepten måtte endres før andre forsøk på å lage biokullstaver. Det ble denne gangen tatt utgangspunkt i at det ikke var ønskelig med mye luft i stavene, men å heller fylle tomrommet mellom biokullbitene. Disse stavene vil da følge partikkel-matriks modellen. Dersom disse rommene fylles med sement vil det slå sterkt negativt ut på karbonregnskapet. Det ble derfor valgt å benytte en filler, kalksteinsmel, for å fylle tomrommene. Mengden flygeakse ble redusert til 25 % og det ble tilsatt 28 % kalksteinsmel. Matriksvolumet ble økt til 390 L/m<sup>3</sup>, masseforholdet ble økt til 0,40 og luftinnholdet ble redusert til 1 %. På bakgrunn av at de første biokullstavene ble så tørre ble vannabsorpsjonen økt til 150 %. Det ble antatt at dette ville gi en blanding som ikke var like tørr, og at det var nok sementlim til å dekke alle biokullbitene, samt fylle hulrommene. Det ble dermed antatt at de herdede stavene ville tåle mer håndtering.

Det ble støpt ut to prizmer som ble støpt inn i en liten vegg på laboratoriet. I tillegg ble det støpt ut et par terninger for å teste om det var mulig å trykkteste dem, for å undersøke trykkfastheten til stavene.

På laboratoriet var det tilgjengelig biokull fra Carbofex i to variasjoner. Det var tilgjengelig en storsekk med biokull som ikke var siktet og fraksjonert, og mindre sekker med siktet og fraksjonert biokull. Det fraksjonerte biokullet var siktet fra biokullet som var i storsekken. Det er samme type biokull, men de to typene inneholder ulike fraksjoner. Biokullet i storsekken inneholdt alt fra 0-20 mm, mens det fraksjonerte biokullet var delt i tre ulike fraksjoner: 4/8 mm, 8/12 mm og 12/16 mm.

Grunnet begrenset mengde av det fraksjonerte biokullet ble det valgt å produsere de første biokullstavene med biokullet fra storsekken. Det antas at dette hadde en negativ effekt siden dette biokullet inneholder en del finstoff som ville trekke til seg vann, men ikke bidra til å lime de større bitene sammen. Dermed ble det valgt å bruke det fraksjonerte biokullet når det andre settet med biokullstavene ble produsert.

# 6 Prosedyrer og testing på laboratoriet

## 6.1 Blandeprosedyre

### 6.1.1 Blandeprosedyre for betong

Før selve blandeprosessen kan starte må blandemaskinen og skovlene fuktes med vann. Deretter plasseres tilslaget, biokullet, sement og silika i maskinen. Det groveste tilslaget legges i maskinen først. Noe av sanden ble holdt igjen og lagt i maskinen helt til slutt, vist i bilde 6.1.1, for å pakke inn biokullet, sementen og silikastøvet slik at det ikke skulle støve for mye. For vanlig betong skal dette tørrblandes i 1 minutt før vannet tilsettes. Etter et par blandinger ble det tatt et valg om å øke tiden for tørrblending til 5 minutter, fordi det var hensiktsmessig å knuse biokullet mer. Vannet tilsettes gradvis i løpet av 30 sekunder etter tørrblendingen. Tiden for våtblanding starter fra det første sekundet vannet blir tilsatt og varer i 2 minutter. Deretter skal betongen henstilles og stå i ro i 2 minutter. Maskinen startes opp igjen og så tilsettes alle tilsetningsstoffer. Alle blandinger ble tilsatt et superplastiserende (SP) tilsetningsstoff. Etter tilsetning skal blandingen pågå i 1 minutt ekstra, fra det tidspunktet den siste mengden av dette stoffet ble tilsatt. For de blandinger som også inneholdt akselerator og luftdemper ble dette tilsatt like før SP-stoffet tilsettes.



**Bilde 6.1.1:** Bilde av blandemaskinen benyttet på laboratoriet. Bildet er tatt like etter alt tilslaget, sementen, silika og biokull for en vangebetong er lagt i maskinen. Her ser man at deler av sanden ligger helt på toppen for å pakke inn de andre delmaterialene slik at det ikke skal støve så mye når blandingen starter.

## 6.1.2 Blandeprosedyre for biokullstaver

### 6.1.2.1 Blandeprosedyre for biokullstaver - første forsøk

Biokullet ble veid opp og plassert i en 50 L bøtte. Alle materialene benyttet til å lage sementlimet ble tilsatt en annen 50 L bøtte og blandet sammen ved hjelp av en sementmikser i 2 minutter, som vist i bilde [6.1.2](#).



Bilde 6.1.2: Blanding av sementlim med sementmikser.

Sementlimet ble helt over i bøtten med biokull og blandet sammen. I mangel på bedre utstyr ble dette blandet sammen for hånd. Biokullet trakk til seg mer vann enn forventet, og sementlimet ble fort tørt. Dette gjorde det vanskelig å fordele sementlimet jevnt over alt biokullet for hånd.

### 6.1.2.2 Blandeprosedyre for biokullstaver - andre forsøk

Blandeprosedyren måtte endres fordi det ikke var fornuftig å blande sammen for hånd. Biokullet ble veid opp og lagt i en fallblander som rommer 50 L, vist på bilde [6.1.3](#).





**Bilde 6.1.3:** Fallblander brukt til å blande sementlimet med biokull.

Sementlimet ble blandet på samme måte som ved produksjon av de første biokullstavene, med en sementmikser i en bøtte, før det ble helt inn i fallblanderen. Her ble biokullet og sementlimet blandet i 2 minutter på lav hastighet for å unngå knusing av biokullet.

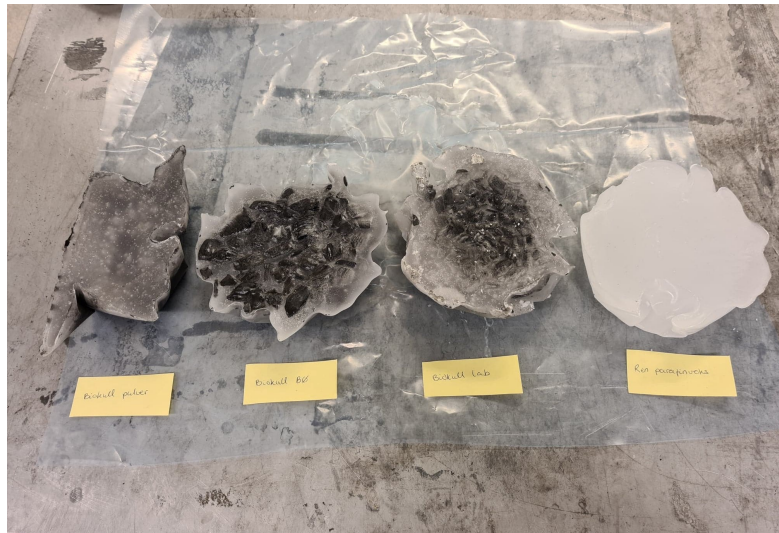
## 6.2 Testing av biokull

### 6.2.1 Estimering av biokullets partikkeldensitet ved bruk av ren parafinvoks

Det er en usikkerhet rundt den faktiske partikkeldensiteten til biokullet. Fordi det ikke var ønskelig å benytte epoxy i laboratoriet, ble det valgt å benytte 100 % fullraffinert parafinvoks for å prøve å finne partikkeldensiteten til biokullet. Ren parafinvoks blir flytende når den varmes opp og det antas at noe av parafinvoksen kan bli tatt opp av biokullet. Dette kan gjøre at målinger ved bruk av denne metoden ikke blir helt nøyaktige, men det ble antatt at biokullet ville ta til seg lite voks slik at dette ikke ble en betydelig feilkilde.

Hvilke støpeformer som ble benyttet, med tanke på volum og form, var ikke essensielt i dette tilfellet. Det måtte benyttes en støpeform som gjorde det lett å avforme den

stivnede parafinvoksen uten å ødelegge den, i tillegg til at formen måtte tåle den høye varmen til parafinvoksen. Dermed ble det valgt å benytte skåler og en plastduk i dette forsøket. Plastduken ble lagt ned i skålen slik at voksen lettest mulig kunne avformes ved å løfte plastduken ut av skålen og deretter dra av plastduken fra den størknede parafinvoksen. Avformede parafinvoksbitar, både med og uten biokull, er vist i bilde 6.2.1.

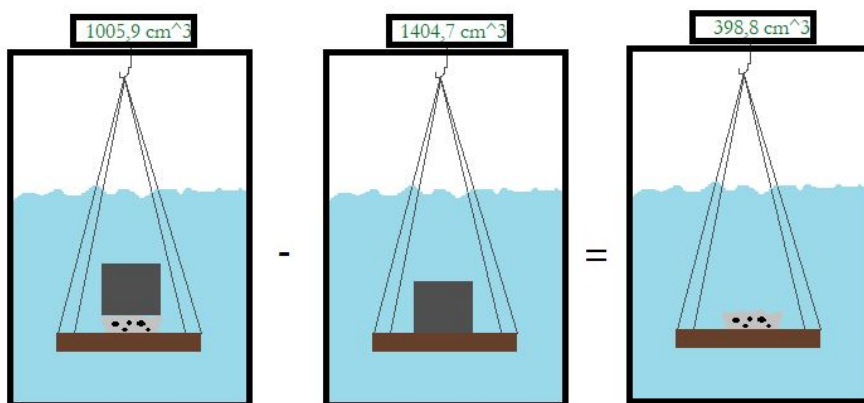


**Bilde 6.2.1:** De tre massene til venstre er størknet parafinvoks med biokull. Helt til høyre er størknet parafinvoks uten biokull. Fra venstre: pulverisert biokull, biokull hentet fra Betong Øst (Carbofex), biokull fra laboratoriet (Carbofex), ren parafinvoks.

En form ble fylt med kun parafinvoks. Denne ble brukt som referanse for å kunne regne ut partikkeldensiteten av biokullet i de andre formene. De tre andre formene ble fylt med både parafinvoks og biokull. En form ble fylt med en blanding av alle fraksjonene med biokull benyttet på laboratoriet, den andre med biokullet benyttet hos Betong Øst (Carbofex) og den siste formen ble fylt med biokullet benyttet på laboratoriet i pulverform. Etter avforming ble alle formene veid både i luft og i vann. Parafinvoks har lavere densitet enn vann og vil dermed flyte i vann. Det ble dermed valgt å bruke en betongterning, støpt til bruk i trykktesting, for å holde parafinvoksen under vann.

Volum regnes ut som differansen mellom vekt i luft og vekt i vann. Volumet til parafinvoksen anses å være volumet av både parafinvoksen og betongterningen minus volumet av bare betongterningen, som illustrert i figur 6.2.2.





**Figur 6.2.2:** Illustrasjon av hvordan volumet av parafinvoks med biokull regnes ut.

Etter man har funnet volumet av parafinvoksen, finnes densiteten ved å dividere vekten i luft på volumet. Dersom man kjenner densiteten til ren parafinvoks, volumet og vekten av parafinvoks med biokull og mengden biokull kan man finne partikkeldensiteten på biokullet ut i fra ligning (6.1a). Volumet til biokullet kan finnes ut fra ligning (6.1b).

$$\text{Densitet}(B) = \frac{\text{vekt i luft}(B)}{V(B)} \quad (6.1a)$$

$$V(B) = V(B+P) - V(P) = V(B+P) - \frac{\text{vekt i luft}(B+P) - \text{vekt}(B)}{\text{densitet}(P)} \quad (6.1b)$$

hvor B står for biokull, V står for volum og P står for parafinvoks. Betegnelsen  $V(B)$  står dermed for "volum av biokull".

## 6.2.2 Estimering av biokullets fuktinnhold

Hver fraksjon av biokullet på laboratoriet, samt prøver fra Betong Øst, ble fordelt i to skåler hver. Det ble valgt å ta to skåler av hver fraksjon for å kunne se på gjennomsnittet mellom dem. Hver fraksjon ble undersøkt separat for å se om det var forskjell i fuktinnholdet i de ulike fraksjonene benyttet i laboratoriet, samt om dette biokullet hadde et annet fuktinnhold enn det som ble benyttet i fullskalaforsøk.

Skålene med biokull ble satt i et varmeskap som holdt 70 °C, og ble stående i varmeskapet i 24 timer. Skålene med biokull ble veid både før de ble satt i varmeskapet og etter de ble tatt ut. Fuktinnholdet i biokullet regnes ut etter ligning (6.2):

$$\text{fuktinnhold} = \frac{\text{masse våt} - \text{masse tørr}}{\text{masse tørr}} \quad (6.2)$$

## 6.2.3 Biokullets effektive sikterkurve etter nedknusing under blanding

### 6.2.3.1 Estimering av biokullets siktekurve fra laboratoriet

Biokullet benyttet i denne rapporten er produsert av Carbofex og siktet av Oppredningslaboratoriet ved NTNU i følgende fire ulike fraksjoner: finstoff <0,25 mm, 4/8 mm, 8/12 mm og 12/16 mm. Biokullet ble fraksjonert på denne måten fordi det i prosjektoppgaven [5] ble antatt at det var essensielt å ha god kontroll over hvilke fraksjoner som ble tilsatt. Det ble fort konkludert med at dette ikke var tilfellet. Biokullet benyttet på laboratoriet i forbindelse med denne rapporten var rester av det som ble benyttet i prosjektoppgaven, og var dermed allerede delt i fraksjoner.

Under selve blandeprosedyren vil biokullet knuses av pukken og sanden. Det antas i tillegg at sementen bidrar til å male opp biokullet grunnet sin høye fasthet. Våtblending antas også å ha en betydelig oppmalingsseffekt.

Etter de to første blandingene som ble utført i forbindelse med denne rapporten, ble det observert at betongen oppførte seg litt annerledes enn hva den gjorde i forbindelse med prosjektoppgaven. Det ble dermed antatt at biokullets egenskaper kunne ha endret seg etter lagring over lengre tid. Graden av nedknusing kan ha blitt påvirket av dette.

Sikteforsøket ble gjennomført av to grunner; det var ønskelig å se hvor mye biokullet ble knust ned, og det er ønskelig å se om biokullet ble knust like mye ned som i prosjektoppgaven.

For å kunne analysere resultatene opp mot resultatene fra prosjektoppgaven ble nøyaktig samme mengde stein, sand og biokull målt opp. Mengden stein, sand og biokull er basert på en B30 M60 betong, med masseforhold 0,55 og mengden biokull tilsvarer den mengden som kreves for å gjøre betongen nøytral med hensyn til CO<sub>2</sub>-utslipp. Tabell 6.1 viser hvor mye som ble veid opp av hver del.

**Tabell 6.1:** Mengde sand, pukk og biokull benyttet i sikteforsøket. For biokullet benyttes kun fraksjonene 4/8 mm, 8/12 mm og 12/16 mm.

Hva:	Mengde:
Årdal 0/8 mm	12,3 kg
Årdal 8/16 mm	7,3 kg
Biokull	353 g av hver fraksjon

Før pukken og sanden ble veid opp ble det tørket i et tørkeskap på 105 °C i 24 timer for å fjerne fukt. Dersom pukken og sanden var fuktig ville det ikke falt gjennom siktene like lett og dermed ødelagt forsøket. De oppveide og tørre mengdene ble så lagt i blandemaskinen og blandet i 5 minutter. Det sammenblandene materialet ble delt i tre og hver del kjørt gjennom siktemaskinen i 10 minutter. For å sikre at det ble siktet ordentlig ble siktene ristet for hånd etter de ble tatt ut av maskinen.

Det ble valgt å benytte samme størrelser på siktene i denne rapporten som i prosjektoppgaven: 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm og 0,5 mm. Hver fraksjon ble separert fra

hverandre og veid, som vist i bilde 6.2.3.

For de fire største fraksjonene ble all den siktede mengden benyttet videre i forsøket. For de tre resterende fraksjonene, 1 mm, 0,5 mm og <0,5 mm, ble det tatt ut tre delprøver av hver. Hver fraksjon og delprøve ble først veid. Deretter ble de tilsatt vann. Biokull har en lavere tetthet enn vann og vil dermed flyte, mens puk og sand har høyere tetthet enn vann og vil synke. På denne måten kan man skille biokullet fra pukken og sanden. Biokullet ble vasket ut fra hver fraksjon og delprøve. Disse ble deretter satt i et tørkeskap på 105 °C til alt vannet hadde fordampet før de ble veid på nytt. På denne måten var det mulig å regne ut mengden biokull i hver fraksjon og dermed sette opp en siktekurve.

De tre minste fraksjonene ble delt opp i tre delprøver hver siden det var vanskelig å vaske ut biokullet fra disse prøvene, i tillegg til at det var lettere og mer kontrollert å arbeide med det i mindre mengder. Hver delfraksjon ble tilsatt vann og massene rørt rundt. Skålen ble stående i ro til man antok at all sanden hadde sunket til bunns, før man forsøkte å forsiktig helle ut vannet slik at biokullet fulgte med vannet ut av skålen. Når vannet renner ut av skålen skaper dette vannstrømmer som kan påvirke sandpartiklene og gjøre at de også flyter opp og ut av skålen. Det var i tillegg utfordrende å se om alt biokullet var ute av skålen i de minste fraksjonene; det er derfor knyttet noe usikkerhet til bruk av denne metoden.



**Bilde 6.2.3:** Fra måling av biokullets siktekurve. Her vises de ulike fraksjonene etter at de er siktet.

### 6.2.3.2 Estimering av biokullets siktekurve fra fullskalaforsøk

Nedknusingen av biokullet under blanding i betongbil var en stor usikkerhet knyttet til fullskalaforsøket. Det ble derfor bestemt å måle siktekurven til biokullet. Det ble hentet ut en prøve fra den siste senterbetongen som ble produsert, etter at biokullet hadde

blitt tromlet i betongbilen sammen med pukkk i 10 minutter. Det ble også hentet ut en prøve direkte fra storsekken med biokull for å kunne sammenligne og vurdere hvor mye biokullet blir nedknust.

Senterbetongen inneholder mye biokull i forhold til mengden pukkk og det ble observert at prøven som ble hentet fra betongbilen ikke inneholdt noe pukkk. Det antas at det er en mulighet for at under påfylling av biokull på betongbilen har deler av biokullet lagt seg i åpningen til betongbilen og ikke blitt knust av pukken. Dette biokullet vil da kunne bli med i prøven som ble tatt fra bilen og dermed gjøre at prøven ikke ble representativ for resten av biokullet tromlet i betongbilen. Det ble antatt at det var relativt små mengder biokull som la seg i åpningen på bilen og dermed vil det ikke påvirke hele betongblandingen, men det kan ha gitt et betydelig utslag på sikteresultatene da dette var en liten prøve. Størrelsen på prøvene som ble tatt utgjør også en feilkilde, fordi de var små i forhold til mengden biokull tilgjengelig.

Biokullprøvene ble tatt med tilbake til konstruksjonslaboratoriet på NTNU, hvor prøvene ble siktet. På grunn av størrelsen til siktene ble siktingen gjort i flere etapper; både på et vibrobord og for hånd. Etter siktingen ble hver fraksjon veid. Siktene som ble brukt var 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm og 0,125 mm. Selv om prøvene ble siktet lenge og nøye er ikke metoden som ble brukt standardisert, og dermed er det usikkert om alt biokullet ble siktet fullstendig. Det er i tillegg vanskelig å mekanisk sikte lette materialer siden tyngden ikke bidrar nok til å drive partiklene gjennom siktene. Dette kan ha ført til at noen av de minste fraksjonene til biokullet ble liggende i de større fraksjonene på grunn av de ikke kom seg gjennom alle siktene som følge av ufullstendig sikting.

Grunnet prøven tatt fra betongbilen ikke inneholdt noe pukkk, ble ikke fraksjonene vasket slik som beskrevet i delkapittel [6.2.3.1. Estimering av biokullets siktekurve fra laboratoriet](#). Fraksjonene kan ha inneholdt noe mindre sandpartikler, men det ble antatt at dette var så lite at det ikke ville påvirke resultatene i stor grad. Hver fraksjon ble separert fra hverandre og veid for å kunne beregne en siktekurve.

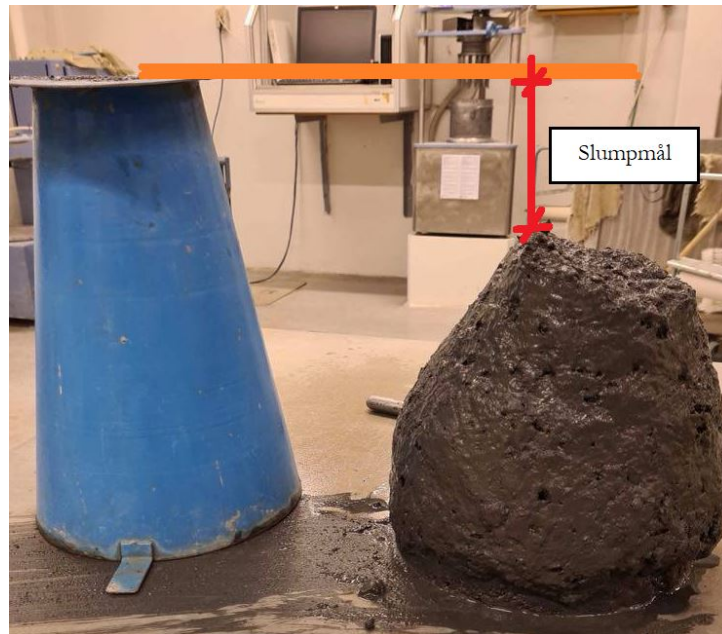
## 6.3 Testmetoder for fersk betong

### 6.3.1 Slump og utbredelse

Måling av slump benyttes for å måle støpeligheten til betong. For betongene produsert i denne rapporten og som var ment for bruk i vangene var det ønskelig å ha relativt god støpelighet. Dermed ble det forsøkt å produsere betong med slump på omtrent 220 mm. For betongen ment for bruk i senter av veggelementene var det ønskelig å oppnå en slump på rundt 250 mm. Senterbetongen bør være en SKB, som er grunnen til ønsket om høyere slump.

Testmetoden for måling av slump utføres i samsvar med Norsk Standard NS-EN 12350-2:2019 [25]. Det benyttes en kjegle som er 300 mm høy. Den nedre åpningen er 200 mm i diameter, mens den øvre åpningen på kjeglen er 100 mm i diameter. Kjeglen fuktet med vann og plasseres på en fuktig plan flate. Den fylles i tre lag og hvert lag komprimeres ved bruk av en metallstang som stemples 25 ganger ned i betongen. Betongen avrettes i

toppen av kjeglen og all overflødig betong rundt kjeglen fjernes før den løftes vertikalt opp i et jevnt tempo. Høydedifferansen mellom toppen av kjeglen og den nåværende høyden på betongen er definert som betongens slump, som vist i bilde 6.3.1.



**Bilde 6.3.1:** Bilde fra slumpetest av betong.

Konsistensen på betongen endrer seg over tid grunnet hydratisering av sementen og vannabsorpsjon til biokullet. For å kunne sammenligne resultatene fra blandingene ble slumptesten utført på omtrent samme tidspunkt hver gang. Slumptesten var den første testen som ble utført for hver blanding.

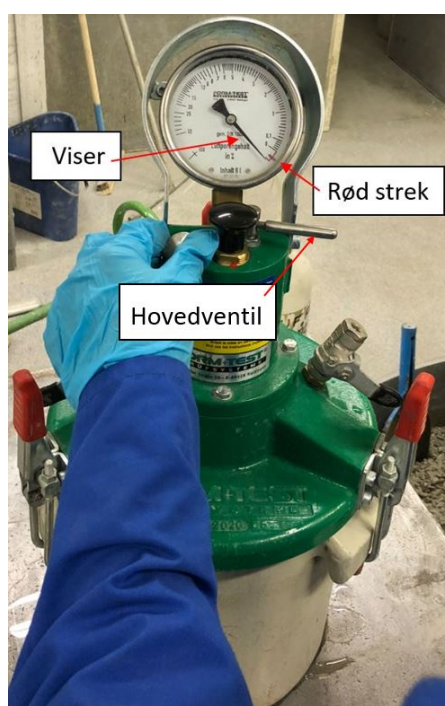
For målingen av senterbetongene, som skal være SKB, ble det utført en utbredelsestest. Metoden ble utført i samsvar med Norsk Standard NS-EN 12350-2:2019 [26]. Denne metoden er spesielt utviklet for SKB. Metodene er nokså like og bruker det samme utstyret. Forskjellen er at kjeglen skal fylles uten lagvis komprimering og løftes i et litt hurtigere tempo enn ved den andre metoden. Denne metoden er laget for å undersøke utbredelsen til betongen. Dette gjøres ved å måle diameteren til betongen fra en kant til en annen. Det tas også en måling vinkelrett på den første målingen, og gjennomsnittet av disse to målingene er utbredelsen. En SKB skal være så flytende at det egentlig ikke er hensiktsmessig å måle slumpen til betongen, dermed måler man heller utbredelsen for å få et bedre innblikk i støpeligheten til betongen.

I denne rapporten ble slump og utbredelse målt på alle betongene i laboratoriet. For vangebetongene ble metoden med bruk av metallstang for komprimering benyttet, mens for senterbetongene ble utbredelsesmetoden benyttet dersom den ferske betongen ble ansett å være bløt nok til å være en SKB.



### 6.3.2 Luftinnhold

Luftinnholdet i betongen kan fungere som en kvalitetssjekk av den brukte resepten. Testen utføres i samsvar med Norsk Standard NS-EN 12350-7:2019 [27]. Luftprøvingsbeholderen som benyttes rommer 8 liter og det ble ansett som fornuftig å fylle beholderen i tre lag. Hvert lag ble komprimert både ved bruk en metallstang som stemples ned i hvert lag 25 ganger, og en klubbe brukt til å banke forsiktig på utsiden av beholderen 10 ganger per lag. Etter at luftprøvingsbeholderen er fylt opp og betongen er avrettet fuktes lokket til luftprøvingsbeholderen og settes på. Ved hjelp av en vannbeholder med utløp fylles beholderen med vann gjennom ventilene. Når vannet som kommer ut av ventilene ikke inneholder luftbobler stenges begge ventilene og luftkammeret i lokket pumpes full av luft. Viseren stilles inn på den røde streken, vist i bilde 6.3.2. Deretter åpnes hovedventilen og luftinnholdet i betongen kan leses av.



**Bilde 6.3.2:** Testing av luftinnholdet i betong. Bildet viser luftbeholderen med lokk på.

En av grunnene til å teste luftinnholdet til betongen er å undersøke om den inneholder falsk luft. Dette er blærer som oppstår av seg selv uten hjelp av luftinnførende tilsetningsstoffer. Disse blærene er som regel grovere og mer ustabile enn de som kommer fra luftinnførende tilsetningsstoff. De er i tillegg lengre fra hverandre. Disse to faktorene fører til at de ikke hjelper betongen mot frost, noe som luftbobler med kanaler mellom seg vil gjøre. Blærene vil også ha en negativ effekt på styrken til betongen. Dette kalles falsk luft på grunn av det ikke er tilsiktet, og fordi det ikke har noen positiv effekt på betongen (S. Smeplass, personlig kommunikasjon, 12.februar 2021).

### 6.3.3 Densitetsmålig ved bruk av luftprøvingsbeholder

Densitetsmålinger kan benyttes som en indikasjon på om antagelsene som er gjort angående delmaterialene når resepten ble laget stemmer overens med virkeligheten. Måling av densitet utføres i samsvar med Norsk Standard NS-EN 12350-6:2019 [28]. Luftprøvingsbeholderen ble benyttet som densitetsbeholder i forsøkene i forbindelse med denne rapporten. Densitetsmålingen ble utført før selve lufttesten og dermed ble betongen her komprimert på samme måte som beskrevet i delkapittel 6.3.2. [Luftinnhold](#). Beholderen rengjøres fullstendig på utsiden før den veies. Etter at beholderen med betong er veid kan den benyttes til måling av luftinnhold.

Densiteten til betongen kan regnes ut etter ligning (6.3):

$$\text{densitet [kg/m}^3] = \frac{\text{vekt av betong i beholder [kg]}}{\text{volum av beholder [m}^3]} \quad (6.3)$$

## 6.4 Testmetoder for herdet betong

### 6.4.1 Trykktest

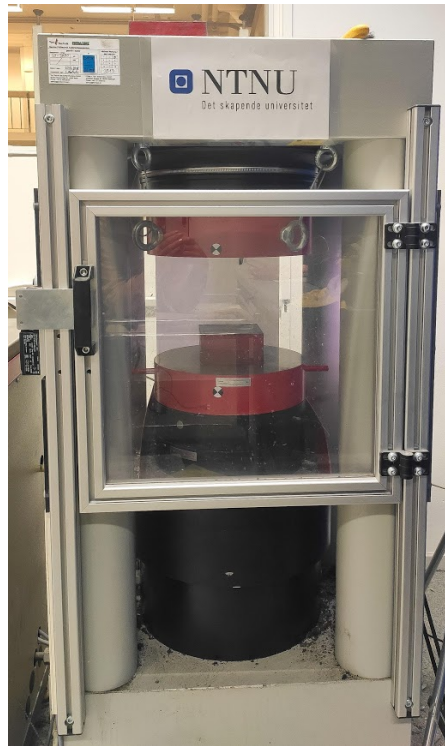
Terningtrykkfasthet, omtalt som styrke i dagligtalen, har tradisjonelt sett vært en av de viktigste parameterene for dimensjonering av betong. For å måle terningtrykkfastheten til betongene ble det støpt enten 9 eller 12 terninger til hver resept. Terningene ble testet i en trykkpressemaskin, vist i bilde 6.4.1. Denne testen brukes til å kontrollere trykkfastheten til betongen man har produsert, og benyttes ute på byggeplasser for å kvalitetssikre konstruksjoner og dokumentere at konstruksjonen har den trykkfastheten som kreves.

Testen utføres i samsvar med Norsk Standard NS-EN 12390-3:2019 [29]. For støping av terninger benyttes det former av størrelsesorden 100x100x100 mm. Alle terningene støpes i to lag, hvor hvert lag komprimeres ved bruk av en murskje.

Terningtrykkfasthet,  $f_c$ , er definert ved ligning (6.4):

$$f_c [\text{N/mm}^2] = \frac{F}{A_c} \quad (6.4)$$

hvor  $F$  er bruddlast og  $A_c$  er tverrsnittsarealet. Bruddlast er hvor mye trykk betongterningen tåler før den går til brudd.



**Bilde 6.4.1:** Bilde av trykkpressemaskinen benyttet i forbindelse med dette prosjektet. Betongterningen blir plassert mellom de to røde platene. Den nedre platen beveger seg oppover i et jevnt tempo og terningen blir trykket sammen til brudd.

Det varierte hvor lenge terningene herdet før de ble testet. For vangebetongene var det interessant å undersøke trykkfastheten både etter ett døgn og to døgn. Dette fordi vangene til veggelementet har et krav om at betongen skal ha en trykkfasthet på minst 10 MPa etter 16 timer ved herding i 30 °C. Prøvene på laboratoriet herder i en temperatur på 20 °C og vil dermed utvikle trykkfasthet tregere enn ved 30 °C. Ved bruk av teorien gitt i delkapittel 3.3.4. [Modenhetsprinsippet](#), og med antagelsen om at hastighetsfunksjon på 30 °C er 1,57 [14], vil 16 timer i 30 °C være ekvivalent med 25 timer i 20 °C. Betongens trykkfasthet etter ett døgn kan derfor brukes som en indikasjon på om betongen innfrir styrkekravet etter 16 timer. Videre ble vangebetongenes trykkfasthet testet etter 7 og 28 døgn. De ble testet etter 7 døgn fordi terningene har på dette tidspunktet 60-80 % av sin 28-døgns trykkfasthet. Dette ga en god indikasjon på styrkeutviklingen. Terningene ble testet etter 28 døgn fordi styrkekravene til betongkvaliteter er oppgitt etter 28-døgns trykkfasthet, og det blir dermed mulig å se hvilke betongkvalitet som har blitt produsert.

For senterbetongene er ikke trykkfastheten etter 1 døgn vesentlig. Det ble dermed valgt å teste disse etter 3 eller 4 døgn, 7 døgn og 28 døgn. Det var ønskelig å få en tidlig indikasjon på styrkeutviklingen, og dermed ble det valgt å teste etter enten 3 eller 4 døgn med herding. Grunnen til at dette varierte var fordi forfatterne ikke hadde tilgang på laboratoriet i helgene, så testingen varierte etter når i uken terningene ble støpt.

For å få et representativt utvalg av trykkfastheten etter de valgte dagene ble det støpt tre terninger til hver gang de skulle testes. Trykkfastheten til den gitte dagen er regnet ut som gjennomsnittet av disse tre terningene.

Terningene som ble støpt ble oppbevart i romtemperatur i 1 døgn før avforming. Der-



etter ble de stående i et vannbad. Etter Norsk Standard NS-EN 12390-3:2019 [29] skal vannbadet holde en konstant temperatur  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Terningene ble satt i vannbad inne på et herderom på laboratoriet som holder stabil temperatur.

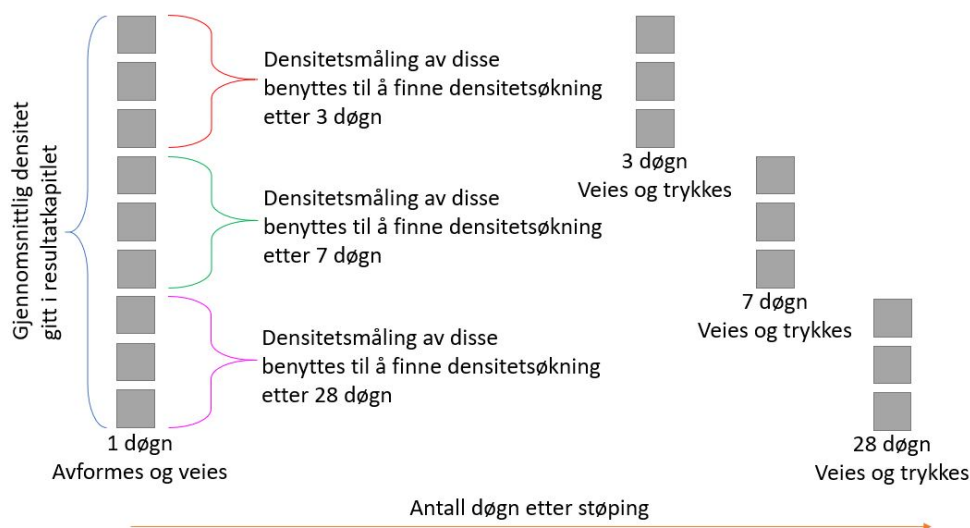
## 6.4.2 Densitetsmåling av betongen ut i fra terninger støpt for trykktesting

Etter avforming av terningene, før de settes i vannbad, veies alle terningene først i luft og deretter i vann. Dette gir densiteten til kubene og kan benyttes som en kvalitetssjekk opp mot densitetsmålingen i delkapittel 6.3.3. [Densitetsmåling ved bruk av luftprøvsbeholder](#). Densiteten regnes ut ved bruk av ligning (6.5):

$$\text{densitet [kg/m}^3] = \frac{\text{vekt i luft [g]}}{\text{vekt i luft [g]} - \text{vekt i vann [g]}} = \frac{\text{vekt i luft [g]} \cdot 1000}{\text{volum av terning [cm}^3]} \quad (6.5)$$

Alle terningene ble veid ved avforming. Deretter ble kun de tre terningene som skulle trykktestes veid samme dag som testen ble utført. For å undersøke hvor mye vann terningene hadde trukket til seg, densitetsøkningen, ble det valgt å måle gjennomsnittet av densiteten til de tre terningene som skulle testes og sammenligne resultatet med den målte densiteten av de tre samme terningene fra dagen de ble avformet. Dette er illustrert i figur 6.4.2.

Det ble valgt å gjøre det på denne måten, istedenfor å se på densitetsøkningen fra gjennomsnittsdensiteten til alle terningene ved avforming, fordi det ble observert en del variasjon i densiteten til terningene. Det antas at densitetsvariasjonen skyldes at terningene inneholder ulike mengder biokull.



**Figur 6.4.2:** Illustrasjon som viser hvilke betongterninger som benyttes for å beregne densitetsøkning. Hver grå boks representerer en betongterning. Her er det antatt at det støpes totalt 9 terninger, hvor 3 terninger trykkes etter 3 døgn, 3 terninger trykkes etter 7 døgn og de siste 3 terningene trykkes etter 28 døgn.

## 6.5 Begrensninger

### 6.5.1 Materialer

Det var ønskelig å produsere betongene i laboratoriet med pukk i fraksjon 16/22 mm, siden denne fraksjonen benyttes hos Betong Øst, samt at det er nokså vanlig å benytte på byggeplass. Laboratoriet hadde ikke denne fraksjonen tilgjengelig, og det var dermed ikke mulig å gjøre forsøk med større pukk enn 8/16 mm på laboratoriet.

I løpet av tiden brukt på forsøkene bestilte laboratoriet inn ny sement. Sementen som var tilgjengelig fra før var fra 2016. Sementen benyttet i alle blandinger utført før 11.02.2021 er utført med sement fra 2016, mens alle blandinger utført etter den datoen er utført med sement fra 2021. Sementen fra 2021 inneholder kalksteinmel, men det ble antatt at utskifting av sement ikke påvirket betongene betydelig.

### 6.5.2 Utstyr

I metoden brukt for å estimere biokullets densitet, beskrevet i delkapittel [6.2.1. Estimering av biokullets partikkeldensitet ved bruk av ren parafinvoks](#), ble det benyttet beholdere med tilfeldige størrelser og en fremgangsmåte som ikke er standardisert. Dette er fordi det ikke fantes utstyr tilgjengelig på laboratoriet som er ment for å måle densiteten på materialer som har lavere densitet enn vann. Dette medførte en potensiell feilkilde til forsøket fordi hverken utstyret eller metoden er standardisert, tidligere testet eller godkjent for denne typen målinger.

### 6.5.3 Tid

Laboratoriet benyttet brukes også til annen undervisning. Dette medførte at forfatterens tilgjengelighet til laboratoriet var begrenset i enkelte perioder og satt dermed en grense for hvor mange resepter som kunne blandes og hvor mange andre forsøk som kunne utføres.

# 7 Resultater fra laboratoriearbeid

## 7.1 Biokull

### 7.1.1 Partikkeldensitet målt ved bruk av parafinvoks

Resultatet for biokullets partikkeldensitet målt ut i fra metoden beskrevet i delkapittel [6.2.1. Estimering av biokullets partikkeldensitet ved bruk av ren parafinvoks](#) er gitt i tabell [7.1](#).

**Tabell 7.1:** Partikkeldensitet til biokull målt ved bruk av parafinvoks.

Hvilket biokull	Partikkeldensitet
Biokull laboratoriet	230,8 kg/m <sup>3</sup>
Biokull fullskalaforsøk Carbofex	250,8 kg/m <sup>3</sup>
Biokull laboratoriet i pulverform	877,2 kg/m <sup>3</sup>

Alle formene med parafinvoks og biokull ble delt i to. Det ble ikke observert at biokullet har trukket til seg noe voks. Denne observasjonen gjelder ikke for biokullet i pulverform fordi partiklene er så små at det var umulig å vurdere visuelt.

### 7.1.2 Fuktinnhold i biokull

Fuktinnholdet til biokullet benyttet hos Betong Øst og på laboratoriet, målt ut i fra metoden beskrevet i delkapittel [6.2.2. Estimering av biokullets fuktinnhold](#), er gitt i tabell [7.2](#).

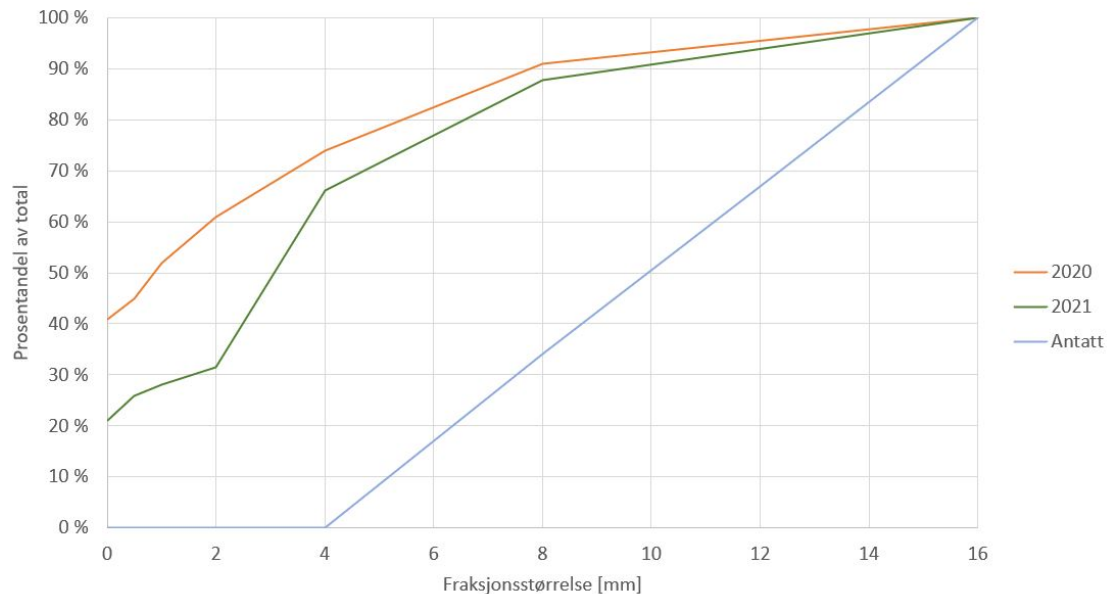
**Tabell 7.2:** Fuktinnholdet i biokullet brukt på laboratoriet og hos Betong Øst

Hvilket biokull	Fuktinnhold
Biokull laboratoriet fraksjon 4/8 mm	27,0 %
Biokull laboratoriet fraksjon 8/12 mm	22,4 %
Biokull laboratoriet fraksjon 12/16 mm	31,0 %
Biokull fullskalaforsøk Carbofex	11,0 %
Biokull fullskalaforsøk Oplandske Bioenergi	2,1 %

### 7.1.3 Siktekurver

#### 7.1.3.1 Siktekurve for biokull som benyttes på laboratoriet

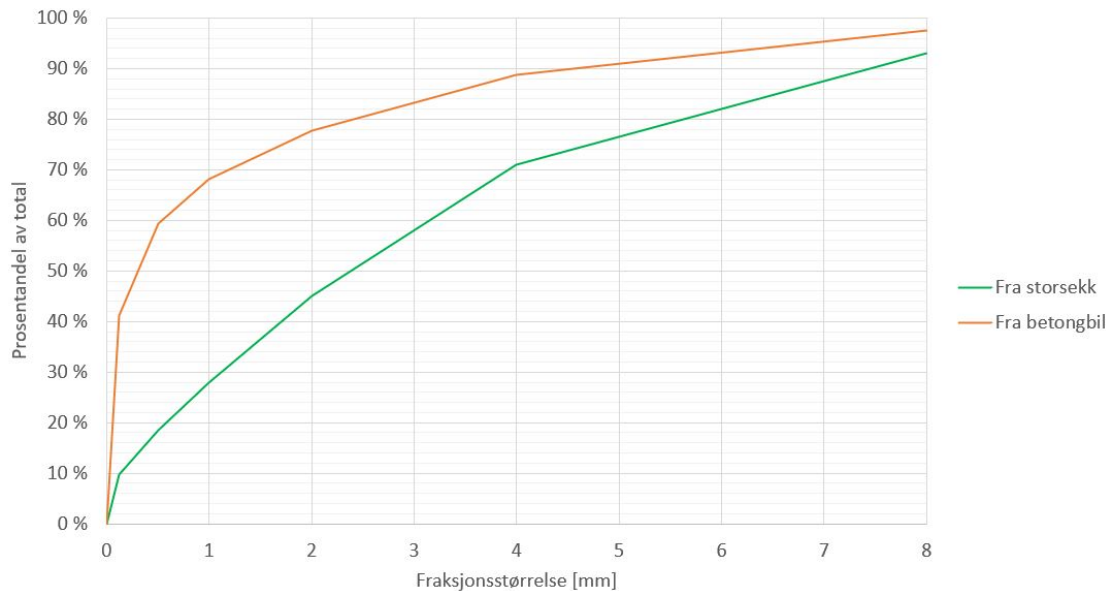
Siktekurven, målt ut i fra metoden beskrevet i delkapittel 6.2.3.1. [Estimering av biokullets siktekurve fra laboratoriet](#), er gitt i figur 7.1.1 og fullstendige resultater med rådata er vedlagt i Appendiks E. Resultatene viser at etter tørrblanding har biokullet blitt knust. Dette ble funnet i prosjektoppgaven også. Resultatene i forbindelse med denne rapporten viser at biokullet ble mindre knust i forhold til det som ble målt i prosjektoppgaven.



**Figur 7.1.1:** Resultat fra sikteforsøk. Samme forsøk ble utført i forbindelse med prosjektoppgaven før denne rapporten. Kurve 2020 representerer resultatene fra prosjektoppgaven [5], mens kurve 2021 representerer resultatene fra denne rapporten. Kurven navngitt "Antatt" representerer den antatte siktekurven som betongreseptene ble dimensjonert etter i prosjektoppgaven.

#### 7.1.3.2 Siktekurve for biokull som benyttes i fullskalaforsøk

Siktekurven, målt ut i fra metoden beskrevet i delkapittel 6.2.3.2. [Estimering av biokullets siktekurve fra fullskalaforsøk](#), er gitt i figur 7.1.2 og fullstendige resultater med rådata er vedlagt i Appendiks E. Resultatene viser at mengden finstoff har økt i forhold til nedknusingen på laboratoriet.



**Figur 7.1.2:** Resultat fra sikteforsøk utført på biokullet som benyttes for veggstøp hos Betong Øst og Con-Form. Det ble både hentet en prøve rett ut av storekken med biokull, og en prøve ut av betongbilen etter tromling med pukk i 10 minutter.

## 7.2 Betong til vangene

Fullstendige resultater med rådata for hver terning som er trykt er gitt i Appendiks C.1, samt grafisk fremstilling av resultatene er gitt i Appendiks D.1. Blandeskjema til hver betong er gitt i Appendiks A.1.

### 7.2.1 V50-41-200-2

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 3,4 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.3.

**Tabell 7.3:** Resultater fra testing på fersk betong av V50-41-200-2.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	180
Utbredelse [mm]	280
Proporsjonert luftinnhold [%]	2,0
Luftinnhold [%]	3,9
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2217,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2193,5

Det ble støpt 9 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.4.

**Tabell 7.4:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V50-41-200-2. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting.

Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2199,5	
Densitet etter 1 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2209,8	+0,0
Densitet etter 2 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2207,6	+19,4
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2226,3	+22,4
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	4,1	0,07
Trykkfasthet etter 2 døgn [MPa]	8,9	0,19
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	14,7	0,22

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Blandingen var veldig bløt grunnet antatt absorpsjon på 200 %. Det ble derfor nesten ikke brukt SP.

#### 7.2.2 V45-41-200-2

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 29,6 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.5.

**Tabell 7.5:** Resultater fra testing på fersk betong av V45-41-200-2.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	230
Utbredelse [mm]	400
Proporsjonert luftinnhold [%]	2,0
Luftinnhold [%]	4,6
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2230,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2163,4

Det ble støpt 9 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.6.

**Tabell 7.6:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V45-41-200-2. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting.

Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2206,8	
Densitet etter 1 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2205,5	+0,0
Densitet etter 2 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2228,4	+19,4
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2233,1	+23,5
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	3,7	0,11
Trykkfasthet etter 2 døgn [MPa]	9,7	0,43
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	16,9	0,59

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Blandingen var veldig bløt grunnet antatt absorpsjon på 200 %. Det ble derfor nesten ikke brukt SP.

### 7.2.3 V45-55-200-2

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 14,7 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.7.

**Tabell 7.7:** Resultater fra testing på fersk betong av V45-55-200-2.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	230
Utbredelse [mm]	430
Proporsjonert luftinnhold [%]	4,0
Luftinnhold [%]	5,0
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2124,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2074,6

Det ble støpt 12 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.8.

**Tabell 7.8:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V45-55-200-2. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting.

Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2150,9	
Densitet etter 1 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2149,8	+0,0
Densitet etter 2 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2153,2	+18,7
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2171,7	+24,8
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2233,8	+52,2
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	1,8	0,11
Trykkfasthet etter 2 døgn [MPa]	6,3	0,28
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	11,3	0,16
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	16,7	0,53

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Ble tørrblandet i 5 minutter for å etterligne ekstra knusing.
- Blandingen var veldig bløt.

#### 7.2.4 V45-41-150-5

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 62,0 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.9.

**Tabell 7.9:** Resultater fra testing på fersk betong av V45-41-150-5.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	225
Utbredelse [mm]	435
Proporsjonert luftinnhold [%]	4,0
Luftinnhold [%]	4,3
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2153,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2173,3

Det ble støpt 12 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.10.



**Tabell 7.10:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V45-41-150-5. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2218,3	
Densitet etter 1 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2201,6	+0,0
Densitet etter 2 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2237,8	+19,1
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2242,6	+21,3
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2255,5	+23,8
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	5,1	0,19
Trykkfasthet etter 2 døgn [MPa]	10,6	0,46
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	20,4	0,56
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	32,8	1,05

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Ble tørrblandet i 5 minutter for å etterligne ekstra knusing.

### 7.2.5 V45-55-150-5

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 69,1 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.11.

**Tabell 7.11:** Resultater fra testing på fersk betong av V45-55-150-5.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	245
Utbredelse [mm]	460
Proporsjonert luftinnhold [%]	4,0
Luftinnhold [%]	5,0
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2095,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2085,9

Det ble støpt 12 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.12.

**Tabell 7.12:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V45-55-150-5. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2153,3	
Densitet etter 1 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2159,8	+0,0
Densitet etter 2 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2162,2	+21,7
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2182,5	+24,2
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2182,6	+28,0
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	2,9	0,12
Trykkfasthet etter 2 døgn [MPa]	7,0	0,65
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	13,5	0,59
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	23,4	0,57

**Kommentarer/Bemerkninger:**

- Blandingen var seigere enn V45-41-150-5, trolig på grunn av økt mengde biokull.

**7.2.6 V35-41-150-5**

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 110,7 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.13.

**Tabell 7.13:** Resultater fra testing på fersk betong av V35-41-150-5.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	235
Utbredelse [mm]	475
Proporsjonert luftinnhold [%]	4,0
Luftinnhold [%]	4,3
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2184,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2207,1

Det ble støpt 12 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.14.

**Tabell 7.14:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V35-41-150-5. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2254,3	
Densitet etter 1 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2263,3	+0,0
Densitet etter 2 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2260,0	+10,5
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2266,9	+16,8
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2286,5	+19,8
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	16,0	0,44
Trykkfasthet etter 2 døgn [MPa]	24,1	1,13
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	35,3	0,02
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	48,4	1,80

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Ble tørrblandet i 5 minutter for å etterligne ekstra knusing.

### 7.2.7 V35-41-150-5-aks+Ld

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 110,6 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.15.

**Tabell 7.15:** Resultater fra testing på fersk betong av V35-41-150-5-aks+Ld.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	240
Utbredelse [mm]	570
Proporsjonert luftinnhold [%]	4,0
Luftinnhold [%]	1,9
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2184,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2252,4

Det ble støpt 12 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.16.

**Tabell 7.16:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V35-41-150-5-aks+Ld. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2293,0	
Densitet etter 1 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2286,8	+0,0
Densitet etter 2 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2315,4	+11,5
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2299,8	+15,1
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2312,4	+15,6
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	18,8	0,82
Trykkfasthet etter 2 døgn [MPa]	26,6	1,12
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	37,5	1,16
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	53,2	2,92

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Ble tørrblandet i 5 minutter for å etterligne ekstra knusing.

### 7.2.8 V35-55-150-5-aks+Ld

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 102,4 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.17.

**Tabell 7.17:** Resultater fra testing på fersk betong av V35-55-150-5-aks+Ld.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	240
Utbredelse [mm]	440
Proporsjonert luftinnhold [%]	4,0
Luftinnhold [%]	2,8
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2117,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2183,6

Det ble støpt 12 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.18.

**Tabell 7.18:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V35-55-150-5-aks+Ld. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2221,6	
Densitet etter 1 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2217,3	+0,0
Densitet etter 2 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2235,5	+9,4
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2236,9	+15,9
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2242,9	+20,8
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	15,6	0,07
Trykkfasthet etter 2 døgn [MPa]	21,7	0,34
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	29,5	0,23
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	40,5	0,80

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Ble tørrblandet i 5 minutter for å etterligne ekstra knusing.

### 7.2.9 V35-60-150-5-aks+Ld

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 81,5 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.19.

**Tabell 7.19:** Resultater fra testing på fersk betong av V35-60-150-5-aks+Ld.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	235
Utbredelse [mm]	410
Proporsjonert luftinnhold [%]	4,0
Luftinnhold [%]	3,0
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2096,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2155,6

Det ble støpt 12 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.20.

**Tabell 7.20:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V35-60-150-5-aks+Ld. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2184,6	
Densitet etter 1 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2192,9	+0,0
Densitet etter 3 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2200,9	+13,8
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2205,2	+17,2
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2192,9	+22,4
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	13,8	0,79
Trykkfasthet etter 3 døgn [MPa]	20,2	0,73
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	25,4	0,30
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	35,0	0,82

**Kommentarer/Bemerkninger:**

- Ble tørrblandet i 5 minutter for å etterligne ekstra knusing.
- Ble trykktestet etter 3 døgn istedenfor 2 døgn.

**7.2.10 V35-63-150-5-aks+Ld**

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 74,0 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.21.

**Tabell 7.21:** Resultater fra testing på fersk betong av V35-63-150-5-aks+Ld.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	235
Utbredelse [mm]	410
Proporsjonert luftinnhold [%]	4,0
Luftinnhold [%]	3,2
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2083,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2153,3

Det ble støpt 12 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.22.

**Tabell 7.22:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av V35-63-150-5-aks+Ld. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2185,8	
Densitet etter 1 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2179,3	+0,0
Densitet etter 3 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2216,5	+25,8
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2215,8	+18,7
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2199,3	+23,0
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	12,7	0,47
Trykkfasthet etter 3 døgn [MPa]	20,4	1,02
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	25,6	0,50
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	33,2	2,96

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Ble tørrblandet i 5 minutter for å etterligne ekstra knusing.
- Ble trykktestet etter 3 døgn istedenfor 2 døgn.

## 7.3 Betong til senter

Fullstendige resultater med rådata for hver terning som er trykt er gitt i Appendiks C.2, samt grafisk fremstilling av resultatene er gitt i Appendiks D.2. Blandeskjema til hver betong er gitt i A.2.

### 7.3.1 S50-59-100-2

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 146,0 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.23.

**Tabell 7.23:** Resultater fra testing på fersk betong av S50-59-100-2.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	225
Utbredelse [mm]	520
Proporsjonert luftinnhold [%]	2,0
Luftinnhold [%]	2,6
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2103,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2215,3

Det ble støpt 9 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.24.

**Tabell 7.24:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av S50-59-100-2. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2208,9	
Densitet etter 4 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2230,8	+19,2
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2233,8	+23,9
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2221,8	+16,6
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 4 døgn [MPa]	13,8	0,71
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	16,4	0,48
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	24,6	0,29

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Ble ganske seig.
- Fikk tendenser til å skille seg. Det antas at den ville ha skilt seg ved mer SP.
- Blandetid ca 11 minutter.
- Bløt ved avforming. Det var lett å knekke av biter. Et hjørne falt av under håndtering av terningene.

### 7.3.2 S45-88-100-5

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 198,7 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.25.

**Tabell 7.25:** Resultater fra testing på fersk betong av S45-88-100-5.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	183
Utbredelse [mm]	350
Proporsjonert luftinnhold [%]	2,0
Luftinnhold [%]	2,7
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	1980,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2098,9

Det ble støpt 9 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.26.



**Tabell 7.26:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av S45-88-100-5. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2122,7	
Densitet etter 4 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2094,5	+4,7
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2154,6	+20,3
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2152,0	+19,2
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 4 døgn [MPa]	9,6	0,22
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	11,4	0,50
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	17,7	0,14

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Fortsatt veldig seig blanding.
- Endret silikainnhold til 5 % for å motvirke blødning.
- Lettere å jobbe med enn S50-59-100-2. Enklere å stampe.
- Antydning til blødning underveis i testingen.
- Var ekstremt bløt ved avforming og satt godt fast i formene. Den ene kuben ble hengende fast i formen og måtte derfor kastes. Terningene ble stående i formen i 4 døgn.

#### 7.3.3 S45-59-150-5

I et forsøk på å få denne betongen så bløt at den skulle bli en SKB, ble det tilsatt for mye SP, og blandingen endte i separasjon. Totalt ble det tilsatt 126,3 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Det ble liggene et lag med vann og biokull på toppen av betongen, og dermed var det ikke mulig å utføre noen tester på denne blandingen.

#### 7.3.4 S35-67-150-5

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 87,7 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.27.

**Tabell 7.27:** Resultater fra testing på fersk betong av S35-67-150-5.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	260
Utbredelse [mm]	590
Proporsjonert luftinnhold [%]	3,0
Luftinnhold [%]	4,2
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2049,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2064,5

Det ble støpt 12 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.28.

**Tabell 7.28:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av S35-67-150-5. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2153,1	
Densitet etter 1 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2187,1	+0,0
Densitet etter 3 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2133,7	+17,7
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2180,6	+20,9
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2176,9	+28,0
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	7,9	0,54
Trykkfasthet etter 3 døgn [MPa]	15,7	2,36
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	21,3	0,07
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	30,7	4,41

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Jevnere og mer uniform utbredelse enn S35-88-150-5.
- Oppfattes som mer stabil enn S35-88-150-5.

### 7.3.5 S35-88-150-5

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 71,1 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.29.

**Tabell 7.29:** Resultater fra testing på fersk betong av S35-88-150-5.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	220
Utbredelse [mm]	560
Proporsjonert luftinnhold [%]	4,0
Luftinnhold [%]	6,0
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	1969,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	1976,4

Det ble støpt 9 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.30.

**Tabell 7.30:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av S35-88-150-5. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2070,4	
Densitet etter 3 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2107,7	+21,4
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2095,5	+25,0
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2086,8	+32,3
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 3 døgn [MPa]	11,1	1,01
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	13,7	0,65
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	20,1	1,49

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Betongen hadde en opphøyning i midten under slumpmåling.
- Det antas at denne betongen ikke ville tålt stort mer SP-stoff, grunnet tegn på separasjon.
- Betongen har noen harde områder som man kan kjenne når man rører i blandingen med en murskje. Kunne kjenne en hard klump i kjeglen under komprimering i slumpforsøket. Dette er trolig grunnen til opphøyningen nevnt i første punkt.
- Det var en del synlig biokull under blanding, spesielt i toppen. Under trykktesting observeres biokullet som jevnt fordelt i betongen.

#### 7.3.6 S35-78-150-5-Ld

Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 87,0 g av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 7.31.

**Tabell 7.31:** Resultater fra testing på fersk betong av S35-78-150-5-Ld.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	235
Utbredelse [mm]	525
Proporsjonert luftinnhold [%]	3,0
Luftinnhold [%]	4,4
Proporsjonert densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2084,0
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2038,8

Det ble støpt 9 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 7.32.

**Tabell 7.32:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting av S35-78-150-5-Ld. Densiteten ved avforming er gjennomsnittet fra alle terningene. Densitet etter et gitt antall dager er ut i fra de tre terningene som trykkes den dagen. Differansen i densitet er målt ut i fra densiteten til de tre samme terningene ved avforming og ved trykktesting. Variasjoner i densitet etter et gitt antall dager skyldes både vannopptak i terningene og at terningene kan inneholde ulik mengde biokull som vil påvirke vekten.

Gjennomsnitt av	Resultat	Differanse fra avforming
Densitet ved avforming [kg/m <sup>3</sup> ]	2075,4	
Densitet etter 3 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2087,0	+22,0
Densitet etter 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2110,2	+25,5
Densitet etter 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2105,9	+29,4
		<b>Standardavvik</b>
Trykkfasthet etter 3 døgn [MPa]	14,4	1,59
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	17,6	3,03
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	25,7	2,95

### Kommentarer/Bemerkninger:

- Det antas at denne betongen ikke ville tålt stort mer SP-stoff.
- Betongen har noen harde områder som man kan kjenne når man rører i blandingen med en murskje.
- Observeres en del synlig biokull, spesielt i toppen.

## 7.4 Biokullstaver

### 7.4.1 Biokullstav - 1

Biokullstavene ble veldig porøse og tålte svært lite. Under lett håndtering av stavene falt mye av biokullet i det ytterste laget av. De ble ikke brukt i videre forsøk.

Terningene som ble støpt ble forsøkt trykket etter 1 døgn og 7 døgn. I begge tilfellene

var terningene for svake til at trykkpressemaskinen klarte å registrere styrken. Maskinen har en nedre grense på 30 kN og dermed vet man at terningene tålte mindre enn dette.

## 7.4.2 Biokullstav - 2

Biokullstavene tålte å bli håndtert. De beholdt sin strukturelle integritet under avforming, veiing og generell håndtering. Stavene anses som brukbare til å støpes inn i en vegg. Bilde 7.4.1a viser den produserte massen av biokull og sementlim plassert i former. Terningene som ble støpt ble forsøkt trykket etter 1 døgn og 22 døgn. I begge tilfellene var terningene for svake til at trykkpressemaskinen klarte å registrere styrken.

I bunnen av blandemaskinen lå det igjen en del sementlim og det antas derfor at det ville vært mulig å tilsette enda mer biokull. Under avforming ble det observert en ansamling av sementlim i bunnen av formene, som vist i bilde 7.4.1b. Dette forsterker antagelsen om at det kunne blitt benyttet mer biokull, eventuelt mindre sementlim, for å få fordelt sementlimet bedre.



(a) Biokullstavene fra andre blandeforsøk i formen etter blandingen.



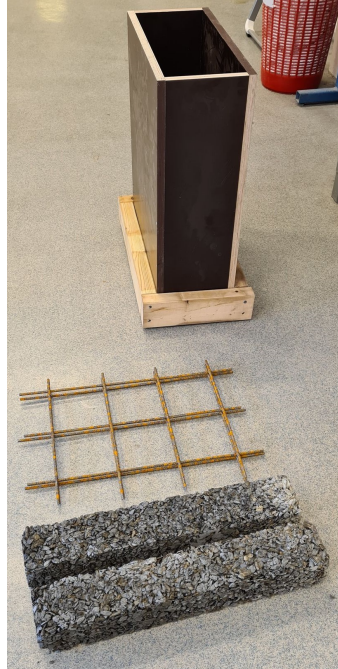
(b) Bildet viser to terninger fra andre blanding av biokullstaver. Her ser man en ansamling av sementlim på den ene terningen.

**Bilde 7.4.1:** Bildene viser biokullstavene og terninger når de ligger i støpeform, samt to terninger som er avformet.



### 7.4.3 Veggelement med biokullstaver

Biokullstavene fra delkapittel 7.4.2. [Biokullstav - 2](#) ble festet mellom to armeringsnett på 400x600 mm, og støpt inn med betongkvalitet V35-63-150-5-aks+Ld i en veggforskaling med indre dimensjoner 200x500x700 mm. Oppsettet, sammen med den ferdige veggen, er vist på bildene [7.4.2a](#) og [7.4.2b](#) under.



(a) Oppsett med delmaterialer for veggelementet med biokullstaver.



(b) Ferdig støpt veggelement med biokullstaver.

**Bilde 7.4.2:** Oppsett og delmaterialer til veggelement med biokullstaver og ferdig støpt element.

En nærmere gjennomgang av utregningen av klimagassavtrykket til veggen og delmaterialene finnes i kapittel 15.3. [Veggelement med biokullstaver](#). Veggen har et positivt avtrykk på 6,582 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter slik den er satt opp på laboratoriet.

# 8 Diskusjon - laboratoriearbeid

## 8.1 Biokull

### 8.1.1 Knusing av biokullet

Biokullet fra prosjektoppgaven [5] ble siktet i tre ulike fraksjoner: 4/8 mm, 8/12 mm og 12/16 mm. Under blanding av betongen ble enkelte av partiklene knust, noe som medførte at den virkelige siktekurven i den ferdige betongen ble mer lik siktekurven fra 2021, gitt i figur 7.1.1.

Som siktekurven viser overlevde en del av biokullet knusing. Ved inspeksjon av bruddflatene til terningene støpt på laboratoriet, så man at biokullet var jevnt fordelt. Som bilde 8.1.1 viser, hadde flere store biter med biokull unngått nedknusing under blanding. Flere av disse bitene minnet mer om trevirke enn biokull, noe som kan være med å forklare hvorfor enkelte partikler ikke ble like nedknust. Dette medførte en usikkerhet rundt hvor mye av trevirket som var forkullet, men det ble antatt på forhånd at alt trevirke var forkullet.

For å øke nedknusingen ble tørrblandingen i blandemaskinen på laboratoriet økt fra 1 til 5 minutter. Dette ble gjort for å etterligne siktekurven fra prosjektoppgaven i figur 7.1.1. En usikkerhet knyttet til den endelige partikkelfordelingen var nedmaling av biokullet under våtblanding. For reseptene ble likevel siktekurven fra prosjektoppgaven benyttet.



**Bilde 8.1.1:** Bruddflaten til en av terningene testet på laboratoriet. Det er markert tre store biter med biokull/trevirke.

### 8.1.2 Vannabsorpsjon i biokullet

En usikkerhet i proporsjoneringen av betong med biokull er hvor mye vann biokullet absorberer både i fersk tilstand og under herding. Fra forsøkene i prosjektoppgaven var det tydelig at en del av det tilsatte vannet ble tatt opp av biokullet i blandingen. Dette medførte at de teoretiske densitetene ikke stemte overens med de målte densitetene. En teoretisk tilnærming av verdien for vannabsorpsjonen ble forsøkt estimert i prosjektoppgaven [5], men det viste seg at den virkelige verdien må være høyere. Det er forsøkt proporsjonert betonger med vannabsorpsjon mellom 100 og 200 %. Det er sannsynlig at en absorpsjonsverdi på 150 % er tilnærmet korrekt for biokullet fra Carbofex fra laboratoriet, grunnet god støpelighet på betongen og relativt godt samsvar mellom proporsjonert og målt densitet. Denne verdien avhenger av hvor fuktig kullet er på forhånd og vil dermed måtte justeres etter behov.

Det observeres også at betongen blir seigere etter endt blanding, sannsynligvis grunnet forsinket absorpsjon av vann.

Det var vanskelig å måle disse verdiene direkte på grunn av mangel på riktig utstyr og metodikk. I tillegg er det antatt at biokullet absorberer mer vann når det er nedknust, og hvor mye biokullet er nedknust i betongen er usikkert. For beregningen av målt og teoretisk densitet vil det ikke gi helt nøyaktige svar på vannabsorpsjonen til biokullet. Usikkerheten kommer av at biokullet utgjør en liten del av vekten til betongen, men en stor del av volumet. Vannabsorpsjonen på sin side utgjør en stor del av massen til biokullet. Dermed vil en liten endring i målt densitet utgjøre en forskjell i utregnet vannabsorpsjon. For eksempel kan en liten separasjon i betongen endre densiteten noe, som gjør at utregnet vannabsorpsjon endrer seg.

Endringene i densitet for de ulike terningene i herdet tilstand kan ikke sies å være betydelig større enn hva man normalt kan forvente grunnet kjemisk svinn. Verdiene ligger stort sett rundt 15 til 30 kg/m<sup>3</sup>. Som nevnt i delkapittel 3.3.5. [Fukt](#) vil porene som oppstår grunnet kjemisk svinn fylles med vann og dermed øke densiteten med omtrent 20 kg/m<sup>3</sup>. Grunnet tilpasninger av reseptene underveis er det vanskelig å sammenligne endringene i densitet på tvers av reseptene.

### 8.1.3 Fuktinnhold i biokull

For å redusere støvmengden som kommer fra biokullet ble det tilsatt fukt etter produksjon i biokullet som er levert av Carbofex og som ble benyttet på laboratoriet. Denne fukten påvirker vannabsorpsjonen til biokullet, og er dermed en viktig faktor når man skal proporsjonere betongen. Biokullet benyttet til støping av veggelementer, levert av Oplandske Bioenergi, ble observert som tørrere enn biokullet fra laboratoriet. Denne mistanken ble bekreftet etter målingene av fuktighet gitt i delkapittel 7.1.2. [Fuktinnhold i biokull](#), med en målt reduksjon i fuktighet fra 26,8 til 11 % for biokullet fra Carbofex og til 2,1 % for biokullet fra Oplandske Bioenergi. Det tørrere biokullet fører til noe mer absorpsjon av vann i betongen. Økt vannabsorpsjon kan gjøre betongen mindre utsatt for separasjon.

For betong med biokull vil vanninnholdet i den ferske betongen være betydelig høyere



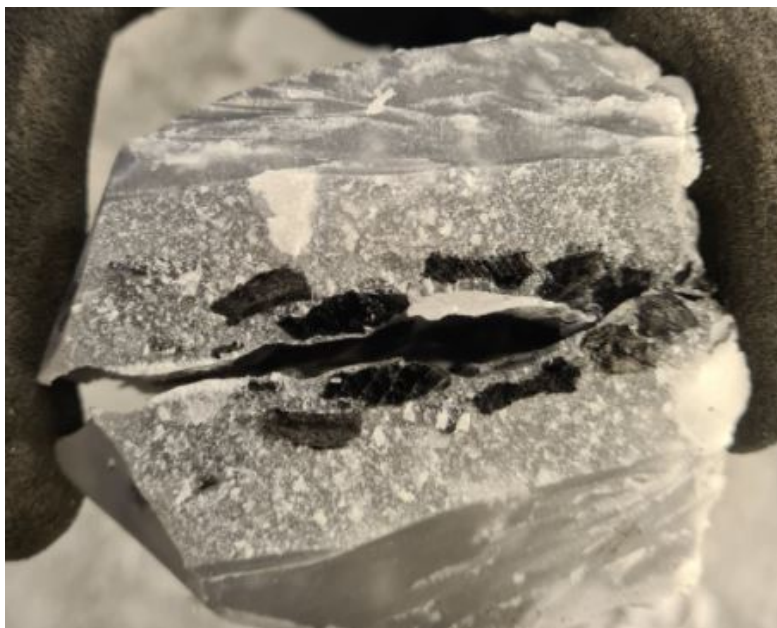
grunnet hensynet til den ekstra mengden med tilsatt vann som biokullet absorberer. Det ekstra vannet vil holde betongen nedfuktet over lenger tid. Dette vil også medføre en forlenget periode med utjevning av RF mellom betongen og omgivelsene i herdet tilstand. På samme måte som for betong uten biokull vil dette sannsynligvis ikke være problematisk. Det kan tvert imot være gunstig for langsiktig herding at biokullet kan frigjøre vann.

#### **8.1.4 Partikkeldensitet til biokull målt ved bruk av parafinvoks**

Partikkeldensiteten til biokullet målt fra delkapittel [7.1.1. Partikkeldensitet målt ved bruk av parafinvoks](#) er noe lavere enn det som ble funnet i prosjektoppgaven, som var  $355 \text{ kg/m}^3$  [5]. Dette er lite relevant til proporsjoneringen, da biokullet knuses når det blandes inn i betongen, og partikkeldensiteten til biokullet antas å øke når det knuses. Store biter inneholder mange luftporer som gir biokullet lavere partikkeldensitet. Disse vil ødelegges under nedknusing og dermed bidra til økt partikkeldensitet.

Målingen av partikkeldensiteten til biokullet er ikke standardisert, og ble ikke gjentatt mange ganger. Dette fører til at resultatene av testen er svært usikre og må tolkes som en pekepinn. Derimot er partikkeldensiteten for biokullet fra laboratoriet og fra prøveblanding hos Betong Øst relativt like. Dette var forventet fordi det er produsert av det samme trematerialet av samme produsent. Likheten i målingen av partikkeldensitet tyder på at testmetoden fungerer.

En annen usikkerhet med disse målingene er hvor mye parafinvoks biokullet absorberer. Hvis biokullet absorberer noe parafinvoks vil dette ha en innvirkning på resultatet til målingene, slik at den målte partikkeldensiteten ikke vil stemme med den virkelige partikkeldensiteten. Derfor ble voksformene som inneholdt biokull delt i to, vist i bilde [8.1.2](#), og det ble gjennomført en visuell inspeksjon. Det ble ikke observert noe absorpsjon av voks i de store fraksjonene av biokullet, og dermed antas det at biokullet ikke absorberte noe voks. Biokullet som var i form av pulver hadde sunket til bunns i voksformen og var vanskelig å inspisere. Det antas dermed at dette biokullet har trukket til seg voks og målingen for pulverisert biokull blir ansett som ugyldig.



**Bilde 8.1.2:** Form med parafinvoks og biokull delt i to. Bildet viser at biokullet ikke har trukket til seg parafinvoks.

## 8.2 Betongen

### 8.2.1 Støpelighet og konsistens

Fersk betong med biokull har en tendens til å bli seig og tyktflytende. Grunnet nedknu-sing under blandedprosessen vil deler av biokullet direkte redusere betongens vann/pulver-forhold som bidrar til at betongen blir mer viskøs. Biokullet absorberer i tillegg en del vann, som indirekte bidrar til å redusere masseforholdet. En reduksjon i masseforholdet var tydelig i forbindelse med prosjektoppgaven [5]. Dette er forsøkt tatt hensyn til ved å sette absorpsjonsverdien til biokullet til både 100, 150 og 200 %. Den virkelige verdien ligger trolig rundt 150 %, avhengig av fuktinnholdet til biokullet i utgangspunktet.

For blandingene med vannabsorpsjon satt til 100 % var behovet for SP mye større enn proporsjonert for å oppnå akseptabel støpelighet. Dette medførte at de støpte terningene med S45-88-100-5 ikke kunne avformes etter ett døgn, mens S50-59-100-2 fortsatt var ganske bløte men mulig å avforme. Dette kan være på grunn av en retarderende effekt fra den store mengden tilsatt SP.

For å balansere styrke og støpelighet ble vannabsorpsjonen til biokullet satt til 200 %. Denne vannabsorpsjonen ble bare testet i vangebetonger og masseforholdet ble var-riert mellom 0,50 og 0,45. Disse blandingene hadde gode egenskaper når det gjelder støpelighet, men utviklet liten styrke. Behovet for SP var også betydelig mindre enn proporsjonert behov. Sammenlignet med reseptene fra prosjektoppgaven, tydet dette på at masseforholdet var for høyt. Det ble antatt at 200 % vannabsorpsjon var for høyt, og vannabsorpsjonen ble dermed redusert til 150 %. Dette medførte et økt behov for SP, men med fortsatt god støpelighet og forbedret styrke. En ytterligere reduksjon i masseforhold til 0,35, med antatt vannabsorpsjon 150 % og økt proporsjonert mengde

matriks, ga god støpelighet og god styrkeutvikling.

Under testingen av de første betongene ble det observert tendenser til blødning, spesielt for senterbetongen. Denne tendensen gjorde det vanskelig å lage en fullverdig SKB, noe som var et ønske for senterbetongen til veggelementene. Fra delkapittel 5.3.1. [Silikastøv](#) vet man at silikastøv har en stabiliserende effekt på betongen. For å motvirke blødningen og faren for separasjon ble det bestemt å øke silikamengden fra 2 til 5 % for alle betongene. I tillegg til økt stabilitet vil økt silikamengde også føre til en økning av endelig trykkfasthet. Ettersom økt silikamengde ikke er testet ut på samme resept, er det vanskelig å si om det har en effekt eller ikke. Det er her valgt å stole på teorien bak, som støtter å øke silikamengden.

## 8.2.2 Trykkfasthet

Trykkfastheten til betong avhenger av flere faktorer, hvor masseforholdet er en dominerende faktor. I prosjektoppgaven ble det observert at betong med biokull får en lavere trykkfasthet enn tilsvarende resepter uten biokull [5]. Biokull alene har lav mekanisk styrke og bidrar trolig ikke direkte til utvikling av styrkeegenskaper. Ved sammenligning av betong med ulike mengder biokull ble det i prosjektoppgaven observert at økt innhold av biokull kunne bidra til økt trykkfasthet. Dette kan forklares med et redusert masseforhold gjennom nedknusing og vannabsorpsjon fra biokullet.

For å kunne produsere en blanding som harmonerer med resepten var det nødvendig å anta en vannabsorpsjon fra biokullet. Blandingene med antatt 200 % vannabsorpsjon stemte godt overens med tanke på proporsjonert densitet, men utviklet lav trykkfasthet. Trykkfastheten økte betydelig allerede med en antagelse om vannabsorpsjon på 150 %. Reduksjonen i antatt vannabsorpsjon fra 200 til 150 % ga en økning i trykkfasthet på nesten 10 MPa etter 7 døgn ved sammenligning av V45-41-200-2 og V45-41-150-5. For reseptene V45-55-200-2 og V45-55-150-5 var økningen i overkant av 2 MPa etter 7 døgn. Begge de sistnevnte reseptene hadde lave verdier, <10 MPa, etter 2 døgn. Samme tendens er i tillegg tydelig etter 28 døgn for V45-55-200-2 med en sluttrykkfasthet omtrent 7 MPa lavere enn V45-55-150-5.

Luft er en annen faktor som påvirker trykkfastheten til betong. I prosjektoppgaven ble det observert at luftinnholdet i betongen med biokull jevnt over var 2-3 % høyere enn referansebetongen. Blandingene med biokull i forbindelse med denne rapporten fortsatte å ha høyt luftinnhold. Med antagelsen om at økning med 1 % luft reduserer fastheten med 5 % , fra delkapittel 5.4.3. [Luftdempende tilsetningsstoff](#), er det naturlig å betrakte luftinnholdet som en faktor for redusert trykkfasthet.

For å møte styrkekravet fra Con-Form på 10 MPa etter 16 timer for betongen i vangene var det nødvendig å redusere masseforholdet i betongen samtidig som antatt vannabsorpsjon forble 150 %. Reseptene V35-41-150-5 og V35-41-150-5-aks+Ld hadde både god støpelighet og gode styrkeegenskaper allerede etter 1 døgn. Sammenlignet med en tilsvarende resept med høyere masseforhold, V45-41-150-5, økte trykkfastheten etter 1 døgn med en faktor på tre. Resepten med akselerator og luftdemper viste seg å være over 2 MPa sterkere enn den uten etter 1 døgn. Målingene fra den ferske betongen viste

at luftinnholdet hadde blitt redusert med rundt 2 %, noe som i teorien skal gi en styrkeøkning på 10 %, tilsvarende 1,6 MPa. Den totale styrkeøkningen kan trolig tilskrives en kombinasjon av akseleratoren og luftdemperen. Etter 28 døgn har resepten med luftdemper omtrent 10 % høyere trykkfasthet, noe som er i samsvar med teorien om økt trykkfasthet grunnet redusert luftinnhold. Tendensen var også synlig etter både 2 og 7 døgn. Sammenlignet med V45-41-150-5 utviklet reseptene med masseforhold 0,35 over 15 MPa høyere trykkfasthet etter 7 døgn. Dette styrker teorien om at masseforholdet er den viktigste faktoren for trykkfastheten.

Grunnet biokullets lave mekaniske styrke er det naturlig å anta at ekstra biokull vil redusere trykkfastheten. Ved produksjon og testing av V35-55-150-5-aks+Ld, en tilsvarende betong til V35-41-150-5-aks+Ld men med ekstra biokull, var trykkfastheten og støpeligheten fortsatt god. Det var her en reduksjon i trykkfasthet på 3 MPa etter 1 døgn, 8 MPa etter 7 døgn og 13 MPa etter 28 døgn.

En tendens når det gjelder senterbetongene er at en økning på 10 kg biokull per kubikk, reduserer 28 døgns trykkfasthet med omtrent 5 MPa. Dette er en liten reduksjon i forhold til reduksjonen i trykkfasthet ved økt masseforhold. For V45-55-150-5, en resept med like mye biokull men høyere masseforhold, er trykkfastheten etter 28 døgn i underkant av 60 % av V35-55-150-5-aks+Ld. Noe av dette kan tilskrives forskjellen i luftinnhold på 1,5 %. Det tyder på at masseforholdet spiller en større rolle enn mengden biokull når det gjelder styrkeutvikling. Dette var en viktig observasjon for videre tilpasning av mengdeforholdet med biokull mellom vangene og senter av veggelementene.

Det har blitt observert et par tilfeller hvor en av terningene har inneholdt en god del mer synlig biokull ved inspeksjon av bruddflaten etter trykktesting, med påfølgende lavere trykkfasthet enn de to andre i samme testpulje. Dette har ikke skjedd nok ganger til at det kan trekkes noen konklusjoner, men det er sannsynlig at mer oppknust biokull vil gi færre svake soner og dermed økt trykkfasthet. Større biokullpartikler kan gi økt tendens til segregering for den ferske betongen, som videre påvirker fastheten negativt.

Det er verdt å merke seg at standardavviket for trykkfastheten jevnt over er lavt. Standardavviket ligger stort sett mellom 1 og 5 %. Selv om et utvalg på kun 3 terninger ikke er en tilstrekkelig mengde for å trekke konklusjoner, kan det uansett tyde på at resultatene fra testene i denne rapporten ikke er engangstilfeller. Det er riktig nok noen unntak hvor standardavviket utgjør så mye som 15 og 17 % for henholdsvis senterbetongene S35-67-150-5 (etter 3 døgn) og S35-78-150-5-Ld (etter 7 døgn). Dette kan skyldes defekter i en eller flere av terningene. Ved inspeksjon av enkelte terninger som avviker fra de to andre i samme testpulje, har det blitt observert flere store biter med biokull sammenlignet med resten av terningene.

### **8.2.3 Luftinnhold**

Betong med biokull inneholder betydelig mer luft sammenlignet med tilsvarende resepter uten biokull. Fra prosjektoppgaven ble det observert at betong med biokull inneholdt over dobbelt så mye luft som tilsvarende betonger uten biokull [5]. Trolig skyldes dette den enorme porøsiteten til biokullet, i tillegg til luftbobler fanget til overflaten som ikke

klarer å evakuere under vibrasjon av den ferske betongen.

Grunnet disse observasjonene ble det tilsatt luftdempende tilsetningsstoff i enkelte av blandingene. Ved sammenligning av V35-41-150-5 og V35-41-150-5-aks+Ld var målt luftinnhold redusert fra 4,3 til 1,9 %. For tilsvarende resepter med luftdemper og mer biokull, var luftinnholdet noe høyere med verdier rundt 3 %. Om dette var falsk luft, se delkapittel [6.3.2. Luftinnhold](#), eller luft fanget i biokullet er usikkert. Det var ingen endring i luftmengde ved dobling av mengden luftdempende tilsetningsstoff. Dette kan tyde på at det er biokullets porøsitet som er den avgjørende faktoren for luftinnholdet. Det ble riktignok bare testet å doble mengden luftdemper én gang på laboratoriet, som betyr at det kan være andre faktorer som har spilt inn og hindret luften i å reduseres ytterligere. Dobling av luftdemper er ikke testet nok ganger til å kunne trekke noen konklusjoner angående hvilken type luft, falsk eller fanget luft, betongen inneholder.

# FULLSKALAFORSØK

## 9 Mål og hensikt for fullskalaforsøket

Målet med fullskala testing og fullskalaproduksjon var å produsere karbonnøytrale skallveggelementer. For å gjennomføre dette måtte det undersøkes om det var mulig å produsere betongene, som har blitt testet på laboratoriet, i fullskala. Det ble antatt at biokullet ble knust i ulik grad på laboratoriet og i en betongbil, og det var dermed ønskelig å se hvilken effekt dette hadde på betongens egenskaper i fersk og herdet tilstand.

For å undersøke hvordan overgangen fra laboratoriearbeid til fullskala påvirket betongens støpelighet og stabilitet, var det hensiktsmessig å prøveblande noen betongresepter utviklet på laboratoriet først. Dette la grunnlaget for hvilke betonger som kunne brukes, hvordan reseptene skulle tilpasses og hvor mye biokull som kunne tilsettes når veggelementene skulle produseres.

Densiteten ble målt for kjerneboringer av det ene veggelementet som ble produsert i fullskala. Hensikten med dette var å benytte densitetsmålingene til betongen for å estimere biokullets densitet og vannabsorpsjon. Målet var å kunne finne anbefalinger til hvordan resepter som inneholder biokull bør legges opp.

Hensikten med å produsere veggelementer bestående av betong med biokull var å bevise at det er mulig å produsere vegger som har et lavere CO<sub>2</sub> avtrykk enn standard veggelementer i betong, eller til og med produsere karbonnøytrale vegger. Dette skaper muligheter for å bygge mer miljøvennlige betongkonstruksjoner.

### 9.1 Fremgangsmåte

Betongreseptene som ga ønsket fasthetsresultater og støpelighet på laboratoriet ble overført til fullskala prøveblanding. Disse reseptene ble overført til fullskala prøveblanding uten å ta hensyn til at Betong Øst benyttet et annet tilslag enn det som var tilgjengelig på laboratoriet, grunnet manglende informasjon om tilslaget ved dette tidspunktet. For vangebetongene var ønsket resultat målt ut i fra hvor mye biokull som kunne tilsettes samtidig som betongen oppnådde ønsket trykkfasthet. Ønsket resultat for senterbetongene ble målt ut i fra hvor mye biokull som totalt kunne tilsettes uten at betongen separerte seg når den ble en SKB.

Etter prøveblanding ble det tatt en vurdering på hvilke resepter som skulle benyttes og hvordan de kunne justeres for bruk til støping av veggelementer. Det ble laget tre skallveggelementer, to med tykkelse på 200 mm og en på 250 mm. Alle betongene, både fra prøveblanding og veggstøp, ble testet for styrkeutvikling og støpelighet for å se om

noe hadde endret seg fra laboratoriarbeidet.

Hvordan veggelementene ble produsert, blandedprosedyren og testmetodene som ble benyttet er beskrevet i kapittel [11. Prosedyrer og testing for fullskalaforsøk](#).

# 10 Proporsjonering av betongreseptene

## 10.1 Proporsjoneringsmodell

Betongreseptene benyttet i fullskalaforsøkene er en videreføring av reseptene som ble produsert og testet på laboratoriet. Fullskalaarseptene er på lik linje med reseptene fra laboratoriet basert på partikkel-matriks modellen, beskrevet i kapittel 5.1. [Partikkel-matriks modell](#).

## 10.2 Regneverktøy

Regnearket benyttet for å lage blandeskjemaene til Betong Øst vil videre bli referert til som "Blandeskjema for Betong Øst.xlsm". Blandeskjema for alle betongene, som viser dette regnearket, er gitt i Appendiks A.3.

Reseptene ble først laget i regnearket "Proporsjonering-Skanska.xlsm", fra kapittel 5.2. [Regneverktøy](#). Disse reseptene er nesten identiske til dem som ble benyttet på laboratoriet. Den eneste forskjellen er at i disse reseptene er pukkmengden fordelt likt på fraksjonene 8/16 mm og 16/22 mm, mens på laboratoriet ble bare den minste fraksjonen brukt. Verdiene fra kolonnen i "Proporsjonering-Skanska.xlsm" som oppgir mengde per kubikk for alle delmaterialene legges inn i "Blandeskjema for Betong Øst.xlsm". Dette regnearket deler materialene opp i hva som tømmes rett på betongbilen og hva som blandes i blandemaskinen først.

Det var ønskelig å tømme hele sekker med biokull rett på betongbilen. Sekkene med biokull ble veid med en vektcelle festet til en kran hos Con-Form, før de ble tømt på bilen. Vekten til sekken med biokull benyttet per blanding ble lagt inn i regnearket "Blandeskjema for Betong Øst.xlsm". Dette regnearket er lagt opp slik at det regner ut total antall kubikk betong som kan produseres med den gitte mengden biokull. Ut i fra dette får man total mengde puk som skal direkte i bilen sammen med biokullet.

Matriksen og sanden til betongen ble blandet i blandemaskinen til Betong Øst før den ble sluppet ned på bilen, og total mengde matriks som skulle produseres ble funnet ved å summere volumet til hvert delmateriale som inngår i matriksen. Dette finnes ved bruk av regnearket "Proporsjonering-Skanska.xlsm". Volumet til hvert delmateriale er lik den oppveide mengden av hvert materiale, gitt i kolonne "Oppveid\*\*", dividert på materialets densitet. Vannet som var tenkt at skal bli absorbert av biokullet ble også veid inn via blandemaskinen, men dette vannet inngår ikke i matriksvolumet.

Resepten Betong Øst la inn i sine systemer var kun resepten for matriksen. Denne resepten måtte justeres slik at det ble produsert korrekt mengde. Mengden for hvert materiale per kubikk for den generelle resepten ble hentet fra regnearket "Proporsjonering-



Skanska.xlsx” og lagt inn i regnearket ”Blandeskjema for Betong Øst.xlsx”. I det sistnevnte regnearket blir alle verdiene dividert på prosentandelen betong som ikke inneholder pukk eller biokull. Dette gir verdiene som finnes i kolonnen med navn ”Resept blandemaskin”, som var de verdiene Betong Øst benyttet.

### 10.3 Navngiving av betongreseptene

Reseptene benyttet i fullskalaforsøkene ble gitt to navn hver, ett navn som blir brukt videre i rapporten og ett navn som inneholder all informasjon om resepten, som benyttes i appendiks.

Navnene benyttet i appendikset er lagt opp på samme måte som reseptene benyttet på laboratoriet, beskrevet i kapittel 5.6. [Navngiving av betongreseptene](#). For å skille disse reseptene fra de som ble produsert på laboratoriet starter fullskalareseptene med bokstavene ”BØ”, for å representere at de ble benyttet hos Betong Øst.

Hos Betong Øst ble det benyttet to forskjellige typer biokull, det ene er levert av Carbofex og det andre er levert av Oplandske Bioenergi. For å skille mellom hvilke blandinger som er laget med hvilket biokull er reseptene merket med ”Car” for Carbofex eller ”Op” Oplandske Bioenergi, like bak ”BØ”. En betong som er blandet hos Betong Øst med biokull fra Carbofex vil ha et navn som starter med ”BØCar” i appendikset.

Navnene som benyttes videre i rapporten er betydelig kortere og består av tre faktorer; hvor den brukes, hvilket biokull benyttet og hvor mye biokull. En vangebetong produsert med biokull fra Carbofex som inneholder 63 kg biokull per kubikk vil hete ”Vange-Car63”. En senterbetong produsert med biokull fra Oplandske Bioenergi som inneholder 90 kg biokull per kubikk vil bli kalt ”Senter-Op90”.

En oversikt over navnene til alle reseptene, hvordan de er navngitt i rapporten og hvordan de er navngitt i appendikset er gitt i tabell 10.1.

**Tabell 10.1:** Oversikt over navngiving av reseptene i rapporten og appendiks, i tillegg til bruksområde.

Bruksområde	Navn i rapporten	Navn i appendiks
Prøveblanding	Vange-Car63	BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld
Prøveblanding	Senter-Car78	BØCar-S35-78-150-5-Ld
Første vangebetong	Vange-Op61	BØOp-V35-61-150-5-Ld
Andre vangebetong	Vange-Op63	BØOp-V35-63-180-5-Ld
Første senterbetong	Senter-Op90-nr.1	BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.1
Andre senterbetong	Senter-Op90-nr.2	BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2

## 10.4 Delmaterialer på blandeverk

### Tilslag

Tilslaget benyttet hos Betong Øst var pukkk fra NCC Gjølme og sand fra Ramlo Sandtak. Sanden var av fraksjonen 0/8 mm med densitet på  $2680 \text{ kg/m}^3$ . Det ble benyttet pukkk av fraksjonene 8/16 mm og 16/22 mm. Begge fraksjonene har densitet lik  $2800 \text{ kg/m}^3$ . Denne pukken var mer kantete enn den benyttet på laboratoriet, og hadde dermed lavere pakningsgrad. Sanden fra Ramlo inneholdt 9,8 % filler, 7,3 % mer filler enn sanden som ble benyttet på laboratoriet.

### Sement

Sementen Betong Øst bruker er av typen Norcem Standard FA, som i følge Norsk Standard NS-EN 197-1 [24] er klassifisert som CEM II/B-M 42.5 R. Sementen har densitet  $2990 \text{ kg/m}^3$  og inneholder 18 % flyveaske, 4 % kalksteinmel og 78 % klinker. Denne sementen er levert av Norcem og produsert i Kjøpsvik.

### Silikastøv

I alle betongene ble det tilsatt 5 % av bindemiddelmengden med Elkem Microsilica. Dette silikastøvet har densitet  $2200 \text{ kg/m}^3$ .

### Tilsetningsstoffer

Det ble benyttet superplastiserende (SP) tilsetningstoff av typen Dynamon SX-23 fra Mapei, som har densitet  $1050 \text{ kg/m}^3$  og inneholder 23 % tørrstoff.

Det ble i tillegg benyttet et luftdempende tilsetningstoff levert av Mapei som heter Demper RM i alle blandingene. Dette tilsetningsstoffet har densitet på  $1000 \text{ kg/m}^3$  og inneholder 0,5 % tørrstoff. Det ble tilsatt enten 1 eller 2  $\text{kg/m}^3$ .

### Biokull

Biokullet benyttet under de første prøveblandingene hos Betong Øst skulle i utgangspunktet være samme type biokull som på laboratoriet og levert av Carbofex. Dette biokullet er nærmere beskrevet i kapittel 5.5. [Delmaterialer på laboratoriet](#). Det ble antatt at det var enkelte forskjeller på biokullet, som for eksempel fuktinnholdet. Biokullet som ble benyttet på blandeverket ble ikke siktet og delt i fraksjoner, og bestod dermed av fraksjoner mellom 0 mm og 20 mm. Biokullet ble tømt rett i betongbilen uten sortering på forhånd.

Biokullet benyttet til støp av veggelementene er produsert av Oplandske Bioenergi. Dette biokullet var produsert på  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ , med en oppholdstid i reaktoren på 2 timer. Biokullet ble laget av gran biovirke som har råte eller er tørrgran. Dette virke er i utgangspunktet av en lavere kvalitet enn det virke som Carbofex benytter, men prosessen Oplandske Bioenergi bruker gir biokull av høy kvalitet. Biokullet har en saktere oppvarming enn biokullet fra Carbofex og vil dermed ha mindre tap i form av støv da skruene i reaktoren går sakte. Overflaten på biokullet produsert av Oplandske Bioenergi er  $412 \text{ m}^2/\text{g}$ . Analyseprøver av biokullet er gitt i [Appendiks G](#).

## 10.5 Proporsjonering og prøveblanding av betongene til fullskalaforsøk

Alle reseptene som er laget er basert på partikkel-matriks modellen, beskrevet i kapittel 5.1. [Partikkel-matriks modell](#). Blandeskjema, samt blandelogg fra Betong Øst, for alle betongene er gitt i [Appendiks A.3](#). I blandeloggene står ikke luftdemper oppført grunnet manuell tilsetning.

Før selve produksjonen av veggelementene kunne starte måtte betongene prøveblandes. Blandeprosedyren, beskrevet i kapittel 11.1. [Blandeprosedyre på blandeverk](#), er ganske ulik blandeprosedyren benyttet på laboratoriet. Dette medførte en stor usikkerhet knyttet til hvordan betongen ville oppføre seg da den ble blandet i større mengder i en betongbil. Prøveblandingen ble utført for å undersøke om det var mulig å blande betongen med den valgte blandeprosedyren, undersøke hvordan betongen oppførte seg og vurdere hvilken justeringer som måtte gjøres for å kunne produsere vegger med denne betongen.

For prøveblanding hos Betong Øst ble det valgt ut en vangebetong og en senterbetong som tidligere hadde blitt produsert på laboratoriet. Det ble valgt de betongene som antatt hadde størst sannsynlighet for å bli vellykket. Valget for vangebetongen var basert på hvilken betong som inneholdt mest mulig biokull, men fortsatt holdt fasthetskrevet til Con-Form på 10 MPa etter 16 timer ved 30 °C. Valget for senterbetongen var basert på betongen med mest biokull som ble produsert på lab, som samtidig var homogen og hadde god støpelighet.

Reseptene laget til prøveblanding var basert på materialene og tilsetningstoffene benyttet på laboratoriet, grunnet manglende informasjon om materialene til Betong Øst på dette tidspunktet. Reseptene for prøveblandingen var basert på de samme prinsippene som de tilsvarende reseptene fra laboratoriet med tanke på masseforhold, vannabsorpsjon og mengde silika. Både senterbetongen og vangebetongen ble proporsjonert med masseforhold tilsvarende 0,35, vannabsorpsjon lik 150 % og 5 % silika. Under prøveblandingen ble biokull levert av Carbofex benyttet.

Før prøveblandingen startet ble det oppdaget at akseleratoren Betong Øst hadde tilgjengelig ikke var av samme type som den brukt på laboratoriet. I tillegg ble det antatt at vangebetongen som skulle prøveblandes ville kunne få tilstrekkelig styrke uten å tilsette akselerator. Resepten for vangebetongen ble lagt opp til at den skal produseres med akselerator. Det ble valgt å bruke denne resepten slik som den var, men uten å tilsette akseleratoren. Dersom resepten ble oppdatert og ikke inneholdt akselerator ville dette medført en liten økning i total bindemiddelmengde per kubikk, som igjen ville gitt en minimal endring i mengden silika og SP som skulle tilsettes. Denne endringen var så liten at den ikke hadde noe utslag på den totale resepten. Betongen har dermed fått navnet BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld i [appendiks](#), siden resepten inneholder akselerator, men betongen er produsert uten.

Prøveblandingen var vellykkede med betonger som hadde god støpelighet og var homogene. På laboratoriet ble det observert tendenser til separasjon i betongene som inneholdt mye biokull. Dette var ikke tilfelle under prøveblandingen og det ble antatt at betonge-

ne kunne tåle betydelig mer biokull uten å separere. Resultatene og observasjonene fra prøveblandingen la grunnlaget for reseptene som skulle brukes til å støpe vegg.

Reseptene for støping av veggelement fra Con-Form var basert på materialene og tilsetningstoffene Betong Øst bruker. Sanden Betong Øst hadde inneholdt 7,3 % mer filler enn den benyttet på laboratoriet. Matriksvolumet og mengden stein ble justert slik at mengden sement ble lik som ved prøveblandingen. Da selve veggen ble støpt ble biokull levert av Oplandske Bioenergi benyttet.

Det ble brukt tre dager på å støpe hele veggen, én dag per vange og en dag for senter. Da den første vangebetongen ble blandet ble den veldig tørr. Biokullet fra Oplandske Bioenergi var tørrere enn det som ble levert av Carbofex, og trakk til seg mer vann enn forventet. Det måtte tilsettes både mer vann og SP manuelt for å få en støpbar betong. Mengden vann som ble tilsatt manuelt tilsvarte en økning i proporsjonert absorpsjonsverdi fra 150 % til 180 %. Fordi denne betongen ble så tørr og det ble tilsatt vann manuelt tilsvarende en vannabsorpsjon på 180 %, ble det valgt å øke vannabsorpsjonen til biokullet fra 150 til 180 % i reseptene, samt å øke mengden SP med 1 kg per kubikk for neste vangebetong. Dette fungerte godt, og disse endringene ble også gjort på senterbetongen.

Senterbetongen under prøveblanding viste seg å være svært vellykket og det ble antatt at betongen ville kunne tåle å bli tilsatt enda mer biokull. Senterbetongen benyttet i veggelementene ble derfor proporsjonert med 12 kg mer biokull per kubikk sammenlignet med prøveblandingen.

# 11 Prosedyrer og testing for fullskalaforsøk

## 11.1 Blandeprosedyre på blandeverk

Hele sekker med biokull ble løftet opp og helt ned i betongbilen, som vist i bilde [11.1.1](#). Deretter kjørte bilen under blandemaskinen hvor pukken, fraksjoner 8/16 mm og 16/22 mm, ble sluppet ned i betongbilen. Bilen tromlet dette i 10 minutter på full hastighet. Dette ble gjort på grunn av usikkerheten rundt nedknusing av biokullet under blandingen i betongbilen. Det var også ønskelig å knuse ned biokullet mest mulig. Finsatsen, bestående av vann, sement, sand og tilsetningstoffer, ble blandet i blandemaskinen før det ble sluppet ned i bilen. Dette ble blandet i bilen i 10 minutter før betongen ble tømt ut av bilen for testing og støping.



Bilde 11.1.1: Bildet viser en sekk med biokull som er løftet opp før innholdet slippes ned i betongbilen.

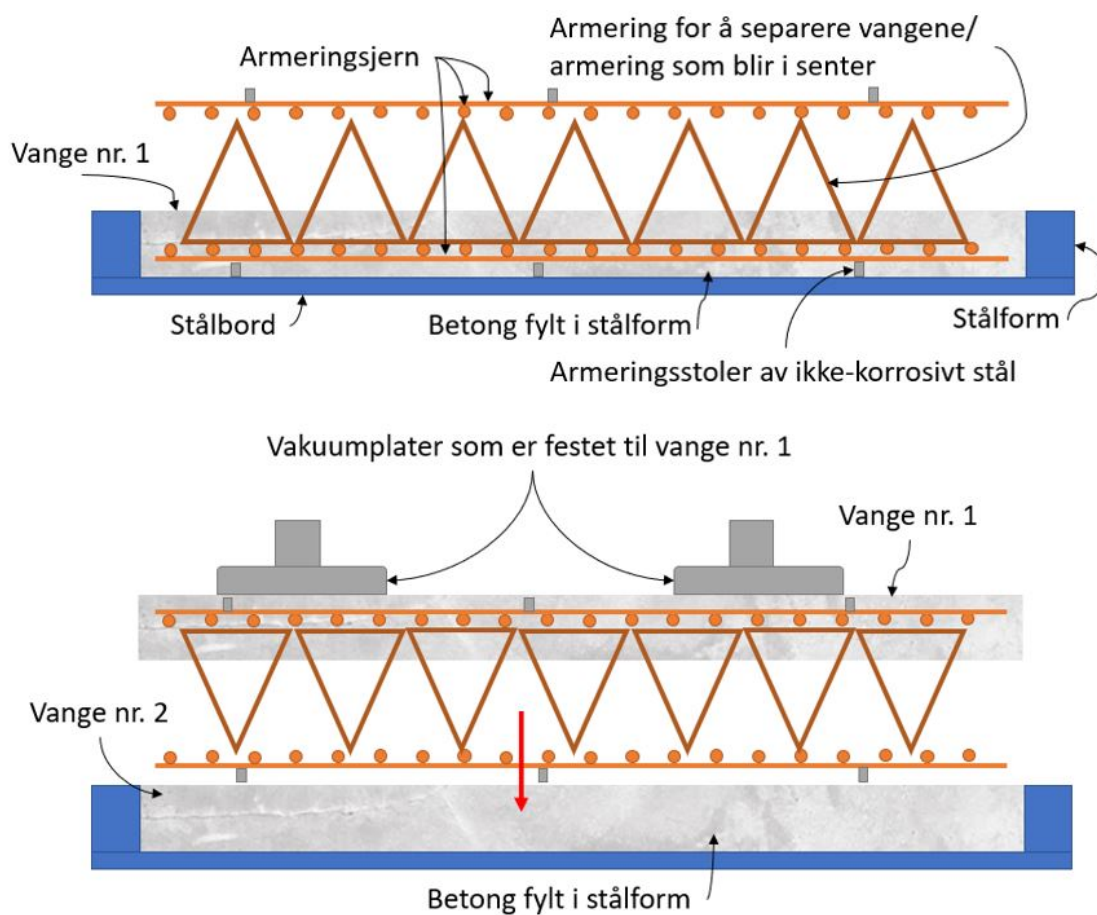
## 11.2 Produksjon av vangene

Hver vegg består av to vanger, som ble produsert på to ulike dager. En stålform med armering til både den første vangen, senter og den andre vangen lå klart på et vibrobord. Stålformen ble fylt ved bruk av en betongtobbe for å fordele betongen i formene. Deretter ble bordet vibrert slik at betongen la seg jevnt i formen. Mye av armeringen ble stikkende opp fra den første vangen, som vist i figur [11.2.1](#). Armeringen som stakk

opp tilhører senter av veggen og den andre vangen.

Den første vangen måtte herde i minst 16 timer ved 30 °C for å oppnå fasthetskravet til Con-Form på 10 MPa. Den høye temperaturen ble oppnådd med oppvarming i vibrobordet.

Da den andre vangen ble produsert ble en identisk stålform, uten armering, fylt på stålbordet. Denne formen ble også fylt ved bruk av en betongtøbbe. Deretter ble den første vangen festet i vakuumplater og snudd opp ned. Det var under denne delen av prosessen det var viktig at den første vangen hadde tilstrekkelig trykkfasthet. Den første vangen ble senket nedover mot betongen som lå på stålbordet, som illustrert med en rød pil i figur 11.2.1. Armeringen ble dermed senket ned i den andre vangen, før bordet ble vibrert for å sørge for at betongen fylte hele formen. På denne måten ble korrekt armering plassert i begge vangen, i tillegg til at det ble et rom mellom de to vangen som senere ble fylt med senterbetongen.



**Figur 11.2.1:** Figuren viser prosedyren for å lage begge vangen til et veggelement. Først lages den første vangen, og all armering for begge vangen og senter er lagt på plass. Etter herding festes den første vangen i vakuumplater for å snus oppned og armeringen tilhørende den andre vangen senkes ned i betongen tilhørende den andre vangen, illustrert med en rød pil.



## 11.3 Produksjon av senterbetong

Senterbetongen ble blandet sammen på en pumpemikser. Fordi det var ønskelig å unngå bruk av en vibrator ble denne betongen produsert som SKB. Da betongen var ferdig blandet på pumpemikseren og utbredelsestesten bekreftet at den var en SKB, ble betongen pumpet inn mellom de to vangebetongene som vist i bilde 11.3.1. Under det første forsøket på å fylle senterbetongen i veggelementene ble støpetrykket for høyt for stengene og rundt utsparingene til veggene som var 250 mm tykke. Forskalingen ble ødelagt og alt av senterbetongen rant ut fra veggen. Det ble derfor gjort et nytt forsøk senere med den samme senterbetongen og sterkere forskaling. Denne gangen var det ingen problemer med forskalingen og utstøpingen av veggen ble vellykket.



Bilde 11.3.1: Fra pumping av senterbetongen inn mellom vangebetongene.

## 11.4 Testing av betongen

De samme testprosedyrene benyttet på laboratoriet, beskrevet i kapittel 6.3. [Testmetoder for fersk betong](#), for måling av luft, slump og utbredelse ble brukt på blandeverket hos Betong Øst.

Luftinnholdet ble kun testet i betongene laget under prøveblandingen. Da disse betongene bekreftet at luftdemperen fungerte ble ikke luftinnholdet undersøkt i betongene som ble brukt i veggelementene.

Slump og utbredelse ble bare testet dersom det ble ansett som fornuftig.



**Bilde 11.4.1:** Bilde fra testing av den ferske betongen. Fremst i bildet ser man en slumpetest og utbredelsestest, mens lengre bak ser man terninger som fylles.

Betong Øst og Con-Form hadde et begrenset antall former for å støpe kuber til trykktesting. Under prøveblanding ble det for vangebetongene støpt totalt 6 terninger, hvor 2 ble trykket etter 1 døgn, 2 etter 2 døgn og 2 etter 28 døgn. For senterbetongene ble det støpt totalt 4 terninger, hvor 2 ble trykket etter 1 døgn og 2 etter 28 døgn.

Under utstøping av veggelementene ble det støpt 4 terninger per betong, 2 til testing etter 7 døgn og 2 etter 28 døgn.

Terningene ble støpt og testet på samme måte som er beskrevet under delkapittel [6.4.1. Trykktest](#). Betong Øst sto for trykktestingen av terningene og benyttet trykkpressemaskinen som er tilgjengelig på deres laboratorie.

## 11.5 Testing av biokull

Det ble tatt med en liten pose biokull, både av biokullet levert av Carbofex og av biokullet levert av Oplandske Bioenergi, fra Orkanger med tilbake til laboratoriet på NTNU. Dette biokullet ble benyttet i testing av fuktinnhold og densitet, beskrevet i delkapitlene [6.2.2. Estimering av biokullets fuktinnhold](#) og [6.2.1. Estimering av biokullets partikkeldensitet ved bruk av ren parafinvoks](#). Resultatene finnes i delkapitlene [7.1.1. Partikkeldensitet målt ved bruk av parafinvoks](#) og [7.1.2. Fuktinnhold i biokull](#).

Det ble tatt ut en prøve av puk og biokull, etter 10 minutter tromling, fra betongbilen som ble benyttet til å undersøke nedknusingen av biokullet. Metoden for undersøkelse er beskrevet i delkapittel [6.2.3.2. Estimering av biokullets siktekurve fra fullskalaforsøk](#).



Prøven ble hentet fra betongbilen da senterbetongen til veggelementene skulle støpes. Resultatene finnes i delkapittel 7.1.3.2. [Siktekurve for biokull som benyttes i fullskala-forsøk.](#)

## 11.6 Estimering av biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet

For å estimere biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet ble det opprettet et regneark, som vist i figur 11.6.1. Prinsippet i regnearket er at den korrigerte densiteten, uthevet svart tall, skal samsvare med den målte densiteten, uthevet grønt tall. Ved å endre på de røde tallene, slik at korrigert densitet blir lik den målte densiteten, kan man finne et estimat for vannabsorpsjonen og partikkeldensiteten til biokullet i hver resept. De røde tallene er hvor usikkerheten i reseptene ligger. Siden det ikke er sikkert hvor mye vann biokullet trakk til seg vil det være en usikkerhet rundt hvor mye fritt vann det var i betongen. En videre diskusjon om effektivt vanninnhold er gitt i delkapittel 13.1.2.3. [Fritt vann.](#) Luftinnholdet i betongene som er benyttet i dette regnearket er ikke målt. Alle reseptene er proporsjonert med 4 % luft, men inneholder luftdemper og ble dermed antatt å være 2 %, basert på målingene fra andre blandinger. Det antas videre at etter både tørrblanding og våtblanding vil biokullet ha blitt knust ned slik at 75 % av det opprinnelige biokullet er blitt til finstoff. Det blir også antatt at biokullet har en øvre grense for partikkeldensitet på 400 kg/m<sup>3</sup>.

Resept:	BØOp-V35-61-150-5-Ld							
Materialer	Resept			Korrigert abs og dens			Korrigert resept	
	kg/m <sup>3</sup>	Dens	Volum	kg/m <sup>3</sup>	Dens	Volum	kg/m <sup>3</sup>	Volum
Norcem Standard FA	327,5	3 000,0	109,2	327,5	3 000,0	109,2	329,0	109,7
Elkem Microsilica	17,2	2 200,0	7,8	17,2	2 200,0	7,8	17,3	7,9
Fritt vann	120,7	1 000,0	120,7	140,0	1 000,0	140,0	140,6	140,6
Absorbent vann	116,0	-	-	96,7	-	-	97,1	-
Ramlo 0/8 mm nat. vask.	936,4	2 680,0	349,4	936,4	2 680,0	349,4	940,6	351,0
Gjølme 8/16mm	281,8	2 800,0	100,6	281,8	2 800,0	100,6	283,1	101,1
Gjølme 16/22 mm	281,8	2 800,0	100,6	281,8	2 800,0	100,6	283,1	101,1
Biokull	60,7	355,0	171,0	60,7	364,0	166,8	61,0	167,5
Mapei Dynamon SX-23	3,4	1 261,0	0,6	3,4	1 261,0	0,6	3,4	0,6
Mapei Demper RM	2,0	1 000,0	0,5	2,0	1 000,0	0,5	2,0	0,0
Luft	-	-	40,0	-	-	20,0	-	20,1
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	2 143		1 000			996	2 153	1 000

Målt dens	2 153	2 153
Masseforhold	0,35	0,41
Teoretisk vannabsorpsjon	182 %	150 %
Est. biokull < 0,125 mm	41 %	75 %
Matriksvolum	343	419
Vol. andel biokull	17 %	17 %

**Figur 11.6.1:** Et eksempel fra regnearket benyttet til å estimere biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet.

De grønne tallene, utenom tallet tilhørende "Målt dens", er hentet direkte fra resepten beregnet ved bruk av regnearket "Proporsjonering-Skanska.xlsm". For resepten tilhørende Vange-Op61 er det lagt til 20 L ekstra vann under "absorbent vann" i forhold til den opprinnelige resepten. Dette er fordi det ble tilsatt 20 L/m<sup>3</sup> vann manuelt underveis i blandingen. Resepten er lagt opp med 150 % vannabsorpsjon, men tilsetning av vannet tilsvarer en økning av denne verdien til 180 %.

Det uthevede grønne tallet, "Målt dens", er den målte gjennomsnittlige densiteten til fire kjerner boret ut av det ferdige 250 mm tykke veggelementet.

Densitetsmålinger utført på terninger støpt på laboratoriet og i fullskala har vist en tendens til å variere litt. Det antas at dette kan skyldes ulik mengde biokull i hver terning og eventuell separasjon når terningene har blitt støpt. For å få et sikrere mål på densiteten til betongen i veggelementet ble det boret ut fire kjerner med diameter på 9,5 cm. Alle kjerneboreprøvene ble delt i overgangene mellom vange- og senterbetongen, som vist i bildet 11.6.2. Disse boreprøvene ble benyttet til å beregne densiteten til betongene. Boreprøvene ble kuttet der det var et synlig skille mellom vangebetongen og senterbetongen. Under støping av veggelementene ble det observert at vangebetongen ikke var helt jevn på flaten inn mot senterbetongen. Dermed er det mulig at boreprøvene ikke er kuttet nøyaktig og at senterbetongprøven kan ha inneholdt noe vangebetong i kantene og omvendt. Det ble antatt at dette var så lite at det ble sett bort i fra.



**Bilde 11.6.2:** Bildet viser ett av prøvestykkene boret ut av veggelementet. De to korteste delene er de to vangene, mens det høye sylindret i midten består av senterbetongen.

Prøvestykkene til vangene inneholdt noe armeringsjern. Lengden på armeringsjernene ble målt med linjal. Målingene ble basert på antagelser om hvor armeringsjernet lå i prøvestykkene, da dette var utfordrende å se. Densiteten til vangebetongen alene kunne beregnes basert på antagelsene om mengden armeringsjern i hvert prøvestykke. Det ble ikke observert noen armeringsjern i senterstykkene.

Fordi det kun ble tatt kjerneboringsprøver fra én vegg, og det dermed bare finnes gode densitetsdata på tre av betongene som ble produsert hos Betong Øst ble dette regnearket, vist i figur 11.6.1, bare benyttet på betongene: Vange-Op61, Vange-Op63 og Senter-Op90-nr.2. Målingene fra kjerneboreprøvene viser at densiteten til senterbetongen er omtrent  $2047 \text{ kg/m}^3$ , mens densiteten til vangebetongen er omtrent  $2153 \text{ kg/m}^3$ . Det antas at Vange-Op61 og Vange-Op63 har tilnærmet samme densitet.

Korrigerings av de røde tallene, fritt vann, partikkeldensitet på biokullet og luftinnhold, ble utført på alle reseptene til betongene fra veggelementet som er 250 mm tykt. Fullstendige resultater, i form av regnearket, er gitt i Appendiks H.

# 12 Resultater fra fullskalaforsøk

## 12.1 Prøveblanding på betongbil hos Betong Øst

Fullstendige resultater med rådata for hver terning som er testet er gitt i Appendiks C.3, samt grafisk fremstilling av resultatene er gitt i Appendiks D.3. Blandeskjema og blandelogg til hver betong er gitt i Appendiks A.3.

### 12.1.1 Vange-Car63

I vedleggene som ligger i appendikset er denne betongen navngitt BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld. Resepten benyttet for å produsere denne betongen inneholder akselerator, men akseleratoren ble ikke tilsatt i betongen. Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 11,39 kg av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 12.1.

**Tabell 12.1:** Resultater fra testing på fersk betong av Vange-Car63.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	275
Utbredelse [mm]	640
Proporsjonert luftinnhold [%]	4,0
Luftinnhold [%]	1,2
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>Ikke målt</i>

Det ble støpt 6 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 12.2.

**Tabell 12.2:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Vange-Car63.

Gjennomsnitt av	Resultat
Målt densitet terninger ved 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2350,0
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	9,6
Trykkfasthet etter 2 døgn [MPa]	16,7
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	42,6

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Ble lagt inn 15 liter for mye vann per kubikk betong enn det som var i resepten. Dette førte til at betongen ble for bløt. Selv om det var for mye vann i blandingen ble det ikke observert noe separasjon.
- Biokullet ble observert som helt nedknust etter blanding.

- Lavt luftinnhold.

### 12.1.2 Senter-Car78

I vedleggene som ligger i appendikset er denne betongen navngitt BØCar-S35-78-150-5-Ld. Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 13,61 kg av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 12.3.

**Tabell 12.3:** Resultater fra testing på fersk betong av Senter-Car78.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	>240
Utbredelse [mm]	510
Proporsjonert luftinnhold [%]	4,0
Luftinnhold [%]	2,4
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>Ikke målt</i>

Det ble støpt 4 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 12.4.

**Tabell 12.4:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Senter-Car78.

Gjennomsnitt av	Resultat
Målt densitet terninger ved 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2220
Trykkfasthet etter 1 døgn [MPa]	6,5
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	34,2

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Betongen hadde god støpelighet og det ble ikke observert noe separasjon.
- Antas at det er mulig å øke mengde SP og biokull.
- Biokullet ble observert som helt nedknust etter blanding.
- Lavt luftinnhold.

## 12.2 Støp av veggelementer

For betongene benyttet til støp av veggelementene ble bare slump og utbredelse målt dersom det ble ansett som fornuftig å måle disse parametrene.

Fullstendige resultater med rådata for hver terning som er trykt er gitt i Appendiks C.3, samt grafisk fremstilling av resultatene er gitt i Appendiks D.3. Blandeskjema og blandelogg til hver betong er gitt i Appendiks A.3.

### 12.2.1 Første vangebetong - Vange-Op61

I vedleggene som ligger i appendikset er denne betongen navngitt BØOp-V35-61-150-5-Ld. Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 12,67 kg av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 12.5. Produksjon av vangen er vist i bilde 12.2.1.

**Tabell 12.5:** Resultater fra testing på fersk betong av Vange-Op61.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	<i>Ikke målt</i>
Utbredelse [mm]	<i>Ikke målt</i>
Luftinnhold [%]	<i>Ikke målt</i>
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>Ikke målt</i>

Det ble støpt 4 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 12.6.

**Tabell 12.6:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Vange-Op61.

Gjennomsnitt av	Resultat
Målt densitet terninger ved 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2220
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	28,5
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	40,3

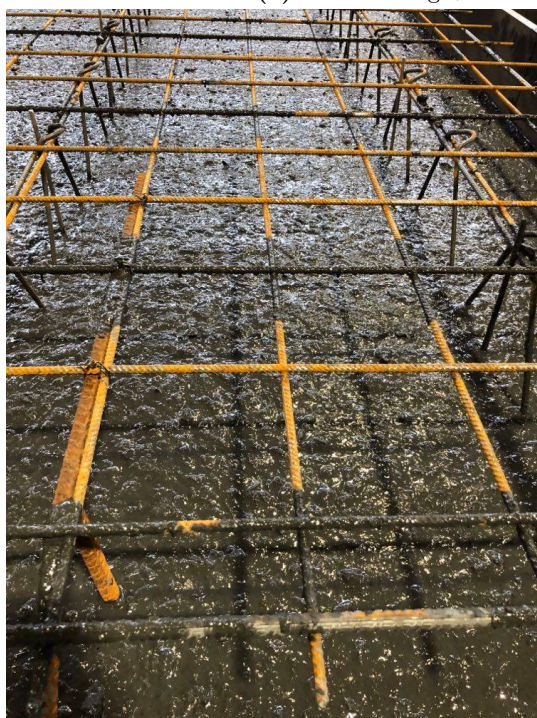
#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Biokullet var ekstremt tørt.
- Betongen fikk veldig lang blandetid grunnet manuell etterfylling av vann og SP. Endte opp med ca 2 liter ekstra SP sammenlignet med resepten.
- Ble ikke blandet godt nok i starten.
- Biokullet ble observert som helt nedknust etter blanding.
- Veldig seig og tyktflytende, men fyller formen etter vibrering.
- Tapte mye støpelighet fordi det gikk så lang tid fra blanding til utstøping, grunnet mye justering av blandingen.





(a) Fersk betong før vibrasjon i metallformen.



(b) Fersk betong etter vibrasjon i metallformen.



(c) Herdet betong ett døgn etter støp.

**Bilde 12.2.1:** Første vangebetong under støp og ferdig herdet.

## 12.2.2 Andre vangebetong - Vange-Op63

I vedleggene som ligger i appendikset er denne betongen navngitt BØOp-V35-63-180-5-Ld. Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 15,19 kg av SP-stoffet Mapei SX-23. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell [12.7](#). Produksjon av den andre vangen er vist i bilde [12.2.2](#).

**Tabell 12.7:** Resultater fra testing på fersk betong av Vange-Op63.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	240
Utbredelse [mm]	625
Luftinnhold [%]	<i>Ikke målt</i>
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>Ikke målt</i>

Det ble støpt 4 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 12.8.

**Tabell 12.8:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Vange-Op63.

Gjennomsnitt av	Resultat
Målt densitet terninger ved 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2220,0
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	24,1
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	35,0

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Biokullet var svært tørt. Verdien for vannabsorpsjon er derfor økt.
- Biokullet ble observert som helt nedknust etter blanding.
- God flyt og støpelighet uten tegn til segregering under vibrasjon.



**Bilde 12.2.2:** Den ferske betongen i metallformen uten vibrasjon.

#### 12.2.3 Senterbetong - Senter-Op90-nr.1

I vedleggene som ligger i appendikset er denne betongen navngitt BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.1. Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 13,61 kg av SP-stoffet Mapei SX-23,

samt 0,5 kg per kubikk i etterblandingen mellom veggstøpene. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 12.9.

**Tabell 12.9:** Resultater fra testing på fersk betong av Senter-Op90-nr.1.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	>240
Utbredelse [mm]	700
Luftinnhold [%]	<i>Ikke målt</i>
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>Ikke målt</i>

Det ble støpt 4 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell 12.10.

**Tabell 12.10:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Senter-Op90-nr.1.

Gjennomsnitt av	Resultat
Målt densitet terninger ved 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	1905,6
Målt densitet terninger ved 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	2000,0
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	15,9
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	23,2

#### Kommentarer/Bemerkninger:

- Biokullet var svært tørt. Verdien for vannabsorpsjon er derfor økt.
- Biokullet ble observert som ganske nedknust etter blandingen.
- God flyt og støpelighet uten tegn til segregering under vibrasjon.
- Betongen er en SKB, men mister den egenskapen etter utstøp av to vegger. Må da tilsette mer SP mellom støp av vegg 2 og vegg 3. Etter tilsatt SP var betongen en SKB like lenge som rett etter blandingen.

#### 12.2.4 Senterbetong - Senter-Op90-nr.2

I vedleggene som ligger i appendikset er denne betongen navngitt BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2. Totalt i denne blandingen ble det tilsatt 13,61 kg av SP-stoffet Mapei SX-23, samt 0,5 kg per kubikk i etterblandingen mellom veggstøpene. Resultatene fra testing på fersk betong er gitt i tabell 12.11.

**Tabell 12.11:** Resultater fra testing på fersk betong av Senter-Op90-nr.2.

Testmetode	Resultat
Slump [mm]	>240
Utbredelse [mm]	700
Luftinnhold [%]	<i>Ikke målt</i>
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>Ikke målt</i>



Det ble støpt 4 terninger til trykktesting. Gjennomsnittlige verdier for vekt og trykkresultat er gitt i tabell [12.12](#).

**Tabell 12.12:** Gjennomsnittlige resultater fra trykktesting og densitet av Senter-Op90-nr.2.

Gjennomsnitt av	Resultat
Målt densitet terninger ved 7 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	1950,0
Målt densitet terninger ved 28 døgn [kg/m <sup>3</sup> ]	1980,0
Trykkfasthet etter 7 døgn [MPa]	15,0
Trykkfasthet etter 28 døgn [MPa]	21,8

**Kommentarer/Bemerkninger:**

- Seigere og mer tyktflytende enn Senter-Op90-nr.1.
- Likevel fin flyt og fylte formen uten vibrering.

### 12.3 Estimering av biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet

Estimering av biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet er utført ved bruk av metoden beskrevet i delkapittel [11.6](#). [Estimering av biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet](#). Resultatene for estimert vannabsorpsjon og partikkeldensitet er gitt i tabell [12.13](#), mens fullstendige regneark er gitt i [Appendiks H](#).

**Tabell 12.13:** Resultater fra estimering av biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet.

Resept	Estimert vannabsorpsjon [%]	Estimert partikkeldensitet [kg/m <sup>3</sup> ]
Vange-Op61	150	364
Vange-Op63	149	377
Gjennomsnitt vange	149	371
Senter-Op90-nr.2	147	397

# 13 Diskusjon - fullskalaforsøk

## 13.1 Biokull

### 13.1.1 Nedknusing av biokull

Blandeprosessen for fullskala støp innebar en tørrblanding av kun biokull og pukkk for økt nedknusing av biokullet. På denne måten ble det forsøkt å oppnå lignende nedknusing som etter økt blandetid på laboratoriet, og dermed mer sammenfallende resultater. For å undersøke nedknusingen ble det tatt ut en prøve med biokull før blanding og en prøve etter tørrblanding i 10 minutter. Som delkapittel [7.1.3.2. Siktekurve for biokull som benyttes i fullskalaforsøk](#) viser, gjennomgår biokullet en betydelig nedknusing under blanding på betongbil. Det skal nevnes at prøven er tatt fra blanding av senterbetongen med 90 kg biokull per kubikk. Det betyr at forholdet mellom pukkk og biokull er lavere enn for vangebetongen med 63 kg biokull per kubikk, og dermed vil nedknusingen antagelig være noe redusert. Ved sammenligning av kurvene ser man at mengden partikler på 1 mm eller mindre har gått fra omtrent 30 til 70 %. Det er i tillegg en firedobling i mengden partikler på 0,125 mm eller mindre, som er grensen for partikkelstørrelsen til matriksfasen. Dette betyr at mengden matriks øker betydelig i forhold til proporsjonert matriks.

Nedknusingen av biokullet brukt på laboratoriet, fremstilt i figur [7.1.1](#), viser at biokullet er mindre nedmalt etter tørrblandingen sammenlignet med resultatene fra prosjektoppgaven og knusingen i betongbilen. Omtrent 60 % av partiklene har blitt knust til 2 mm eller mindre målt i prosjektoppgaven (2020), mot bare litt over 30 % målt i denne rapporten (2021), sammenlignet med nesten 80 % i betongbilen fra figur [7.1.2](#). Den høye graden av nedknusing fra betongbil skyldes delvis at biokullet som er brukt til fullskala blanding allerede inneholder omtrent 45 % med partikkelstørrelser på 2 mm eller mindre. Sammenligning av differansen i mengde biokull med maks partikkelstørrelse på 2 mm tyder på at blandeprosessen på laboratoriet har en bedre nedknusingseffekt, hvis det tas utgangspunkt i kurven fra prosjektoppgaven. For kurven fra målingene i denne rapporten er nedknusingen omtrent lik. Ser man på partikkelstørrelse opp til 4 mm vil nedmalingen være desidert størst for blandeprosedyren på laboratoriet.

Totalt sett vil biokullet uansett være mer knust når det er brukt til fullskala støping hos Betong Øst, fordi det i utgangspunktet er mer nedmalt enn kullet brukt på laboratoriet. Disse forsøkene tar kun hensyn til nedknusingen under tørrblanding. Biokullet i den ferdige blandingen vil være enda mer nedknust grunnet nedmalingen under våtblanding.

### 13.1.2 Estimering av biokullets vannabsorpsjon og partikkeldensitet

Det ble, ved bruk av regnearket i [Appendiks H](#), estimert både vannabsorpsjon og partikkeldensitet for biokullet. Denne estimeringen ble gjennomført på alle tre betongene som

inngår i det 250 mm tykke veggelementet, altså Vange-Op61, Vange-Op63 og Senter-Op90-nr.2. Alle disse betongene inneholder biokull levert av Oplandske Bioenergi.

Det er en usikkerhet knyttet til den korrigerte densiteten til betongene og den estimerte partikkeldensiteten til biokullet. Biokullet utgjør et stort volum, men en liten vekt i betongen. Dette gjør at små avvik på densitetsmålinger vil kunne gi store utslag på beregnet partikkeldensiteten til biokullet. Det betyr at denne metoden er en relativt usikker måte å gjennomføre slike estimater på. Den lille spredningen som er registrert i disse målingene og beregningene indikerer at resultatene er relativt pålitelige. Den korrigerte densiteten til betongen ble satt lik den målte densiteten, funnet som et gjennomsnitt av fire boreprøver tatt fra veggelementet. Dette er et begrenset omfang av prøvestykker og kanskje ikke representativt for hele veggelementet. I tillegg inneholdt alle vangedelene en ukjent mengde armering, hvor mengden har blitt estimert for å finne densiteten til kun betongprøvene.

For å oppnå enda sikrere verdier knyttet til densiteten til betongen må man øke stikkprøveomfanget og bore ut flere kjerner fra ulike områder i veggen. Det kan også være en fordel å støpe vegger bestående av bare en type betong slik at det ikke oppstår en usikkerhet rundt hvor den ene typen betongen starter og den andre slutter.

#### **13.1.2.1 Estimering av vannabsorpsjon**

Biokullet Oplandske Bioenergi leverte var i utgangspunktet helt tørt. Den estimerte vannabsorpsjonen til dette biokullet lå på 149 % for vangebetongen og 147 % for senterbetongen. Begge disse estimatene er i samme størrelsesorden og omtrent helt like. Fordi disse verdiene er så like er det sannsynlig at vannabsorpsjonen til biokullet ligger på mellom 145 og 150 %.

Biokullet levert av Carbofex inneholdt opprinnelig 11 % fukt. Siden dette biokullet var fuktigere enn biokullet fra Oplandske Bioenergi vil det være fornuftig å anta at dette biokullet ville ha noe lavere vannabsorpsjonsverdi. Vannabsorpsjonen til biokullet fra Carbofex ble ikke estimert og man vet dermed ikke helt sikkert om dette er tilfelle, eller hvor mye lavere den eventuelle vannabsorpsjonsverdien er.

#### **13.1.2.2 Estimering av biokullets partikkeldensitet**

Gjennomsnittlig estimert partikkeldensitet for biokullet fra Oplandske Bioenergi, når det er nedknust i betongen, er 371 kg/m<sup>3</sup> for vangebetongen og 397 kg/m<sup>3</sup> for senterbetongen. Grunnet at små avvik på densitetsmålingene vil gi store forskjeller i partikkeldensiteten på biokullet, anses disse to verdiene som omtrent like og det kan antas at partikkeldensiteten til biokullet ligger innenfor intervallet 350 til 400 kg/m<sup>3</sup>. Partikkeldensiteten som ble funnet i forbindelse med prosjektoppgaven utført høsten 2020 [5] var 355 kg/m<sup>3</sup> og er innenfor dette intervallet. Densitetsmålingen i forbindelse med prosjektoppgaven anses som betydelig mer usikker enn estimatet for partikkeldensitet utført i forbindelse med denne rapporten, men siden begge metodene gir resultater innenfor samme intervall er det grunn til å tro at dette er den korrekte partikkeldensiteten til biokullet.

Partikkeldensiteten funnet her er omlag 100 til 150 kg/m<sup>3</sup> høyere enn partikkeldensiteten som ble funnet på laboratoriet på det samme biokullet ved bruk av parafinvoks, gitt i delkapittel 7.1.1. [Partikkeldensitet målt ved bruk av parafinvoks](#). Biokullet målt ved bruk av parafinvoks ble hentet direkte fra storsekken biokullet ble levert i. Dette biokullet var ikke like nedknust som biokullet inni kjerneboreprøvene. Det antas at nedknust biokull har noe høyere partikkeldensitet enn større partikler. Dermed antas det at forskjellen i de estimerte partikkeldensitetene og densitetsmålingene utført med parafinvoks, skyldes at biokullet i kjerneboreprøvene er mye mer oppknust og dermed har en høyere partikkeldensitet. Det var i tillegg en større usikkerhet rundt målingen av partikkeldensitet ved bruk av parafinvoks siden det er usikkert hvor mye voks biokullet kan ha trukket til seg.

### 13.1.2.3 Fritt vann

Vannabsorpsjonen til biokullet, gitt i regnearkene i [Appendiks H](#) og tabell 12.13, ble estimert ved å endre på mengden fritt vann i betongene. Mengden fritt vann som ble proporsjonert er relativt lav med tanke på hvor bløte betongene var og støpeligheten til betongene. Det er derfor usannsynlig at den proporsjonerte mengden fritt vann er korrekt. Gjennom estimeringen av vannabsorpsjonen og partikkeldensiteten til biokullet ble det funnet at mengden fritt vann i betongene sannsynligvis ligger på omtrent 140 L/m<sup>3</sup>. Dette ble funnet for alle betongene.

En vanlig SKB vil vanligvis inneholde mellom 160 til 190 L/m<sup>3</sup> fritt vann, og det anses ikke som fysisk mulig å produsere SKB med kun 140 L/m<sup>3</sup> fritt vann i dag ved produksjon av normalbetong. I SKB er det matriksfasen som er dominerende og det er avgjørende å ha nok matriks som flyter relativt lett for å klassifisere en betong som en SKB. Når en større mengde filler tilsettes en betong opptar matriksfasen en større del av volumet til betongen, men den blir også veldig tyktflytende. Dette gjør at betongen når en smertegrense og man må tilsette mer sement og vann for å få betongen flytende nok til å oppføre seg som SKB.

Biokullet har vist seg å ha en annen effekt enn fillerene som finnes på markedet i dag. Vannmettet biokull bidrar ikke til at matriksen blir så viskøs og man kan lettere oppnå et stort matriksvolum som ikke er like tyktflytende, og fortsatt bare ha 140 L/m<sup>3</sup> dersom man bruker biokull som filler. Dette medfører at man produserer en SKB med mindre sement og vann enn det som gjøres i dag.

### 13.1.2.4 Masseforhold og matriksvolum

Når vannabsorpsjonen og partikkeldensiteten til biokullet estimeres ved bruk av regnearket gitt i [Appendiks H](#), blir det i det samme regnearket regnet ut det nye masseforholdet og matriksvolumet tilpasset de nye verdiene for fritt vann i betongen og partikkeldensiteten til biokullet. Alle betongene ble proporsjonert med et masseforhold tilsvarende 0,35, men grunnet styrkeresultatene og hvor bløt betongene var ble det antatt at dette masseforholdet er for lavt i forhold til det virkelige masseforholdet. I regnearkene ble det funnet at det gjennomsnittlige masseforholdet for vangebetongene var 0,41, mens masseforholdet til senterbetongen var 0,44, noe som antas å være mye mer sannsynlig

enn 0,35. Det estimerte masseforholdet i regnearket viser at masseforholdet til senterbetongen er høyere enn masseforholdet til vangebetongene, noe som virker sannsynlig siden vangebetongene har fått høyere trykkfasthet enn senterbetongen.

Det proporsjonerte matriksvolumet for vangebetongene var gjennomsnittlig  $344 \text{ L/m}^3$ , mens det proporsjonerte matriksvolumet for senterbetongen var  $354 \text{ L/m}^3$ . Dette antas å være for lavt grunnet oppførselen til betongen i fersk tilstand. Det estimerte gjennomsnittlige matriksvolumet til vangebetongene er  $420 \text{ L/m}^3$  og  $457 \text{ L/m}^3$  for senterbetongen, noe som antas å være sannsynlig. Dette er når det er antatt at 75 % av biokullet er knust til finstoff. Nedmalingsgraden vil påvirke matriksvolumet.

## 13.2 Anbefaling til oppsett av betongresepter

Når en betongresept som inneholder biokull skal settes opp vil det være fornuftig å anta at biokullet har en vannabsorpsjonsverdi mellom 145 og 150 % dersom det benyttes tørt biokull fra Oplandske bioenergi. Angående partikkeldensiteten til biokullet kan det antas at den er innenfor et intervall mellom 350 og  $400 \text{ kg/m}^3$ .

For å sikre at betongen har god støpelighet bør den proporsjoneres med rundt  $140 \text{ L/m}^3$  fritt vann, med masseforholdet mellom 0,40 og 0,45. Mengden fritt vann og masseforholdet må varieres med tanke på hvor bløt man ønsker at betongen skal være i fersk tilstand og hvor høy trykkfasthet man ønsker å oppnå i herdet tilstand. Det er mulig å produsere SKB med kun  $140 \text{ L/m}^3$  fordi biokullet ikke gjør matriksfasen like viskøs som andre fillere gjør. For normalbetong er det nødvendig med mellom  $160$  og  $190 \text{ L/m}^3$  fritt vann for å produsere SKB. Det er dermed mulig å få en tilstrekkelig mengde matriks som flyter godt med kun  $140 \text{ L/m}^3$  fritt vann, dersom det benyttes biokull som filler. Med tanke på matriksvolumet bør det ligge mellom  $420$  og  $457 \text{ L/m}^3$  for å reproducere betongene som er blandet i forbindelse med denne rapporten, gitt at 75 % av biokullet inngår i matriksfasen. Dersom mer eller mindre av biokullet er knust ned til finstoff vil dette påvirke matriksvolumet. En betong som er proporsjonert med  $140 \text{ L/m}^3$  fritt vann, masseforhold tilsvarende 0,44 og matriksvolum lik  $457 \text{ L/m}^3$ , med 75 % nedknust biokull, vil tilsvare senterbetongen i veggelementet dersom det tilsettes 90 kg biokull per kubikk.

Dersom man skal blande betong med biokull på blandeverk er det ikke realistisk å skulle benytte blandeprosedyren benyttet i forbindelse med denne rapporten. Dette er fordi det tar svært lang tid å blande betongen på denne måten og egenskapene til betongen blir vanskelig å predikere uten full kontroll på nedknusingen, og dermed siktekurven, til biokullet. Biokullet bør derfor være nedknust før blandingen startes, og tilsettes direkte i blandemaskinen via en silo på lik linje som sement og annet tilsetningsstoff.

I reseptene produsert i forbindelse med denne rapporten antas det i siktekurven til biokullet at det finnes fraksjoner opp mot 16 mm, og det antas at bare 40 % av biokullet er mindre enn 0,125 mm. Biokullet er proporsjonert som en del av tilslaget og vil dermed redusere mengden pukk og sand i betongen. I antagelsen om at matriksvolumet bør ligge mellom  $420$  og  $457 \text{ L/m}^3$  er det antatt at 75 % av biokullet er nedknust til fraksjoner mindre enn 0,125 mm. Dersom biokullet pulveriseres, og en større andel er mindre enn 0,125 mm, må matriksvolumet justeres deretter.

Reseptene i denne rapporten inneholder mindre sand og pukk enn vanlige betonger grunnet siktekurven til biokullet som ligger i regnearket "Proporsjonering-Skanska.xlsm" gjør at biokullet erstatter noe av sanden og pukken.

For å undersøke hvor mye biokullet erstatter av mengden sand og pukk i forhold til en vanlig betong er det tatt utgangspunkt i en referansebetong, uten biokull, hvor sand/pukk-fordelingen er 60/40. Denne referansebetongen inneholder 1104 kg/m<sup>3</sup> sand og 740 kg/m<sup>3</sup> pukk. Mengden sand og pukk i reseptene med biokull er målt opp mot dette. Det viser seg at mengden sand er redusert med 9 til 24 % i forhold til referansebetongen, mens mengden pukk er redusert med 15 til 36 %. En reduksjon på 9 % sand og 15 % pukk gjelder for betongene med minst biokull, altså 41 kg per kubikk. Den prosentvise reduksjonen viser at økende mengde tilsatt biokull erstatter en økende mengde sand og pukk. Dermed gjelder reduksjonen på 24 % for sand i forhold til referansebetongen og 36 % for pukk for betongene med 90 kg biokull per kubikk.

For betongene med biokull er bindemiddelfasen nokså lik en normalbetong og mesteparten av biokullet erstatter mengden sand og pukk i betongen. Det ble valgt at biokullet skulle erstatte litt mer pukk i forhold til sand. Dette medfører av sand/pukk-forholdet vil øke noe.

Dersom alt biokullet pulveriseres før tilsetting i betong vil det trolig være mer naturlig å la biokullet erstatte mer sand enn pukk. Dette er fordi biokullet blir tilsatt som finstoff, og enkelte sandtyper inneholder en god del finstoff. Dette ble ikke testet og bør vurderes ut i fra betong til betong med tanke på hva slags tilslag betongen inneholder i utgangspunktet.

Det antas at det vil være mulig å produsere betonger med lavere masseforhold og dermed mindre fritt vann. Dette vil kunne resultere i en sterkere betong, men vil med stor sannsynlighet også bli mye tyngre å jobbe med og oppføre seg mer tykflytende og seigt. Grunnet tidsbegrensing og fokus på å produsere en karbonnøytral vegg, ble det ikke testet i forbindelse med denne rapporten.

Reseptene gitt i Appendiks [A.1](#), [A.2](#) og [A.3](#) er ikke lagt opp med de anbefalte verdiene for masseforhold, matriksvolum og mengde fritt vann grunnet siktekurven til biokullet ikke representerer den virkelige siktekurven til biokullet i betongen. Dermed er masseforholdet og matriksvolumet justert for og tilpasses dette, og representerer ikke de korrekte verdiene for masseforhold og matriksvolum i den ferdige betongen.

## 13.3 Betongen

### 13.3.1 Trykkfasthet

Betongen brukt til produksjon av vengene er basert på resepten V35-63-150-5-aks+Ld. Denne skulle møte kravet om trykkfasthet på minst 10 MPa etter 16 timer i 30 °C, tilsvarende ett døgn i 20 °C i laboratoriet. Resepten ble produsert tre ganger i fullskala, en gang under prøvestøp og en gang til hver vange i de forskjellige veggene. Betongen fra alle tre blandingene oppnådde en høyere trykkfasthet etter 28 døgn enn betongen produsert på laboratoriet. Gjennomsnittlig trykkfasthet av de tre vangebetongene fra

Orkanger er 39,3 MPa, sammenlignet med 33,2 MPa for vangebetongen produsert på laboratoriet. Dette viser at blandedeprosessen, sannsynligvis nedknusingen av biokullet, gir en bedre betong når det gjelder styrkeutvikling. Som figur 7.1.2 viser, er i overkant av 40 % av biokullet knust ned til 0,125 mm eller mindre etter tørrblanding av puk og biokull. Denne andelen er sannsynligvis høyere, og vil være enda høyere etter våtblanding. Biokullet er i tillegg mer nedknust i utgangspunktet, i motsetning til det som benyttes på laboratoriet.

Variasjonen i 28 døgns trykkfasthet for de tre blandingene av vangebetongen er unormalt stor. Vangebetongen fra prøveblanding, Vange-Car63, har en trykkfasthet på 42,6 MPa. For de to betongene brukt i vangene Vange-Op61 og Vange-Op63 er trykkfastheten henholdsvis 40,3 MPa og 35,0 MPa. Det er altså en forskjell på 7,6 MPa for førstproduserte og sistproduserte vangebetong. Dette tyder på at det er problemer med segregering av partiklene i terningene brukt til trykktesting. En av terningene er tydelig separert, vist i bilde 13.3.1. Trolig inneholder de ulike terningene ulike mengder biokull. For mye biokull vil gjøre terningene svakere og lettere. Segregeringen kan komme av den grove behandlingen terningene får under utstøpning, hvor de fylles og pakkes raskt og effektivt. Det er uansett vanskelig å generalisere flere kubikkmeter betong basert på et utvalg av to terninger. Det var ingen tegn til segregering for betongen etter inspeksjoner av kjerneboringer fra et av veggelementene gjort i ettertid. Det antas dermed at betongene i utgangspunktet ikke har problemer med segregering når de benyttes til å støpe ut veggelementer, men i den harde behandlingen av de relative små terningene kan segregering skape en utfordring. Det er også mulig at uttaket av betongen brukt til støping av terningene ikke er like representativ som resten av betongen. Betongen til terningene lå bakerst i betongbilen og hadde muligens ikke blandet seg like godt med resten. Det er verdt å merke seg at på laboratoriet er det ingen tilfeller hvor terningene har vist tegn til segregering.



**Bilde 13.3.1:** Snitt av en terning støpt under fullskalaproduksjon. Betongen har helt tydelig separert seg i denne terningen. Her har de største fraksjonene sunket til bunnen av terningen, mens finere fraksjoner og biokullet har lagt seg oppå. Denne terningen er fra Senter-Op90-nr.1.



For betongen brukt til senterbetong, basert på S35-78-150-5 fra laboratorieforsøkene, er trykkfastheten betydelig bedre i fullskala. En tilsvarende resept, Senter-Car78, ble kun brukt til prøveblanding hvor den etter 28 døgn hadde en trykkfasthet på 34,2 MPa. Dette er en økning på 8,5 MPa fra tilsvarende resept produsert på laboratoriet. Grunnet blant annet gode egenskaper i fersk tilstand, ble biokullinnholdet økt til 90 kg per kubikk. Dermed ble reseptene Senter-Op90-nr.1 og Senter-Op90-nr.2 produsert med en 28 døgns trykkfasthet på henholdsvis 23,2 MPa og 21,8 MPa, godt over minimumskravet om en 28 døgns trykkfasthet på 10 MPa.

Betongen med 78 kg biokull fikk en 28 døgns trykkfasthet på 34,2 MPa, dette kan være et resultat av segregering av partiklene i terningene. Dette er omtrent fastheten for betong produsert på laboratoriet med 60 kg biokull per kubikk, altså 18 kg mindre. Det er mer trolig at trykkresultatene fra laboratoriet er nærmere sannheten. Blandingene på laboratoriet er mye mindre og produsert under mer kontrollerte forhold enn blandingene fra fullskala. Det er i tillegg en mer representativ mengde i forhold til total mengde. Det kan også tenkes at betongen som helles ut av betongbilen til støp av terninger har dratt med seg rester av biokull fra påfylling av trommelen i første del av blandeprosessen.

Gjennomsnittlig trykkfasthet etter 28 døgn for betongen brukt i vangene tilsvarer en sterk B25 med styrkekrav 35,0 MPa, eller rett i underkant av en B30 hvor kravet er 42,0 MPa. For senterbetongen er ikke trykkfastheten like viktig, men den tilfredsstillende kravet på 17,0 MPa til en B10.

## 13.4 Prøveblanding på betongbil

Prøveblandingen på betongbil ble gjort på grunn av usikkerheten knyttet til overførbarheten fra laboratoriet til fullskala produksjon. Spesielt oppknusingen av biokullet, som ble observert under blanding på laboratoriet, var en stor usikkerhet. På grunn av antagelsen om at biokullet absorberer mer vann når det er oppknust vil en forskjell i oppknusingen utgjøre en forskjell i absorbert vann. Dermed vil økt oppknusing gjøre at biokullet absorberer for mye vann i forhold til det som er proporsjonert i resepten, mens mindre oppknusing gjør at biokullet absorberer for lite vann. Økt oppknusing er mer gunstig, da det vil påvirke trykkfastheten i positiv retning med mer absorbert vann. For å oppnå lignende oppknusing som på laboratoriet ble biokullet blandet i 10 minutter sammen med pukfraksjonene 8/16 mm og 16/22 mm, noe som viste seg å gi enda bedre resultater enn forventet. Når betongen ble testet etter blanding ble det ikke observert noen store biter med biokull, som kan tyde på at de ble tilnærmet helt oppknust under blandingen. Da betongen ble testet i laboratoriet ble det observert mye biokull i betongen rett etter blanding. Det tyder på at biokullet er mer oppknust etter blandeprosedyren i forbindelse med prøveblandingen, sammenlignet med blandeprosedyren på laboratoriet.

Tilslaget i prøveblandingen var mer kantete enn det som ble brukt på laboratoriet og bidro sannsynligvis til en effektiv oppknusing. I tillegg virket biokullet, som ble brukt til prøveblanding, sprøere enn det på laboratorie. Ved sammenligning på laboratoriet er det enklere å knuse biokullet fra prøveblandingen.

Vangebetongen under prøveblandingen var basert på V35-63-150-5-aks+Ld, uten akselerator fordi Betong Øst ikke hadde samme type som ble brukt på laboratoriet. Det ble

uansett antatt at betongen hadde tilstrekkelig trykkfasthet etter 16 timer uten aksele-  
rator. Grunnet feil i absorpsjonsverdi på sanden ble det brukt 15 liter for mye vann per  
kubikk sammenlignet med resepten. Følgelig ble betongen veldig bløt, men den hadde  
god støpelighet uten tegn til separasjon. Etter 1 døgn hadde betongen trykkfasthet på  
9,6 MPa. Dette er så vidt under kravet om 10 MPa etter 1 døgn, men det ble antatt at  
betongen ville oppnå kravet uten det overflødige vannet. På grunn av at betongen ble så  
bløt ble det observert at noen av de største pukkfraksjonene sank mot bunnen. Det ble  
antatt at denne betongen vil ha god nok trykkfasthet og støpelighet til å fungere som  
vangebetong i et veggelement.

Prøveblanding av senterbetongen, basert på S35-78-150-5-Ld, gikk etter planen og den  
hadde god støpelighet uten tegn til separasjon. Det var heller ingen tegn til biter med  
biokull i denne blandingen. Det er derfor tydelig at blandeprosessen med usiktet bio-  
kull, inkludert tørrblanding med pukk og biokull under prøveblanding, resulterte i mer  
nedknust biokull etter blanding sammenlignet med prosedyren brukt på laboratoriet. I  
motsetning til hva som ble observert på laboratoriet, kan denne betongen tilsettes mer  
biokull og SP uten nærliggende fare for separasjon. Den første blandingen av senterbe-  
tongen tilfredsstilte ikke kravene til en SKB.

I begge prøveblandingene ble det målt et lavere luftinnhold enn i de tilsvarende blandin-  
gene fra laboratoriet. For vangebetongen sank luftinnholdet fra 3,2 til 1,2 %, mens for  
senterbetongen sank luftinnholdet fra 4,4 til 2,4 %. Det er en nedgang på 2 % for begge  
betongene. En forklaring kan være at biokullet bidrar mindre til luft i betongen når det  
er oppknust på grunn av redusert porøsitet.

## 13.5 Prøvestøp

### 13.5.1 Støp av første vangebetong

Den første vangen ble støpt med resept Vange-Op61. Denne resepten skulle i utgang-  
punktet inneholde 63 kg biokull per kubikk. Det måtte gjøres endringer i resepten like  
før blanding som medførte at mengden biokull ble redusert til 61 kg per kubikk. Dette  
ble ikke oppdaget før etter støp og kunne dermed ikke korrigeres.

Det ble her benyttet en annen type biokull enn under prøveblanding, laget av Oplandske  
Bioenergi. Under fylling av betongbilen oppsto det en sky av støv rundt bilen, noe som  
betyr at dette biokullet var betydelig tørrere enn det som er brukt tidligere. Dette ble  
senere bekreftet gjennom testing av fuktinnholdet, se delkapittel [7.1.2. Fuktinnhold i  
biokull](#).

Dette skapte en usikkerhet rundt nødvendig absorpsjonsverdi til biokullet i resepten.  
Det er tenkelig at det ekstra tørre biokullet også knuses mer under blanding. En eller  
begge av disse effektene vil uansett bidra til økt vannbehov. De første uttakene fra  
betongbilen viste at betongen var dårlig blandet og ekstremt tyktflytende, se bilde [13.5.1](#).  
Det var nødvendig å kompensere for det økte vannbehovet gjennom manuell tilsetning  
av SP og vann direkte i betongbilen. Vanntilsetningen tilsvarte en økning fra 150 til  
180 % proporsjonert vannabsorpsjon for biokullet. Grunnet tilpasningene vil det være

litt usikkerhet knyttet til den faktiske resepten som ble benyttet til støp. På grunn av den manuelle tilsetningen ble betongen blandet mye lengre enn planlagt. Denne ekstra blandetiden kan gjøre at biokullet absorberer mer vann, og motvirker til en viss grad det ekstra vannet som blir tilsatt. Betongen la seg fint i formen etter vibrering, uten tegn til separasjon.



**Bilde 13.5.1:** Blandingen etter første uttak av første vangebetong. Bildet viser for lite tilsatt fukt og for dårlig blandet betong.

### **13.5.2 Støp av andre vangebetong**

Den andre vangen ble støpt med resept Vange-Op63. Basert på resultatene fra støp av første vangebetong, ble vannabsorpsjonen til biokullet økt fra 150 til 180 %. Det ble i tillegg tilsatt 1 kg ekstra SP per kubikk.

For å unngå samme feilkilder som ved første støp, ble all SP tilsatt umiddelbart og tromlingen satt på høyere hastighet for bedre blanding. Sammenlignet med støp av første vangebetong ble det denne gangen oppnådd en betydelig bløtere betong med bedre støpelighet. Under testing av slump ble det liggende igjen en liten opphøyning på midten, se bilde 13.5.2. Dette kan være et tegn på at betongen har begynt å separere seg. En opphøyning etter slumpetest ble også observert på laboratoriet for resept S35-88-150-5, uten at det skapte problemer for hverken støpeligheten eller senere tester.



**Bilde 13.5.2:** Slumptest av betongen brukt til støp av andre vange, Vange-Op63. Betongen har en opphøyning på midten, men flyter ellers godt.

Det var ingen problemer med støping av vangene. Betongen hadde heller ikke samme behovet for vibrering, sammenlignet med støp av første vangebetong.

### 13.5.3 Støp av senterbetong

Senterbetongene ble produsert med reseptene Senter-Op90-nr.1 og Senter-Op90-nr.2. Disse reseptene er identiske og inneholdt 90 kg biokull per kubikk, mest biokull av alle tidligere produserte resepter. Antagelsen om ekstra tørt biokull med nødvendig vannabsorpsjon på 180 % ble også benyttet for disse betongene. Blandeprosedyren fra støp av vangebetongene ble benyttet, men på en betongbil med pumpe og mindre volum i mikseren. I motsetning til blandingene utført på laboratoriet med mye biokull, ble disse betongene observert som homogene og stabile med god støpelighet. Fra kjerneboringene av Senter-Op90-nr.2 observeres senterbetongen som litt separert på grunn av høy pukandel i prøvestykkene fra nedre del av veggen, uten at dette vil ha innvirkning på funksjonaliteten til veggen.

Betongene kan kategoriseres som SKB uten behov for vibrering under utstøping av elementene. De var både pumpbare og flyter godt på plass i formen også rundt utsparingene. Som tidligere observert for betong med mye biokull, mistet betongen støpeligheten gradvis etter endt blanding. Dette er trolig grunnet forsinket vannabsorpsjon i biokullet. Det ble derfor tilsatt 0,5 kg SP per kubikk underveis i støpingen for Senter-Op90-nr.1. Betongen responderte godt på tilsetning av SP, uten tegn til separasjon slik den ofte har gjort på laboratoriet når den har blitt tilsatt økende mengder SP.

Basert på oppførselen under testing og støping er det sannsynlig at betongen til bruk i senter kunne inneholdt mer enn 90 kg biokull per kubikk. Under blanding på laboratoriet har betongen nådd en smertegrense med mye biokull. Det er åpenbart at blandeprosessen benyttet til fullskala er gunstigere enn den på laboratoriet. Tilslaget brukt i fullskala inneholder mer filler enn det brukt på laboratoriet, noe som bidrar til økt stabilitet. Biokullet virker ikke å ha en stabiliserende effekt til tross for at det er en filler etter

nedknusing. Normalt vil seige og viskøse betonger være ensbetydende med økt stabilitet. I noen tilfeller for betongen med biokull har ikke økt viskositet medført økt stabilitet. For disse betongene har det blitt observert at biokullet går mot overflaten, mens pukken synker til tross for viskøse blandinger.

#### 13.5.4 Pumpbarhet for senterbetongen

Betongen blandes i betongbil og pumpes inn i senter av veggelementene; dette krever at betongen er pumpbar, se delkapittel 3.3.2. [Pumping av betong](#). Grunnet at betong med biokull blir seig og viskøs, kunne det være en utfordring å oppnå god pumpbarhet. Når vannet i betongen presses fremover kan friksjonen øke og føre til at det dannes en plugg. Pumpetrykket kan i tillegg presse vann inn i biokullet og dermed redusere støpeligheten. Dette vannet kan etter pumping danne vannlommer i betongen, som eventuelt vil medføre en reduksjon i trykkfastheten.

Fra fullskala blanding var det ingen antydninger til at betongene blandet i betongbil ville ha problemer under pumping. Senterbetongen kunne pumpes uten problemer. Felles for alle blandningene gjort på betongbil er at de har vist seg å være mer stabile enn tilsvarende resepter blandet på laboratoriet. Dette kommer sannsynligvis av det ekstra nedknuste biokullet i forbindelse med blandeprosessen i fullskala, i tillegg til en høyere mengde filler i tilslaget. Det er mulig at nedknust biokull holder bedre på vannet enn større partikler og dermed reduserer risikoen for utpressing av vann under pumping. Finere partikler er dessuten gunstig for pumping av betong.



**Bilde 13.5.3:** Pumping av senterbetongen inn mellom vangene. Foto: Ketil Jacobsen og Snøhetta.



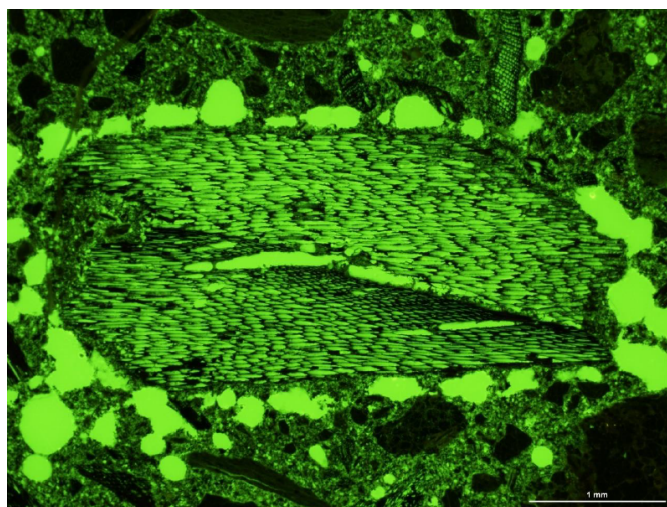
## 14 Tynnslipanalyse utført av SINTEF

SINTEF har gjennomført en analyse av én utboret betongkjerne fra det 250 mm tykke skallvegelementet produsert i fullskala hos Betong Øst og Con-Form. Analysen innebærer visuell undersøkelse av borkjernen og mikroanalyse av fluorescensimpregnerte, polerte tynnslip i polarisasjonsmikroskop påmontert UV-filtre. Den fullstendige rapporten fra analysen er vedlagt i Appendiks J.

Betongkjernen er av kvalitet Senter-Op90-nr.2. Resultater fra testing av denne betongen finnes i delkapittel [12.2.4. Senterbetong - Senter-Op90-nr.2.](#)

Det ble ikke observert riss eller andre skader i betongen under visuell inspeksjon. Videre analyser viste at sementpastaen er svært homogen, uten endring i porøsitet i kontaktsonen mellom grove partikler av naturlig opprinnelse og sementpastaen. Dette er vanligvis svakhetssoner for normalbetong. Mikroriss ble i tillegg praktisk talt ikke observert. Fraværet av mikroriss skyldes vannabsorpsjonen i biokullet som har bidratt til sementhydratasjon. For normalbetong vil autogent svinn medføre mikroriss. Autogent svinn oppstår når vannet forbrukes i sementhydratasjon som følge av kapillærkrefter i vannmenisker som trekker partiklene sammen. For betong med biokull er fuktigheten så høy at det fungerer som en tilførsel av vann under sementhydratasjon.

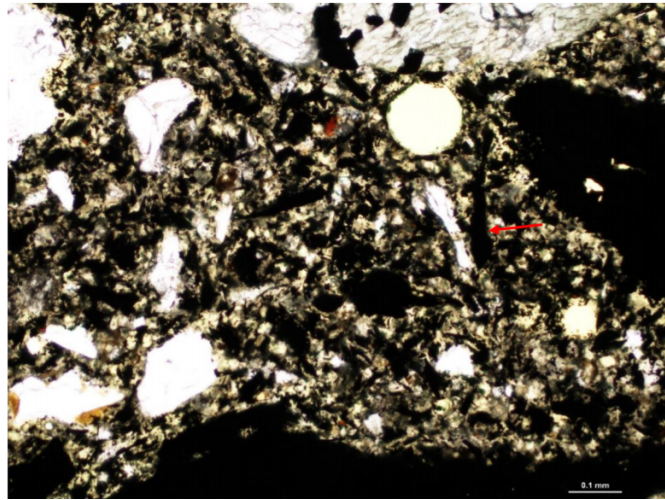
Det ble observert biokullpartikler i både grove og fine fraksjoner. Rundt de grove biokullpartiklene var det en anrikning av luftblærer, som vist i bilde [14.0.1](#). Dette skyldes at senterbetongen ble pumpet inn i veggelementet. De store biokullpartiklene har en porøsitet som ikke kan bli vannmettet i betongen. Under pumping presses vann inn i de åpne porene. Når trykket går av vil vannet og luft forsvinne ut av partiklene, og det oppstår dermed porer rundt. Samme anrikning av luftpartikler kan også finnes etter pumping av lettbetong.



**Bilde 14.0.1:** Bildet viser luftblærer i lys grønn rundt en biokullpartikkel midt i bildet.

Resultatene fra analysen viser at biokullet fordeler seg jevnt i sementpastaen, som vist i bilde 14.0.2, og sørger for en homogen og tett betong uten mikroriss.

Anrikning av luftblærer rundt store biokullpartikler etter pumping vil fungere som svakhetssoner for betongen. Et lite antall store svakhetssoner vil være mer ugunstig enn mange små. Derfor vil det være gunstig å benytte seg av finere fraksjoner av biokull. Dette vil si at bruk av nedmalt biokull er fordelaktig for betongen. Ved bruk av nedmalt biokull unngår man svakhetssoner rundt biokullpartiklene og hindrer samtidig mikroriss. Dette vil sannsynligvis også være gunstig for betongens fasthetsutvikling og endelig trykkfasthet.



**Bilde 14.0.2:** Bildet viser mange jevnt fordelte biokullpartikler i finfraksjonen som er godt integrert i sementpastaen (rød pil).



# KARBONFANGST OG LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

## 15 Karbonfangst og Life Cycle Assessment (LCA)

Life Cycle Assessment (LCA) brukes for å vurdere miljøavtrykket til et produkt. For å enklere kunne vurdere miljøavtrykket blir de forskjellige stegene i livssyklusen til produktet delt opp i moduler. Modul A1-A3 beskriver produksjonsstegene, modul A4-A5 beskriver konstruksjonsstegene, modul B1-B7 beskriver bruksstegene, modul C1-C4 beskriver avfallssyklusen og sluttstegene, mens modul D beskriver eventuelle fordeler og ulemper ved bruk av produktet etter livssyklusen. Når produktet kommer til modul D vil det gå ut av sin egen avfallssyklus [31].

Modul D er designet for å inkludere fordeler og ulemper ved bruk av sekundære materialer. Ved å bruke sekundære materialene unngår man å bruke råmaterialer, som kan føre til en fordel for miljøavtrykket til det deklarererte materialet. For et betongprodukt vil de fleste scenariorer etter avfallssyklusen føre til at produktet går inn i modul D. Det eneste scenariet der betongen ikke går ut av avfallssyklusen er hvis den blir deponert til en fylling. De andre scenarioene er ombruk av betongelementer i andre konstruksjoner, bruk av betongrester i for eksempel landfyllinger, nedknusing av betongen og bruk i for eksempel veikonstruksjoner som pukk eller som tilslag i betong [5].

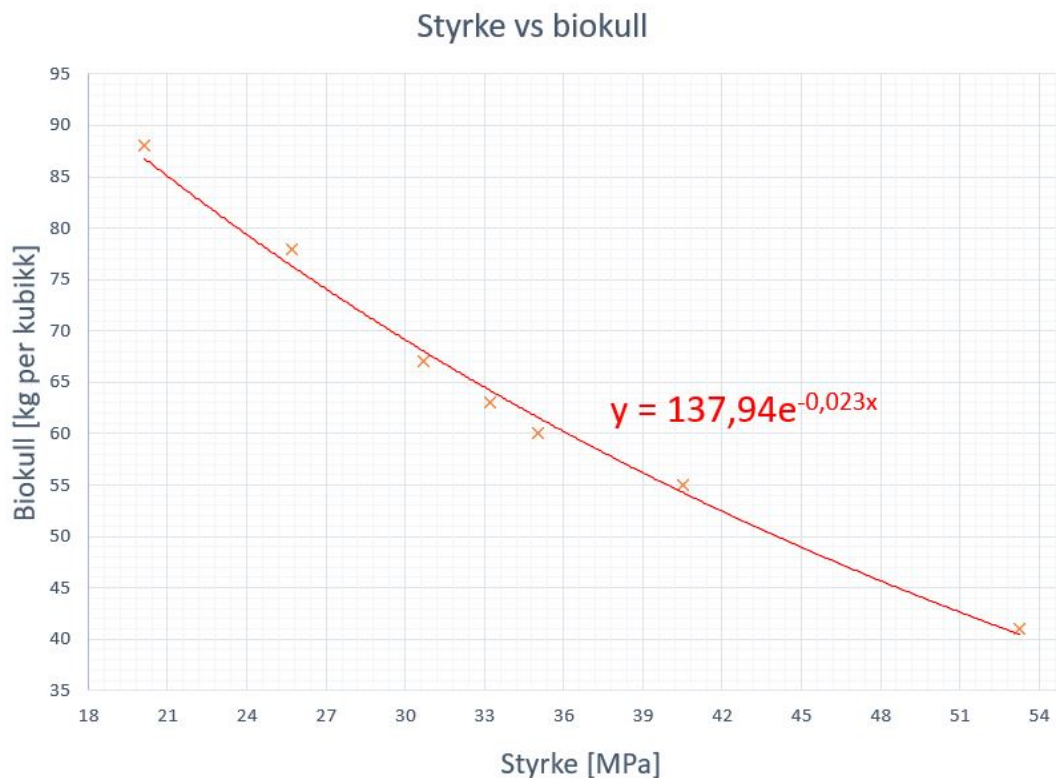
Biogent karbon er karbon som er bundet til en biomasse, men slippes ut igjen så fort den biomassen råtner eller brenner opp. Biogent karbon er dermed en del av karbonsyklusen, som vil si at utslipp av det ikke har en innvirkning på CO<sub>2</sub> nivået i atmosfæren [30]. Når det gjelder midlertidig lagring av karbon, eller permanent lagring av biogent karbon, skal ikke den effekten dette har på utslipp av CO<sub>2</sub> telles med i GWP (Global warming potential). Dette fører til at effekten lagringen av karbon har på miljøavtrykket til produkter ikke kan tas med i en LCA analyse til produktet [31]. Hvis biogent karbon tas med i en LCA analyse i starten av livssyklusen til et produkt som -1 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kg CO<sub>2</sub>, må det tas ut som +1 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kg CO<sub>2</sub> etter endt livssyklus [31]. Her vil opptaket og utslippet av karbon utjevne hverandre, slik at det ikke har noen innvirkning på det totale miljøavtrykket til produktet. Utslippet av biogent karbon er ikke tidsavhengig.

Når biokull lagres i betong vil karbonet det inneholder også bli lagret. Dette hindrer karbonet i å reagere med oksygen i luften og danne CO<sub>2</sub>. Etter som behandlingen av betongen etter endt levetid ikke vil føre til utslipp av karbon fra biokullet, vil karbonet kunne lagres i flere hundre år. Selv om karbonet til slutt slippes ut, og per definisjon vil

være biogent karbon, vil det være lagret så lenge at det blir tatt ut av karbonkretsløpet. Dette vil i praksis redusere CO<sub>2</sub>-utslippet i atmosfæren. Denne fordelingen kan derimot ikke brukes i en fullstendig LCA analyse av betong med biokull. Grunnen til det er at de nåværende reglene for LCA ikke tar hensyn til biogent karbon som lagres så lenge som karbonet i biokull har mulighet til. For å ta med fordelingen av lagret biokull i betong i en LCA analyse må reglene for LCA endres.

## 15.1 Lavkarbonbetong med biokull

For å kunne sammenligne avtrykket til betongene med biokull produsert på laboratoriet med andre lavkarbonalternativer, er 28 døgns trykkfastheten plottet opp mot mengde biokull i figur 15.1.1. Funksjonen  $y = 137,94e^{-0,023x}$  er tilpasset punktene i intervallet ved bruk av Excel. Ved å sette inn ønsket verdi for 28 døgns trykkfasthet i funksjonen, får man et estimat for maksimal mengde biokull i kg per kubikk som kan tilsettes. Alle betongene er proporsjonert med samme masseforhold,  $m=0,35$ , men vil i praksis ha et ulikt effektivt masseforhold på grunn av usikkerheten i bestemmelsen av vannabsorpsjonsverdien.



**Figur 15.1.1:** Grafisk fremstilling av styrken til betong på x-aksen, produsert med ulike mengder biokull på y-aksen. Funksjonen er tilpasset kryssene i plottet. Kryssene representerer 28 døgns trykkfasthet for de ulike mengdene biokull.

Ved å sette inn ønsket verdi for trykkfasthet og multiplisere funksjonen fra figur 15.1.1 med 3,45 [kg] får man total mengde lagret CO<sub>2</sub> i betongen per kubikk. Verdien 3,45 representerer hvor mange kg CO<sub>2</sub> hvert kg biokull kan binde, regnet ut i delkapittel 3.1.3. [Karbonregnskapet](#). Deretter kan avtrykket til betongen, uttrykt med mengde sement,

beregnes ved bruk av ligning (3.3). Ved å sette inn en mengde sement, tilpasset de ulike styrkeklassene fra tabell 15.1, får man det totale avtrykket til betongen per kubikk med ligning (15.1).

**Tabell 15.1:** Beregnet mengde sement per kubikk betong for de ulike fasthetsklassene brukt til sammenligning av klimagassutslipp for Lavkarbonbetong og betong med biokull.

Fasthetsklasse	Sement [kg/m <sup>3</sup> ]
B25	305,5
B30	326,6
B35	365,3
B45	413,6
B55	434,7

$$[\text{kg CO}_2\text{-ekv. per m}^3] = 137,94e^{-0,023x} \cdot 3,45 - \frac{X [\text{kg sement per m}^3 \text{ betong}] \cdot 0,585}{0,90} \quad (15.1)$$

Dette kan sammenlignes med tradisjonell lavkarbonbetong i henhold til delkapittel 3.1.2. **Lavkarbonbetong**. En sammenligning er gitt i tabell 15.2.

**Tabell 15.2:** Lavkarbonbetongklasser med grenseverdier for klimagassutslipp i henhold til publikasjon nr 37 [11], sammenlignet med et estimat for klimagassutslippet til betong med biokull produsert på laboratoriet. **I denne tabellen beskriver negativt fortegn lagring av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.**

Fasthetsklasse og lavkarbonklasse	B25	B30	B35	B45	B55
	Maksimalt tillatt klimagassutslipp [kg CO <sub>2</sub> -ekv. per m <sup>3</sup> betong]				
Bransjereferanse	260	280	330	360	370
Lavkarbon B	210	230	280	290	300
Lavkarbon A	180	200	210	220	230
Lavkarbon Pluss		150	160	170	180
Lavkarbon Ekstrem		110	120	130	140
	Estimert klimagassutslipp [kg CO <sub>2</sub> -ekv. per m <sup>3</sup> betong]				
Betong med biokull	-21	25	79	140	182

Verdiene for klimagassutslippet til betong med biokull er et estimat. Tabellen viser at det kan være mulig å overgå Lavkarbon Ekstrem for styrkeklassene B30 og B35. Det totale avtrykket vil være positivt for B25, som betyr betongen lagrer karbon mer enn den slipper ut. For styrkeklassen B45 er betongen omtrent på grenseverdien til Lavkarbon Ekstrem, mens den tilsvarer omtrent Lavkarbon Pluss for B55.

Funksjonen  $y = 137,94e^{-0,023x}$  er en tilnærming av de plottede verdiene for betong med biokull og masseforhold 0,35 fra laboratorieforsøkene og uttrykker hvor mye biokull,  $y$ ,

som kan tilsettes for en gitt fasthet,  $x$ . Rent grafisk ville et høyere grads polynom passet bedre, men den eksponentielle funksjonen beskriver reduksjonen i styrke med økende mengde biokull på en mer fornuftig måte. Et polynom ville svingt opp og ned i verdi avhengig av ønsket fasthet,  $x$ .

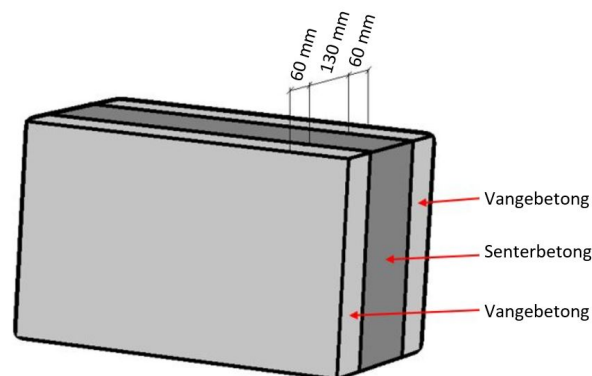
Den jevne fasongen på kurven tyder sterkt på at biokullet dominerer fasthetsresultatet for de fleste betongene, til tross for ulike bindemiddelsammensetninger og ulike effektive masseforhold.

Det er usikkert hvor nøyaktig funksjonen er utenfor styrkeintervallet 20-53 MPa, altså for fasthetsklassene B45, B55 og B65. I sammenligningen av klimaavtrykket til betong med biokull og de ulike lavkarbonklassene i delkapittel 3.1.2. [Lavkarbonbetong](#), har det blitt sett bort fra B65, men antatt at den eksponentielle funksjonen beskriver trenden utenfor det gitte styrkeintervallet for de andre styrkeklassene.

Funksjonen er kun en tilnærming til resultatene fra laboratorieforsøkene, og bør ikke brukes ukritisk opp mot betongene fra fullskala produksjon.

## 15.2 Con-Form skallveggelement

Klimagassavtrykket for de ulike veggdimensjonene produsert i fullskala tar utgangspunkt i skallveggens EPD (Environmental Product Declaration). EPD for skallveggelementet til Con-Form finnes vedlagt i Appendiks B.1. Elementene består av to betongplater armert med nett, sammenbundet med gitterdragere av stål. I rapporten deklarerer 1 m<sup>2</sup> skallvegg med tykkelsen på hver av platene lik 40-60 mm, og total tykkelse fra 180-420 mm. Hvert deklart element har et totalt utslipp på 36,40 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Av dette utgjør betongen omtrent 22,80 kg.



**Figur 15.2.1:** Mulig oppsett for skallveggelement levert av Con-Form.

For betongen i vanege er det viktig at den har nok trykkfasthet til å kunne ta opp de aktuelle lastene veggens utsettes for. For senterbetongen er det derimot ikke nødvendig med like stor trykkfasthet. Dette medfører at senterbetongen kan inneholde mer biokull enn vangebetongen. Med utgangspunkt i delkapittel 3.1.3. [Karbonregnskapet](#) kan karbonavtrykket til hver enkelt resept, i form av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, regnes ut ved hjelp av ligning (3.3). Oversikt over regnskapet for betongen brukt i veggelementet finnes i tabellen under, tabell 15.3. Karbonregnskapet for alle betongene som er produsert er

gitt i Appendiks F.

**Tabell 15.3:** Karbonregnskap for betongene til bruk i Con-Form veggelement. Positivt fortegn betyr at veggelementet lagrer CO<sub>2</sub>.

Resept:	Vange-Op63	Senter-Op90-nr.1/nr.2
Sement [kg/m <sup>3</sup> ]	326,70	300,00
Mengde biokull [kg/m <sup>3</sup> ]	63,10	90,10
CO <sub>2</sub> -ekv. sement [kg/m <sup>3</sup> ]	-191,12	-175,50
CO <sub>2</sub> -ekv. betong [kg/m <sup>3</sup> ]	-212,36	-195,00
CO <sub>2</sub> -ekv. biokull [kg/m <sup>3</sup> ]	+217,70	+310,85
CO <sub>2</sub> -ekv. differanse [kg/m <sup>3</sup> ]	<b>+5,34</b>	<b>+115,85</b>

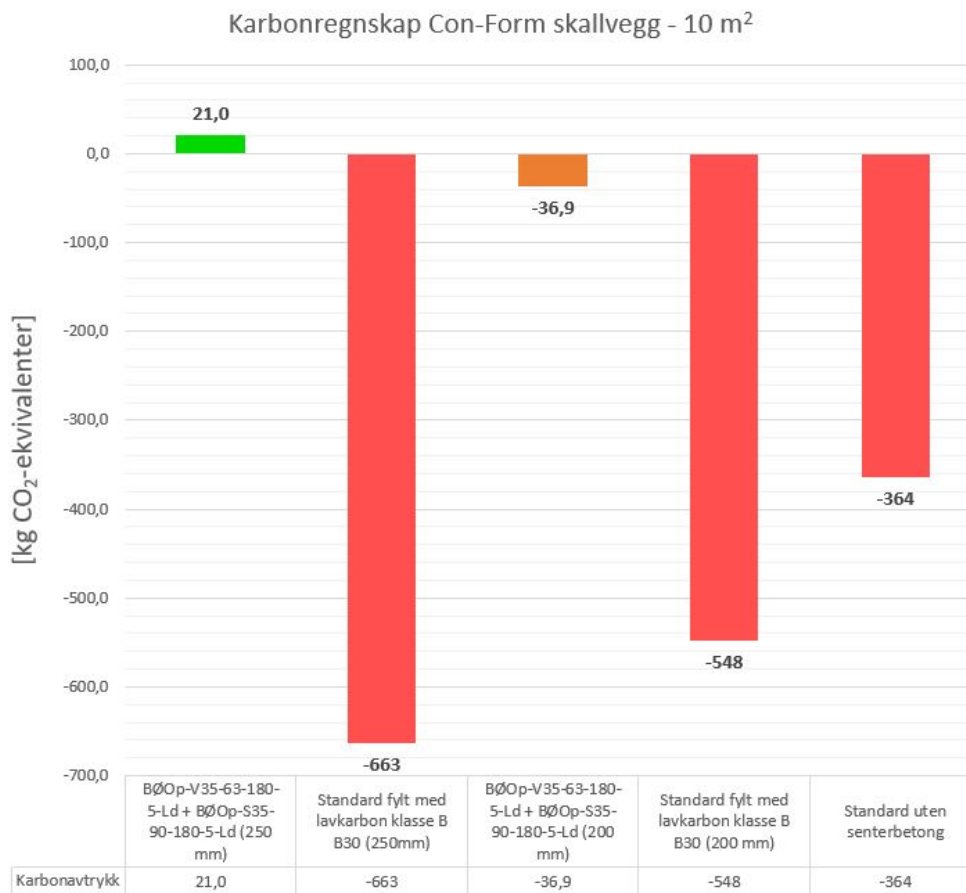
Avtrykket til veggen vil være avhengig av dimensjonene på veggelementet. Til fullskala produksjon ble det produsert fire vegger på 10 m<sup>2</sup> med total tykkelse 200 mm og 250 mm. Veggene hadde vangetykkelser på 60 mm og sentertykkelser på 80 mm og 130 mm. Dette tilsvarer et totalt volum på 0,6 m<sup>3</sup> for hver av vangene og sentervolum på henholdsvis 0,8 m<sup>3</sup> og 1,3 m<sup>3</sup> for de to tykkelsene. For å beregne veggens totale avtrykk multipliseres differansen i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, verdien i siste rad i tabell 15.3, med volumet som skal fylles. Betongen bør nøytralisere sitt eget avtrykk i tillegg den delen av avtrykket i Con-Forms EPD som ikke kommer direkte fra betongen, men fra blant annet armeringen. Det er totalt 13,60 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter som ikke kommer fra betongen i EPD'en. Avtrykket med ulike kombinasjoner av betong og dimensjoner finnes i tabellen under, tabell 15.4.

**Tabell 15.4:** Avtrykket til et veggelement på 10 m<sup>2</sup> med total tykkelse 200 mm og 250 mm. Negativt fortegn betyr at veggelementet bidrar til utslipp av CO<sub>2</sub>. Positivt fortegn betyr at veggelementet lagrer CO<sub>2</sub>.

Kombinasjon:	Vange-Op63 + Senter-Op90-nr.1/nr.2	Std. deklart veggelement + B30 Lavkarbon klasse B
Tykkelse vanger [mm]	60	60
Tykkelse senter [mm]	80	80
Totalt avtrykk [kg CO <sub>2</sub> -ekv.]	<b>-36,92</b>	<b>-548,00</b>
Tykkelse vanger [mm]	60	60
Tykkelse senter [mm]	130	130
Totalt avtrykk [kg CO <sub>2</sub> -ekv.]	<b>+21,01</b>	<b>-663,00</b>

Som tabell 15.4 viser, vil bruk av de produserte betongreseptene med biokull medføre at avtrykket kan nøytraliseres helt for veggene med tykkelse 250 mm. Tabellen viser at veggen vil lagre mer karbon enn det som slippes ut under produksjon. Til sammenligning vil en standard vegg produsert med en tradisjonell B30 lavkarbon B betong medføre et avtrykk på 663 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, hvis det antas at et sentervolum på 0,13 m<sup>3</sup> fylles og betongen er i henhold til tabell 3.1.

Figur 15.2.2 viser en grafisk sammenligning av karbonregnskapet for de aktuelle reseptene.



**Figur 15.2.2:** Sammenligning av karbonavtrykket av alternativene fra fullskala og en standard Con-Form vegg med og uten senterbetong. Y-aksen representerer lagret CO<sub>2</sub>.

### 15.3 Veggelement med biokullstaver

En alternativ måte å lage en karbonnøytral vegg på er å støpe inn biokullstaver. Veggen og oppsettet som er produsert på laboratoriet er vist i bilde 15.3.1. Biokullstavene består hovedsaklig av biokull med et tynt lag sement for å binde biokullet sammen. Proporsjoneringen er beskrevet i kapittel 5.9. [Proporsjonering av biokullstaver](#). Stavene produsert i henhold til blandeskjema nummer to i Appendiks A.4 vil ha et positivt karbonavtrykk på 576 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per m<sup>3</sup> ved bruk av ligning (3.3).





(a) Veggelement med biokullstaver ferdig herdet.



(b) Biokullstavene i formen for utstøping.



(c) Biokullstavene festet med strips til armeringen.



(d) Oppsettet av veggelementet med biokullstaver

**Bilde 15.3.1:** Bilder fra prosessen av å lage et veggelement med biokullstaver.

I denne rapporten ble to biokullstaver med dimensjonene 100x100x600 mm støpt inn i en vegg. Disse har et volum på 0,006 m<sup>3</sup> og dermed et positivt karbonavtrykk på 3,46 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per stav. Biokullstavene ble festet mellom to armeringsnett og støpt inn i en veggforskaling med indre dimensjoner 200x500x700 mm. Tegningene for veggen er skissert og vedlagt i [Appendiks I](#).

Armeringsnettene er 400 mm brede og 600 mm høye med senteravstand 150 mm mellom stengene og nominell stangdiameter på 6 mm. Armeringsstålet er i henhold til Norsk Standard NS 3576-3 og har en egenvekt på 0,222 kg/m ifølge tabell 1 [\[32\]](#). Med tre stenger på 600 mm og fire stenger på 400 mm, veier hvert nett 0,755 kg. Armeringen veier totalt 1,510 kg. I følge EPD for kamstål til bruk i betong vedlagt i [Appendiks B.3](#), deklarerer 1 kg med et avtrykk på 0,403 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter når modul D ikke er inkludert. Dermed vil armeringsnettets stå for et totalt avtrykk på 0,608 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for denne veggen.

Forskalingen ble fylt med en betong av kvalitet V35-63-150-5-aks+Ld som har et positivt avtrykk på 4,80 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kubikk. Betongvolumet i veggen vil være volumet til veggen minus volumet av biokullstavene og armeringsnettets. Armeringsnettets volum er neglisjert i denne beregningen. Det er dermed nødvendig med 0,058 kubikk betong for å fylle veggen. Dette tilsvarer et positivt avtrykk på 0,278 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for betongen i veggen.

Bidragene fra hvert delmateriale er oppsummert i tabellen under, tabell [15.5](#).



**Tabell 15.5:** Oppsummering av delmaterialenes avtrykk og bidrag til veggen støpt på laboratoriet. Positivt fortegn betyr at delmaterialet lagrer CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, mens negativt fortegn betyr at delmaterialet bidrar til utslipp totalt sett.

Delmateriale:	V35-63-150-5-aks+Ld	Biokullstaver	Armeringsnett
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	+4,80 [kg/m <sup>3</sup> ]	+576 [kg/m <sup>3</sup> ]	-0,403 [kg/kg]
Mengde/Volum	0,058 [m <sup>3</sup> ]	0,012 [m <sup>3</sup> ]	1,510 [kg]
Tot. vegg [kg CO <sub>2</sub> -ekv.]	+0,278	+6,912	-0,608

Summen av bidragene fra betongen, armeringsnettet og biokullstavene gir et totalt positivt avtrykk på 6,582 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Til sammenligning ville veggen vært omtrent karbonnøytral med et negativt avtrykk på 0,272 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter uten biokullstavene.

Denne veggen har samme tykkelse som to av veggene produsert i fullskala fra kapittel 15.2. [Con-Form skallveggelement](#). Det er også brukt samme betongresept i veggen med biokullstaver og vangene til veggelementene i fullskala. En sammenligning av avtrykket for de to veggalternativene er vist i tabell 15.6. Avtrykket til veggelementene fra fullskala produksjon finnes i tabell 15.4.

**Tabell 15.6:** Sammenligning av veggelement med biokullstaver og veggelement produsert i fullskala med tykkelse 200 mm. Positivt fortegn betyr at veggen lagrer CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, mens negativt fortegn betyr at veggen bidrar til utslipp totalt sett.

Vegg:	Vegg med biokullstaver	Veggelement fra fullskala (200 mm)
Avtrykk per m <sup>2</sup> [kg/m <sup>2</sup> ]	+18,80	-3,69

Per kvadratmeter er altså avtrykket 22,50 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter mer positivt for veggen med biokullstaver sammenlignet med veggelementene med samme tykkelse fra fullskala produksjon. Karbonlagringen i biokullstavene kan med andre ord bidra til en betydelig karbonfangst.

## 15.4 Dekker

Et annet bruksområde for betong med biokull er plattendekker. Dette er prefabrikkerte dekker som i tillegg får en påstøp på byggeplass. De inneholder både forspent armering og slakkarmering. For betongen med forspent armering er fasthetskravet B35, mens fasthetskravet for betongen med slakkarmering er B30. Et eksempel på plattendekke er gitt i figur 15.4.1.

#### Uten baderomsnedsenk

Betongkvalitet B25 i påstøp, B30 i slakkarmert plattendekke, B35 i forspent plattendekke, t=250 mm

7500	7500	7500	7500	7500
Armering: 526 mm <sup>2</sup> /m	Armering: 452 mm <sup>2</sup> /m	Armering: 452 mm <sup>2</sup> /m	Armering: 526 mm <sup>2</sup> /m	Armering: 526 mm <sup>2</sup> /m
Forspent 7 tråder per 2,4 m Deformasjon 9,0 mm	Armering: 266 mm <sup>2</sup> /m Deformasjon 11 mm	Forspent 7 tråder per 2,4 m Deformasjon 2,0 mm	Armering: 266 mm <sup>2</sup> /m Deformasjon 11 mm	Forspent 7 tråder per 2,4 m Deformasjon 9,0 mm

Betongkvalitet B20 i påstøp, B35 i forspent plattendekke, t=280 mm

7500	7500	7500	7500	7500
Armering: 753 mm <sup>2</sup> /m	Armering: 452 mm <sup>2</sup> /m	Armering: 452 mm <sup>2</sup> /m	Armering: 753 mm <sup>2</sup> /m	Armering: 753 mm <sup>2</sup> /m
Forspent 7 tråder per 2,4 m Deformasjon 9,0 mm	Forspent 7 tråder per 2,4 m Deformasjon -3,0 mm	Forspent 7 tråder per 2,4 m Deformasjon 4,0 mm	Forspent 7 tråder per 2,4 m Deformasjon -3,0 mm	Forspent 7 tråder per 2,4 m Deformasjon 9,0 mm

**Figur 15.4.1:** Eksempel på plattendekke. Her er armeringen og styrkekravene for betongene oppgitt. Høyden for plattendekket er 250 mm eller 280 mm, der elementet er 75 mm tykt og påstøpet enten er 175 mm eller 205 mm tykt.

I følge EPD for slakkarmert plattendekke, vedlagt i Appendiks B.4, har den et utslipp på 29,4 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kvadratmeter. Forspente plattendekker har et utslipp på 38,8 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kvadratmeter i følge EDPen vedlagt i Appendiks B.4. Det er antatt at det er brukt Lavkarbon klasse B betong. Grenseverdier for Lavkarbon klasse B er gitt i tabell 3.1. Utslippene fra betongene trekkes fra utslippene i EPDene for å finne resterende utslipp, som blant annet armeringen står for. Deretter blir den opprinnelige betongen byttet ut med betongene som inneholder biokull. For å finne hvor mye biokull som kan være i en B30 er formelen fra kapittel 15.1. [Lavkarbonbetong med biokull](#) benyttet. Mengden biokull ble funnet til å være 52 kg per kubikk, og vil da gi betong V35-52-150-5-aks+Ld for B30. For B35 kan betong V35-41-150-5-aks+Ld benyttes. I tillegg til å være en B35 må betongen som skal ha forspent armering også oppnå en trykkfasthet på 23 MPa etter 20 timer ved 30 °C. Ved å bruke modenhetsprinsippet fra delkapittel 3.3.4. [Modenhetsprinsippet](#) finner man at V35-41-150-5 oppnår 23 MPa etter 21,5 timer ved 30 °C. Det antas dermed at ved å tilsette luftdemper og akselerator vil betongen oppnå kravet.

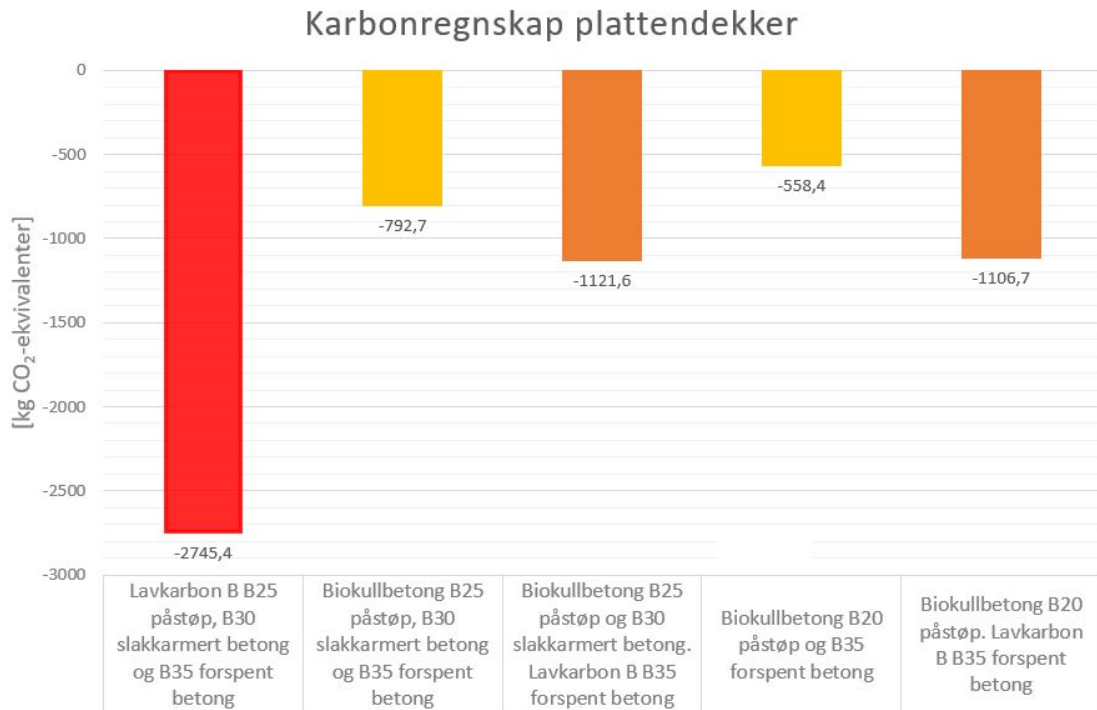
Med biokullbetongen blir utslippene til slakkarmert plattendekke 15,1 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kvadratmeter, mens for forspent plattendekke blir det 24,2 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kvadratmeter. Som påstøp blir det brukt B25 eller B20, som kan byttes ut med henholdsvis V35-63-150-5-aks+Ld og S35-78-150-5-Ld. Påstøpet får armering i overkant, som vist i figur 15.4.1. I følge EPD for kamstål til bruk i betong, vedlagt i Appendiks B.4, deklarerer 1 kg med et avtrykk på 0,418 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter når modul D ikke er inkludert. Armeringsstålet er i henhold til Norsk Standard NS 3576-3. Interpolering mellom verdiene i tabell 1 i NS 3576-3 [32] er brukt for å finne egenvekten til armeringen. Armeringen i påstøpet står dermed for et avtrykk på 54,4 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter for hele plattendekket vist i figur 15.4.1.

For hele plattendekket ved bruk av Lavkarbon B betong er det totale utslippet, inkludert påstøp med B25, 2745,4 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. For det samme plattendekket med biokullbetong vil utslippet være 792,7 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Dermed kan det være mulig å redusere klimagassavtrykket for dette plattendekket med 70 %.

Forskjellen i utslippene fra Lavkarbon B og biokullbetong i plattendekker er oppsummert i figuren under, figur 15.4.2. I denne figuren er det i tillegg tatt med et alternativ der B35 ikke blir byttet ut med biokullbetong, og et annet med fasthetsklasse B20 til overdekning

i stedet for B25. Uansett hvilket alternativ som brukes blir klimagassutslippene redusert med minst 60 %.

For å produsere et klimanøytralt plattendekke må hele dekket være forspent, samt at biokullmengden i påstøpet må økes til 99 kg per kubikk. Med denne mengden biokull vil betongen i påstøpet få en trykkfasthet på 14 MPa, noe som ikke tilfredsstillers en B20.



**Figur 15.4.2:** Sammenligning av karbonavtrykket for bruk av enten Lavkarbon B betong eller biokullbetong i plattendekker. Y-aksen representerer lagret CO<sub>2</sub>.

# KONKLUSJON

## 16 Konklusjon

### 16.1 Laboratoriearbeid

#### 16.1.1 Støpelighet og konsistens

Fersk betong med biokull er en seig og tyktflytende masse, sammenlignet med fersk betong uten biokull. Nedknusingen av biokullet under blanding bidrar til store mengder finstoff med tilhørende vannabsorpsjonsverdier på rundt 150 %. Hensynet til vannabsorpsjonen er avgjørende for å oppnå god støpelighet, men avhenger av fuktinnholdet til biokullet i utgangspunktet. For biokullet brukt på laboratoriet var fuktinnholdet i gjennomsnitt 26,8 %. En kombinasjon av proporsjonert vannabsorpsjon på 150 % og et masseforhold på 0,35 ga stabile betonger med gode egenskaper både for støpelighet og styrkeutvikling. Mengden silika ble samtidig satt opp til 5 % for ytterligere stabilitet, noe som er spesielt viktig når betongen proporsjoneres som SKB. Absorpsjon av vann i biokullet fortsetter gradvis etter endt blanding, som medfører en reduksjon i støpeligheten. Dette kan motvirkes med tilsetning av SP.

#### 16.1.2 Trykkfasthet

Biokull i betong påvirker trykkfastheten negativt når det tas hensyn til vannabsorpsjonen, og dermed unngår en kunstig reduksjon i masseforholdet. Økende mengde biokull medfører en jevn nedgang i trykkfasthet. Luftinnholdet i betong med biokull er jevnt over 2-3 % høyere enn for betong uten biokull, noe som er med på å ytterligere redusere trykkfastheten.

Den dominerende faktoren er likevel betongens masseforhold. Sammenligning av resepter med variasjoner i masseforhold hadde betydelige større styrkeutslag sammenlignet med variasjoner av andre forhold som luft, vannabsorpsjon og mengde biokull.

Graden av nedknusing vil også påvirke trykkfastheten. Tendensen på laboratoriet var at terningene med flere store biter biokull i bruddflaten hadde lavere trykkfasthet sammenlignet med terningene fra samme testpulje.

Reseptene, og styrkeutviklingen, som la grunnlaget for fullskalaforsøkene er angitt i tabellen under, tabell [16.1](#).

**Tabell 16.1:** Trykkfastheten til betongene brukt som utgangspunkt for fullskalaproduksjon.

Betong:	V35-63-150-5-aks+Ld	S35-78-150-5-Ld
1 døgn [MPa]	12,66	-
3 døgn [MPa]	20,42	14,40
7 døgn [MPa]	25,57	17,57
28 døgn [MPa]	33,20	25,69

## 16.2 Fullskalaforsøk

### 16.2.1 Støpelighet og konsistens

Under fullskalaforsøkene var biokullet nedknust i større grad enn på laboratoriet, noe som ga den ferske betongen bedre stabilitet. En proporsjonert vannabsorpsjon på 150 % og et masseforhold på 0,35 ga en stabil betong med god støpelighet under prøveblandingen. Fuktigheten i biokullet brukt til prøveblanding var på 11,0 %. Proporsjonert vannabsorpsjon ble økt til 180 % under utstøp av veggelementene for å kompensere for at fuktigheten i biokullet til bruk i veggelementene var 2,1 %.

For vangebetongen ble det brukt 63 kg biokull per kubikk betong, mens senterbetongen inneholdt 90 kg biokull per kubikk. Senterbetongen hadde egenskapene tilsvarende SKB, men mistet flyt og støpelighet gradvis etter endt blanding. Det var nødvendig å etterfylle SP i senterbetongen for å opprettholde støpeligheten. Senterbetongen var i tillegg pumpbar uten tendenser til separasjon under pumping. Etter flere kjerneboringer av veggen ble det ikke observert separasjon av betongen selv om en av terningene fra fullskalastøp tydelig hadde separert seg.

### 16.2.2 Trykkfasthet

Vangebetongen oppnådde tilstrekkelig trykkfasthet etter 1 døgn i 20 °C til å tilfredsstille ønsket om 10 MPa etter 16 timer ved 30 °C. Trykkresultatene tilsier at betongen er innenfor fasthetsklasse B25, og ikke B30 som ønsket. Senterbetongene tilfredsstiller kravet til fasthetsklasse B10 med god margin. Trykkfasthetene fra fullskalaforsøkene er angitt i tabellene under, tabell 16.2 og 16.3.

Betongene fra fullskalaforsøkene oppnådde høyere trykkfasthet enn betongene basert på samme resepter fra laboratoriet. Nedknusingen av biokullet gjennom blandedprosessen i fullskala har bidratt positivt på styrkeutviklingen til fullskalabetongene.

**Tabell 16.2:** Trykkfastheten til betongene brukt i vangene på veggelementene.

Betong:	Vange-Op61	Vange-Op63
7 døgn [MPa]	28,50	24,10
28 døgn [MPa]	40,30	35,00

**Tabell 16.3:** Trykkfastheten til betongene brukt i senter på veggelementene.

Betong:	Senter-Op90-nr.1	Senter-Op90-nr.2
7 døgn [MPa]	15,90	15,00
28 døgn [MPa]	23,20	21,80

### 16.2.3 Anbefalinger til partikkeldensitet, vannabsorpsjon og oppsett av betongreseptene

En fullstendig diskusjon rundt alle parametrene som nevnes her og mer detaljer er gitt i kapittel 13.2. [Anbefaling til oppsett av betongresepter.](#)

Testing og estimering av biokullets partikkeldensitet tyder på at den ligger mellom 350 og 400 kg/m<sup>3</sup>. Estimering av biokullets vannabsorpsjon, gjennom estimering av mengden fritt vann i betongen, viser at den ligger mellom 145 og 150 %. Dette gjelder for biokullet levert av Oplandske Bioenergi som bare hadde 2 % fuktinnhold i utgangspunkt. Masseforholdet for de produserte betongene er mellom 0,41 og 0,44.

Alle betongene benyttet til å støpe det karbonnøytrale veggelementet er estimert til å inneholde 140 L/m<sup>3</sup> fritt vann. Dette inkluderer senterbetongen med egenskaper tilsvarende SKB. Vanligvis inneholder SKB mellom 160 og 190 L/m<sup>3</sup> fritt vann, i tillegg til en større mengde sement enn det benyttet i senterbetongen i veggelementet. Det vannmettede biokullet har muliggjort å produsere SKB med tilstrekkelig matriksvolum med kun 140 L fritt vann/m<sup>3</sup>.

For å produsere senterbetongen brukt i veggelementet bør resepten legges opp med 140 L/m<sup>3</sup> fritt vann, masseforhold på 0,44 og 90 kg biokull per kubikk.

Vangebetongene bør proporsjoneres med 140 L/m<sup>3</sup> fritt vann, masseforhold på 0,41 og 63 kg biokull per kubikk. I begge tilfeller må matriksvolumet bestemmes når nedmalingsgraden til biokullet er kjent. Vannabsorpsjonsverdien for biokullet bør settes mellom 145 og 150 %, og den totale vannmengden som skal tilsettes må justeres ut fra dette.

Biokullet erstatter mengden sand og pukk tilsvarende en reduksjon på 9 og 24 % for sandmengden, og en reduksjon på 15 og 36 % for pukk for betong med henholdsvis 41 og 90 kg biokull per kubikk. Reduksjon av sand og pukk ligger i de gitte intervallene for betong med biokull mellom 41 og 90 kg per kubikk. Utenfor intervallet bør prosentvis erstatning av sand og pukk tilpasses deretter.

### 16.2.4 Con-Form skallveggelement

Produksjonen av Con-Forms skallveggelementer var gjennomførbar i praksis, både når det gjelder støp av vanger og pumping av betong til senterfylling. Veggelementene med tykkelse på 200 mm har et negativt avtrykk på 36,92 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, mens veggen med tykkelse på 250 mm har et positivt avtrykk på 21,01 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Den tykkeste veggen er dermed verdens første karbonpositive betongvegg.

## 17 Videre arbeid

Denne rapporten viser at det er mulig å lage et klimanøytralt veggelement av betong med biokull. Selv om dette er bevist er det fortsatt en del prøver og vurderinger som bør gjennomføres før veggelementene kan brukes i bygg. Videre testing vil gjøre det lettere å forstå hvordan biokullet oppfører seg i betongen. Det bør undersøkes om biokullet kan påvirke armeringen i form av korrosjon, eller skape dårlig heft mellom armeringen og betongen. Videre bør det undersøkes ytterligere om biokullet reagerer med noen bestanddeler i betongen for å vurdere om herdeprosessen eller det ferdige produktet endres. I tillegg bør det undersøkes videre om tilsetning av biokull fører til mer eller mindre krymping og svinn. For utebruk bør det testes hvordan denne type betong reagerer på frost- og tineprosesser. Med tanke på brannsikkerhet bør det undersøkes om betong som inneholder biokull får andre egenskaper når den utsettes for høy varme i forhold til vanlig betong. Langtidsegenskaper som styrke bør testes, for å undersøke om den mister styrke over tid.

Under fullskalaforsøket ble det observert at senterbetongen kunne inneholde en del mer biokull enn under laboratorieforsøkene. På grunn av tidsbegrensinger ble det ikke testet hvor mye biokull senterbetongen kan inneholde under fullskala produksjon. Dette bør derfor testes ut for å kunne finne ut hvor mye biokull som faktisk er mulig å tilsette for å så lage veggelementer med mer biokull, som dermed blir enda mer klimavennlige. Blandeprosedyren under fullskalaforsøkene er svært tungvin og tidkrevende. Det bør derfor undersøkes om det finnes andre måter å blande betongen på. En metode som bør testes ut er å pulverisere biokullet og lagre det i siloer på betongfabrikken. Dermed kan biokullet blandes direkte inn i blandemaskinen sammen med resten av bestanddelene.

For at betong med biokull skal bli et produkt som kan benyttes på alle byggeplasser, må produksjonen av betong med biokull bli standardisert og etter hvert inkluderes i Norsk Standard. For å standardisere prosessen rundt denne typen betong må reseptene utvikles videre. Det er i denne rapporten gitt anbefalinger til hvordan reseptene bør legges opp. Grunnet tidsbegrensninger er ikke disse anbefalingene blitt testet i praksis. Det bør jobbes systematisk med disse anbefalingene for å undersøke om de gir det ønskede resultatet og for å få en bedre forståelse av hvordan betongen oppfører seg, både i fersk og herdet tilstand, ved å endre på de ulike parametrene. Dette vil kunne gi klarere retningslinjer på hvordan reseptene kan legges inn i de eksisterende reseptsystemene som benyttes på de ulike blandeverkene.

En utfordring som er antatt i forbindelse med denne rapporten er at biokullet endrer densitet når det blir nedknust. Biokullet blir her tilsatt i ulike fraksjoner og det antas at det knuses ned betraktelig etter tilsetning av vann, uten at det er mulig å måle den endelige partikkelfordelingen. Dette antas å være en av grunnene til at estimeringen av biokullets densitet varierer. For å kunne gi klare anbefalinger på oppsett av betongresepter med biokull er det viktig å ha kontroll over densiteten på biokullet. Dersom biokullet pulveriseres før tilsetning i betong vil man unngå disse utfordringene. Ved å støpe terninger og elementer med betong som inneholder pulverisert biokull, og bore ut kjerner



for testing fra elementene, kan man få en bedre oversikt over den faktiske densiteten til biokullet i den tilstanden den er i betongen. Densiteten kan også måles ved bruk av metoder som er utarbeidet for å måle densitet på materialer som er lettere enn vann og pulverisert.

Det ble i forbindelse med denne rapporten tatt relativt få trykktester av betongene som er blandet i fullskala, samt at resultatene var noe varierende. Det viste seg også at betongene som inneholdt like mye biokull varierte i trykkfasthet ut i fra om de var støpt på laboratoriet eller om de var blandet på betongbil. Dette tyder på at det vil være viktig å utføre flere trykktester på betong som inneholder varierende mengde biokull for å få en bedre oversikt over hvilke mengder biokull som resulterer i hvilke styrkeklasser. Det bør støpes både terninger som kan trykktestes, og bores ut kjerner fra elementer til trykktesting grunnet at det har blitt observert separasjon i terningene. Trykktesting av kjerner fra støpte elementer vil gi et bilde på den faktiske trykkfastheten betongen får når den støpes ut på ordinær måte. Ved å ha god kontroll over hvor mye biokull som kan tilsettes for å holde kravene til hver styrkeklasse, blir det lettere å innføre bruk av betong med biokull i ulike konstruksjoner og elementer.

Betongene med biokull inneholder i utgangspunktet en del mer luft enn vanlig betong. Det er vist i denne rapporten at betongene responderer bra på luftdemper, og det kan produseres betonger med normalt luftinnhold. Betonger som skal benyttes steder hvor den kan utsettes for frost har krav om å inneholde mer luft enn normale betonger. Denne luften tilsettes ved bruk av et luftinnførende tilsetningstoff. Dette tilsetningstoffet skaper luftbobler som er knyttet sammen i et nettverk for å redusere kreftene som oppstår inni betongen når vannet fryser, og dermed gjøre betongen frostbestandig. Det er usikkert om luften i betong med biokull vil ha samme effekt. Det bør undersøkes videre ved mikroskopi hvordan strukturen til luftinnholdet i betongen er, og utsette betongprøver for tine- og fryseprosesser for å vurdere om det er mulig å benytte denne typen betong som en frostbestandig betong. En annen usikkerhet med tine- og fryseprosesser for denne betongen er at biokullet inneholder en del vann. Denne vannmengden kan muligens fryse og utvide seg når betongen blir kald. På grunn av den manglende kunnskapen omkring bestandighetsegenskapene for biokullbetongen bør denne type betong bare brukes i konstruksjoner som ikke er eksponert for miljøpåkjenninger.

Biokullstaver har et potensial til å ytterligere redusere klimaavtrykket til betongkonstruksjoner. For å kunne utnytte dette potensialet under fullskala produksjon, må det undersøkes hvordan biokullstavene påvirker betongen. Det må også finnes en bedre måte å feste stavene til armeringen og undersøkes om stavene kan produseres på en mer effektiv og kompakt måte.

Plattendekker er et annet produkt som kan få redusert sitt klimaavtrykk ved å bruke betong med biokull. Her må det gjennomføres fullskalatester for å se om det er mulig å produsere dette. Deformasjonen over tid er noe som bør fokuseres ekstra på ved produksjon av plattendekker med biokull.

Når det gjelder LCA for betongen med biokull er det i videre arbeid viktig å ta et større dypdykk i litteratur, samt samarbeid med eksperter på LCA. Det kan da utføres en hel LCA analyse av et betongprodukt med biokull. Det bør gjøres endringer i standarder for LCA, for å gjøre det mulig å inkludere lagring av biogent karbon.

# Referanser

- [1] SINTEF (2021) *Bakteriebasert betong kan gi stor klimagevinst*  
Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/bakteriebasert-betong-kan-gi-stor-klimagevinst/>  
(Hentet: 11.03.2021).
- [2] Norcem (2016) *Sementproduksjon og CO2*  
Tilgjengelig fra: <https://www.norcem.no/no/sementproduksjon-co2>  
(Hentet: 29.10.2020).
- [3] SINTEF (2020) *Betong er en del av klimaløsningen*  
Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/-betong-er-en-del-av-klimalosningen/>  
(Hentet: 03.06.2021).
- [4] Gupta, S., Kua, H.W. og Low, C.Y. (2017) Use of biochar as carbon sequestering additive in cement mortar, *Cement and Concrete Composites*, 87(March 2018), s. 110 - 129.  
Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946517305887?via%3Dihub>  
(Hentet: 15.09.2020).
- [5] Gjengår, P.W., Nesse, H.F. og Solheim, V.H. (2020) *Prosjektoppgave - Biokull i betong*. Prosjektoppgave. Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet
- [6] Ulbricht, A. (2017) *Biochar sample, Test report to order 11626007* (No. 1020355001). Freiberg: Eurofins
- [7] Bratt, T.S. (2019) *Miljømessige og økonomiske effekter ved reduksjon av restavfall fra byggeplasser i Oslo-området* Masteroppgave. NMBU  
Tilgjengelig fra: [https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2642483/Bratt\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2642483/Bratt_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)  
(Hentet: 15.09.2020).
- [8] DOE/Pacific Northwest National Laboratory, *Charcoal takes some heat off global warming: Biochar can offset 1.8 billion metric tons of carbon emissions annually*. ScienceDaily. ScienceDaily, 12 August 2010.  
Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedaily.com/releases/2010/08/100810122030.htm>  
(Hentet: 24.10.2020).
- [9] International Biochar Initiative (2018) *Biochar Technology*.  
Tilgjengelig fra: <https://biochar-international.org/biochar-technology/>  
(Hentet: 17.09.2020).

- [10] Gupta, S. og Kua, H.W. (2017) Factors Determining the Potential of Biochar As a Carbon Capturing and Sequestering Construction Material: Critical Review, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(9), DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001924
- [11] Norsk betongforening (2020) *Publikasjon nr. 37 - Lavkarbonbetong* utg.: Oslo, Norsk Betongforening.
- [12] Standard Norge (2017) *NS-EN 206:2013+A1+NA Betong: Spesifikasjoner, egenskaper, framstilling og samsvar*.  
Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=913074>  
(Hentet: 10.09.2020).
- [13] Vieira, D.R., Calmon, J.L. og Coelho, F.Z. (2016) Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review, *Construction and Building Materials*, 124(2016), s. 656 - 666.  
Tilgjengelig fra: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816312259?casa\\_token=eGMyJf06zTgAAAAA:jshkgYezbNWP8CnR5SBq1mYjM83m\\_qRlsUXe0weFBBelZ6ev4iv7FzeXBruT1Mck\\_pKtKZMy](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816312259?casa_token=eGMyJf06zTgAAAAA:jshkgYezbNWP8CnR5SBq1mYjM83m_qRlsUXe0weFBBelZ6ev4iv7FzeXBruT1Mck_pKtKZMy).  
(Hentet: 15.09.2020).
- [14] Jacobsen, S., Maage, M., Smeplass, S., Kjellsen K.O., Sellevold, E.J., Lindgård, L., Cepuritis, R., Myrdal, R., Bjøntegaard, Ø., Geiker, M., m.fl. (2016) *Concrete technology*. Trondheim: NTNU
- [15] Con-Form (2017) *Vegg* Tilgjengelig fra: <https://www.con-form.no/vegg/category886.html>  
(Hentet: 11.03.2021)
- [16] Fabeko Norsk Fabrikkbetongforening (2019) *Pumping av betong. Veiledning* Tilgjengelig fra: [https://betongost.no/wp-content/uploads/2019/03/11487\\_Veiledning\\_Pumping-av-betong\\_100415\\_LOWR.pdf](https://betongost.no/wp-content/uploads/2019/03/11487_Veiledning_Pumping-av-betong_100415_LOWR.pdf)  
(Hentet 29.01.2021).
- [17] Fabeko Norsk Fabrikkbetongforening (2019) [Digital figur] Tilgjengelig fra: [https://betongost.no/wp-content/uploads/2019/03/11487\\_Veiledning\\_Pumping-av-betong\\_100415\\_LOWR.pdf](https://betongost.no/wp-content/uploads/2019/03/11487_Veiledning_Pumping-av-betong_100415_LOWR.pdf) s.10  
(Hentet: 29.01.2021).
- [18] Martius-Hammer, T.A. (2015) *Unngå byggskader med god planlegging av støpearbeid* Tilgjengelig fra: <http://www.sintef.no/community/fagblogg/poster/unnga-byggskader-med-god-planlegging-av-stoperarbe/>  
(Hentet: 28.01.2021).
- [19] Nestvold, V. (2014), Haug, T. (2017) *Trehus*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- [20] Norcem (2016) *Flygeaske*  
Tilgjengelig fra: <https://www.norcem.no/no/FlyAsh>  
(Hentet: 20.04.2021).

- [21] Solbraa, E. (2018) *Eksperimentell undersøkelse av akseleratorer i gulvbetong i kaldt klima*. Masteroppgave. Norges miljø- og biovitenskaplige universitet. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2566411/Solbraa%2c%20Even%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>  
(Hentet: 03.02.2021).
- [22] Mapei (2017) *Demper RM*. Tilgjengelig fra: [https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider60/products-documents/6936-demperrm-no.pdf?sfvrsn=becd2d46\\_0](https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider60/products-documents/6936-demperrm-no.pdf?sfvrsn=becd2d46_0)  
(Hentet: 04.02.2021).
- [23] Sika Norge (2006) *Sika-Demper*. Tilgjengelig fra: [https://nor.sika.com/dms/getdocument.get/b4df4ac2-2407-3025-a5c6-4b529d2245a7/PDB\\_Sika-Demper.pdf](https://nor.sika.com/dms/getdocument.get/b4df4ac2-2407-3025-a5c6-4b529d2245a7/PDB_Sika-Demper.pdf) (Hentet: 04.02.2021).
- [24] Standard Norge (2011) *NS-EN 197-1:2011 Sement - Del 1: Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper*.  
Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=507733>  
(Hentet: 15.09.2020).
- [25] Standard Norge (2019) *NS-EN 12350-2:2019 Prøving av fersk betong Del 2: Synkmål*.  
Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1106511>  
(Hentet: 11.02.2021).
- [26] Standard Norge (2019) *NS-EN 12350-8:2019 Prøving av fersk betong Del 8: Selvkomprimerende betong Synkutbredelsesmetode*.  
Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=11049751>  
(Hentet: 11.02.2021).
- [27] Standard Norge (2019) *NS-EN 12350-7:2019 Prøving av fersk betong Del 7: Luftinnhold Trykkmetoder*.  
Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1106516>  
(Hentet: 11.02.2021).
- [28] Standard Norge (2019) *NS-EN 12350-6:2019 Prøving av fersk betong Del 6: Densitet*.  
Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1106515>  
(Hentet: 28.09.2020).
- [29] Standard Norge (2019) *NS-EN 12390-3:2019 Prøving av herdnet betong Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet*.  
Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1107001>  
(Hentet: 25.10.2020).

- [30] Stamford, L. (2020) Chapter 5 - Life cycle sustainability assessment in the energy sector, *Biofuels for a More Sustainable Future*, s. 115 - 163.  
Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128155813000051>.  
(Hentet: 22.10.2020).
- [31] Standard Norge (2019) *NS-EN 15804:2012+A2:2019 Bærekraftige byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer*  
Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=ns+en+15804&subscr=1>  
(Hentet: 16.10.2020).
- [32] Standard Norge (2012) *NS3576-3:2012 Armeringsstål - Mål og egenskaper - Del 3: Kamstenger B500NC*.  
Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=516201>  
(Hentet: 19.04.2021).

# Innholdsfortegnelse for appendiks

<b>Appendiks A.1</b>	<b>118</b>
Blandeskjema for reseptene ment for vangen . . . . .	
<b>Appendiks A.2</b>	<b>129</b>
Blandeskjema for reseptene ment for senter . . . . .	
<b>Appendiks A.3</b>	<b>136</b>
Resepter og blandelogg fra Betong Øst . . . . .	
<b>Appendiks A.4</b>	<b>166</b>
Blandeskjema for reseptene til biokullstaver . . . . .	
<b>Appendiks B.1</b>	<b>169</b>
EPD Con-Form veggelement . . . . .	
<b>Appendiks B.2</b>	<b>178</b>
EPD Standard-FA sement fra Norcem . . . . .	
<b>Appendiks B.3</b>	<b>187</b>
EPD Kamstål til bruk i betong . . . . .	
<b>Appendiks B.4</b>	<b>196</b>
EPD for plattendekker og armering . . . . .	
<b>Appendiks C.1</b>	<b>222</b>
Rådata fra trykktesting av vangebetongene . . . . .	
<b>Appendiks C.2</b>	<b>226</b>
Rådata fra trykktesting av senterbetongene . . . . .	
<b>Appendiks C.3</b>	<b>229</b>
Rådata fra trykktesting av betongene blandet hos Betong Øst . . . . .	
<b>Appendiks D.1</b>	<b>232</b>
Grafisk fremstilling av trykkresultatene for vangebetongene . . . . .	
<b>Appendiks D.2</b>	<b>235</b>
Grafisk fremstilling av trykkresultatene for senterbetongene . . . . .	
<b>Appendiks D.3</b>	<b>238</b>
Grafisk fremstilling av trykkresultatene for betongene blandet hos Betong Øst	

<b>Appendiks D.4</b>	<b>241</b>
Grafisk fremstilling av densitetsendring for vange- og senterbetongene . . . . .	
<b>Appendiks E</b>	<b>243</b>
Siktekurve . . . . .	
<b>Appendiks F</b>	<b>246</b>
Karbonregnskap for betongene . . . . .	
<b>Appendiks G</b>	<b>249</b>
Analyseprøver av biokullet . . . . .	
<b>Appendiks H</b>	<b>254</b>
Resultat fra estimering av biokullets vannabsorpsjon og densitet . . . . .	
<b>Appendiks I</b>	<b>257</b>
Tegninger av vegger støpt i Orkanger og på laboratoriet . . . . .	
<b>Appendiks J</b>	<b>263</b>
Visuell undersøkelse og tynnslipanalyse av utboret betong med biokull . . . . .	



## Appendiks A.1

Blandeskjema for betongreseptene ment for vangene:

V50-41-200-2  
V45-41-200-2  
V45-55-200-2  
V45-41-150-5  
V45-55-150-5  
V35-41-150-5  
V35-41-150-5-aks+Ld  
V35-55-150-5-aks+Ld  
V35-60-150-5-aks+Ld  
V35-63-150-5-aks+Ld

# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	V50-41-200-2
Tilsiktet kvalitet	B30 M60

Blandeolum	30 liter
Dato:	26.jan
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 2 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	296,2	8,886			8,886
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	6,0	0,181	0,0	0,000	0,181
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Fritt vann	151,1	4,534		-0,525	4,008
Absorbert vann	90,1	2,704			2,704
Årdal 0/8 mm nat. vask.	1003,7	30,111	1,2	0,361	30,472
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	628,1	18,844	0,5	0,094	18,938
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Biokull lab	41,0	1,230	0,0	0,000	1,230
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	3,0	0,091	77	0,070	0,091
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

6,712

Delark "Blandeskjema"

# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	V45-41-200-2
Tilsiktet kvalitet	B30 M60

Blandeolum	30 liter
Dato:	26.jan
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 2 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	315,0	9,450			9,450
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	6,4	0,193	0,0	0,000	0,193
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Fritt vann	144,6	4,339		-0,530	3,810
Absorbert vann	90,1	2,704			2,704
Årdal 0/8 mm nat. vask.	1003,7	30,111	1,2	0,361	30,472
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	628,1	18,844	0,5	0,094	18,938
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Biokull lab	41,0	1,230	0,0	0,000	1,230
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	3,2	0,096	77	0,074	0,096
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

6,513

Delark "Blandeskjema"

# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	V45-55-200-2
Tilsiktet kvalitet	B30 M60

Blandeolum	30 liter
Dato:	27.jan
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	295,3	8,859			8,859
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	6,0	0,181	0,0	0,000	0,181
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Fritt vann	135,6	4,068		-0,494	3,573
Absorbert vann	118,0	3,540			3,540
Årdal 0/8 mm nat. vask.	941,2	28,237	1,2	0,339	28,576
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	572,3	17,168	0,5	0,086	17,254
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Biokull lab	55,2	1,657	0,0	0,000	1,657
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	3,0	0,090	77	0,070	0,090
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

7,114

Delark "Blandeskjema"

## Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	V45-41-150-5
Tilsiktet kvalitet	B30 M60

Blandeolum	30 liter
Dato:	01.feb
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	304,4	9,131			9,131
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	16,0	0,481	0,0	0,000	0,481
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Fritt vann	144,2	4,325		-0,515	3,811
Absorbert vann	69,3	2,080			2,080
Årdal 0/8 mm nat. vask.	971,2	29,137	1,2	0,350	29,486
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	606,5	18,196	0,5	0,091	18,287
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Biokull lab	41,0	1,229	0,0	0,000	1,229
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	3,2	0,096	77	0,074	0,096
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

5,890

Delark "Blandeskjema"

## Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	V45-55-150-5
Tilsiktet kvalitet	B30 M60

Blandeolum	30 liter
Dato:	27.jan
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	284,9	8,548			8,548
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	15,0	0,450	0,0	0,000	0,450
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Fritt vann	135,0	4,049		-0,494	3,555
Absorbert vann	90,4	2,712			2,712
Årdal 0/8 mm nat. vask.	941,2	28,237	1,2	0,339	28,576
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	572,3	17,168	0,5	0,086	17,254
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Biokull lab	55,2	1,657	0,0	0,000	1,657
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	3,0	0,090	77	0,069	0,090
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

6,267

Delark "Blandeskjema"

# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	V35-41-150-5
Tilskt kvalitet	B30 M60

Blandeolum	30 liter
Dato:	10.feb
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard FA	348,4	10,452			10,452	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	18,3	0,550	0,0	0,000	0,550	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Fritt vann	128,4	3,851		-0,525	3,326	
Absorbert vann	69,3	2,080			2,080	5,405
Årdal 0/8 mm nat. vask.	971,2	29,137	1,2	0,350	29,486	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 8/16mm	606,5	18,196	0,5	0,091	18,287	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Biokull lab	41,0	1,229	0,0	0,000	1,229	
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Mapei Dynamon SX-23	3,7	0,110	77	0,085	0,110	
Master X-Seed 100	0,0	0,000	78	0,000	0,000	
MasterCast 202 (Ld)	0,0	0,000	91,7	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

Delark "Blandeskjema"



**Blandeskjema****SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	V35-41-150-5-aks+Ld
Tilskt kvalitet	B30 M60

Blandeolum	30 liter
Dato:	10.feb
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	347,5	10,426			10,426
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	18,3	0,549	0,0	0,000	0,549
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Fritt vann	128,0	3,841		-0,693	3,148
Absorbert vann	69,3	2,080			2,080
Årdal 0/8 mm nat. vask.	971,2	29,137	1,2	0,350	29,486
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	606,5	18,196	0,5	0,091	18,287
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Biokull lab	41,0	1,229	0,0	0,000	1,229
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	3,7	0,110	77	0,085	0,110
Master X-Seed 100	6,0	0,180	78	0,140	0,180
MasterCast 202 (Ld)	1,0	0,030	91,7	0,027	0,030
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

5,228

Delark "Blandeskjema"

# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	V35-55-150-5-aks+Ld
Tilskt kvalitet	B30 M60

Blandeolum	30 liter
Dato:	16.feb
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard FA	339,5	10,184			10,184	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	17,9	0,536	0,0	0,000	0,536	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Fritt vann	125,1	3,752		-1,686	2,066	
Absorbert vann	90,0	2,701			2,701	4,767
Årdal 0/8 mm nat. vask.	925,3	27,760	4,9	1,351	29,111	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 8/16mm	561,8	16,855	0,5	0,084	16,939	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Biokull lab	55,1	1,652	0,0	0,000	1,652	
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Mapei Dynamon SX-23	3,6	0,107	77	0,083	0,107	
Master X-Seed 100	6,0	0,180	78	0,141	0,180	
MasterCast 202 (Ld)	1,0	0,030	91,7	0,028	0,030	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

Delark "Blandeskjema"

# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	V35-60-150-5-aks+Ld
Tilskt kvalitet	B30 M60

Blandeolum	30 liter
Dato:	22.feb
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	331,7	9,950			9,950
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	17,5	0,524	0,0	0,000	0,524
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Fritt vann	122,2	3,666		-1,292	2,374
Absorbert vann	97,4	2,923			2,923
Årdal 0/8 mm nat. vask.	914,8	27,444	3,5	0,961	28,404
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	549,8	16,494	0,5	0,082	16,576
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Biokull lab	60,1	1,802	0,0	0,000	1,802
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	3,5	0,105	77	0,081	0,105
Master X-Seed 100	6,0	0,180	78	0,140	0,180
MasterCast 202 (Ld)	1,0	0,030	91,7	0,028	0,030
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

5,297

Delark "Blandeskjema"

# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	V35-63-150-5-aks+Ld
Tilsluttet kvalitet	B30 M60

Blandeolum	30 liter
Dato:	22.feb
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard FA	327,0	9,810			9,810	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	17,2	0,516	0,0	0,000	0,516	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Fritt vann	120,5	3,614		-1,310	2,304	
Absorbert vann	101,8	3,053			3,053	5,357
Årdal 0/8 mm nat. vask.	908,6	27,259	3,5	0,954	28,213	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 8/16mm	542,8	16,283	0,5	0,081	16,364	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Biokull lab	63,0	1,890	0,0	0,000	1,890	
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Mapei Dynamon SX-23	3,4	0,103	77	0,080	0,103	
Master X-Seed 100	6,0	0,180	78	0,140	0,180	
MasterCast 202 (Ld)	2,0	0,060	91,7	0,055	0,060	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

Delark "Blandeskjema"

## **Appendiks A.2**

Blandeskjema for betongreseptene ment for senter:

S50-59-100-2

S45-88-100-5

S45-59-150-5

S35-67-150-5

S35-88-150-5

S35-78-150-5-Ld

## Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	S50-59-100-2
Tilsiktet kvalitet	B10 M90

Blandeolum	30 liter
Dato:	21.jan
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 2 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	260,5	7,815			7,815
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	5,3	0,159	0,0	0,000	0,159
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Fritt vann	132,9	3,987		-0,504	3,483
Absorbert vann	66,8	2,005			2,005
Årdal 0/8 mm nat. vask.	982,2	29,467	1,2	0,354	29,821
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	595,9	17,877	0,5	0,089	17,966
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Biokull lab	58,9	1,768	0,0	0,000	1,768
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	2,7	0,080	77	0,061	0,080
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

5,487

Delark "Blandeskjema"

## Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	S45-88-100-5
Tilsiktet kvalitet	B10 M90

Blandeolum	30 liter
Dato:	21.jan
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 2 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	228,3	6,848			6,848
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	12,0	0,360	0,0	0,000	0,360
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Fritt vann	108,1	3,244		-0,466	2,777
Absorbert vann	94,8	2,845			2,845
Årdal 0/8 mm nat. vask.	922,0	27,661	1,2	0,332	27,993
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	527,1	15,813	0,5	0,079	15,892
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Biokull lab	87,6	2,628	0,0	0,000	2,628
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	2,4	0,072	77	0,056	0,072
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

5,622

Delark "Blandeskjema"



# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	S45-59-150-5-(SEPARASJON)
Tilsiktet kvalitet	B10 M90

Blandeolum	30 liter
Dato:	15.feb
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard FA	290,5	8,716			8,716	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	15,3	0,459	0,0	0,000	0,459	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Fritt vann	137,6	4,129		-0,490	3,639	
Absorbert vann	97,3	2,920			2,920	6,559
Årdal 0/8 mm nat. vask.	931,4	27,941	1,2	0,335	28,277	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 8/16mm	561,0	16,830	0,5	0,084	16,914	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Biokull lab	59,9	1,798	0,0	0,000	1,798	
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Mapei Dynamon SX-23	3,1	0,092	77	0,071	0,092	
Master X-Seed 100	0,0	0,000	78	0,000	0,000	
MasterCast 202 (Ld)	0,0	0,000	91,7	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

Delark "Blandeskjema"

# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	S35-67-150-5
Tilslått kvalitet	B10 M90

Blandeolum	30 liter
Dato:	15.feb
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	334,8	10,043			10,043
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	17,6	0,529	0,0	0,000	0,529
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Fritt vann	123,3	3,700		-0,485	3,215
Absorbent vann	108,3	3,250			3,250
Årdal 0/8 mm nat. vask.	899,3	26,979	1,2	0,324	27,303
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	532,1	15,962	0,5	0,080	16,042
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Biokull lab	67,4	2,023	0,0	0,000	2,023
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	3,5	0,106	77	0,081	0,106
Master X-Seed 100	0,0	0,000	78	0,000	0,000
MasterCast 202 (Ld)	0,0	0,000	91,7	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

6,465

Delark "Blandeskjema"

# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	S35-88-150-5
Tilskt kvalitet	B10 M90

Blandeolum	30 liter
Dato:	15.feb
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard FA	302,7	9,081			9,081	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	15,9	0,478	0,0	0,000	0,478	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Fritt vann	111,5	3,346		-0,447	2,899	
Absorbent vann	138,8	4,163			4,163	7,062
Årdal 0/8 mm nat. vask.	839,5	25,186	1,2	0,302	25,488	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 8/16mm	471,5	14,146	0,5	0,071	14,217	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Biokull lab	88,2	2,645	0,0	0,000	2,645	
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Mapei Dynamon SX-23	3,2	0,096	77	0,074	0,096	
Master X-Seed 100	0,0	0,000	78	0,000	0,000	
MasterCast 202 (Ld)	0,0	0,000	91,7	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

Delark "Blandeskjema"

## Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	S35-78-150-5-Ld
Tilsiktet kvalitet	B10 M90

Blandeolum	30 liter
Dato:	16.feb
Tidspunkt for vanntilsetning:	Etter 5 min med tørrblanding
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	332,5	9,975			9,975
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	17,5	0,525	0,0	0,000	0,525
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Fritt vann	122,5	3,675		-1,440	2,235
Absorbert vann	123,5	3,705			3,705
Årdal 0/8 mm nat. vask.	861,3	25,838	4,9	1,258	27,096
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 8/16mm	496,4	14,891	0,5	0,074	14,966
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Biokull lab	77,8	2,334	0,0	0,000	2,334
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	3,5	0,105	77	0,081	0,105
Master X-Seed 100	0,0	0,000	78	0,000	0,000
MasterCast 202 (Ld)	1,0	0,030	91,7	0,027	0,030
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

5,939

Delark "Blandeskjema"

## Appendiks A.3

Reseptene som Betong Øst benytter, samt blandelogg fra blanding:

BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld

BØCar-S35-78-150-5-Ld

BØOp-V35-61-150-5-Ld

BØOp-V35-63-180-5-Ld

BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.1

BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2

## BLANDESKEMA FOR BETONGØST

Reseptnummer	BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld
Dato utført	24.02.2021

Mengde biokull per sekk [kg]	280
Total antall kubikk [m <sup>3</sup> ]	4,44
Total antall liter [L]	4444,44
Prosent betong uten Å/B	71,05%

Antall kubikk i maskinen [m <sup>3</sup> ]	2,95
--	------

HVA SOM SKAL I BILEN - PUKK OG BOKULL		
Materialer	Resept kg/m3	Oppveid** kg
Norcem Standard FA		
Elkem Microsilica		
Fritt vann		
Absorbert vann		
Årdal 0/8 mm nat. vask.		
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Årdal 8/16mm	271,4	1212,253
Årdal 16/22 mm	271,4	1212,253
Biokull lab	63,0	280,000
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23		
Master X-Seed 100		
MasterCast 202 (Ld)		

HVA SOM SKAL I BLANDEMASKINEN - MATRIKS		
Materialer	Resept generelt kg/m3	Resept blandemaskin kg/m3
Norcem Standard FA	327,0	460,3
Elkem Microsilica	17,2	24,2
Fritt vann	120,5	169,6
Absorbert vann	101,8	143,3
Årdal 0/8 mm nat. vask.	908,6	1278,9
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Årdal 8/16mm		
Årdal 16/22 mm		
Biokull lab		
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23	3,4	4,8
Master X-Seed 100	6,0	8,4
MasterCast 202 (Ld)	2,0	2,8

# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W... - @...:

## Pukk

Blandelog

Resept: BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld

Dato utført: 24.02.2021

SP ABEL

### Følgeseddel opplysninger

Flgsdl: **107180682** Dato: **24.02.2021 10:45:06** Bl.mester: **Bartosz**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9370**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **2** Satsstr: **0,00** Prod m<sup>3</sup>: **0,00**  
VC forhold: **0,000** Flg m<sup>3</sup>: **1,00/(NAN)** Standard: **NS206**  
Resept: **Pukk Biokullbetong Pukk 8/16 - 16/22**

### Vekt sats opplysninger

Materiale <small>Ønsket mat/silo i 1. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Sats 2					Vanninnhold
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	
1672 Ncc Gjølme 8-16	5	608		603		0,50 <sup>M</sup>	2,99	613	5	609		0,50 <sup>M</sup>	3,03
1673 Ncc Gjølme16-22	8	611		618		1,00 <sup>M</sup>	6,11	604	-7	611		1,00 <sup>M</sup>	6,03
Tilslag total		1219		1221	<b>0,16</b>			1217		1220	<b>0,22</b>		
<b>Total Kg</b>		<b>1219</b>		<b>1221</b>			<b>9,10</b>	<b>1217</b>		<b>1220</b>			<b>9,06</b>

Materiale <small>Ønsket mat/silo i 1. sats fra resepten</small>	Silo	Less		
		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1672 Ncc Gjølme 8-16	5	1216	1212	-0,29
1673 Ncc Gjølme16-22	8	1222	1228	0,51
Tilslag total		2438	2441	<b>0,11</b>
<b>Total Kg</b>		<b>2438</b>	<b>2441</b>	

Utefinerede Kg	
Satsnr.	Tilslag
1	21,98
2	4,88
Ialt	26,86

### Øvrige sats opplysninger

Satsnr.	Blander			
	Efter Blandetidspedvann ant:	Wattmeter	Blander	Temperatur
Ønsket	75,0			
1	84,0	13,0	Blander 2	17,4
2	6,0	20,0	Blander 2	17,3

### Øvrige less opplysninger

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,000	0,000	0,000
Totale kg i less	2438	2441	0,1
Frit vann	18,11	18,16	0,2 %
Ekv.sem.mengde	0,00	0,00	%

**Betong Øst Orkanger**

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W...: -@...:

**Pukk**

Resept: BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld

Dato utført: 24.02.2021

**Blandelog**

SR ABEL

**NS-EN 206:2013+NA:2014**

	<b>Oppnådd ialt</b>	<b>Pr. m<sup>3</sup></b>	<b>Ikke godkjent</b>
Max. VC-Forhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	0,000	NAN	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
SKB robusthet nedre tolerance:	0,044		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	0,044		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	0,00		Ok (Ingen krav)
Flyveaske, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	Tilslag : Afvikelse fra ønsket : 0,11% (Krav 3,49%)		Ok
	<b>Vann Doseringstoleranse overskredet : NAN% &gt; 3,49%</b>		<b>Ok</b>



# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W...: - @...:

## Matriks

Resept: BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld

Dato utført: 24.02.2021

Blandelog

BRANEL

### Følgeseddel opplysninger

Flgsdl: **107180683** Dato: **24.02.2021 10:59:08** Bl.mester: **Bartosz**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9370**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **2** Satsstr: **1,46** Prod m³: **2,92**  
VC forhold: **0,652** Flg m³: **3,00/(2,918)** Standard: **NS206**  
Resept: **BØ-V35-63-150-5-aks BØ-V35-63-150-5-aks+Ld**

### Vekt sats opplysninger

Materiale <small>Ønsket mat./silo i 1. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Sats 2					Vanninnhold
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	
1662 RAMLO 0-8	7	2081		2072		8,50 <sup>M</sup>	161,58	2089	9	2084		8,50 <sup>M</sup>	162,53
<b>Tilslag total</b>		<b>2081</b>		<b>2072</b>	<b>-0,41</b>			<b>2089</b>		<b>2084</b>	<b>-0,23</b>		
2001 Norcem Std FA	1	690,4		693,3				687,6	-2,9	687,5			
3001 Silica	6	36,3		36,3				36,3	0,0	36,3			
5001 Kaldt vann	1	307,1		306,6			306,59	306,1	0,5	305,5			305,49
5010 Varmt vann	3	0,0		0,0			0,00	0,0	0,0	0,0			0,00
<b>Vann total</b>		<b>307,1</b>		<b>306,6</b>	<b>-0,17</b>			<b>306,1</b>		<b>305,5</b>	<b>-0,20</b>		
6014 Dynamon SX-23	4	5,70		5,68	<b>-0,39</b>		4,37	5,72	0,02	5,71	<b>-0,14</b>		4,40
6105 Mapefast HA	7	0,00		0,00	<b>0,00</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>		0,00
Skyllevann								1,5		1,5			1,50
<b>Total Kg</b>		<b>3120</b>		<b>3114</b>			<b>472,55</b>	<b>3126</b>		<b>3121</b>			<b>473,93</b>

Materiale <small>Ønsket mat./silo i 1. sats fra resepten</small>	Silo	Less		
		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1662 RAMLO 0-8	7	4161	4156	-0,12
<b>Tilslag total</b>		<b>4161</b>	<b>4156</b>	<b>-0,12</b>
2001 Norcem Std FA	1	1380,9	1380,8	-0,01
3001 Silica	6	72,6	72,7	0,10
5001 Kaldt vann	1	612,7	612,1	-0,10
5010 Varmt vann	3	0,0	0,0	0,00
<b>Vann total</b>		<b>612,7</b>	<b>612,1</b>	<b>-0,10</b>
6014 Dynamon SX-23	4	11,40	11,39	-0,07
6105 Mapefast HA	7	0,00	0,00	0,00
Skyllevann		1,5	1,5	
<b>Total Kg</b>		<b>6240</b>	<b>6235</b>	

Utefinerede Kg				
	Tilslag	Pulver	Vand	Kemi
Satsnr.				
1	-14,65	11,72	-2,56	0,42
2	-6,11	-0,29	-2,81	0,01
Ialt	-20,76	11,43	-5,37	0,43

### Øvrige sats opplysninger

Satsnr.	Blander		
	Efter Blandetidspedvann ant:	Wattmeter Blander	Temperatur
Ønsket	75,0		
1	172,0	11,0 Blander 2	15,1
2	194,0	10,0 Blander 2	13,7

**Betong Øst Orkanger**

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W...: - @...:

**Matriks**

Resept:

BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld

Dato utført:

24.02.2021

**Blandelog****Øvrige less opplysninger**

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,652	0,651	-0,001
Totale kg i less	6240	6235	-0,1
Frit vann	947,48	946,47	-0,1 %
Ekv.sem.mengde	1453,50	1453,48	0,0 %

**NS-EN 206:2013+NA:2014**

	Oppnådd ialt	Pr. m <sup>3</sup>	Ikke godkjent
Max. VC-Forhold:	0,651		Ok (Krav:0,900)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	1453,480	498,508	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,086		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	20,883		Alkali reaktiv grense overskredet (20,88 > 20,41)
SKB robusthet nedre tolerance:	-0,335		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	-0,335		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,171		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,050		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	1,00		Ok (Ingen krav)
Anvendt silika k-verdi:	1,00		Ok (Krav:1,00)
Flyveaske, Ren sement andel:	74,10		Ok (Krav:65,00)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	Tilslag : Afvikelse fra ønsket : -0,12% (Krav 3,49%)		Ok
	2001 Norcem Std FA : Afvikelse fra ønsket : -0,01% (Krav 3,49%)		Ok
	3001 Silica : Afvikelse fra ønsket : 0,10% (Krav 3,49%)		Ok
	Vann : Afvikelse fra ønsket : -0,10% (Krav 3,49%)		Ok
	6014 Dynamon SX-23 : Afvikelse fra ønsket : -0,07% (Krav 5,49%)		Ok
	6105 Mapefast HA : Afvikelse fra ønsket : 0,00% (Krav 5,49%)		Ok

## BLANDESKEMA FOR BETONGØST

Resepnummer	BØCar-S35-78-150-5-Ld
Dato utført	24.02.2021

Mengde biokull per sekk [kg]	407,2
Total antall kubikk [m <sup>3</sup> ]	5,23
Total antall liter [L]	5233,93
Prosent betong uten Å/B	71,80%

Antall kubikk i maskinen [m <sup>3</sup> ]	3,52
--	------

HVA SOM SKAL I BILEN - PUKK OG BOKULL		
Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Oppveid** kg
Norcem Standard FA		
Elkem Microsilica		
Fritt vann		
Absorbert vann		
Årdal 0/8 mm nat. vask.		
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Årdal 8/16mm	248,2	1305,558
Årdal 16/22 mm	248,2	1305,558
Biokull lab	77,8	407,200
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23		
Master X-Seed 100		
MasterCast 202 (Ld)		

HVA SOM SKAL I BLANDEMASKINEN - MATRIKS		
Materialer	Resept generelt kg/m <sup>3</sup>	Resept blandemaskin kg/m <sup>3</sup>
Norcem Standard FA	332,5	463,1
Elkem Microsilica	17,5	24,4
Fritt vann	122,5	170,6
Absorbert vann	123,5	172,0
Årdal 0/8 mm nat. vask.	861,3	1199,6
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Årdal 8/16mm		
Årdal 16/22 mm		
Biokull lab		
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23	3,5	4,9
Master X-Seed 100		
MasterCast 202 (Ld)	1,0	1,4

# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 515 11 302  
W... - @...:

## Pukk

Resept: BØCar-S35-78-150-5-Ld

Dato utført: 24.02.2021

Blandelog

BR ABEL

### Følgeseddel opplysninger

Flgsdl: **107180690** Dato: **24.02.2021 12:51:16** Bl.mester: **Bartosz**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9370**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **2** Satsstr: **0,00** Prod m³: **0,00**  
VC forhold: **0,000** Flg m³: **1,00/(NAN)** Standard: **NS206**  
Resept: **Pukk Biokullbetong Pukk 8/16 - 16/22**

### Vekt sats opplysninger

Materiale <small>Ønsket mat/silo i 1. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Sats 2					Vanninnhold
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	
1672 Ncc Gjølme 8-16	5	654		654		0,30 <sup>M</sup>	1,95	654	0	653		0,30 <sup>M</sup>	1,95
1673 Ncc Gjølme16-22	8	659		658		1,00 <sup>M</sup>	6,50	660	1	659		1,00 <sup>M</sup>	6,52
Tilslag total		1313		1313	<b>-0,07</b>			1314		1313	<b>-0,14</b>		
<b>Total Kg</b>		<b>1313</b>		<b>1313</b>			<b>8,46</b>	<b>1314</b>		<b>1313</b>			<b>8,47</b>

Materiale <small>Ønsket mat/silo i 1. sats fra resepten</small>	Silo	Less		
		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1672 Ncc Gjølme 8-16	5	1309	1308	-0,09
1673 Ncc Gjølme16-22	8	1318	1317	-0,04
Tilslag total		2627	2625	<b>-0,07</b>
<b>Total Kg</b>		<b>2627</b>	<b>2625</b>	

Utefinerede Kg	
Satsnr.	Tilslag
1	13,43
2	7,33
Ialt	20,76

### Øvrige sats opplysninger

Satsnr.	Blander			
	Efter Blandetidspedvann ant:	Wattmeter	Blander	Temperatur
Ønsket	75,0			
1	31,0	19,0	Blander 2	15,8
2	31,0	18,0	Blander 2	15,7

### Øvrige less opplysninger

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,000	0,000	0,000
Totale kg i less	2627	2625	-0,1
Frit vann	16,93	16,92	-0,1 %
Ekv.sem.mengde	0,00	0,00	%



**Betong Øst Orkanger**

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 615 11 302  
W...: - @...:

**Pukk**

**Blandelog**

Resept: BØCar-S35-78-150-5-Ld

Dato utført: 24.02.2021

SP ABEL

**NS-EN 206:2013+NA:2014**

	<b>Oppnådd iall</b>	<b>Pr. m<sup>3</sup></b>	<b>Ikke godkjent</b>
Max. VC-Forhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	0,000	NAN	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
SKB robusthet nedre tolerance:	-0,009		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	-0,009		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	0,00		Ok (Ingen krav)
Flyveaske, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	Tilslag : Afvikelse fra ønsket : -0,07% (Krav 3,49%)		Ok
	<b>Vann Doseringstoleranse overskredet : NAN% &gt; 3,49%</b>		<b>Ok</b>

# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W...: - @...:

## Matriks

Resept: BØCar-S35-78-150-5-Ld

Dato utført: 24.02.2021

Blandelog

BR ABEL

### Følgeseddel opplysninger

Flgsdl: **107180693** Dato: **24.02.2021 13:12:17** Bl.mester: **Bartosz**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9370**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **2** Satsstr: **1,70** Prod m³: **3,40**  
VC forhold: **0,709** Flg m³: **3,50/(3,409)** Standard: **NS206**  
Resept: **BØ-S35-78-150-5 BØ-S35-78-150-5-Ld**

### Vekt sats opplysninger

Materiale <small>Ønsket mat/silo i i. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Sats 2					Vanninnhold
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	
1662 RAMLO 0-8	7	2312		2265		10,20 <sup>M</sup>	208,70	2360	47	2341		10,20 <sup>M</sup>	215,67
Tilslag total		2312		2265	<b>-2,05</b>			2360		2341	<b>-0,81</b>		
2001 Norcem Std FA	1	810,4		812,0				808,8	-1,6	809,4			
3001 Silica	6	42,7		42,2				43,2	0,5	42,8			
5001 Kaldt vann	1	386,5		386,4			386,45	385,0	0,0	385,5			385,47
5010 Varmt vann	3	0,0		0,0			0,00	0,0	0,0	0,0			0,00
Vann total		386,5		386,4	<b>-0,01</b>			385,0		385,5	<b>0,12</b>		
6014 Dynamon SX-23	4	6,83		6,85	<b>0,36</b>		5,27	6,80	-0,02	6,76	<b>-0,53</b>		5,21
Skyllvann								1,5		1,5			1,50
<b>Total Kg</b>		<b>3559</b>		<b>3512</b>			<b>600,42</b>	<b>3605</b>		<b>3587</b>			<b>607,85</b>

Materiale <small>Ønsket mat/silo i i. sats fra resepten</small>	Silo	Less		
		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1662 RAMLO 0-8	7	4625	4606	-0,41
Tilslag total		4625	4606	<b>-0,41</b>
2001 Norcem Std FA	1	1620,8	1621,4	<b>0,03</b>
3001 Silica	6	85,4	85,0	<b>-0,49</b>
5001 Kaldt vann	1	771,5	771,9	0,06
5010 Varmt vann	3	0,0	0,0	0,00
Vann total		771,5	771,9	<b>0,06</b>
6014 Dynamon SX-23	4	13,65	13,61	<b>-0,26</b>
Skyllvann		1,5	1,5	
<b>Total Kg</b>		<b>7118</b>	<b>7099</b>	

Utefinerede Kg				
	Tilslag	Pulver	Vand	Kemi
Satsnr.				
1	-21,98	7,33	-2,81	0,07
2	-7,33	0,00	-3,05	0,00
Ialt	-29,30	7,33	-5,86	0,07

### Øvrige sats opplysninger

Satsnr.	Blander			
	Efter Blandetidspedvann ant:	Wattmeter	Blander	Temperatur
Ønsket	75,0			
1	167,0	10,0	Blander 2	12,9
2	291,0	8,0	Blander 2	12,6

Resept: BØCar-S35-78-150-5-Ld

Dato utført: 24.02.2021

BP APREL

Øvrige less opplysninger

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,709	0,708	-0,001
Totale kg i less	7118	7099	-0,3
Frit vann	1209,61	1208,27	-0,1 %
Ekv.sem.mengde	1706,25	1706,37	0,0 %

NS-EN 206:2013+NA:2014

	Oppnådd ialt	Pr. m <sup>3</sup>	Ikke godkjent
Max. VC-Forhold:	0,708		Ok (Krav:0,900)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	1706,374	501,697	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,086		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	24,525		Alkali reaktiv grense overskredet (24,53 > 23,81)
SKB robusthet nedre tolerance:	-0,384		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	-0,384		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,171		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,050		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	1,00		Ok (Ingen krav)
Anvendt silika k-verdi:	1,00		Ok (Krav:1,00)
Flyveaske, Ren sement andel:	74,12		Ok (Krav:65,00)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	Tilslag : Afvikelse fra ønsket : -0,41% (Krav 3,49%)		Ok
	2001 Norcem Std FA : Afvikelse fra ønsket : 0,03% (Krav 3,49%)		Ok
	3001 Silica : Afvikelse fra ønsket : -0,49% (Krav 3,49%)		Ok
	Vann : Afvikelse fra ønsket : 0,06% (Krav 3,49%)		Ok
	6014 Dynamon SX-23 : Afvikelse fra ønsket : -0,26% (Krav 5,49%)		Ok

## BLANDESKEMA FOR BETONGØST

Reseptnummer	BØOp-V35-61-150-5-Ld
Dato utført	09.03.2021

Mengde biokull per sekk [kg]	240
Total antall kubikk [m <sup>3</sup> ]	3,95
Total antall liter [L]	3953,87
Prosent betong uten Å/B	70,67%

Antall kubikk i maskinen [m <sup>3</sup> ]	2,64
--	------

HVA SOM SKAL I BILEN - PUKK OG BOKULL		
Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Oppveid** kg
Norcem Standard FA		
Elkem Microsilica		
Fritt vann		
Absorbert vann		
Ramlo 0/8 mm nat. vask.		
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Gjølme 8/16mm	281,8	1119,772
Gjølme 16/22 mm	281,8	1119,772
Biokull lab	60,7	240,000
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23		
Master X-Seed 100		
Mapei Demper RM		

HVA SOM SKAL I BLANDEMASKINEN - MATRIKS		
Materialer	Resept generelt kg/m <sup>3</sup>	Resept blandemaskin kg/m <sup>3</sup>
Norcem Standard FA	327,5	463,4
Elkem Microsilica	17,2	24,3
Fritt vann	120,7	170,8
Absorbert vann	96,9	137,1
Ramlo 0/8 mm nat. vask.	936,4	1325,1
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Gjølme 8/16mm		
Gjølme 16/22 mm		
Biokull lab		
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23	3,4	4,8
Master X-Seed 100		
Mapei Demper RM	2,0	2,8



**Betong Øst Orkanger**

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W.: - @.:

**Pukk**

Resept:

BØOp-V35-61-150-5-Ld

**Blandelog**

Dato utført:

09.03.2021

**Følgeseddel opplysninger**

Flgsdl: **107180847** Dato: **09.03.2021 11:14:33** Bl.mester: **Bartosz**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9370**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **2** Satsstr: **0,00** Prod m³: **0,00**  
VC forhold: **0,000** Flg m³: **1,00/(NAN)** Standard: **NS206**  
Resept: **Pukk Biokullbetong Pukk 8/16 - 16/22**

**Vekt sats opplysninger**

Materiale <small>Ønsket mat/silo i l. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Sats 2					
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	Vanninnhold
1672 Ncc Gjørme 8-16	4	564		560		0,80 <sup>M</sup>	4,44	569	4	563		0,80 <sup>M</sup>	4,46
1673 Ncc Gjørme16-22	8	566		564		1,00 <sup>M</sup>	5,57	567	1	567		1,00 <sup>M</sup>	5,60
Tilslag total		1130		1125		<b>-0,49</b>		1136		1129		<b>-0,54</b>	
<b>Total Kg</b>		<b>1130</b>		<b>1125</b>			<b>10,01</b>	<b>1136</b>		<b>1129</b>			<b>10,06</b>

Materiale <small>Ønsket mat/silo i l. sats fra resepten</small>	Silo	Less		
		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1672 Ncc Gjørme 8-16	4	1129	1123	-0,50
1673 Ncc Gjørme16-22	8	1131	1131	-0,05
Tilslag total		2260	2254	<b>-0,27</b>
<b>Total Kg</b>		<b>2260</b>	<b>2254</b>	

Utfinerede Kg	
Satsnr.	Tilslag
1	15,87
2	3,66
Ialt	19,54

**Øvrige sats opplysninger**

Satsnr.	Blander			
	Efter Blandetidspedvann ant:	Wattmeter	Blander	Temperatur
Ønsket	75,0			
1	22,0	17,0	Blander 2	19,2
2	75,0	9,0	Blander 2	19,2

**Øvrige less opplysninger**

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,000	0,000	0,000
Totale kg i less	2260	2254	-0,3
Frit vann	20,12	20,07	-0,2 %
Ekv.sem.mengde	0,00	0,00	%

**Betong Øst Orkanger**Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W...: - @...:**Pukk****Blandelog**

Resept:

BØOp-V35-61-150-5-Ld

Dato utført:

09.03.2021

BRANDEL

**NS-EN 206:2013+NA:2014**

	Oppnådd ialt	Pr. m <sup>3</sup>	Ikke godkjent
Max. VC-Forhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	0,000	NAN	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
SKB robusthet nedre tolerance:	-0,050		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	-0,050		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	0,00		Ok (Ingen krav)
Flyveaske, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	Tilslag : Afvikelse fra ønsket : -0,27% (Krav 3,49%)		Ok
	<b>Vann Doseringtoleranse overskredet : NAN% &gt; 3,49%</b>		<b>Ok</b>

# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W...: - @...:

## Matriks

Resept: BØOp-V35-61-150-5-Ld

Dato utført: 09.03.2021

Blandelog

SP ABEL

### Følgeseddel opplysninger

Flgsdl: **107180848** Dato: **09.03.2021 11:31:28** Bl.mester: **Bartosz**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9370**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **2** Satsstr: **1,31** Prod m³: **2,62**  
VC forhold: **0,637** Flg m³: **2,64/(2,604)** Standard: **NS206**  
Resept: **BØ-V35-63-150-5-aks BØ-V35-63-150-5-aks+Ld**

### Vekt sats opplysninger

Materiale <small>Ønsket mat/silo i i. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Sats 2					Vanninnhold
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	
1662 RAMLO 0-8	6	1862		1833		6,50 <sup>M</sup>	111,33	1892	30	1935		6,50 <sup>M</sup>	117,56
<b>Tilslag total</b>		<b>1862</b>		<b>1833</b>	<b>-1,59</b>			<b>1892</b>		<b>1935</b>	<b>2,30</b>		
2001 Norcem Std FA	1	611,7		616,3				607,1	-4,6	608,4			
3001 Silica	6	32,1		33,1				31,0	-1,0	30,2			
5001 Kaldt vann	1	293,3		293,3			293,28	291,8	0,0	291,6			291,58
5010 Varmt vann	3	0,0		0,0			0,00	0,0	0,0	0,0			0,00
<b>Vann total</b>		<b>293,3</b>		<b>293,3</b>	<b>-0,01</b>			<b>291,8</b>		<b>291,6</b>	<b>-0,08</b>		
6014 Dynamon SX-23	4	5,02		5,04	<b>0,53</b>		3,88	4,99	-0,03	4,99	<b>0,09</b>		3,85
6105 Mapefast HA	7	0,00		0,00	<b>0,00</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>		0,00
Skyllevann								1,5		1,5			1,50
<b>Total Kg</b>		<b>2804</b>		<b>2780</b>			<b>408,50</b>	<b>2828</b>		<b>2872</b>			<b>414,48</b>

Materiale <small>Ønsket mat/silo i i. sats fra resepten</small>	Silo	Less		
		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1662 RAMLO 0-8	6	3725	3768	1,17
<b>Tilslag total</b>		<b>3725</b>	<b>3768</b>	<b>1,17</b>
2001 Norcem Std FA	1	1223,4	1224,6	<b>0,10</b>
3001 Silica	6	64,2	63,3	<b>-1,33</b>
5001 Kaldt vann	1	585,1	584,9	-0,04
5010 Varmt vann	3	0,0	0,0	0,00
<b>Vann total</b>		<b>585,1</b>	<b>584,9</b>	<b>-0,04</b>
6014 Dynamon SX-23	4	10,03	10,04	<b>0,05</b>
6105 Mapefast HA	7	0,00	0,00	<b>0,00</b>
Skyllevann		1,5	1,5	
<b>Total Kg</b>		<b>5609</b>	<b>5652</b>	

Utefinerede Kg				
	Tilslag	Pulver	Vand	Kemi
Satsnr.				
1	-25,64	6,74	-2,20	0,13
2	-8,55	-0,88	-2,93	-0,01
<b>Ialt</b>	<b>-34,19</b>	<b>5,86</b>	<b>-5,13</b>	<b>0,12</b>

### Øvrige sats opplysninger

Satsnr.	Blander			
	Efter		Wattmeter	Blander
Ønsket	Blandetidspedvann ant			
1	75,0		7,0 Blander 2	14,7
2	223,0		7,0 Blander 2	12,7
	164,0			



Resept:

BØOp-V35-61-150-5-Ld

Dato utført:

09.03.2021

SP APEL

## Øvrige less opplysninger

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,637	0,639	0,002
Totale kg i less	5609	5652	0,8
Frit vann	820,58	822,99	0,3 %
Ekv.sem.mengde	1287,53	1287,91	0,0 %

## NS-EN 206:2013+NA:2014

	Oppnådd ialt	Pr. m <sup>3</sup>	Ikke godkjent
Max. VC-Forhold:	0,639		Ok (Krav:0,900)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	1287,912	491,228	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,086		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	18,520		Alkali reaktiv grense overskredet (18,52 > 18,35)
SKB robusthet nedre tolerance:	0,911		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	0,911		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,171		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,049		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	1,00		Ok (Ingen krav)
Anvendt silika k-verdi:	1,00		Ok (Krav:1,00)
Flyveaske, Ren sement andel:	74,17		Ok (Krav:65,00)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	Tilslag : Afvikelse fra ønsket : 1,17% (Krav 3,49%)		Ok
	2001 Norcem Std FA : Afvikelse fra ønsket : 0,10% (Krav 3,49%)		Ok
	3001 Silica : Afvikelse fra ønsket : -1,33% (Krav 3,49%)		Ok
	Vann : Afvikelse fra ønsket : -0,04% (Krav 3,49%)		Ok
	6014 Dynamon SX-23 : Afvikelse fra ønsket : 0,05% (Krav 5,49%)		Ok
	6105 Mapefast HA : Afvikelse fra ønsket : 0,00% (Krav 5,49%)		Ok

## BLANDESKEMA FOR BETONGØST

Reseptnummer	BØOp-V35-63-180-5-Ld
Dato utført	10.03.2021

Mengde biokull per sekk [kg]	225
Total antall kubikk [m <sup>3</sup> ]	3,57
Total antall liter [L]	3565,77
Prosent betong uten Å/B	71,05%

Antall kubikk i maskinen [m <sup>3</sup> ]	2,45
--	------

HVA SOM SKAL I BILEN - PUKK OG BOKULL		
Materialer	Resept kg/m3	Oppveid** kg
Norcem Standard FA		
Elkem Microsilica		
Fritt vann		
Absorbert vann		
Ramlo 0/8 mm nat. vask.		
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Gjølme 8/16mm	277,6	994,807
Gjølme 16/22 mm	277,6	994,807
Biokull lab	63,1	225,000
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23		
Master X-Seed 100		
Mapei Demper RM		

HVA SOM SKAL I BLANDEMASKINEN - MATRIKS		
Materialer	Resept generelt kg/m3	Resept blandemaskin kg/m3
Norcem Standard FA	326,7	459,8
Elkem Microsilica	17,2	24,2
Fritt vann	120,4	169,5
Absorbert vann	119,3	167,9
Ramlo 0/8 mm nat. vask.	927,6	1305,5
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Gjølme 8/16mm		
Gjølme 16/22 mm		
Biokull lab		
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23	4,4	6,2
Master X-Seed 100		
Mapei Demper RM	2,0	2,8

# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W.: - @.:

## Pukk

Blandelog

Resept: BØOp-V35-63-180-5-Ld

Dato utført: 10.03.2021

### Følgeseddel opplysninger

Flgsdl: **107180870** Dato: **10.03.2021 09:51:11** Bl.mester: **Bartosz**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9371**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **2** Satsstr: **0,00** Prod m³: **0,00**  
VC forhold: **0,000** Flg m³: **1,00/(NAN)** Standard: **NS206**  
Resept: **Pukk Biokullbetong Pukk 8/16 - 16/22**

### Vekt sats opplysninger

Materiale <small>Ønsket mat/silo i l. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Sats 2					Vanninnhold
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	
1672 Ncc Gjølme 8-16	5	504		501		0,80 <sup>M</sup>	3,97	507	3	504		0,80 <sup>M</sup>	3,99
1673 Ncc Gjølme16-22	8	505		501		1,00 <sup>M</sup>	4,95	509	4	509		1,00 <sup>M</sup>	5,03
Tilslag total		1009		1001		<b>-0,77</b>		1017		1013		<b>-0,33</b>	
<b>Total Kg</b>		<b>1009</b>		<b>1001</b>			<b>8,91</b>	<b>1017</b>		<b>1013</b>			<b>9,03</b>

Materiale <small>Ønsket mat/silo i l. sats fra resepten</small>	Silo	Less		
		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1672 Ncc Gjølme 8-16	5	1008	1005	-0,31
1673 Ncc Gjølme16-22	8	1010	1010	-0,02
Tilslag total		2018	2015	<b>-0,16</b>
<b>Total Kg</b>		<b>2018</b>	<b>2015</b>	

Utfinerede Kg	
Satsnr.	Tilslag
1	12,21
2	-2,44
Ialt	9,77

### Øvrige sats opplysninger

Satsnr.	Blander			
	Efter Blandetidspedvann ant	Wattmeter	Blander	Temperatur
Ønsket	75,0			
1	61,0	12,0	Blander 2	15,8
2	24,0	16,0	Blander 2	15,6

### Øvrige less opplysninger

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,000	0,000	0,000
Totale kg i less	2018	2015	-0,2
Frit vann	17,96	17,94	-0,1 %
Ekv.sem.mengde	0,00	0,00	%

**Betong Øst Orkanger**

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W.: - @...

**Pukk**

**Blandelog**

Resept:

BØOp-V35-63-180-5-Ld

Dato utført:

10.03.2021

BRANEL

NS-EN 206:2013+NA:2014

	Oppnådd ialt	Pr. m <sup>3</sup>	Ikke godkjent
Max. VC-Forhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	0,000	NAN	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
SKB robusthet nedre tolerance:	-0,027		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	-0,027		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	0,00		Ok (Ingen krav)
Flyveaske, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	Tilslag : Avvikelse fra ønsket : -0,16% (Krav 3,49%)		Ok
	<b>Vann Doseringtoleranse overskredet : NAN% &gt; 3,49%</b>		<b>Ok</b>



# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W.: - @ . : .

## Matriks

Blandelog

Resept: BØOp-V35-63-180-5-Ld

Dato utført: 10.03.2021

### Følgeseddel opplysninger

Flgsdl: **107180871** Dato: **10.03.2021 10:07:41** Bl.mester: **Bartosz**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9371**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **2** Satsstr: **1,24** Prod m³: **2,47**  
VC forhold: **0,707** Flg m³: **2,45/(2,474)** Standard: **NS206**  
Resept: **BØ-V35-63-150-5-aks BØ-V35-63-150-5-aks+Ld**

### Vekt sats opplysninger

Materiale <small>Ønsket mat/silo i i. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Sats 2					Vanninnhold
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	
1662 RAMLO 0-8	7	1714		1716		7,20 <sup>M</sup>	114,69	1712	-2	1702		7,20 <sup>M</sup>	113,79
Tilslag total		1714		1716	<b>0,10</b>			1712		1702	<b>-0,59</b>		
2001 Norcem Std FA	1	563,3		563,5				563,0	-0,3	561,8			
3001 Silica	6	29,6		30,2				29,1	-0,5	29,9			
5001 Kaldt vann	1	298,7		299,0		299,02		297,0	-0,3	297,6		297,56	
5010 Varmt vann	3	0,0		0,0		0,00		0,0	0,0	0,0		0,00	
Vann total		298,7		299,0	<b>0,09</b>			297,0		297,6	<b>0,20</b>		
6014 Dynamon SX-23	4	7,59		7,55	<b>-0,65</b>		5,81	7,64	0,05	7,62	<b>-0,33</b>		5,87
6105 Mapefast HA	7	0,00		0,00	<b>0,00</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>		0,00
Skyllevann								1,5		1,5			1,50
<b>Total Kg</b>		<b>2613</b>		<b>2616</b>		<b>419,52</b>		<b>2610</b>		<b>2600</b>		<b>418,71</b>	

Materiale <small>Ønsket mat/silo i i. sats fra resepten</small>	Silo	Less		
		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1662 RAMLO 0-8	7	3428	3418	-0,29
Tilslag total		3428	3418	<b>-0,29</b>
2001 Norcem Std FA	1	1126,5	1125,3	<b>-0,11</b>
3001 Silica	6	59,3	60,1	<b>1,32</b>
5001 Kaldt vann	1	596,0	596,6	0,10
5010 Varmt vann	3	0,0	0,0	0,00
Vann total		596,0	596,6	<b>0,10</b>
6014 Dynamon SX-23	4	15,19	15,16	<b>-0,17</b>
6105 Mapefast HA	7	0,00	0,00	<b>0,00</b>
Skyllevann		1,5	1,5	
<b>Total Kg</b>		<b>5226</b>	<b>5216</b>	

Utefinerede Kg				
	Tilslag	Pulver	Vand	Kemi
Satsnr.				
1	-23,20	6,74	-2,08	0,43
2	3,66	0,00	-2,69	0,00
Ialt	-19,54	6,74	-4,76	0,43

### Øvrige sats opplysninger

Satsnr.	Blander		
	Efter Blandetidspedvann ant:	Wattmeter Blander	Temperatur
Ønsket	75,0		
1	93,0	8,0 Blander 2	14,5
2	79,0	9,0 Blander 2	13,4

Resept: BØOp-V35-63-180-5-Ld

Dato utført: 10.03.2021

Øvrige less opplysninger

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,707	0,707	0,000
Totale kg i less	5226	5216	-0,2
Frit vann	838,33	838,23	0,0 %
Ekv.sem.mengde	1185,80	1185,35	0,0 %

NS-EN 206:2013+NA:2014

	Oppnådd ialt	Pr. m <sup>3</sup>	Godkjendt
Max. VC-Forhold:	0,707		Ok (Krav:0,900)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	1185,348	479,792	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,086		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	17,107		Ok (Krav:17,294)
SKB robusthet nedre tolerance:	-0,039		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	-0,039		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,171		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,051		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	1,00		Ok (Ingen krav)
Anvendt silika k-verdi:	1,00		Ok (Krav:1,00)
Flyveaske, Ren sement andel:	74,05		Ok (Krav:65,00)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	Tilslag : Avvikelse fra ønsket : -0,29% (Krav 3,49%)		Ok
	2001 Norcem Std FA : Avvikelse fra ønsket : -0,11% (Krav 3,49%)		Ok
	3001 Silica : Avvikelse fra ønsket : 1,32% (Krav 3,49%)		Ok
	Vann : Avvikelse fra ønsket : 0,10% (Krav 3,49%)		Ok
	6014 Dynamon SX-23 : Avvikelse fra ønsket : -0,17% (Krav 5,49%)		Ok
	6105 Mapefast HA : Avvikelse fra ønsket : 0,00% (Krav 5,49%)		Ok

## BLANDESKEMA FOR BETONGØST

Reseptnummer	BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.1
Dato utført	16.03.2021

Mengde biokull per sekk [kg]	430
Total antall kubikk [m <sup>3</sup> ]	4,77
Total antall liter [L]	4772,48
Prosent betong uten Å/B	71,90%

Antall kubikk i maskinen [m <sup>3</sup> ]	3,29
--	------

HVA SOM SKAL I BILEN - PUKK OG BOKULL		
Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Oppveid** kg
Norcem Standard FA		
Elkem Microsilica		
Fritt vann		
Absorbert vann		
Ramlo 0/8 mm nat. vask.		
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Gjølme 8/16mm	238,4	1143,447
Gjølme 16/22 mm	238,4	1143,447
Biokull lab	90,1	430,000
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23		
Master X-Seed 100		
Mapei Demper RM		

HVA SOM SKAL I BLANDEMASKINEN - MATRIKS		
Materialer	Resept generelt kg/m <sup>3</sup>	Resept blandemaskin kg/m <sup>3</sup>
Norcem Standard FA	300,0	417,2
Elkem Microsilica	15,8	22,0
Fritt vann	110,5	153,7
Absorbert vann	167,5	233,0
Ramlo 0/8 mm nat. vask.	850,4	1182,7
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Gjølme 8/16mm		
Gjølme 16/22 mm		
Biokull lab		
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23	4,4	6,1
Master X-Seed 100		
Mapei Demper RM	2,0	2,8

# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W...: -@...:

## Pukk

Resept: BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.1

Dato utført: 16.03.2021

Blandelog

SP ABEL

### Følgeseddel opplysninger

Flgsdl: **107180955** Dato: **16.03.2021 08:47:09** Bl.mester: **Terje**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9379**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **2** Satsstr: **0,00** Prod m³: **0,00**  
VC forhold: **0,000** Flg m³: **1,00/(NAN)** Standard: **NS206**  
Resept: **Pukk Biokullbetong Pukk 8/16 - 16/22**

### Vekt sats opplysninger

Materiale <small>Ønsket mat/silo i 1. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Sats 2					Vanninnhold
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	
1672 Ncc Gjølme 8-16	5	572		569		0,30 <sup>M</sup>	1,70	574	3	571		0,30 <sup>M</sup>	1,71
1673 Ncc Gjølme16-22	8	576		576		1,00 <sup>M</sup>	5,69	575	-1	570		1,00 <sup>M</sup>	5,63
Tilslag total		1147		1145	<b>-0,18</b>			1149		1142	<b>-0,68</b>		
<b>Total Kg</b>		<b>1147</b>		<b>1145</b>			<b>7,39</b>	<b>1149</b>		<b>1142</b>			<b>7,34</b>

Materiale <small>Ønsket mat/silo i 1. sats fra resepten</small>	Silo	Less		
		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1672 Ncc Gjølme 8-16	5	1143	1140	-0,26
1673 Ncc Gjølme16-22	8	1151	1147	-0,42
Tilslag total		2295	2287	<b>-0,34</b>
<b>Total Kg</b>		<b>2295</b>	<b>2287</b>	

Utefinerede Kg	Tilslag
Satsnr.	
1	7,33
2	4,88
Ialt	12,21

### Øvrige sats opplysninger

Satsnr.	Blander			
	Efter Blandetidspedvann ant:	Wattmeter	Blander	Temperatur
Ønsket	75,0			
1	24,0	19,0	Blander 2	17,2
2	7,0	20,0	Blander 2	16,9

### Øvrige less opplysninger

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,000	0,000	0,000
Totale kg i less	2295	2287	-0,3
Frit vann	14,79	14,73	-0,4 %
Ekv.sem.mengde	0,00	0,00	%



# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W... -@...;



Pukk	
Resept:	BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.1
Dato utført:	16.03.2021

Blandelog

SP ABEL

NS-EN 206:2013+NA:2014

	Oppnådd ialt	Pr. m <sup>3</sup>	Ikke godkjent
Max. VC-Forhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	0,000	NAN	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
SKB robusthet nedre tolerance:	-0,057		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	-0,057		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	0,00		Ok (Ingen krav)
Flyveaske, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	Tilslag : Afvikelse fra ønsket : -0,34% (Krav 3,49%)		Ok
	<b>Vann Doseringstoleranse overskredet : NAN% &gt; 3,49%</b>		<b>Ok</b>

# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W..: -@..:

## Matriks

Resept: BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.1

Dato utført: 16.03.2021

Blandelog

SP ABE.

### Følgeseddel opplysninger

Flgsdl: **107180957** Dato: **16.03.2021 09:07:16** Bl.mester: **Terje**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9379**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **3** Satsstr: **1,09** Prod m³: **3,28**  
VC forhold: **0,891** Flg m³: **3,30/(3,293)** Standard: **NS206**  
Resept: **BØ-S35-78-150-5 BØ-S35-78-150-5-Ld**

### Vekt sats opplysninger

Materiale <small>Ønsket mat/silo i i. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Sats 2					Vanninnhold
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	
1662 RAMLO 0-8	7	1388		1365		6,70 <sup>M</sup>	85,32	1410	23	1393		6,70 <sup>M</sup>	87,07
<b>Tilslag total</b>		<b>1388</b>		<b>1365</b>	<b>-1,63</b>			<b>1410</b>		<b>1393</b>	<b>-1,22</b>		
2001 Norcem Std FA	1	458,9		455,7				462,2	3,2	461,8			
3001 Silica	6	24,2		24,3				24,1	-0,1	21,4			
5001 Kaldt vann	1	338,6		339,4			339,44	337,8	-0,8	340,2			340,17
5010 Varmt vann	3	0,0		0,0			0,00	0,0	0,0	0,0			0,00
<b>Vann total</b>		<b>338,6</b>		<b>339,4</b>	<b>0,24</b>			<b>337,8</b>		<b>340,2</b>	<b>0,69</b>		
6014 Dynamon SX-23	4	6,71		6,72	<b>0,08</b>		5,17	6,70	-0,01	6,69	<b>-0,20</b>		5,15
Skyllevann													
HoldVann				0,0			0,00			0,0			0,00
<b>Total Kg</b>		<b>2216</b>		<b>2191</b>			<b>429,93</b>	<b>2241</b>		<b>2223</b>			<b>432,40</b>

Materiale <small>Ønsket mat/silo i i. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 3					Vanninnhold	Less		
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1662 RAMLO 0-8	7	1405	17	1394		6,70 <sup>M</sup>	87,15	4163	4153	-0,25
<b>Tilslag total</b>		<b>1405</b>		<b>1394</b>	<b>-0,75</b>			<b>4163</b>	<b>4153</b>	<b>-0,25</b>
2001 Norcem Std FA	1	459,3	0,3	460,1				1376,8	1377,6	<b>0,06</b>
3001 Silica	6	26,9	2,7	27,8				72,6	73,6	<b>1,31</b>
5001 Kaldt vann	1	334,8	-2,3	334,2			334,19	1014,4	1013,8	-0,06
5010 Varmt vann	3	0,0	0,0	0,0			0,00	0,0	0,0	0,00
<b>Vann total</b>		<b>334,8</b>		<b>334,2</b>	<b>-0,18</b>			<b>1014,4</b>	<b>1013,8</b>	<b>-0,06</b>
6014 Dynamon SX-23	4	6,72	0,01	6,74	<b>0,25</b>		5,19	20,13	20,15	<b>0,08</b>
Skyllevann		1,5		1,5			1,50	1,5	1,5	
HoldVann				-13,3			-13,31		-13,3	
<b>Total Kg</b>		<b>2234</b>		<b>2211</b>			<b>414,72</b>	<b>6649</b>	<b>6626</b>	

Utefinerede Kg				
	Tilslag	Pulver	Vand	Kemi
Satsnr.				
1	-3,66	8,79	5,37	0,34
2	-1,22	-0,88	5,37	0,02
3	-2,44	1,17	0,12	-0,02
Ialt	-7,33	9,08	10,87	0,34

### Øvrige sats opplysninger

Satsnr.	Blander			
	Efter		Blander	Temperatur
Ønsket	Blandetidspedvann ant:	Wattmeter		
Ønsket	75,0			
1	202,0		9,0 Blander 2	15,2
2	143,0		9,0 Blander 2	13,3
3	148,0		8,0 Blander 2	11,9

**Betong Øst Orkanger**

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W... - @...:

**Matriks**

Resept: BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.1

Dato utført: 16.03.2021

Blandelog

SP ABEL

**Øvrige less opplysninger**

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,891	0,880	-0,011
Totale kg i less	6649	6626	-0,3
Frit vann	1291,61	1277,04	-1,1 %
Ekv.sem.mengde	1449,36	1451,14	0,1 %

**NS-EN 206:2013+NA:2014**

	Oppnådd ialt	Pr. m <sup>3</sup>	Godkjendt
Max. VC-Forhold:	0,880		Ok (Krav:0,900)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	1451,135	443,059	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,086		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	20,966		Ok (Krav:22,927)
SKB robusthet nedre tolerance:	-4,415		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	-4,415		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,171		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,051		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	1,00		Ok (Ingen krav)
Anvendt silika k-verdi:	1,00		Ok (Krav:1,00)
Flyveaske, Ren sement andel:	74,05		Ok (Krav:65,00)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	Tilslag : Afvikelse fra ønsket : -0,25% (Krav 3,49%)		Ok
	2001 Norcem Std FA : Afvikelse fra ønsket : 0,06% (Krav 3,49%)		Ok
	3001 Silica : Afvikelse fra ønsket : 1,31% (Krav 3,49%)		Ok
	Vann : Afvikelse fra ønsket : -0,06% (Krav 3,49%)		Ok
	6014 Dynamon SX-23 : Afvikelse fra ønsket : 0,08% (Krav 5,49%)		Ok



## BLANDESKEMA FOR BETONGØST

Reseptnummer	BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2
Dato utført	24.03.2021

Mengde biokull per sekk [kg]	230
Total antall kubikk [m <sup>3</sup> ]	2,55
Total antall liter [L]	2552,72
Prosent betong uten Å/B	71,90%

Antall kubikk i maskinen [m <sup>3</sup> ]	1,76
--	------

HVA SOM SKAL I BILEN - PUKK OG BOKULL		
Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Oppveid** kg
Norcem Standard FA		
Elkem Microsilica		
Fritt vann		
Absorbert vann		
Ramlo 0/8 mm nat. vask.		
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Gjølme 8/16mm	238,4	611,611
Gjølme 16/22 mm	238,4	611,611
Biokull lab	90,1	230,000
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23		
Master X-Seed 100		
Mapei Demper RM		

HVA SOM SKAL I BLANDEMASKINEN - MATRIKS		
Materialer	Resept generelt kg/m <sup>3</sup>	Resept blandemaskin kg/m <sup>3</sup>
Norcem Standard FA	300,0	417,2
Elkem Microsilica	15,8	22,0
Fritt vann	110,5	153,7
Absorbert vann	167,5	233,0
Ramlo 0/8 mm nat. vask.	850,4	1182,7
Årdal 0/2 mm nat. vask		
Gjølme 8/16mm		
Gjølme 16/22 mm		
Biokull lab		
Biokull bil (antatt)		
Mapei Dynamon SX-23	4,4	6,1
Master X-Seed 100		
Mapei Demper RM	2,0	2,8

Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W... - @...:

**Pukk**

Resept: BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2

Dato utført: 24.03.2021

Blandelog

SR APBL

**Følgeseddel opplysninger**

Flgsdl: **107181096** Dato: **24.03.2021 08:58:25** Bl.mester: **Terje**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9379**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **1** Satsstr: **0,00** Prod m³: **0,00**  
VC forhold: **0,000** Flg m³: **1,00/(NAN)** Standard: **NS206**  
Resept: **Pukk Biokullbetong Pukk 8/16 - 16/22**

**Vekt sats opplysninger**

Materiale <small>Ønsket mat/silo ? 1. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Less		
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1672 Ncc Gjølme 8-16	1	613		609		0,50 <sup>M</sup>	3,03	613	609	-0,61
1673 Ncc Gjølme16-22	8	616		612		1,00 <sup>M</sup>	6,04	616	612	-0,71
Tilslag total		1229		1221	<b>-0,66</b>			1229	1221	<b>-0,66</b>
<b>Total Kg</b>		<b>1229</b>		<b>1221</b>			<b>9,07</b>	<b>1229</b>	<b>1221</b>	

Utefinerede Kg	Tilslag
Satsnr.	
1	2,44
Ialt	2,44

**Øvrige sats opplysninger**

Satsnr.	Blander			
	Efter Blandetidspedvann ant	Wattmeter	Blander	Temperatur
Ønsket	75,0			
1	4,0	23,0	Blander 2	17,6

**Øvrige less opplysninger**

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,000	0,000	0,000
Totale kg i less	1229	1221	-0,7
Frit vann	9,13	9,07	-0,7 %
Ekv.sem.mengde	0,00	0,00	%

**NS-EN 206:2013+NA:2014**

	Oppnådd ialt	Pr. m³	Ikke godkjent
Max. VC-Forhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	0,000	NAN	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	0,000		Ok (Krav:0,000)
SKB robusthet nedre tolerance:	-0,062		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	-0,062		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,000		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	0,00		Ok (Ingen krav)
Flyveaske, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	Tilslag : Afvikelse fra ønsket : -0,66% (Krav 3,49%)		Ok
	<b>Vann Doseringtoleranse overskredet : NAN% &gt; 3,49%</b>		<b>Ok</b>

# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W...: - @...:

## Matriks

Resept: BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2

Dato utført: 24.03.2021

Blandelog

SP ABEL

### Følgeseddel opplysninger

Flgsdl: **107181097** Dato: **24.03.2021 09:11:07** Bl.mester: **Terje**  
K/P: **310001 - Con-Form Produksjon AS avd Orkanger / 51260 - FABRIKK GRØNØRA**  
Bil: **9379**  
Type: **Fastresept** Synkmål: **200 mm**  
Satse: **2** Satsstr: **0,91** Prod m<sup>3</sup>: **1,83**  
VC forhold: **0,891** Flg m<sup>3</sup>: **1,80/(1,796)** Standard: **NS206**  
Resept: **BØ-S35-78-150-5 BØ-S35-78-150-5-Ld**

### Vekt sats opplysninger

Materiale <small>Ønsket mat/silo i i. sats fra resepten</small>	Silo	Sats 1					Sats 2						
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	Vanninnhold	Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afvikelse %	FUKT %	Vanninnhold
1662 RAMLO 0-8	6	1117		1151		5,00 <sup>M</sup>	54,57	1083	-34	1162		5,00 <sup>M</sup>	55,09
<b>Tilslag total</b>		<b>1117</b>		<b>1151</b>	<b>3,04</b>			<b>1083</b>		<b>1162</b>	<b>7,29</b>		
2001 Norcem Std FA	1	375,5		374,2				376,7	1,3	378,0			
3001 Silica	6	19,8		21,1				18,5	-1,3	19,0			
5001 Kaldt vann	1	295,1		297,1			297,07	291,6	-2,0	290,7			290,72
5010 Varmt vann	3	0,0		0,0			0,00	0,0	0,0	0,0			0,00
<b>Vann total</b>		<b>295,1</b>		<b>297,1</b>	<b>0,68</b>			<b>291,6</b>		<b>290,7</b>	<b>-0,29</b>		
6014 Dynamon SX-23	4	5,49		5,49	<b>0,08</b>		4,23	5,49	0,00	5,49	<b>0,16</b>		4,23
Skyllevann								1,5		1,5			1,50
<b>Total Kg</b>		<b>1813</b>		<b>1849</b>			<b>355,87</b>	<b>1777</b>		<b>1857</b>			<b>351,54</b>

Materiale <small>Ønsket mat/silo i i. sats fra resepten</small>	Silo	Less		
		Ønsket	Oppnådd	Afvikelse %
1662 RAMLO 0-8	6	2235	2314	3,54
<b>Tilslag total</b>		<b>2235</b>	<b>2314</b>	<b>3,54</b>
2001 Norcem Std FA	1	751,0	752,2	<b>0,17</b>
3001 Silica	6	39,6	40,1	<b>1,38</b>
5001 Kaldt vann	1	588,6	587,8	-0,15
5010 Varmt vann	3	0,0	0,0	0,00
<b>Vann total</b>		<b>588,6</b>	<b>587,8</b>	<b>-0,15</b>
6014 Dynamon SX-23	4	10,98	10,99	<b>0,08</b>
Skyllevann		1,5	1,5	
<b>Total Kg</b>		<b>3626</b>	<b>3706</b>	

Utefinerede Kg				
	Tilslag	Pulver	Vand	Kemi
Satsnr.				
1	-6,11	4,10	-1,83	0,12
2	-3,66	-1,17	-2,56	0,00
Ialt	-9,77	2,93	-4,40	0,12

### Øvrige sats opplysninger

Satsnr.	Blander			
	Efter			
	Blandetidspedvann ant:	Wattmeter	Blander	Temperatur
Ønsket	75,0			
1	173,0	12,0	Blander 2	14,6
2	108,0	12,0	Blander 2	12,9

# Betong Øst Orkanger

Grønøra Vest  
7300 Orkanger  
Tel.: 815 11 302  
W...: -@...:

## Matriks

Resept: BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2

Dato utført: 24.03.2021

Blandelog

SR ABEL

### Øvrige less opplysninger

	Ønsket	Oppnådd	Afvikelse
VC-Forhold	0,891	0,893	0,002
Totale kg i less	3626	3706	2,2
Frit vann	704,51	707,41	0,4 %
Ekv.sem.mengde	790,56	792,38	0,2 %

### NS-EN 206:2013+NA:2014

	Oppnådd ialt	Pr. m <sup>3</sup>	Ikke godkjent
Max. VC-Forhold:	0,893		Ok (Krav:0,900)
Min. fiberindhold:	0,000		Ok (Ingen krav)
Effektiv Bindemiddel (EN206):	792,381	433,384	Ok (Krav:225,00)
Max. Klorid/bindemiddel forhold:	0,086		Ok (Krav:0,100)
Max. alkali innhold:	11,448		Ok (Krav:12,798)
SKB robusthet nedre tolerance:	1,609		Ok (Ingen krav)
SKB robusthet øvre tolerance:	1,609		Ok (Ingen krav)
Flyveaske/bindemiddel forhold:	0,171		Ok (Krav:0,350)
Silika/bindemiddel forhold:	0,051		Ok (Krav:0,110)
Anvendt sement k-verdi:	1,00		Ok (Ingen krav)
Anvendt silika k-verdi:	1,00		Ok (Krav:1,00)
Flyveaske, Ren sement andel:	74,05		Ok (Krav:65,00)
Slagg, Ren sement andel:	0,00		Ok (Ingen krav)
Doseringtoleranse:	<b>Tilslag Doseringstoleranse overskredet : 3,54% &gt; 3,49%</b>		
	2001 Norcem Std FA : Afvikelse fra ønsket : 0,17% (Krav 3,49%)		Ok
	3001 Silica : Afvikelse fra ønsket : 1,38% (Krav 3,49%)		Ok
	Vann : Afvikelse fra ønsket : -0,15% (Krav 3,49%)		Ok
	6014 Dynamon SX-23 : Afvikelse fra ønsket : 0,08% (Krav 5,49%)		Ok

## **Appendiks A.4**

Blandeskjema for reseptene til biokullstaver:

Biokullstaver - 1

Biokullstaver - 2

# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	Biokullstav - 1
Tilskt kvalitet	Stav

Blandeolum	15 liter
Dato:	04.mar
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Norcem Standard FA	245,7	3,685			3,685	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	20,5	0,307	0,0	0,000	0,307	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	143,3	2,149	0,0	0,000	2,149	
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Slagg	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Fritt vann	143,3	2,149		-0,024	2,126	
Absorbert vann	63,9	0,959			0,959	3,084
Årdal 0/8 mm nat. vask.	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Biokull staver	213,0	3,195	0,0	0,000	3,195	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Biokull lab	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Mapei Dynamon SX-23	2,0	0,031	77	0,024	0,031	
Master X-Seed 100	0,0	0,000	78	0,000	0,000	
MasterCast 202 (Ld)	0,0	0,000	91,7	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

Delark "Blandeskjema"



# Blandeskjema

**SKANSKA**

Prosjekt	Biokull i betong
Reseptnummer	Biokullstav - 2
Tilsiktet kvalitet	Stav

Blandeolum	20 liter
Dato:	22.mar
Tidspunkt for vanntilsetning:	
Ansvarlig:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse, Vibeke H. Solheim

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Standard FA	244,1	4,883			4,883
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	29,1	0,581	0,0	0,000	0,581
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	145,3	2,906	0,0	0,000	2,906
Normineral flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Filler	162,8	3,255	0,0	0,000	3,255
Fritt vann	167,4	3,348		-0,045	3,303
Absorbert vann	106,5	2,130			2,130
Årdal 0/8 mm nat. vask.	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 0/2 mm nat. vask	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Biokull staver	213,0	4,260	0,0	0,000	4,260
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Biokull lab	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Biokull bil (antatt)	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Filler	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-23	2,9	0,058	77	0,045	0,058
Master X-Seed 100	0,0	0,000	78	0,000	0,000
MasterCast 202 (Ld)	0,0	0,000	91,7	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

5,433

Delark "Blandeskjema"



# **Appendiks B.1**

EPD Con-Form veggelement

## ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025 ISO 21930 EN 15804

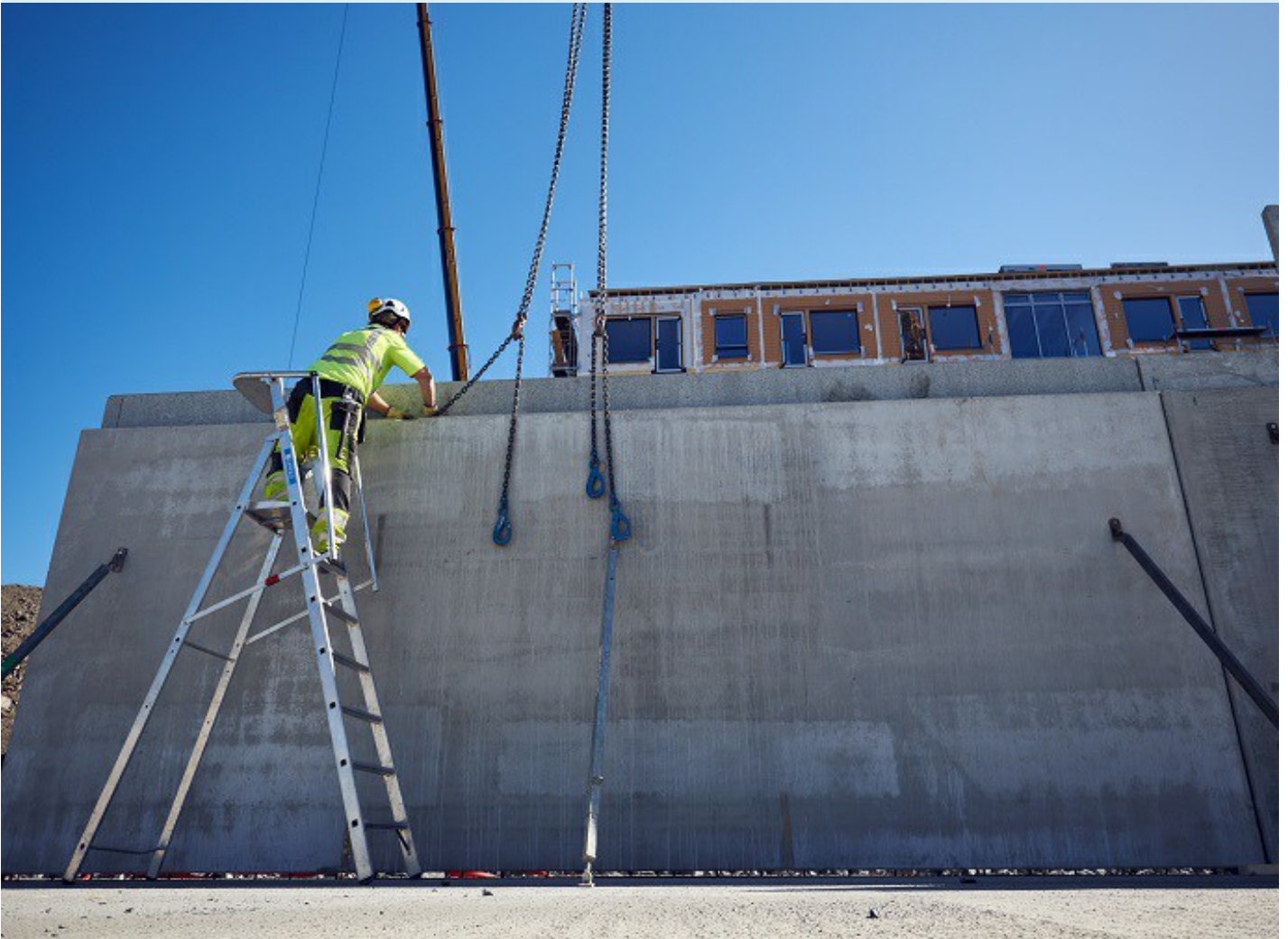
Eier av deklarasjonen:	Con-Form AS
Programoperatør:	Þö íð * ä^o Áúæo •^Áí !Á áúæ^ ææð }^!
Utgiver:	Þö íð * ä^o Áúæo •^Áí !Á áúæ^ ææð }^!
Deklarasjon nummer:	Þ Ö Ú Ö Æ F Í J È Í Æ Æ U
Godkjent dato:	Þ Ö Æ Í Æ Æ F Í
Gyldig til:	Þ Ö Æ Í Æ Æ F

### Con-Form Veggelementer (skallvegg)

Con-Form AS



[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)





## Produkt

### Produktbeskrivelse:

Elementene består av to betongplater armert med nett og sammenbundet med gitterdragere av stål. Tykkelsen på hver av platene er 40-60 mm. Kan leveres i ulike tykkelser fra 180mm-420mm. Hulrommet i elementene kan benyttes til tekniskeføringer for VVS og Elektro. I betongplatene kan det støpes inn elbokser, elrør, ventilstusser etc. Som standard kan elementene leveres i størrelse 3m x 7,4m. elementene

### Tekniske data:

Bedriften er sertifisert av "Kontrollrådet for betongprodukter" iht følgende godkjenninger for dette produktet:  
NS-EN 13369 Felles regler for prefabrikerte betongprodukter.  
NS-EN 14992 Veggelementer.

### Markedsområde:

Norge og Sverige.

### Levetid:

Som for bygninger

### Produktspesifikasjon:

Betong B30 overdekning =20  
Eksponeringsklasse: XC1  
Armering kamstål B500BT

Materials	Percent
Cement	11,35
Aggregate	44,07
Filler	34,31
Water	6,86
Chemicals	0,08
Reinforcement	3,33

## LCA: Beregningsregler

### Deklarert enhet:

1 m2 Con-Form Veggelementer (skallvegg)

### Cut-off kriterier:

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (<1%) er ikke inkludert.

### Allokering:

Allokering er gjort i hht. bestemmelser i EN 15804. Inngående energi og vann, samt produksjon av avfall i egen produksjon er allokert likt mellom alle produktene gjennom masseallokering. Påvirkning for primærproduksjonen av resirkulerte materialer er allokert til hovedproduktet der materialet ble brukt. Resirkuleringsprosessen og transport av materialet er allokert til denne analysen.

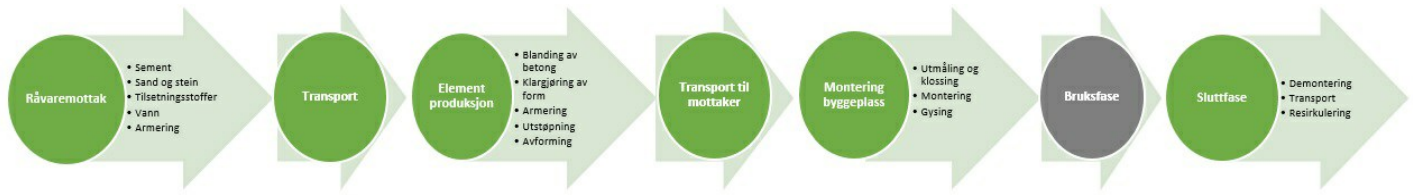
### Datakvalitet:

All ekstern data er hentet ut fra en EPD-generator utviklet av Østfoldforskning i samarbeid med Betongelementforeningen. Bakgrunnsdata er basert (som betong, stål, sand og transport)på data som er tredjepartsverifisert. Den interne datakvaliteten er basert på produksjonstegning for produktet, og forbrukstall fra fabrikken for 2015.

Materials	Data quality	Source	Year
Cement	EPD	NEPD 210, 13	2012
Water	0	0	0
Filler	0	0	0
Aggregate	Supplier data	Østfoldforskning	2013
Chemicals	European average	Efca	0
Reinforcement	Database	Østfoldforskning	2012

Alle prosesser fra råvareuttak til ferdig montert er inkludert i analysen samt avhending.

**Flytskjema:**



**Teknisk tilleggsmasjjon**

Bedriften innførte Lean i 2012 og benytter miljøstyringssystem basert på ISO 14001.

## LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

### Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	53 %	Truck, EURO 5	40	0,020216	l/tkm	0,81
Jernbane	.	.	.	.	.	.
Båt	.	.	.	.	.	.
Annet	.	.	.	.	.	.

### Byggefase A5

.	Enhet	Verdi
Hjelpematerialer	kg	0
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	14,000
Andre energikilder	MJ	0
Materialtap	kg	0
Materialer fra avfallsbehandling	kg	255,000
Støv i luften	kg	0

### Monterte produkter i bruk (B1)

.	Enhet	Verdi
Ingen påvirkning	0	0

### Vedlikehold (B2)/Reparasjon (B3)

.	Enhet	Verdi
Vedlikeholdsfrekvens*	.	0
Hjelpematerialer	kg	0
Andre ressurser	kg	0
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	0
Andre energikilder	MJ	0
Materialtap	kg	0

### Utskifting (B4)/Renovering (B5)

.	Enhet	Verdi
Utskiftingsfrekvens*	stk	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	0
Utskifting av slitte deler	0	0

\* Tall eller referanselevetid

### Drifts energi (B6) og vannbruk (B7)

.	Enhet	Verdi
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	0
Andre energikilder	MJ	0
Utstyrets varmeeffekt	kW	0

### Sluttfase (C1,C3,C4)

.	Enhet	Verdi
Farlig avfall	kg	0
Blandet avfall	kg	0
Gjenbruk	kg	0
Resirkulering	kg	0
Energigjenvinning	kg	0
Til deponi	kg	0

### Transport avfallsbehandling (C2)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	53 %	Truck, EURO 5	80	0,020216	l/tkm	1,62
Jernbane	.	.	.	.	.	.
Båt	.	.	.	.	.	.
Annet	.	.	.	.	.	.

### Gevinst og belastninger etter endt levetid (D)

## LCA: Resultater

### Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklart, MNR=modul ikke relevant)

Product stage					Construction installation stage	User stage							End of life stage				Beyond the system boundaries
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons- / installasjonsfase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk/gjenvinning/ resirkulering potensiale	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	X	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	X	X	MNR	MNR	MNR	

### Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
GWP	kg CO <sub>2</sub> -eq	3,04E+001	2,23E+000	5,19E-001	3,39E-003	3,54E-001	1,09E+000	6,77E-003
ODP	kg CFC11 -eq	0,00E+000	0,00E+000	7,12E-008	0,00E+000	2,80E-008	3,64E-007	0,00E+000
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	1,54E-001	7,87E-003	3,48E-003	1,20E-005	1,98E-003	6,74E-003	2,40E-005
AP	kg SO <sub>2</sub> -eq	5,01E-002	1,64E-003	1,17E-003	2,00E-006	1,08E-003	3,57E-003	5,00E-006
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	7,73E-003	3,96E-004	1,19E-004	1,00E-006	9,44E-005	3,04E-004	1,00E-006
ADPM	kg Sb -eq	1,00E-005	0,00E+000	5,42E-006	0,00E+000	8,75E-006	2,45E-005	0,00E+000
ADPE	MJ	2,09E+002	3,41E+001	6,01E+000	5,17E-002	2,85E+000	1,22E+001	1,03E-001

**GWP** Globalt oppvarmingspotensial; **ODP** Potensial for nedbryting av stratosfærisk ozon; **POCP** Potensial for fotokjemisk oksidantdannning; **AP** Forsurningspotensial for kilder på land og vann; **EP** Overgjødslingspotensial; **ADPM** Abiotisk uttømmingspotensial for ikke-fossile ressurser; **ADPE** Abiotisk uttømmingspotensial for fossile ressurser



### Ressursbruk (Resource use)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
RPEE	MJ	8,26E+001	5,24E-001	3,47E+001	7,94E-004	5,71E+001	3,77E+001	1,59E-003
RPEM	MJ	2,63E+000	1,61E-001	2,42E-001	2,43E-004	3,92E-001	1,56E-001	4,86E-004
TRPE	MJ	8,53E+001	6,85E-001	3,50E+001	1,04E-003	5,75E+001	3,78E+001	2,08E-003
NRPEE	MJ	2,24E+002	3,48E+001	7,21E+000	5,27E-002	4,69E+000	4,90E+001	1,05E-001
NRPEM	MJ	8,39E-001	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
TNRPE	MJ	2,25E+002	3,48E+001	7,21E+000	5,27E-002	4,69E+000	4,90E+001	1,05E-001
SM	kg	9,39E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
RSF	MJ	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
NRSF	MJ	1,47E+001	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
W	m <sup>3</sup>	1,29E+002	3,11E-002	2,73E-001	4,70E-005	4,30E-001	2,82E-001	9,40E-005

**RPEE** Fornybar primærenergi brukt som energibærer; **RPEM** Fornybar primærenergi brukt som råmateriale; **TRPE** Total bruk av fornybar primærenergi; **NRPEE** Ikke fornybar primærenergi brukt som energibærer; **NRPEM** Ikke fornybar primærenergi brukt som råmateriale; **TNRPE** Total bruk av ikke fornybar primærenergi; **SM** Bruk av sekundære materialer; **RSF** Bruk av fornybart sekundære brensel; **NRSF** Bruk av ikke fornybart sekundære brensel; **W** Netto bruk av ferskvann

### Livsløpets slutt - Avfall (End of life - Waste)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
HW	kg	9,94E-004	2,60E-005	1,01E-003	0,00E+000	7,49E-006	4,56E-005	0,00E+000
NHW	kg	4,74E+000	3,45E+000	1,13E+000	5,23E-003	5,12E-001	1,22E+000	1,05E-002
RW	kg	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000

**HW** Avhendet farlig avfall; **NHW** Avhendet ikke-farlig avfall; **RW** Avhendet radioaktivt avfall

### Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer (End of life - Output flow)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
CR	kg	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
MR	kg	1,25E+000	0,00E+000	9,65E-001	0,00E+000	2,55E+002	4,73E+002	0,00E+000
MER	kg	3,06E-003	0,00E+000	1,94E-001	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
EEE	MJ	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
ETE	MJ	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000

**CR** Komponenter for gjenbruk; **MR** Materialer for resikulering; **MER** Materialer for energigjenvinning; **EEE** Eksportert elektrisk energi; **ETE** Eksportert termisk energi

## Norske tilleggskrav

### Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen

Følgende datasett fra databasen ecoinvent v3 (juni 2012) for norsk produksjonsmiks inkludert import, på lavspenning er benyttet; Energy/Electricity country mix/Low voltage/Market: Electricity, low voltage {NO}| market for | Alloc Def, U. Produksjon av overføringsnett, i tillegg til direkte utslipp og tap ved overføring, er inkludert. Karakteriseringsfaktorer fra EN15804:2012+A1:2013 er benyttet. Dette gir et klimagassutslipp på: 25 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh

### Farlige stoffer

Produktet er ikke tilført stoffer fra REACH kandidatliste over stoffer av svært stor bekymring, stoffer på den norske Prioritetslisten og stoffer som fører til at produktet blir klassifisert som farlig avfall. Det kjemiske innholdet i produktet er i samsvar med den norske produktforskriften. Begge lister sjekket februar 2016

### Inneklima

Produktet har ingen påvirkning på inneklima.

Produktet tilfredsstiller kravene til lavt forurensende (M1) etter EN 15251:2007 appendix E

## Bibliografi

NS-EN ISO 14025:2010 Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

NS-EN ISO 14044:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer

NS-EN 15804:2012+A1:2013 Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer

ISO 21930:2007 Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products.

-PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2012, [www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)

-Vold M. og Edvardsen T. (2014); EPD-generator for betongindustrien, Bakgrunnsinformasjon for verifisering, OR 04.14 Østfoldforskning, Fredrikstad.

	<b>epd-norge.no</b> The Norwegian EPD Foundation	<b>Programoperatør og utgiver</b> Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Pb. 5250 Majorstuen 0303 Oslo Norway	Telefon: +47 23 08 82 92  e-post: <a href="mailto:post@epd-norge.no">post@epd-norge.no</a> web: <a href="http://www.epd-norge.no">www.epd-norge.no</a>
	<b>Eier av deklarasjon</b> Con-Form AS Østensjøveien 36 0667 OSLO		Telefon: 95160670 Fax: e-post: <a href="mailto:christoffer.bakke@con-form.no">christoffer.bakke@con-form.no</a> web: <a href="http://www.con-form.no">www.con-form.no</a>
	<b>Østfoldforskning</b>	<b>Forfatter av livsløpsrapporten</b> Østfoldforskning AS Stadion 4 1671 Kråkerøy	Telefon: +47 69 35 11 00 Fax: +47 69 34 24 94 e-post: <a href="mailto:post@ostfoldforskning.no">post@ostfoldforskning.no</a> web: <a href="http://www.ostfoldforskning.no">www.ostfoldforskning.no</a>

## **Appendiks B.2**

EPD Standard-FA sement fra Norcem

# ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Eier av deklarasjonen:	Norcem AS
Programoperatør:	Nærings livets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgiver:	Nærings livets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklarasjonsnummer:	NEPD-2275-1028-NO
Publiseringsnummer:	NEPD-2275-1028-NO
ECO Platform registreringsnummer:	-
Godkjent dato:	07.08.2020
Gyldig til:	07.08.2025

## Norcem Standardsement FA, Brevik - CEM II/B-M 42,5 R

Norcem AS

**NORCEM**  
 HEIDELBERGCEMENT Group

[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)



## Generell informasjon

### Produkt:

Norcem Standardsement FA, Brevik - CEM II/B-M 42,5 R

### Programoperatør:

Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner  
Pb. 5250 Majorstuen, 0303 Oslo  
Phone: +47 23 08 80 00  
e-post: [post@epd-norge.no](mailto:post@epd-norge.no)

### Deklarasjonsnummer:

NEPD-2275-1028-NO

### ECO Platform registreringsnummer:

### Deklarasjonen er basert på PCR:

EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR  
EN 16908:2017 Cement and building lime

### Erklæring om ansvar:

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

### Deklarert enhet:

1 tonne Norcem Standardsement FA, Brevik - CEM II/B-M 42,5 R

### Deklarert enhet med opsjon:

A1,A2,A3,A4

### Funksjonell enhet:

### Verifikasjon:

Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14025:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4

Ekstern

Tredjeparts verifikator:

Sign



Ellen Soldal, Forsker

(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

### Eier av deklarasjonen:

Norcem AS  
Kontaktperson: Petter Thyholdt  
Telefon: +47 22 87 84 00  
e-post: [petter.thyholdt@norcem.no](mailto:petter.thyholdt@norcem.no)

### Produsent:

Norcem AS

### Produksjonssted:

Norcem AS, Brevik

### Kvalitet/Miljøsystem:

Miljøstyringsystem ISO 14001-sertifisert(S-007)  
Kvalitetssikringsystem ISO 9001- sertifisert (S-006)

### Org. no.:

934 949 145

### Godkjent dato: 07.08.2020

### Gyldig til: 07.08.2025

### Årstall for studien:

2020

### Sammenlignbarhet:

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

### Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:

Deklarasjonen er utviklet ved bruk av eEPD v4.0 fra LCA.no  
Godkjenning:  
Bedriftsspesifikke data er

Samlet og registrert av: Sigrun Bremseth

Kontrollert av: Petter Thyholdt

### Godkjent:

Sign



Håkon Hauan  
Daglig leder av EPD-Norge

## Produkt

### Produktbeskrivelse:

Norcem Standardsement FA er tilpasset norske forhold og kan benyttes til betong i alle eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasser. Standardsement FA gir bestandig betong også i kombinasjon med alkalireaktivt tilslag.

### Produktspesifikasjon:

Portland-composite cement.

Material	%
Klinker	73,34
Gips	4,21
Flygeaske	18,49
Kalkmelfiller	3,96

### Tekniske data:

CEM II/B-M 42,5 R

### Markedsområde:

### Levetid, produkt:

Avhengig av bruksområde.

### Levetid, bygg:

## LCA: Beregningsregler

### Deklarert enhet:

1 tonne Norcem Standardsement FA, Brevik - CEM II/B-M 42,5 R

### Cut-off kriterier:

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (mindre enn 1%) er ikke inkludert. Disse cut-off kriteriene gjelder ikke for farlige materialer og stoffer. Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (<1%) er ikke inkludert. Disse cut-off kriteriene gjelder ikke for farlige materialer og stoffer.

### Allokering:

Allokering følger regler gitt i EN 15804. For produksjonen hos Norcem er totalt forbruk registrert og fordelt på produserte produkter på vektbasis. I de tilfeller det benyttes et avfallsprodukt fra annen produksjon, allokeres miljøbelastninger knyttet til framstilling til den opprinnelige produksjonen. Alternativt brensel anses som avfallsprodukter fra annen produksjon. Påvirkninger knyttet til framstilling er allokert til den opprinnelige produksjonen, mens påvirkninger ved forbrenning er allokert til virksomheten som drar nytte av energien. Alt utslipp og forbruk av ressurser knyttet til produksjonen av elektrisitet og framstilling av andre energibærere som er benyttet i produksjon av råvarene, er allokert til råvarene og derved produktet i neste omgang.

### Datakvalitet:

Spesifikke data for produktsammensetningen er fremskaffet av produsenten. De representerer produksjonen av det deklarete produktet og ble samlet inn for EPD-utvikling i det oppgitte året for studien. Bakgrunnsdata er basert på registrerte EPDer i henhold til EN 15804, Østfoldforskning sine databaser, ecoinvent og andre LCA databaser. Datakvaliteten for råmaterialene i A1 er presentert i tabellen nedenfor.

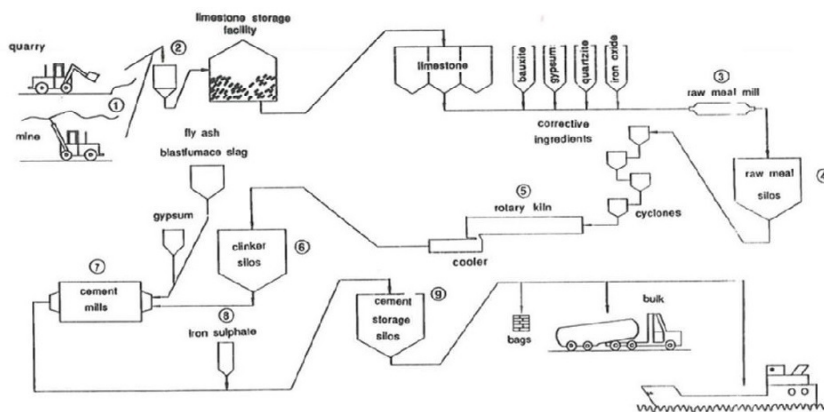
Materials	Source	Data quality	Year
SCM	TI, Denmark	EPD	2013
Additives	ecoinvent 3.4	Database	2017
Aggregate	ecoinvent 3.5	Database	2017
Binder	ecoinvent 3.5	Database	2018
Raw materials, Mineral	LCA.no	Database	2018
SCM	LCA.no	Database	2019
SCM	LCA.no estimate	Waste product, no impacts	2020



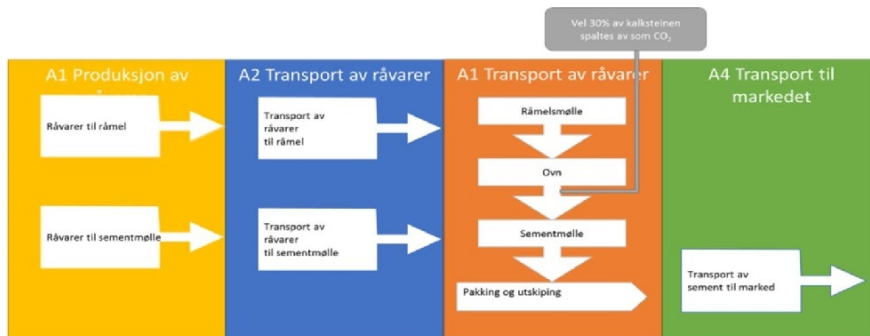
**Systemgrenser:**

Fra råvareuttak til marked

Flytskjemaet nedenfor illustrerer systemgrensene for analysen:



- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Uttak av kalkstein fra gruve og dagbrudd</li> <li>2. Knusing av kalkstein</li> <li>3. Maling av kalkstein og tilsetningstoffer til råmel</li> <li>4. Siloer for lagring og homogenisering</li> <li>5. Brenning av klinker i roterende ovn der materialene når en temperatur på 1450°C</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Siloer for lagring av klinker</li> <li>7. Maling av klinker med gips og andre tilsetninger for produksjon av sement</li> <li>8. Tilsetning av jernsulfat</li> <li>9. Lagring og utsendelse av sementen</li> </ol> |
|--|---|



**Teknisk tilleggsinformasjon**



## LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

### Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil					l/tkm	
Jernbane					l/tkm	
Båt	50,0 %	Transport Norcem Brevik - silo Slemmestad, Kristiansand, Sjursøya, Vige	1	0,005051	l/tkm	0,01
Annet					l/tkm	

Tilleggsinformasjon A4	Unit/Range	Value
Transport Norcem, Brevik - silo Slemmestad, Kristiansand, Sjursøya, Vige	km	163

### Byggefase A5

.	Enhet	Verdi
Hjelpematerialer	kg	
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Materialtap	kg	
Materialer til avfallsbehandling	kg	
Støv i luft	kg	
VOC utslipp	kg	

### Monterte produkter i bruk (B1)

.	Unit	Value

### Vedlikehold (B2)/Reparasjon (B3)

.	Enhet	Verdi
Vedlikeholdsfrekvens*	.	
Hjelpematerialer	kg	
Andre ressurser		
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Materialtap	kg	
VOC utslipp	kg	

### Utskifting (B4)/Renovering (B5)

.	Enhet	Verdi
Utskiftingsfrekvens*	stk	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Utskifting av slitte deler	0	

\* Tall eller referanselevetid

### Driftsenergi (B6) og vannbruk (B7)

.	Enhet	Verdi
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Utstyrets varmeeffekt	kW	

### Sluttfase (C)

.	Enhet	Verdi
Farlig avfall	kg	
Blandet avfall	kg	
Gjenbruk	kg	
Resirkulering	kg	
Energigjenvinning		
Til deponi		

### Transport avfallsbehandling (C2)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil					l/tkm	
Jernbane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annet					l/tkm	

Scenarier etter A1-A4 er ikke inkludert

## LCA: Resultater

### Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklarerert, MNR=modul ikke relevant)

Product stage				Construction installation stage	User stage								End of life stage				Beyond the system boundaries
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons/ installasjonsfase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk/gjenvinning/ resirkulering-potensiale	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	

### Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1-A3	A4
GWP	kg CO <sub>2</sub> -eq	5,82E+02	2,61E+00
ODP	kg CFC11 -eq	3,39E-06	4,88E-07
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	8,22E-03	5,25E-04
AP	kg SO <sub>2</sub> -eq	2,63E-01	1,97E-02
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	6,41E-02	4,17E-03
ADPM	kg Sb -eq	7,66E-05	8,13E-07
ADPE	MJ	1,13E+03	3,75E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0\*10<sup>-3</sup> = 0,009

\*INA Indicator Not Assessed

### Merknad om miljøpåvirkningen

Parameteren GWP (A1-A3) inkluderer 134.1 kg CO<sub>2</sub>-eq. fra forbrenning av alternativt fossilt brensel under klinkerproduksjonen. I henhold til "polluter pays"-prinsippet/EN 15804/ vil utslippet tillegges produksjons systemet som har forårsaket avfallet. I denne EPDen er CO<sub>2</sub>-bidraget fra alternativt fossilt brensel ikke trukket fra. Dette for å kunne sammenligne kalkulert global oppvarming fra sement uansett status av avfallet i ulike land.

### Ressursbruk (Resource use)

Parameter	Unit	A1-A3	A4
RPEE	MJ	5,41E+02	2,06E-01
RPEM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
TPE	MJ	5,41E+02	2,06E-01
NRPE	MJ	1,17E+03	3,78E+01
NRPM	MJ	0,00E+00	0,00E+00
TRPE	MJ	1,17E+03	3,78E+01
SM	kg	2,11E+02	0,00E+00
RSF	MJ	8,96E+02	0,00E+00
NRSF	MJ	1,10E+03	0,00E+00
W	m <sup>3</sup>	2,17E-01	3,42E-03

RPEE Renewable primary energy resources used as energy carrier; RPEM Renewable primary energy resources used as raw materials; TPE Total use of renewable primary energy resources; NRPE Non renewable primary energy resources used as energy carrier; NRPM Non renewable primary energy resources used as materials; TRPE Total use of non renewable primary energy resources; SM Use of secondary materials; RSF Use of renewable secondary fuels; NRSF Use of non renewable secondary fuels; W Use of net fresh water

Leseeksempel  $9,0 \text{ E-}03 = 9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

\*INA Indicator Not Assessed

### Livsløpets slutt - Avfall (End of life - Waste)

Parameter	Unit	A1-A3	A4
HW	kg	2,78E-04	1,58E-05
NHW	kg	5,01E+01	1,82E-01
RW	kg	INA*	INA*

HW Hazardous waste disposed; NHW Non hazardous waste disposed; RW Radioactive waste disposed

Leseeksempel  $9,0 \text{ E-}03 = 9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

\*INA Indicator Not Assessed

### Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer (End of life - Output flow)

Parameter	Unit	A1-A3	A4
CR	kg	0,00E+00	0,00E+00
MR	kg	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	INA*	INA*
ETE	MJ	INA*	INA*

CR Components for reuse; MR Materials for recycling; MER Materials for energy recovery; EEE Exported electric energy; ETE Exported thermal energy

Leseeksempel  $9,0 \text{ E-}03 = 9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

\*INA Indicator Not Assessed

## Norske tilleggskrav

### Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen

Nasjonal produksjonsmiks fra import, lavspenning (inkludert produksjon av overføringslinjer, i tillegg til direkte utslipp og tap i nett) er brukt for anvendt elektrisitet i produksjonsprosessen (A3). Bakgrunnsdata er presentert i tabellen under. Karakteriseringsfaktorer fra EN15804:2012+A1:2013 er benyttet.

Elektrisitetsmiks	Datakilde	Mengde	Enhet
El-mix, Norway (kWh)	ecoinvent 3.4	31,04	g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh

### Farlige stoffer

Produktet er ikke tilført stoffer fra REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten.

### Inneklima

## Bibliografi

- NS-EN ISO 14025:2010 Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.  
 NS-EN ISO 14044:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer  
 NS-EN 15804:2012+A1:2013 Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer  
 ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products.  
 ecoinvent v3, Allocation, cut-off by classification, Swiss Centre of Life Cycle Inventories.  
 Iversen et al., (2018) eEPD v3.0 - Background information for EPD generator system, LCA.no rapportnummer 04.18  
 Vold et al., (2019) EPD generator cement - Background information for customer application and LCA data, rapportnummer 03 and 04.19  
 NPCR Part A: Construction products and services. Ver. 1.0. April 2017, EPD-Norge.  
 NS-EN 16908:2017 Sement og bygningskalk - Miljødeklarasjoner - Produktkategoriregler som utfyller NS-EN 15804

<p><b>epd-norge.no</b> The Norwegian EPD Foundation</p>	<p><b>Programoperatør og utgiver</b> Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Pb. 5250 Majorstuen 0303 Oslo Norway</p>	<p>Telefon: +47 23 08 80 00 e-post: <a href="mailto:post@epd-norge.no">post@epd-norge.no</a> web: <a href="http://www.epd-norge.no">www.epd-norge.no</a></p>
	<p><b>Eier av deklarasjon</b> Norcem AS Lilleakerveien 2A 0283 Oslo</p>	<p>Telefon: +47 22 87 84 00 Fax: e-post: <a href="mailto:petter.thyholdt@norcem.no">petter.thyholdt@norcem.no</a> web: <a href="http://www.norcem.no">www.norcem.no</a></p>
	<p><b>Forfatter av livsløpsrapporten</b> LCA.no AS Dokka 1C 1671 Kråkerøy</p>	<p>Telefon: +47 916 50 916 Fax: e-post: <a href="mailto:post@lca.no">post@lca.no</a> web: <a href="http://www.lca.no">www.lca.no</a></p>
	<p><b>Utvikler av EPD-generator</b> LCA.no AS Dokka 1C 1671 Kråkerøy</p>	<p>Telefon: +47 916 50 916 e-post: <a href="mailto:post@lca.no">post@lca.no</a> web: <a href="http://www.lca.no">www.lca.no</a></p>

## **Appendiks B.3**

EPD Kamstål til bruk i betong

## ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804

Eier av deklarasjonen:	Norsk Stål AS
Programoperatør:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Utgiver:	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner
Deklarasjonsnummer:	NEPD-2375-1108-NO
Publiseringsnummer:	NEPD-2375-1108-NO
ECO Platform registreringsnummer:	-
Godkjent dato:	11.09.2020
Gyldig til:	11.09.2025

### Kamstål til bruk i betong

Norsk Stål AS



[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)



## Generell informasjon

**Produkt:**

Kamstål til bruk i betong

**Programoperatør:**

Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner  
Pb. 5250 Majorstuen, 0303 Oslo  
Phone: +47 23 08 80 00  
e-post: [post@epd-norge.no](mailto:post@epd-norge.no)

**Deklarasjonsnummer:**

NEPD-2375-1108-NO

**ECO Platform registreringsnummer:****Deklarasjonen er basert på PCR:**

EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR  
NPCR 013:2019 Part B for Steel and aluminium construction products

**Erklæring om ansvar:**

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

**Deklarert enhet:**

1 kg Kamstål til bruk i betong

**Deklarert enhet med opsjon:**

A1,A2,A3,A4,D

**Funksjonell enhet:****Verifikasjon:**

Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14025:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4

Ekstern

Tredjeparts verifikator:

Sign



Fredrik Moltu Johnsen

(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

**Eier av deklarasjonen:**

Norsk Stål AS  
Kontaktperson: Morten Johnsen  
Telefon: +47 90 11 58 88  
e-post: [mj@norskstaal.no](mailto:mj@norskstaal.no)

**Produsent:**

Norsk Stål AS

**Produksjonssted:****Kvalitet/Miljøsystem:**

ISO 9001:2015, ISO14001:2018, ISO45001:2015, NS-EN 1090, NS-EN 10080:2005, NS 3576-2:2012, NS 3576-3:2012

**Org. no.:**

959 493 715

**Godkjent dato:** 11.09.2020**Gyldig til:** 11.09.2025**Årstall for studien:**

2020

**Sammenlignbarhet:**

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

**Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:**

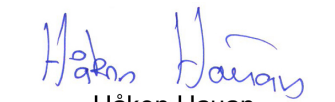
Deklarasjonen er utviklet ved bruk av eEPD v4.0 fra LCA.no  
Godkjenning:  
Bedriftsspesifikke data er

Samlet og registrert av: Erik Larsen

Kontrollert av: Morten Johnsen

**Godkjent:**

Sign



Håkon Hauan  
Daglig leder av EPD-Norge



## Produkt

### Produktbeskrivelse:

Kamstål fremstilles etter kravene gitt i norsk standard NS 3576 "Armeringsstål, Mål og egenskaper, Del 3: Kamstenger B500NC."

### Produktspesifikasjon:

Kamstål i rette lengder har to rekker med utstikkende kammer, samt langsgående ribber. Kamstål i kveil har to rekker med utstikkende kammer og en mer firkantet kjerne. Kamstål brukes til armering i betongkonstruksjoner. Vårt kamstål er underlagt sertifisering av Kontrollrådet. Vanligvis trenger ikke brukerne å foreta ytterligere kontroll. 1. Norsk Stål benytter kun sertifiserte leverandører godkjent av Kontrollrådet eller annet kontrollorgan.

Material	%
Reinforcement	60,00
Steel	40,00

### Tekniske data:

Til fremstilling av kamstål brukes TEMPCORE-prosessen som inkluderer kontrollert kjøling og anløping. Derved kan man produsere et høyfast og seigt stål med en kjemisk sammensetning, som gjør det godt sveisbart. TEMPCORE-kamstenger beholder sine gode bøyeegenskaper selv ved meget lave temperaturer. En annen prosess som kan benyttes er THERMOMEKANISK der man trekker stålet etter produksjon for å oppnå de riktige egenskapene og kvalitetene. Kamstål kan også leveres på kveil for senere retting, evt. kapping og bøyning, i bøyleautomater. Kamstål betegnes i rekkefølge ved å angi; Kamstenger, standardens nummer(NS 3576-3), bokstaven B(Betonstahl), tallet 500 som angir karakteristisk flytegrense, bokstavene NC som angir duktilitetsklasse og nominell stangdiameter. Alt kamstål fra Norsk Stål, er basert på produksjon av 100% resirkulert skrapstål.

### Markedsområde:

NORGE,EUROPA

### Levetid, produkt:

### Levetid, bygg:

50år

## LCA: Beregningsregler

### Deklarert enhet:

1 kg Kamstål til bruk i betong

### Cut-off kriterier:

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (mindre enn 1%) er ikke inkludert. Disse cut-off kriteriene gjelder ikke for farlige materialer og stoffer.

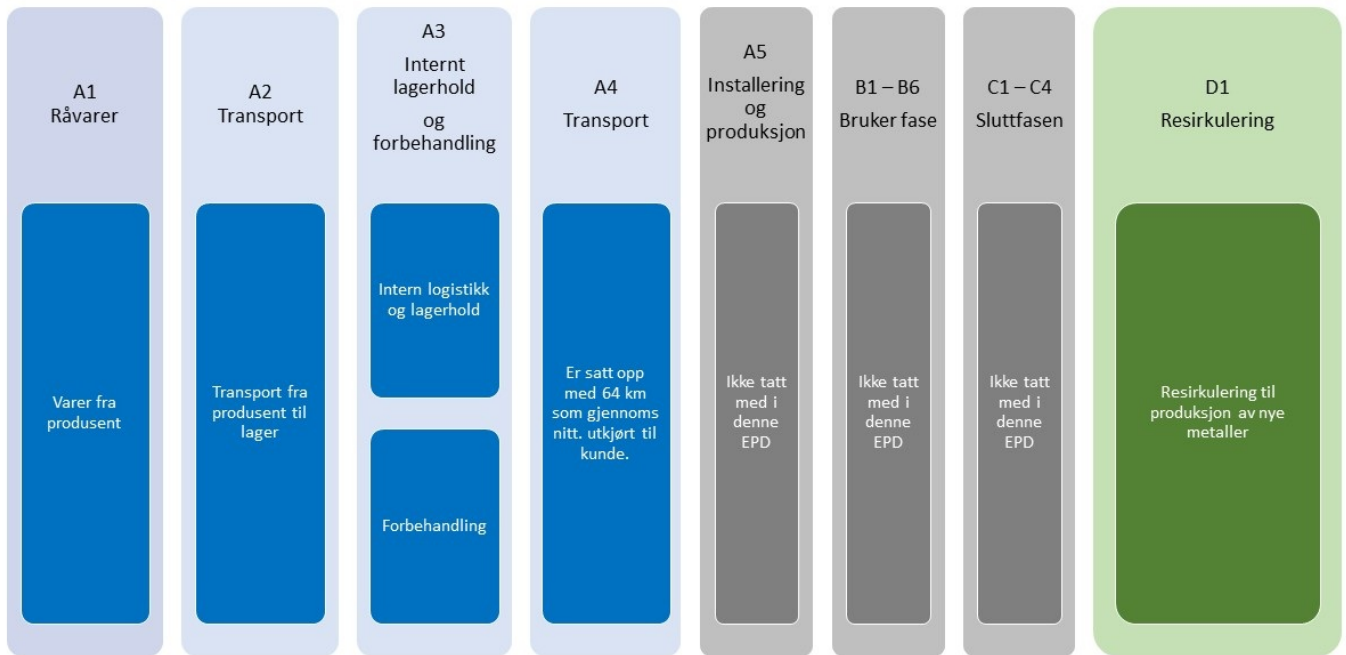
### Datakvalitet:

Spesifikke data for produktsammensetningen er fremskaffet av produsenten. De representerer produksjonen av det deklarererte produktet og ble samlet inn for EPD-utvikling i det oppgitte året for studien. Bakgrunnsdata er basert på registrerte EPDer i henhold til EN 15804, Østfoldforskning sine databaser, ecoinvent og andre LCAdatabaser. Datakvaliteten for råmaterialene i A1 er presentert i tabellen nedenfor.

Materials	Source	Data quality	Year
Steel	EPD-ARM-20160051-IBD2-EN	EPD	2016
Reinforcement	NEPD-434.305-EN	EPD	2016
Steel	EPD-BS-GB-10.2	EPD	2017

**Systemgrenser:**

Flytskjemaet nedenfor illustrerer systemgrensene for analysen:


**Teknisk tilleggsinformasjon**

A3: Energiforbruket for lagring/produksjon hos Norsk Stål er beregnet til 3,47 E-02 kWt/KG. Dette er under 1% av forbrukt energi for fremstilling av produktet.

A4: Utgående transport fra Norsk Stål til kunde varierer. Vi benytter 64km som gjennomsnitt. Dette trekkes fra totalen dersom neste ledd inkluderer denne transporten.

D1: Det aller meste av stål resirkuleres, estimert til ca. 100%.

## LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

### Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	38,8 %	Truck, lorry 16-32 tonnes, EURO 6	64	0,043626	l/tkm	2,79
Jembane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annet					l/tkm	

..

### Gevinst og belastninger etter endt levetid (D)

.	Enhet	Verdi
Substitusjon av primært armeringsstål, med netto sekundært stål (kg)	kg/DU	0,99

**LCA: Resultater**
**Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklart, MNR=modul ikke relevant)**

Product stage				Construction installation stage	User stage								End of life stage				Beyond the system boundaries
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons/ installasjonsfase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk/gjenvinning/resirkuleringspotensiale	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	X	

**Miljøpåvirkning (Environmental impact)**

Parameter	Unit	A1-A3	A4	D
GWP	kg CO <sub>2</sub> -eq	3,93E-01	1,02E-02	-1,66E+00
ODP	kg CFC11 -eq	1,34E-08	1,92E-09	-6,83E-08
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	7,97E-05	1,54E-06	-1,16E-03
AP	kg SO <sub>2</sub> -eq	1,29E-03	2,40E-05	-7,39E-03
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	2,22E-04	3,15E-06	-2,46E-03
ADPM	kg Sb -eq	3,19E-07	3,17E-08	-3,20E-05
ADPE	MJ	3,47E+00	1,54E-01	-1,56E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0\*10<sup>-3</sup> = 0,009

\*INA Indicator Not Assessed

**Ressursbruk (Resource use)**

Parameter	Unit	A1-A3	A4	D
RPEE	MJ	2,96E+00	2,27E-03	-1,40E+00
RPEM	MJ	1,86E-03	0,00E+00	0,00E+00
TPE	MJ	2,96E+00	2,27E-03	-1,40E+00
NRPE	MJ	4,46E+00	1,58E-01	-1,48E+01
NRPM	MJ	4,04E-02	0,00E+00	0,00E+00
TRPE	MJ	4,50E+00	1,58E-01	-1,48E+01
SM	kg	1,07E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	1,62E-04	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	6,12E-01	0,00E+00	0,00E+00
W	m <sup>3</sup>	3,24E-01	2,98E-05	-1,01E-02

RPEE Renewable primary energy resources used as energy carrier; RPEM Renewable primary energy resources used as raw materials; TPE Total use of renewable primary energy resources; NRPE Non renewable primary energy resources used as energy carrier; NRPM Non renewable primary energy resources used as materials; TRPE Total use of non renewable primary energy resources; SM Use of secondary materials; RSF Use of renewable secondary fuels; NRSF Use of non renewable secondary fuels; W Use of net fresh water

Leseeksempel 9,0 E-03 =  $9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

\*INA Indicator Not Assessed

**Livsløpets slutt - Avfall (End of life - Waste)**

Parameter	Unit	A1-A3	A4	D
HW	kg	1,99E-02	9,29E-08	-1,43E-04
NHW	kg	8,82E-01	8,44E-03	-2,84E+00
RW	kg	INA*	INA*	INA*

HW Hazardous waste disposed; NHW Non hazardous waste disposed; RW Radioactive waste disposed

Leseeksempel 9,0 E-03 =  $9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

\*INA Indicator Not Assessed

**Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer (End of life - Output flow)**

Parameter	Unit	A1-A3	A4	D
CR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	INA*	INA*	INA*
ETE	MJ	INA*	INA*	INA*

CR Components for reuse; MR Materials for recycling; MER Materials for energy recovery; EEE Exported electric energy; ETE Exported thermal energy

Leseeksempel 9,0 E-03 =  $9,0 \cdot 10^{-3} = 0,009$

\*INA Indicator Not Assessed

## Norske tilleggskrav

### Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen

Nasjonale produksjonsmiks fra import, lavspenning (inkludert produksjon av overføringslinjer, i tillegg til direkte utslipp og tap i nett) er brukt for anvendt elektrisitet i produksjonsprosessen (A3). Bakgrunnsdata er presentert i tabellen under. Karakteriseringsfaktorer fra EN15804:2012+A1:2013 er benyttet.





### Farlige stoffer

Produktet er ikke tilført stoffer fra REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten.

### Inneklimate

## Bibliografi

- NS-EN ISO 14025:2010 Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.  
 NS-EN ISO 14044:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer.  
 NS-EN 15804:2012+A1:2013 Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer.  
 ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products.  
 ecoinvent v3, Allocation, cut-off by classification, Swiss Centre of Life Cycle Inventories.  
 Iversen et al., (2018) eEPD v3.0 - Background information for EPD generator system. LCA.no rapportnummer 04.18.  
 Vold et al., (2019) EPD generator for Norsk Stålforbund - Background information for industry application and LCA data, LCA.no rapportnummer 09.19.  
 NPCR Part A: Construction products and services. Ver. 1.0. April 2017, EPD-Norge.  
 NPCR 013 Part B for steel and aluminium construction products. Ver. 3.0 April 2019, EPD-Norge.

	<b>epd-norge.no</b> The Norwegian EPD Foundation	<b>Programoperatør og utgiver</b> Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Pb. 5250 Majorstuen 0303 Oslo Norway	Telefon: +47 23 08 80 00 e-post: post@epd-norge.no web: www.epd-norge.no
	<b>NORSK STÅL</b>	<b>Eier av deklarasjon</b> Norsk Stål AS Nye Vakås vei 80 1395 Hvalstad	Telefon: +47 90 11 58 88 Fax: +47 45 50 16 00 e-post: mj@norskstaa.no web: norskstaa.no
	<b>Forfatter av livsløpsrapporten</b> LCA.no AS Dokka 1C 1671 Kråkerøy	Telefon: +47 916 50 916 Fax: 90571091 e-post: post@lca.no web: www.lca.no	
	<b>Utvikler av EPD-generator</b> LCA.no AS Dokka 1C 1671 Kråkerøy	Telefon: +47 916 50 916 e-post: post@lca.no web: www.lca.no	

## **Appendiks B.4**

EPD Slakkarmerte plattendekker  
EPD Forspente plattendekker  
EPD Armering som benyttes i plattendekker



## ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025 ISO 21930 EN 15804

Eier av deklarasjonen:	Con-Form AS
Programoperatør:	Þö íð * ä^o Áüæ •^Á  Á äüæ^ æ•ü }^!
Utgiver:	Þö íð * ä^o Áüæ •^Á  Á äüæ^ ææü }^!
Deklarasjon nummer:	Þ Ö Ü Æ F Í Ì È I J Æ U
Godkjent dato:	Þ È Æ F Í
Gyldig til:	Þ È Æ F

### Slakkarmert plattendekke (betongdekke)

Con-Form AS



[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)



## Generell informasjon

**Produkt:**

Slakkarmert plattendekke (betongdekke)

**Programoperatør:**

Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner  
Pb. 5250 Majorstuen, 0303 Oslo  
Phone: +47 23 08 80 00  
e-post: [post@epd-norge.no](mailto:post@epd-norge.no)

**Deklarasjon nummer:** P000EF1 i H JBU**ECO Platform registreringsnummer:**

EPD Norge

**Deklarasjonen er basert på PCR:**

EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR  
PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011

**Erklæringen om ansvar:**

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

**Deklarert enhet:**

1 m2 Slakkarmert plattendekke (betongdekke)

**Deklarert enhet med opsjon:****Funksjonell enhet:****Verifikasjon:**

Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14025:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4

Ekstern

Tredjeparts verifikator:

Sign



Seniorforsker Anne Rønning

(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

**Eier av deklarasjonen:**

Con-Form AS  
Kontaktperson: Christoffer Bakke  
Telefon: 95160670  
e-post: [christoffer.bakke@con-form.no](mailto:christoffer.bakke@con-form.no)

**Produsent:**

Con-Form AS

**Produksjonssted:**

Orkanger i Sør-Trøndelag

**Kvalitet/Miljøsystem:**

Con-Forms miljøstyringssystem er basert på ISO 14001

**Org. no.:**

966 417 706

**Godkjent dato:** 12.06.2015**Gyldig til:** 12.06.2016**Årstall for studien:**

2015

**Sammenlignbarhet:**

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

**Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:**

Deklarasjonen er utviklet ved bruk av EPDGen-Version 1.1  
Godkjenning:  
Bedriftsspesifikke data er

Samlet og registrert av: Christoffer Bakke

Kontrollert av: Anette S. Krogh

**Godkjent:**

Sign



Håkon Hauan  
Daglig leder av EPD-Norge

## Produkt

### Produktbeskrivelse:

Dekkeelementet består av en betongplate med innlagt underkantarmring som er forsterket med gitterdragere av stål med tanke på transport, montering og opplegg for overkantarmring. Standard størrelse på elementene er 2,4m x ca. 8,5m. Størrelser utover dette er spesial.

### Tekniske data:

Bedriften er sertifisert av "Kontrollrådet for betongprodukter" iht. følgende godkjenninger for dette produktet:  
NS-EN 13369 Felles regler for prefabrikerte betongprodukter.  
NS-EN 13747 Gulvplater for gulvsystemer.

### Produktspesifikasjon:

Betong B30 overdekning =20mm  
Eksponeringsklasse: XC1  
Armering kamstål: B500BT

### Markedsområde:

Norge og Sverige

### Levetid:

Som for bygninger

Materials	Percent
Cement	11,04
Aggregate	42,90
Filler	33,40
Water	6,68
Chemicals	0,08
Reinforcement	5,90

## LCA: Beregningsregler

### Deklarert enhet:

1 m2 Slakkarmert plattendekke (betongdekke)

### Allokering:

Allokering er gjort i hht. bestemmelser i EN 15804. Inngående energi og vann, samt produksjon av avfall i egen produksjon er allokert likt mellom alle produktene gjennom masseallokering. Påvirkning for primærproduksjonen av resirkulerte materialer er allokert til hovedproduktet der materialet ble brukt. Resirkuleringsprosessen og transport av materialet er allokert til denne analysen.

### Cut-off kriterier:

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (<1%) er ikke inkludert.

### Datakvalitet:

All ekstern data er hentet ut fra en EPD-generator utviklet av Østfoldforskning i samarbeid med Betongelementforeningen. Bakgrunnsdata er basert (som betong, stål, sand og transport) på data som er tredjepartsverifisert. Den interne datakvaliteten er basert på produksjonstegning for produktet, og forbrukstall fra fabrikk for 2015.

Materials	Data quality	Source	Year
Water	0	0	0
Filler	0	0	0
Chemicals	European average	Efca	0
Cement	EPD	NEPD 211, 15	2014
Aggregate	Supplier data	Østfoldforskning	2013
Reinforcement	Database	Østfoldforskning	2012

Alle prosesser fra råvareuttak til ferdig montert er inkludert i analysen samt avhending.

**Flytskjema:**



**Teknisk tilleggsmasjon**

Bedriften innførte Lean i 2012 og benytter miljøstyringssystem basert på ISO 14001.

## LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

### Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	53 %	Truck, EURO 5	40	0,020216	l/tkm	0,81
Jernbane	.	.	.	.	.	.
Båt	.	.	.	.	.	.
Annet	.	.	.	.	.	.

### Byggefase A5

.	Enhet	Verdi
Hjelpematerialer	kg	14,000
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	7,000
Andre energikilder	MJ	0
Materialtap	kg	0
Materialer fra avfallsbehandling	kg	510,000
Støv i luften	kg	0

### Monterte produkter i bruk (B1)

.	Enhet	Verdi
Ingen påvirkning	0	0

### Vedlikehold (B2)/Reparasjon (B3)

.	Enhet	Verdi
Vedlikeholdsfrekvens*	.	0
Hjelpematerialer	kg	0
Andre ressurser	kg	0
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	0
Andre energikilder	MJ	0
Materialtap	kg	0

### Utskifting (B4)/Renovering (B5)

.	Enhet	Verdi
Utskiftingsfrekvens*	stk	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	0
Utskifting av slitte deler	0	0

\* Tall eller referanselevetid

### Drifts energi (B6) og vannbruk (B7)

.	Enhet	Verdi
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	0
Andre energikilder	MJ	0
Utstyrets varmeeffekt	kW	0

### Sluttfase (C1,C3,C4)

.	Enhet	Verdi
Farlig avfall	kg	0
Blandet avfall	kg	0
Gjenbruk	kg	0
Resirkulering	kg	0
Energigjenvinning	kg	0
Til deponi	kg	0

### Transport avfallsbehandling (C2)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	0 %	-	0	0	l/tkm	0
Jernbane	.	.	.	.	.	.
Båt	.	.	.	.	.	.
Annet	.	.	.	.	.	.

### Gevinst og belastninger etter endt levetid (D)

## LCA: Resultater

### Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklart, MNR=modul ikke relevant)

Product stage					Construction installation stage	User stage							End of life stage				Beyond the system boundaries
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons- / installasjonsfase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk/gjenvinning/ resirkulering potensiale	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	X	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	X	X	MNR	MNR	MNR	

### Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
GWP	kg CO <sub>2</sub> -eq	1,73E+001	1,27E+000	3,01E-001	3,39E-003	1,03E+001	1,77E-001	6,77E-003
ODP	kg CFC11 -eq	0,00E+000	0,00E+000	4,13E-008	0,00E+000	9,24E-007	1,40E-008	0,00E+000
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	1,44E-001	4,49E-003	2,02E-003	1,20E-005	2,49E-001	9,89E-004	2,40E-005
AP	kg SO <sub>2</sub> -eq	3,30E-002	9,35E-004	6,80E-004	2,00E-006	2,83E-002	5,41E-004	5,00E-006
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	6,33E-003	2,26E-004	6,89E-005	1,00E-006	9,00E-003	4,72E-005	1,00E-006
ADPM	kg Sb -eq	1,70E-005	0,00E+000	3,14E-006	0,00E+000	1,02E-005	4,38E-006	0,00E+000
ADPE	MJ	1,33E+002	1,95E+001	3,48E+000	5,17E-002	1,05E+002	1,42E+000	1,03E-001

**GWP** Globalt oppvarmingspotensial; **ODP** Potensial for nedbryting av stratosfærisk ozon; **POCP** Potensial for fotokjemisk oksidantdannning; **AP** Forsurningspotensial for kilder på land og vann; **EP** Overgjødslingspotensial; **ADPM** Abiotisk uttømmingspotensial for ikke-fossile ressurser; **ADPE** Abiotisk uttømmingspotensial for fossile ressurser

### Ressursbruk (Resource use)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
RPEE	MJ	7,42E+001	2,99E-001	2,01E+001	7,94E-004	1,46E+002	2,86E+001	1,59E-003
RPEM	MJ	2,19E+000	9,16E-002	1,40E-001	2,43E-004	3,12E+000	1,96E-001	4,86E-004
TRPE	MJ	7,64E+001	3,91E-001	2,02E+001	1,04E-003	1,50E+002	2,88E+001	2,08E-003
NRPEE	MJ	1,43E+002	1,99E+001	4,18E+000	5,27E-002	1,13E+002	2,35E+000	1,05E-001
NRPEM	MJ	4,72E-001	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
TNRPE	MJ	1,43E+002	1,99E+001	4,18E+000	5,27E-002	1,13E+002	2,35E+000	1,05E-001
SM	kg	1,24E+001	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	1,74E+001	0,00E+000	0,00E+000
RSF	MJ	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
NRSF	MJ	6,59E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
W	m <sup>3</sup>	1,04E+002	1,77E-002	1,58E-001	4,70E-005	1,95E+002	2,15E-001	9,40E-005

**RPEE** Fornybar primærenergi brukt som energibærer; **RPEM** Fornybar primærenergi brukt som råmateriale; **TRPE** Total bruk av fornybar primærenergi; **NRPEE** Ikke fornybar primærenergi brukt som energibærer; **NRPEM** Ikke fornybar primærenergi brukt som råmateriale; **TNRPE** Total bruk av ikke fornybar primærenergi; **SM** Bruk av sekundære materialer; **RSF** Bruk av fornybart sekundære brensel; **NRSF** Bruk av ikke fornybart sekundære brensel; **W** Netto bruk av ferskvann

### Livsløpets slutt - Avfall (End of life - Waste)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
HW	kg	9,88E-004	1,50E-005	1,00E-003	0,00E+000	1,78E-003	3,75E-006	0,00E+000
NHW	kg	3,02E+000	1,97E+000	6,53E-001	5,23E-003	2,71E+000	2,56E-001	1,05E-002
RW	kg	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000

**HW** Avhendet farlig avfall; **NHW** Avhendet ikke-farlig avfall; **RW** Avhendet radioaktivt avfall

### Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer (End of life - Output flow)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
CR	kg	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
MR	kg	1,27E+000	0,00E+000	5,59E-001	0,00E+000	5,12E+002	6,50E+002	0,00E+000
MER	kg	1,73E-003	0,00E+000	1,12E-001	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
EEE	MJ	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
ETE	MJ	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000

**CR** Komponenter for gjenbruk; **MR** Materialer for resikulering; **MER** Materialer for energigjenvinning; **EEE** Eksportert elektrisk energi; **ETE** Eksportert termisk energi



## Norske tilleggskrav

### Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen

Følgende datasett fra databasen ecoinvent v3 (juni 2012) for norsk produksjonsmiks inkludert import, på lavspenning er benyttet; Energy/Electricity country mix/Low voltage/Market: Electricity, low voltage {NO}| market for | Alloc Def, U. Produksjon av overføringsnett, i tillegg til direkte utslipp og tap ved overføring, er inkludert. Karakteriseringsfaktorer fra EN15804:2012+A1:2013 er benyttet. Dette gir et klimagassutslipp på: 25 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh

### Farlige stoffer

Produktet er ikke tilført stoffer fra REACH kandidatliste over stoffer av svært stor bekymring, stoffer på den norske Prioritetslisten og stoffer som fører til at produktet blir klassifisert som farlig avfall. Det kjemiske innholdet i produktet er i samsvar med den norske produktforskriften. Begge lister sjekket februar 2016

### Inneklima

Produktet har ingen påvirkning på inneklima.

Produktet tilfredsstiller kravene til lavt forurensende (M1) etter EN 15251:2007 appendix E

## Bibliografi

NS-EN ISO 14025:2010 Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

NS-EN ISO 14044:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer

NS-EN 15804:2012+A1:2013 Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer

ISO 21930:2007 Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products.

-PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2012, [www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)

-Vold M. og Edvardsen T. (2014); EPD-generator for betongindustrien, Bakgrunnsinformasjon for verifisering, OR 04.14 Østfoldforskning, Fredrikstad.

 <b>epd-norge.no</b> The Norwegian EPD Foundation	<b>Programoperatør og utgiver</b> Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Pb. 5250 Majorstuen 0303 Oslo Norway	Telefon: +47 23 08 82 92  e-post: <a href="mailto:post@epd-norge.no">post@epd-norge.no</a> web: <a href="http://www.epd-norge.no">www.epd-norge.no</a>
	<b>Eier av deklarasjon</b> Con-Form AS Østensjøveien 36 0667 OSLO	Telefon: 95160670 Fax: e-post: <a href="mailto:christoffer.bakke@con-form.no">christoffer.bakke@con-form.no</a> web: <a href="http://www.con-form.no">www.con-form.no</a>
	<b>Forfatter av livsløpsrapporten</b> Østfoldforskning AS Stadion 4 1671 Kråkerøy	Telefon: +47 69 35 11 00 Fax: +47 69 34 24 94 e-post: <a href="mailto:post@ostfoldforskning.no">post@ostfoldforskning.no</a> web: <a href="http://www.ostfoldforskning.no">www.ostfoldforskning.no</a>

# ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

in accordance with ISO 14025 ISO 21930 EN 15804

Eier av deklarasjonen:	Con-Form AS
Programoperatør:	Þö íð *   ð^o Áúæo   ^Á   Á ðúæ^   æ • ð } ^
Utgiver:	Þö íð *   ð^o Áúæo   ^Á   Á ðúæ^   æ • ð } ^
Deklarasjon nummer:	Þ Ö Ú Ö Æ F Í Í Æ Í Æ U
Godkjent dato:	F J Æ Í Æ F Í
Gyldig til:	F J Æ Í Æ C F

## Forspent plattendekke (betongdekke)

Con-Form AS



[www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)



## Generell informasjon

**Produkt:**

Forspent plattendekke (betongdekke)

**Programoperatør:**

Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner  
Pb. 5250 Majorstuen, 0303 Oslo  
Phone: +47 23 08 80 00  
e-post: [post@epd-norge.no](mailto:post@epd-norge.no)

**Deklarasjon nummer:** POUØEFÍ ÆI Í ÆU**ECO Platform registreringsnummer:****Deklarasjonen er basert på PCR:**

EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR  
PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2011

**Erklæringen om ansvar:**

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

**Deklarert enhet:**

1 m2 Forspent plattendekke (betongdekke)

**Deklarert enhet med opsjon:****Funksjonell enhet:****Verifikasjon:**

Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14025:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4

Ekstern

Tredjeparts verifikator:

Sign



Seniorforsker Anne Rønning

(Uavhengig verifikator godkjent av EPD Norge)

**Eier av deklarasjonen:**

Con-Form AS  
Kontaktperson: Christoffer Bakke  
Telefon: 95160670  
e-post: [christoffer.bakke@con-form.no](mailto:christoffer.bakke@con-form.no)

**Produsent:**

Con-Form AS

**Produksjonssted:**

Orkanger i Sør Trøndelag

**Kvalitet/Miljøsystem:**

Con-Forms miljøstyringssystem er basert på ISO 14001

**Org. no.:**

966 417 706

**Godkjent dato:** FJÆI ÆEFÍ**Gyldig til:** FJÆI ÆEGF**Årstall for studien:**

2015

**Sammenlignbarhet:**

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

**Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:**

Deklarasjonen er utviklet ved bruk av EPDGen-Version 1.1  
Godkjenning:  
Bedriftsspesifikke data er

Samlet og registrert av: Christoffer Bakke

Kontrollert av: Anette S. Krogh

**Godkjent:**

Sign



Håkon Hauan  
Daglig leder av EPD-Norge

## Produkt

### Produktbeskrivelse:

Dekkeelementet består av en betongplate med innlagte spennkabler som er forsterket med gitterdragere av stål med tanke på transport, montering og opplegg for overkantsarmering. Det er maksimum 16 stk. 12,7mm diameter spennkabler pr. 2400mm bredde. Standard størrelse på elementene er 2,4x9,6 m. Størrelser ut over dette er spesial.

### Tekniske data:

Bedriften er sertifisert av "Kontrollrådet for betongprodukter" iht følgende godkjenninger for dette produktet:  
NS-EN 13369 Felles regler for prefabrikerte betongprodukter.  
NS-EN 13747 Gulvplater for gulvsystemer.

### Produktspesifikasjon:

Betong B35 overdekning =30  
Eksponeringsklasse: XC1  
Armering kamstål B500NC  
Bestandighetsklasse: M60

### Markedsområde:

Norge og Sverige

### Levetid:

Som for bygninger

Materials	Percent
Cement	12,47
Aggregate	39,84
Filler	36,46
Water	6,60
Chemicals	0,12
Reinforcement	4,52

## LCA: Beregningsregler

### Deklarert enhet:

1 m2 Forspent plattendekke (betongdekke)

### Cut-off kriterier:

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (<1%) er ikke inkludert.

### Allokering:

Allokering er gjort iht. bestemmelser i EN 15804. Inngående energi og vann, samt produksjon av avfall i egen produksjon er allokert likt mellom alle produktene gjennom masseallokering. Påvirkning for primærproduksjonen av resirkulerte materialer er allokert til hovedproduktet der materialet ble brukt. Resirkuleringsprosessen og transport av materialet er allokert til denne analysen.

### Datakvalitet:

All ekstern data er hentet ut fra en EPD-generator utviklet av Østfoldforskning i samarbeid med Betongelementforeningen. Bakgrunnsdata er basert (som betong, stål, sand og transport) på data som er tredjepartsverifisert. Den interne datakvaliteten er basert på produksjonstegning for produktet, og forbrukstall fra fabrikken for 2015.

Materials	Data quality	Source	Year
Cement	EPD	NEPD00023N	2013
Cement	EPD	NEPD00024N	2014
Water	0	0	0
Filler	0	0	0
Aggregate	Supplier data	Østfoldforskning	2013
Chemicals	European average	Efca	0
Reinforcement	Database	Østfoldforskning	2012

Alle prosesser fra råvareuttak til ferdig montert er inkludert i analysen samt avhending.

**Flytskjema:**



**Teknisk tilleggsmasjjon**

Bedriften innførte Lean i 2012 og benytter miljøstyringssystem basert på ISO 14001.

## LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

### Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	53 %	Truck, EURO 5	40	0,020216	l/tkm	0,81
Jernbane	.	.	.	.	.	.
Båt	.	.	.	.	.	.
Annet	.	.	.	.	.	.

### Byggefase A5

.	Enhet	Verdi
Hjelpematerialer	kg	14,000
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	7,000
Andre energikilder	MJ	0
Materialtap	kg	0
Materialer fra avfallsbehandling	kg	446,250
Støv i luften	kg	0

### Monterte produkter i bruk (B1)

.	Enhet	Verdi
Ingen påvirkning	0	0

### Vedlikehold (B2)/Reparasjon (B3)

.	Enhet	Verdi
Vedlikeholdsfrekvens*	.	0
Hjelpematerialer	kg	0
Andre ressurser	kg	0
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	0
Andre energikilder	MJ	0
Materialtap	kg	0

### Utskifting (B4)/Renovering (B5)

.	Enhet	Verdi
Utskiftingsfrekvens*	stk	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	0
Utskifting av slitte deler	0	0

\* Tall eller referanselevetid

### Drifts energi (B6) og vannbruk (B7)

.	Enhet	Verdi
Vannforbruk	m <sup>3</sup>	0
Elektrisitetsforbruk	kWh	0
Andre energikilder	MJ	0
Utstyrets varmeeffekt	kW	0

### Sluttfase (C1,C3,C4)

.	Enhet	Verdi
Farlig avfall	kg	0
Blandet avfall	kg	0
Gjenbruk	kg	0
Resirkulering	kg	0
Energigjenvinning	kg	0
Til deponi	kg	0

### Transport avfallsbehandling (C2)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	0 %	-	0	0	l/tkm	0
Jernbane	.	.	.	.	.	.
Båt	.	.	.	.	.	.
Annet	.	.	.	.	.	.

From EPD

### Gevinst og belastninger etter endt levetid (D)

From EPD

## LCA: Resultater

### Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklart, MNR=modul ikke relevant)

Product stage					Construction installation stage	User stage							End of life stage				Beyond the system boundaries
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons- / installasjonsfase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk/gjenvinning/ resirkulering potensiale	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	X	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	MNR	X	X	MNR	MNR	MNR	

### Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
GWP	kg CO <sub>2</sub> -eq	2,55E+001	2,06E+000	1,01E+001	3,39E-003	1,03E+001	1,77E-001	6,77E-003
ODP	kg CFC11 -eq	1,00E-006	0,00E+000	1,75E-006	0,00E+000	9,24E-007	1,40E-008	0,00E+000
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	1,71E-001	7,25E-003	7,50E-002	1,20E-005	2,49E-001	9,89E-004	2,40E-005
AP	kg SO <sub>2</sub> -eq	4,73E-002	1,51E-003	1,82E-002	2,00E-006	2,83E-002	5,41E-004	5,00E-006
EP	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	7,98E-003	3,65E-004	2,08E-003	1,00E-006	9,00E-003	4,72E-005	1,00E-006
ADPM	kg Sb -eq	1,40E-005	0,00E+000	1,96E-005	0,00E+000	1,02E-005	4,38E-006	0,00E+000
ADPE	MJ	1,73E+002	3,14E+001	1,39E+002	5,17E-002	1,05E+002	1,42E+000	1,03E-001

**GWP** Globalt oppvarmingspotensial; **ODP** Potensial for nedbryting av stratosfærisk ozon; **POCP** Potensial for fotokjemisk oksidantdannning; **AP** Forsurningspotensial for kilder på land og vann; **EP** Overgjødslingspotensial; **ADPM** Abiotisk uttømmingspotensial for ikke-fossile ressurser; **ADPE** Abiotisk uttømmingspotensial for fossile ressurser



### Ressursbruk (Resource use)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
RPEE	MJ	9,27E+001	4,83E-001	1,08E+002	7,94E-004	1,46E+002	2,86E+001	1,59E-003
RPEM	MJ	2,80E+000	1,48E-001	8,63E-001	2,43E-004	3,12E+000	1,96E-001	4,86E-004
TRPE	MJ	9,55E+001	6,31E-001	1,09E+002	1,04E-003	1,50E+002	2,88E+001	2,08E-003
NRPEE	MJ	1,88E+002	3,21E+001	1,44E+002	5,27E-002	1,13E+002	2,35E+000	1,05E-001
NRPEM	MJ	1,05E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
TNRPE	MJ	1,89E+002	3,21E+001	1,44E+002	5,27E-002	1,13E+002	2,35E+000	1,05E-001
SM	kg	1,37E+001	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	1,74E+001	0,00E+000	0,00E+000
RSF	MJ	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
NRSF	MJ	3,32E+001	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
W	m <sup>3</sup>	1,34E+002	2,86E-002	8,44E-001	4,70E-005	1,95E+002	2,15E-001	9,40E-005

**RPEE** Fornybar primærenergi brukt som energibærer; **RPEM** Fornybar primærenergi brukt som råmateriale; **TRPE** Total bruk av fornybar primærenergi; **NRPEE** Ikke fornybar primærenergi brukt som energibærer; **NRPEM** Ikke fornybar primærenergi brukt som råmateriale; **TNRPE** Total bruk av ikke fornybar primærenergi; **SM** Bruk av sekundære materialer; **RSF** Bruk av fornybart sekundære brensel; **NRSF** Bruk av ikke fornybart sekundære brensel; **W** Netto bruk av ferskvann

### Livsløpets slutt - Avfall (End of life - Waste)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
HW	kg	1,15E-003	2,40E-005	1,07E-003	0,00E+000	1,78E-003	3,75E-006	0,00E+000
NHW	kg	3,94E+000	3,18E+000	2,31E+000	5,23E-003	2,71E+000	2,56E-001	1,05E-002
RW	kg	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000

**HW** Avhendet farlig avfall; **NHW** Avhendet ikke-farlig avfall; **RW** Avhendet radioaktivt avfall

### Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer (End of life - Output flow)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2
CR	kg	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
MR	kg	1,45E+000	0,00E+000	8,33E-001	0,00E+000	4,49E+002	6,49E+002	0,00E+000
MER	kg	0,00E+000	0,00E+000	1,67E-001	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
EEE	MJ	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000
ETE	MJ	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000	0,00E+000

**CR** Komponenter for gjenbruk; **MR** Materialer for resikulering; **MER** Materialer for energigjenvinning; **EEE** Eksportert elektrisk energi; **ETE** Eksportert termisk energi

## Norske tilleggskrav

### Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen

Følgende datasett fra databasen ecoinvent v3 (juni 2012) for norsk produksjonsmiks inkludert import, på lavspenning er benyttet; Energy/Electricity country mix/Low voltage/Market: Electricity, low voltage {NO}| market for | Alloc Def, U. Produksjon av overføringsnett, i tillegg til direkte utslipp og tap ved overføring, er inkludert. Karakteriseringsfaktorer fra EN15804:2012+A1:2013 er benyttet. Dette gir et klimagassutslipp på: 25 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh

### Farlige stoffer

Produktet er ikke tilført stoffer fra REACH kandidatliste over stoffer av svært stor bekymring, stoffer på den norske Prioritetslisten og stoffer som fører til at produktet blir klassifisert som farlig avfall. Det kjemiske innholdet i produktet er i samsvar med den norske produktforskriften. Begge lister sjekket februar 2016

### Inneklima

Produktet har ingen påvirkning på inneklima.

Produktet tilfredsstiller kravene til lavt forurensende (M1) etter EN 15251:2007 appendix E

## Bibliografi

NS-EN ISO 14025:2010 Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III - Prinsipper og prosedyrer.

NS-EN ISO 14044:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer

NS-EN 15804:2012+A1:2013 Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer

ISO 21930:2007 Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products.

-PCR for Precast Concrete Products, NPCR 20.2012, [www.epd-norge.no](http://www.epd-norge.no)

-Vold M. og Edvardsen T. (2014); EPD-generator for betongindustrien, Bakgrunnsinformasjon for verifisering, OR 04.14 Østfoldforskning, Fredrikstad.

	<b>epd-norge.no</b> The Norwegian EPD Foundation	<b>Programoperatør og utgiver</b> Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner Pb. 5250 Majorstuen 0303 Oslo Norway	Telefon: +47 23 08 82 92  e-post: <a href="mailto:post@epd-norge.no">post@epd-norge.no</a> web: <a href="http://www.epd-norge.no">www.epd-norge.no</a>
	<b>CON FORM</b>	<b>Eier av deklarasjon</b> Con-Form AS Østensjøveien 36 0667 OSLO	Telefon: 95160670 Fax: e-post: <a href="mailto:christoffer.bakke@con-form.no">christoffer.bakke@con-form.no</a> web: <a href="http://www.con-form.no">www.con-form.no</a>
	<b>Østfoldforskning</b>	<b>Forfatter av livsløpsrapporten</b> Østfoldforskning AS Stadion 4 1671 Kråkerøy	Telefon: +47 69 35 11 00 Fax: +47 69 34 24 94 e-post: <a href="mailto:post@ostfoldforskning.no">post@ostfoldforskning.no</a> web: <a href="http://www.ostfoldforskning.no">www.ostfoldforskning.no</a>

# ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION



In accordance with ISO 14025 and EN 15804:2012+A2:2019 for:  
**Steel reinforcement products for concrete –  
Norwegian production from Celsa Steel Service AS**

**Programme:** The International EPD® System, environdec.com

**Programme operator:** EPD International AB

**EPD registration number:** S-P-00306

**Publication date:** 2012-04-26

**EPD version:** 2020-08-19

**Valid until:** 2025-08-14

**Geographical coverage:** Norway


**Climate change:** 388 kg CO<sub>2</sub> eq./tonne, (A1 to A3)

An EPD should provide current information and may be updated if conditions change.  
The stated validity is therefore subject to the continued registration and publication at environdec.com



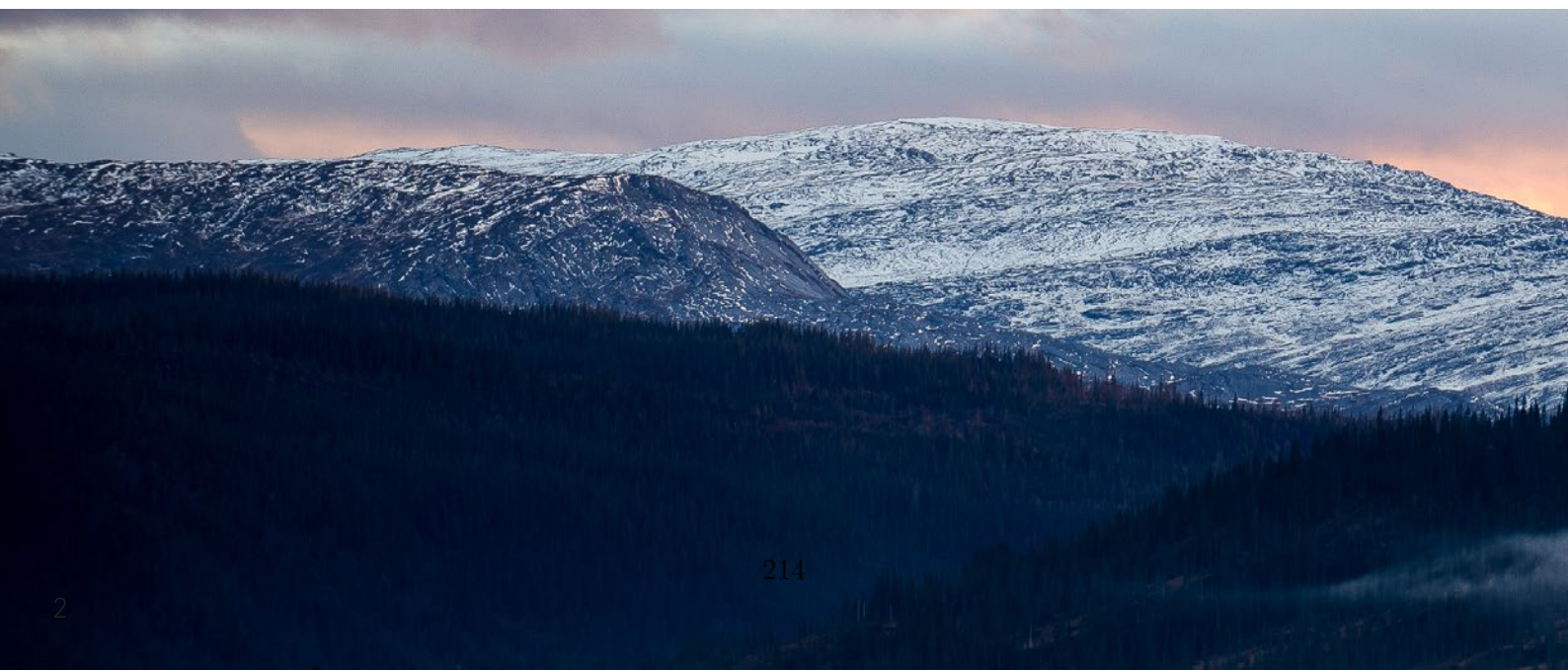
# GENERAL INFORMATION

<b>Programme:</b>	The International EPD® System
<b>Address:</b>	EPD International AB Box 210 60 SE-100 31 Stockholm Sweden
<b>Website:</b>	www.environdec.com
<b>E-mail:</b>	info@environdec.com

CEN standard EN 15804:2012+A2:2019 serves as the Core Product Category Rules (PCR)	
Product category rules (PCR): PCR 2019:14 Construction products version1.0	
PCR review was conducted by: The Technical Committee of the International EPD® System. See <a href="http://www.environdec.com/TC">www.environdec.com/TC</a> for a list of members. Review chair: Claudia A. Peña, University of Concepción, Chile. The review panel may be contacted via the Secretariat <a href="http://www.environdec.com/contact">www.environdec.com/contact</a> .	
Independent third-party verification of the declaration and data, according to ISO 14025:2006:	
<input type="checkbox"/> EPD process certification	<input type="checkbox"/> EPD verification
Third party verifier: Håkan Stripple at IVL Swedish Environmental Research Institute P.O. Box 53021, SE-400 14 Gothenburg, Sweden Hakan.Stripple@IVL.se 	
Accredited by: Håkan Stripple is an independent individual verifier in the International EPD® System.	
Procedure for follow-up of data during EPD validity involves third party verifier:	
<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No

The EPD owner has the sole ownership, liability, and responsibility for the EPD.

EPDs within the same product category but from different programmes may not be comparable. EPDs of construction products may not be comparable if they do not comply with EN 15804. It should be noted in particular that there are differences between the present version of EN 15804 and the earlier version. For further information about comparability, see EN 15804 and ISO 14025.





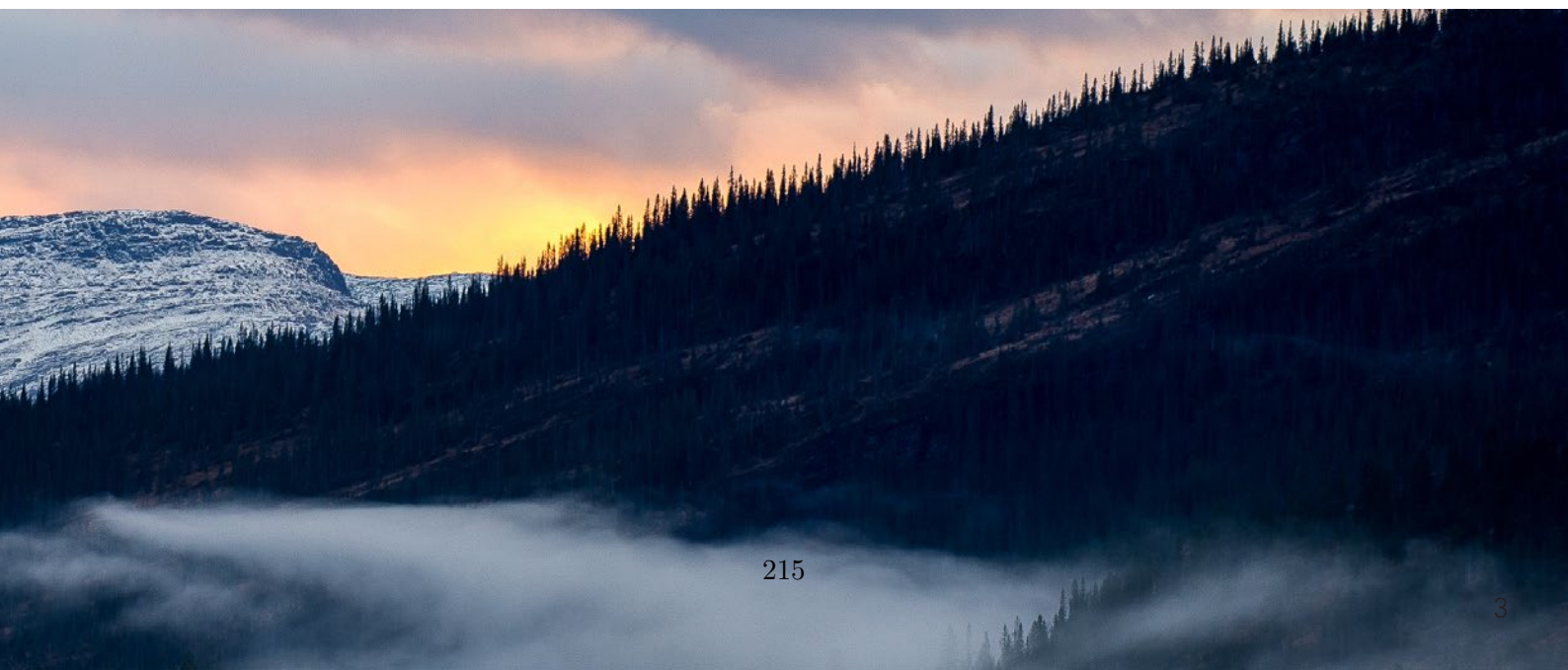
## Company information

### **CELSA Nordic & CELSA Steel Service Norge**

CELSA Nordic is a producer of steel reinforcement products in the Nordic countries and is part of the Spanish privately owned company CELSA GROUP since 2007. CELSA Nordic melt shop and rolling mill is located in the northern part of Norway, in the city called Mo i Rana. The steel reinforcement products are distributed through the company's downstream reinforcing services, CELSA Steel Service. CELSA Steel service is located in Norway, Sweden, Denmark, and Finland.

CELSA Steel Service manufactures and sells reinforcing products and services to the Norwegian concrete construction industry. The production sites in Oslo, Drammen, Kristiansand, Bergen, Ålesund, Trondheim, and Tromsø are situated close by the most active and populated construction areas in Norway, minimizing transportation distances.

CELSA Steel Service is one of the largest manufacturer of concrete reinforcing products in Norway. Our ambition and aim is to increase productivity and safety by using a larger extent of prefabricated reinforcement solutions instead of cutting and bending reinforcement on site. Prefabrication and special welded elements are possible to manufacture in cooperation with the client and with the help of 3D-drawings and analysis.



# ABOUT THE EPD

This EPD is based on a Life Cycle Assessment (LCA) and provides information that can be used in order to put into perspective different steel sourcing.

## Methodology

The environmental impact of CELSA Steel Service products has been calculated according to the rules of the EPD (Environmental Product Declaration) International program. EN 15804:2012 + A2:2019 and PRODUCT CATEGORY RULES (PCR) 2019:14, version 1.0, Construction Products are the basis for the calculation of the life cycle assessment (LCA) from the cradle to the end-of-life stage. The environmental impacts from processes common to all products in the same country, i.e. the steel mill, the transport to customers and the end-of-life stage, for Finland and Denmark also most of the transport from Mo i Rana, make up between 85 % and 90 % of the total impacts from the product chain, depending on the specific country and measured as GWP-fossil. From this, we estimate that the variance between different products from different production sites is within  $\pm 10\%$

## Input data

Site-specific data on use of fuels and commodities provided by CELSA Armeringsstål AS has been used for the steel production in Norway. Site-specific data from CELSA Steel Service is used for the core processes. Site-specific data is from 2019. Electricity consumption data according to country averages has been used for electricity consumed. Specific data from the suppliers has been collected wherever possible. Otherwise, generic data has been collected from commercial databases, mainly from the GaBi professional database (thinkstep AG).

By the selection of data, the geographical location of each supplier has been considered to the extent possible. For by-products, economic allocation based on the relative revenues from the allocable products is applied. For the steel works, the national consumption mix in Norway is applied. Norwegian Consumption Mix used has a GWP value of 0.031 kg CO<sub>2</sub> eq./kWh.

The quality of the inventory data for energy and commodities has been assessed against the criteria of the UN Environment Global Guidance on LCA database development (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (2019), Annex E). These criteria are geographical, technical and temporal representativeness. For most of the commodities and energy wares, which cause significant environmental impacts, the data quality is good, with a few occasional exceptions, where the data quality is fair.

## Declared unit

Reinforcement steel is normally sold by weight and therefore the declared unit is set to 1 tonne reinforcement steel.

## Raw material

The EPD considers reinforcement steel made out of hot rolled products, transformed into straight ribbed bars, cut and bent, mesh, and combinations of these (special welded products). The production of low-alloyed steel from scrap and additional alloying metals is done in an electric arc furnace (EAF).

Scrap is transported from Norway (approx. 62 %) and imports (approx. 38 %) from Sweden, Denmark and Finland to the steel works in Mo i Rana, Norway. After hot rolling, the products are transported to production sites in Norway where they are worked into reinforcement products.

## System boundaries

The system boundaries are described in the system diagram and in the table in the section LCA information.

The Environmental Product Declaration (EPD) shows the environmental performance of the product through its life cycle stages from cradle to end-of-life. The life cycle stages are upstream processes (A1), transportation to national production sites (A2), core processes (A3) and end-of-life processes (C1 – C4). The upstream processes include steelmaking processes and the core processes include processing activities from coils and straight bars to project specific reinforcement steel.

The raw material is transported to the production sites from the steelworks as coils and straightened bars by ship to the production sites in Oslo, Drammen, Kristiansand, Bergen, Ålesund, Trondheim and Tromsø. There is also a production site directly at Mo i Rana. The tonnage-weighted average delivery distance to customers is 106 km by truck (module A4).



## Scope

The objective of the life cycle assessment is to provide the basic environmental data necessary to prepare the EPD, i.e. to give an environmental profile of the manufacturing of CELSA's steel reinforcement products. The aim of the LCA report and the EPD is to be a useful tool for different actors in the construction and real estate sector, (business to business). The system is of the type cradle to gate with options, modules C1 - C4 and module D, as defined by EN 15804:2012+A2:2019.

The product chain starts with shredding of the steel scrap (if any) and the transport of the scrap to the steel works. Commodities and energy are followed upstream to their origin in natural resources. The product chain ends with the recovery of reinforcement steel from crushed concrete from the demolition of a construction. Benefits and loads beyond the system boundaries (resource recovery stage) are also included.

## Additional information

Product contains no substances in the REACH Candidate list. Products contain no substances in the Norwegian priority list. The estimated impact results are only relative statements, which do not indicate the end points of the impact categories, exceeding threshold values, safety margins or risks.

EPD of construction products may not be comparable if they do not comply with EN15804.

## Verification

CEN standard EN 15804 serves as the Core Product Category Rules (PCR). Independent third-party verification of the declaration and data, according to ISO 14025:2006:





# PRODUCT INFORMATION

## Name and location of production site(s)

Oslo, Drammen, Kristiansand, Bergen, Ålesund, Trondheim, and Tromsø

## Product-related or management system-related certifications

Material Standards: NS 3576-3 (1, 3 and 4) and EN 10080:2005  
Product Certificates: 961220 (KONTROLLRÅDET)  
Supplier CELSA Armeringsstål AS: OSHAS 18001, ISO 14001, EMAS

## Registrations in other environmental assessment systems

ECOproduct

## UN CPC code

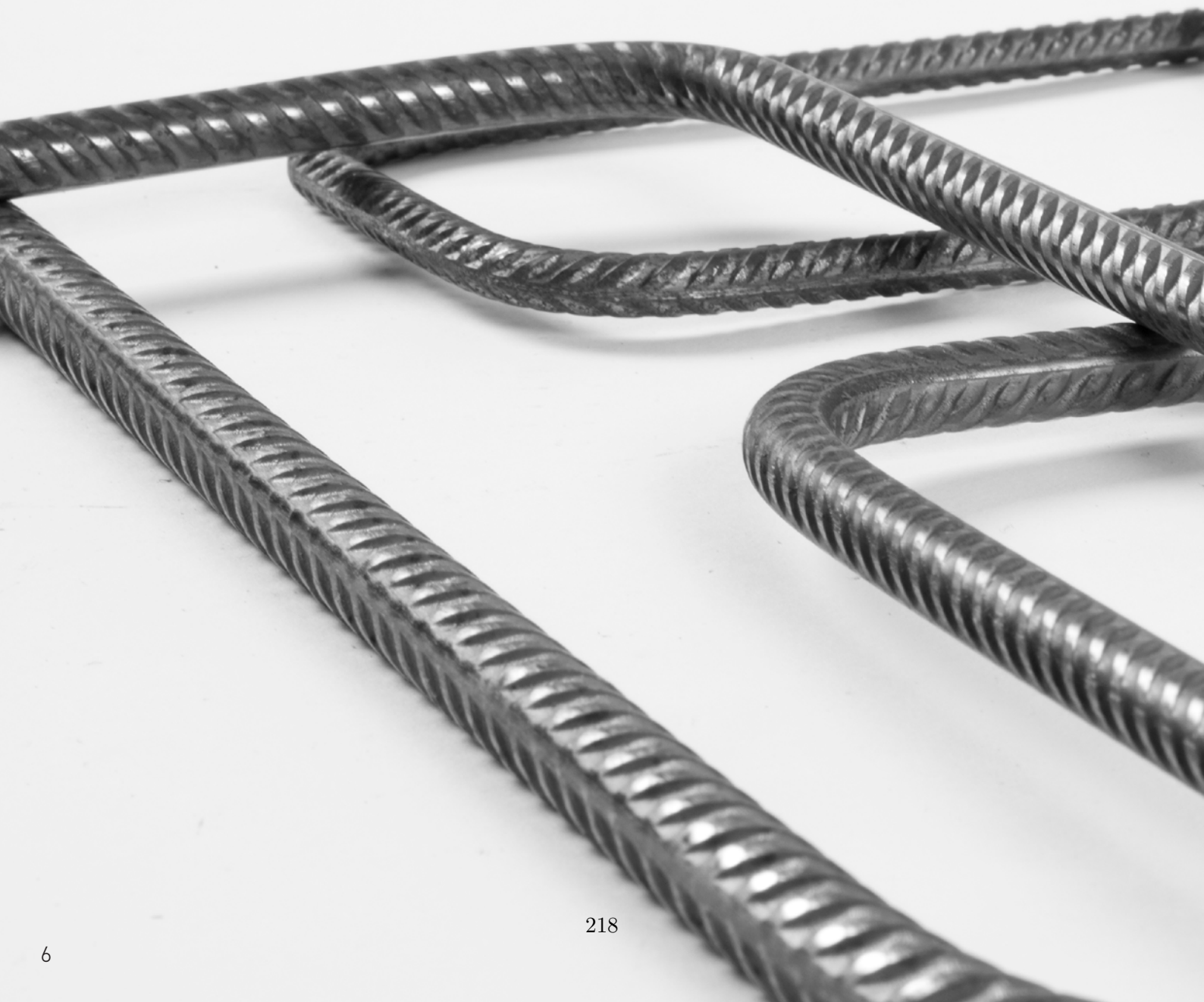
41241 and 41242

## Material Characteristics

Product diameter range from 4 mm to 40 mm  
Yield stress,  $R_e \geq 500$  MPa -  $R_m/R_e \geq 1.15$   
Elongation  $A_{gt} \geq 7.5$  %  
Density  $7700$  kg/m<sup>3</sup>

## Product name and identification

Steel reinforcement products for concrete



### **Included products and description**

Products range from cut and bent, mesh (Mo I Rana), BAMTEC® (Oslo), to an extensive production of prefabricated reinforcement elements (special welded products).

### **Other Certifications at CELSA Steel Service AS**

ISO 9001, ISO 14001

### **Product content (weight %)**

Iron 98-99  
Carbon 0.05-0.2  
Manganese 0.3-0.7  
Silicon 0.2



# LCA INFORMATION

## Declared unit

Per tonne of reinforcement products.

## Reference service life

Not applicable

## Time representativeness

Specific data for CELSA's core processes and for the manufacture of several major additives and commodities was collected as annual average data for the year 2019. Generic data for modes of transport and for materials, for which specific data was not available, has 2019 as reference year. Data for energy wares from primary energy sources has 2016 as reference year.

## Database(s) and LCA software used

LCA software GaBi ts version 9.2 (thinkstep AG) with its Professional Database version 8.7, service pack 40.

## Description of system boundaries

Cradle to gate with modules C1-C4, module D and with optional module A4.

## More information

This LCA comprises products, which are converted from rolled steel bars in Norway. Steel bars which are sold without further processing are not included. The eight production sites of CELSA Steel Service in Norway have different turnovers and offer different types of products, use different types and quantities of energy and commodities per tonne of product, and have different transport routes of steel bars from Mo i Rana.

## Source of electricity for the manufacture (A3)

Electricity for the manufacture in Norway is supplied from the Norwegian average consumption mix.

## Norwegian average consumption mix, low-voltage grid (< 1kV)

Primary energy source	Contribution (%)
Hydro power	96.43
Wind power	1.42
Biomass + biogas	0.03
Waste incineration	0.26
Fossil sources, mainly natural gas	1.86
<b>Climate impact, kg CO<sub>2</sub> equiv./kWh</b>	<b>0.031</b>

In order to calculate data for an average reinforcement product, the total use of each type of energy and each type of commodity for all sites was divided by the total output of products from all sites. For transports, tonnage-weighted average transport distances were calculated for ship routes and for truck routes.

## Cut-off criteria

The principle is zero cut-off. All raw materials, all commodities, all energy inputs and all waste-treatment processes, for which specific, generic or (as a last possibility) estimated data could be obtained, are included. Commodities for which no data at all could be found, amount to less than 1 % weight.

## Allocation

In the base case, the environmental impacts of the recycled scrap used in module A1 are allocated to the product from which the scrap was obtained. The environmental burdens of transport to the steel mill in Mo i Rana and of scrap shredding are allocated to the declared product. As additional information, the content of preconsumer scrap and the climate impact of virgin production of the steel corresponding to the primary preconsumer scrap is also calculated and reported.

Otherwise as a rule, economic allocation based on the relative revenues from the allocatable products is applied. This in principle also applies to recyclable steel waste from module A3, which is regarded as a co-product. The environmental impact thus allocated to the scrap is 0.4 %, which is disregarded.

## Environmental Information

For construction services, the total value of A1-A3 shall be replaced with the total value of A1-A5.

The indicators, with one exception, are calculated with the characterisation factors published by the Joint Research Centre (ILCD 2013, characterization factors according to EC-JRC EF3.0, 2019), as they can be accessed in GaBi (thinkstep AG) in the data set Environmental quantities/EN15804+A2.

The climate impact indicator GWP-GHG is calculated with characterisation factors published by the Institute of Environmental Sciences, Leiden University (CML 2016), as they can be accessed in GaBi in the data set Environmental quantities/CML2001 – Jan 2016, Global Warming Potential (GWP 100 years), excl. biogenic carbon.

### Potential environmental impact – mandatory indicators according to EN 15804

Indicator	Unit	A1	A2	A3	Tot.A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
<b>GWP-fossil</b>	kg CO <sub>2</sub> eq.	357	30.5	0.18	388	7.48	0.344	7.1	0	0	122
<b>GWP-biogenic</b>	kg CO <sub>2</sub> eq.	8.98	0.0807	5.1	14.2	0.41	0.00354	0.389	0	0	0.632
<b>GWP-luluc</b>	kg CO <sub>2</sub> eq.	0.623	0.000913	0.00139	0.625	0.0607	0.00271	0.0577	0	0	0.0247
<b>GWP-total</b>	kg CO <sub>2</sub> eq.	367	30.6	5.28	402	7.95	0.350	7.55	0	0	123
<b>ODP</b>	kg CFC 11 eq.	2.23E-06	3.09E-15	1.2E-16	2.23E-06	1.38E-15	6.13E-17	1.31E-15	0	0	1.55E-14
<b>AP</b>	mol H <sup>+</sup> eq.	1.1	0.578	0.00428	1.7	0.00876	0.00341	0.00833	0	0	0.32
<b>EP-freshwater</b>	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	0.0200	1.95E-05	4.32E-06	0.0200	6.99E-05	3.13E-06	6.65E-05	0	0	0.000186
<b>EP-freshwater</b>	kg P eq.	0.00652	6.35E-06	1.41E-06	0.00653	2.28E-05	1.02E-06	2.17E-05	0	0	6.06E-05
<b>EP-marine</b>	kg N eq.	0.454	0.292	0.00147	0.747	0.00271	0.00164	0.00258	0	0	0.0675
<b>EP-terrestrial</b>	mol N eq.	5	3.2	0.0166	8	0.0322	0.0181	0.0306	0	0	0.715
<b>POCP</b>	kg NMVOC eq.	1.23	0.785	0.00432	2.02	0.00728	0.0048	0.00691	0	0	0.236
<b>ADP-minerals &amp; metals*</b>	kg Sb eq.	0.000155	9.17E-07	1.58E-08	0.000156	6.89E-07	3.07E-08	6.5E-07	0	0	3.21E-05
<b>ADP-fossil*</b>	MJ	1930	414	2.29	2346	100	4.46	95	0	0	1130
<b>WDP</b>	m <sup>3</sup>	80	0.1	0	80	0.08	0.004	0.07	0	0	2.5

\* Disclaimer: The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties of these results are high or as there is limited experience with the indicator.



## **Appendiks C.1**

Rådata av resultatene fra trykktesting av betongene ment for vangene



NTNU		LABORATORIUM FOR MATERIALTEKNIKK NTNU									
Fagkode:	TKT 4950										
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim										
RADATA FRA TRYKKTESING AV RESEPT MENT FOR VANGENE - ark 1 av 3											
Resept: V50-41-200-2											
Støpedato:	26.01.2021										
Prøvestykke	Ved avforming				Ved prøving			Trykkfasthet			
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	Døgn		
1	2213,6	1212,8	1000,8	2211,8	2217,5	2217,5	40,59	4,06	1d		
2	2194,9	1196,0	998,9	2197,3	2198,1	2198,1	41,36	4,14	1d		
3	2209,0	1209,5	999,5	2210,1	2212,1	2212,1	41,89	4,19	1d		
4	2167,8	1175,3	992,5	2184,2	2187,2	2187,2	88,69	8,87	2d		
5	2164,3	1173,0	991,3	2183,3	2184,7	2184,7	86,87	8,69	2d		
6	2238,0	1219,5	1018,5	2197,3	2256,3	2256,3	90,57	9,06	2d		
7	2195,2	1196,8	998,4	2198,7	2217,7	2217,7	145,86	14,59	7d		
8	2214,8	1212,2	1002,6	2209,1	2236,6	2236,6	149,83	14,98	7d		
9	2214,5	1209,7	1004,8	2203,9	2237,6	2237,6	146,38	14,64	7d		
Gjennomsnitt:	6403,4	1200,5	1000,8	2199,5	-	-	-	-	-		
Gjennomsnitt 1d:	-	-	-	-	2209,2	2209,2	41,28	4,13			
Gjennomsnitt 2d:	-	-	-	-	2209,4	2209,4	88,71	8,87			
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2230,6	2230,6	147,36	14,74			
Standardavvik 1d:	-	-	-	-	10,0	10,0	0,65	0,07			
Standardavvik 2d:	-	-	-	-	40,6	40,6	1,85	0,19			
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	11,2	11,2	2,16	0,22			
Resept: V45-41-200-2											
Støpedato:	26.01.2021										
Prøvestykke	Ved avforming				Ved prøving			Trykkfasthet			
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	Døgn		
1	2225,9	1220,5	1005,4	2213,9	2230,3	2230,3	38,44	3,84	1d		
2	2160,8	1174,2	986,6	2190,1	2165,0	2165,0	36,51	3,65	1d		
3	2194,4	1197,4	997,0	2201,0	2197,2	2197,2	36,44	3,64	1d		
4	2178,2	1189,2	989,0	2202,4	2196,7	2196,7	95,00	9,50	2d		
5	2241,4	1235,7	1005,7	2228,7	2259,8	2259,8	102,31	10,23	2d		
6	2218,4	1208,1	1010,3	2195,8	2239,9	2239,9	94,80	9,48	2d		
7	2201,1	1206,1	995,0	2212,2	2224,1	2224,1	175,02	17,50	7d		
8	2191,3	1197,4	993,9	2204,7	2214,8	2214,8	163,37	16,34	7d		
9	2193,4	1201,8	991,6	2212,0	2216,8	2216,8	167,25	16,73	7d		
Gjennomsnitt:	2200,5	1203,4	997,2	2206,8	-	-	-	-	-		
Gjennomsnitt 1d:	-	-	-	-	2197,5	2197,5	37,13	3,71			
Gjennomsnitt 2d:	-	-	-	-	2232,1	2232,1	97,37	9,74			
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2218,6	2218,6	168,55	16,85			
Standardavvik 1d:	-	-	-	-	32,7	32,7	1,14	0,11			
Standardavvik 2d:	-	-	-	-	32,3	32,3	4,28	0,43			
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	4,9	4,9	5,93	0,59			
Resept: V45-55-200-2											
Støpedato:	27.01.2021										
Prøvestykke	Ved avforming				Ved prøving			Trykkfasthet			
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	Døgn		
1	2055,6	1077,3	978,3	2101,2	2065,1	2110,9	17,24	1,72	1d		
2	2146,6	1163,4	983,2	2183,3	2155,4	2192,2	19,49	1,95	1d		
3	2080,9	1107,1	973,8	2136,9	2090,1	2146,3	18,14	1,81	1d		
4	2085,2	1095,2	990,0	2106,3	2105,1	2126,4	60,19	6,02	2d		
5	2122,2	1141,6	980,6	2164,2	2139,3	2181,6	65,46	6,55	2d		
6	2117,6	1124,9	992,7	2133,2	2135,9	2151,6	64,49	6,45	2d		
7	2150,5	1158,0	992,5	2166,8	2174,8	2191,2	114,79	11,48	7d		
8	2128,3	1138,2	990,1	2149,6	2153,5	2175,0	111,68	11,17	7d		
9	2119,0	1121,5	997,5	2124,3	2143,4	2148,8	113,51	11,35	7d		
10	2145,8	1151,6	994,2	2158,3	2176,0	2188,7	165,47	16,55	28d		
11	2109,5	1170,3	939,2	2246,1	2199,1	2341,5	173,35	17,34	28d		
12	2137,1	1138,6	998,5	2140,3	2167,9	2171,2	163,26	16,33	28d		
Gjennomsnitt:	2116,5	1132,3	984,2	2150,9	-	-	-	-	-		
Gjennomsnitt 1d:	-	-	-	-	2103,5	2149,8	18,29	1,83			
Gjennomsnitt 2d:	-	-	-	-	2126,8	2153,2	63,38	6,34			
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2157,2	2171,7	113,33	11,33			
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2181,0	2233,8	167,36	16,74			
Standardavvik 1d:	-	-	-	-	46,6	40,8	1,13	0,11			
Standardavvik 2d:	-	-	-	-	18,8	27,7	2,80	0,28			
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	16,0	21,4	1,56	0,16			
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	16,2	93,7	5,30	0,53			
Resept: V45-41-150-5											
Støpedato:	01.02.2021										
Prøvestykke	Ved avforming				Ved prøving			Trykkfasthet			
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	Døgn		
1	2275,7	1223,9	1051,8	2163,624263	2275,7	2163,6	52,63	5,263	1d		
2	2168,9	1188,3	980,6	2211,809096	2168,9	2211,8	48,77	4,877	1d		
3	2204,2	1215,5	988,7	2229,392131	2204,2	2229,4	50,9	5,09	1d		
4	2203,6	1214,3	989,3	2227,433539	2222,2	2246,2	107,53	10,753	2d		
5	2202,5	1213,7	988,8	2227,447411	2221,2	2246,4	110,11	11,011	2d		
6	2174,2	1186,5	987,7	2201,275691	2193,4	2220,7	101,21	10,121	2d		
7	2235,7	1239,2	996,5	2243,552434	2257,0	2264,9	207,28	20,728	7d		
8	2176	1188,9	987,1	2204,43724	2197,7	2226,4	197,85	19,785	7d		
9	2200,9	1207,7	993,2	2215,968586	2221,2	2236,4	207,66	20,766	7d		
10	2216	1231,2	984,8	2250,203087	2237,8	2272,3	338,73	33,873	28d		
11	2223,7	1227,2	996,5	2231,510286	2246,8	2254,7	327,01	32,701	28d		
12	2202	1207,1	994,9	2213,287768	2228,0	2239,4	317,72	31,772	28d		
Gjennomsnitt:	2206,95	1211,958333	994,9916667	2218,328461	-	-	-	-	-		
Gjennomsnitt 1d:	-	-	-	-	2216,3	2201,6	50,8	5,1			
Gjennomsnitt 2d:	-	-	-	-	2212,3	2237,8	106,3	10,6			
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2225,3	2242,6	204,3	20,4			
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2237,5	2255,5	327,8	32,8			
Standardavvik 1d:	-	-	-	-	54,4	34,0	1,9	0,2			
Standardavvik 2d:	-	-	-	-	16,3	14,8	4,6	0,5			
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	29,9	20,0	5,6	0,6			
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	9,4	16,5	10,5	1,1			

Fagkode:		TKT 4950							
Utført av:		Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim							
RADATA FRA TRYKKTESING AV RESEPT MENT FOR VANGENE - ark 2 av 3									
Resept: V45-55-150-5									
Støpedato: 01.02.2021									
Prøvestykke	Ved avforming				Ved prøving			Trykkfasthet	
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	Døgn
1	2138,0	1148,2	989,8	2160,0	2138,0	2160,0	28,40	2,84	1d
2	2133,9	1137,7	996,2	2142,0	2133,9	2142,0	28,81	2,88	1d
3	2168,1	1172,3	995,8	2177,2	2168,1	2177,2	30,68	3,07	1d
4	2149,5	1169,1	980,4	2192,5	2168,7	2212,1	77,13	7,71	2d
5	2082,7	1099,9	982,8	2119,1	2106,1	2143,0	69,15	6,92	2d
6	2069,3	1088,6	980,7	2110,0	2090,5	2131,6	64,30	6,43	2d
7	2143,6	1154,1	989,5	2166,3	2167,4	2190,4	137,86	13,79	7d
8	2136,1	1143,2	992,9	2151,4	2159,6	2175,0	128,17	12,82	7d
9	2140,8	1148,3	992,5	2157,0	2165,6	2182,0	138,78	13,88	7d
10	2139,9	1155,7	984,2	2174,3	2167,4	2202,2	239,83	23,98	28d
11	2117,3	1126,5	990,8	2137,0	2144,8	2164,7	228,44	22,84	28d
12	2132,9	1142,1	990,8	2152,7	2160,8	2180,9	233,46	23,35	28d
Gjennomsnitt:	2129,3	1140,5	988,9	2153,3	-	-	-	-	-
Gjennomsnitt 1d:	-	-	-	-	2146,7	2159,8	29,30	2,93	-
Gjennomsnitt 2d:	-	-	-	-	2121,8	2162,2	70,19	7,02	-
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2164,2	2182,5	134,94	13,49	-
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2157,7	2182,6	233,91	23,39	-
Standardavvik 1d:	-	-	-	-	18,7	17,6	1,22	0,12	-
Standardavvik 2d:	-	-	-	-	41,4	43,5	6,48	0,65	-
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	4,1	7,7	5,88	0,59	-
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	11,6	18,8	6,71	0,57	-
Resept: V35-41-150-5									
Støpedato: 10.02.2021									
Prøvestykke	Ved avforming				Ved prøving			Trykkfasthet	
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	Døgn
1	2250,5	1257,3	993,2	2265,9	2250,5	2265,9	161,21	16,12	1d
2	2245,7	1253,6	992,1	2263,6	2245,7	2263,6	163,78	16,38	1d
3	2251,2	1255,3	995,9	2260,5	2251,2	2260,5	155,26	15,53	1d
4	2239,0	1238,7	1000,3	2238,3	2248,7	2248,0	227,82	22,78	2d
5	2251,8	1250,9	1000,9	2249,8	2262,4	2260,4	244,49	24,45	2d
6	2252,2	1255,8	996,4	2260,3	2263,3	2271,5	249,40	24,94	2d
7	2285,9	1255,0	1030,9	2217,4	2276,2	2208,0	353,46	35,35	7d
8	2245,3	1247,8	997,5	2250,9	2270,7	2276,4	353,17	35,32	7d
9	2257,3	1268,1	989,2	2281,9	2291,4	2316,4	353,07	35,31	7d
10	2259,6	1255,9	1003,7	2251,3	2279,0	2270,6	464,47	46,45	28d
11	2273,5	1266,0	1007,5	2256,6	2293,9	2276,8	486,82	48,68	28d
12	2266,5	1261,5	1005,0	2255,2	2286,5	2275,1	500,16	50,02	28d
Gjennomsnitt:	2256,5	1255,5	1001,1	2254,3	-	-	-	-	-
Gjennomsnitt 1d:	-	-	-	-	2249,1	2263,3	160,08	16,01	-
Gjennomsnitt 2d:	-	-	-	-	2258,1	2260,0	240,57	24,06	-
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2279,4	2266,9	353,23	35,32	-
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2286,5	2274,2	483,82	48,38	-
Standardavvik 1d:	-	-	-	-	3,0	2,7	4,37	0,44	-
Standardavvik 2d:	-	-	-	-	8,2	11,7	11,31	1,13	-
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	10,7	54,8	0,20	0,02	-
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	7,5	3,2	18,03	1,80	-
Resept: V35-41-150-5-aks+Ld									
Støpedato: 10.02.2021									
Prøvestykke	Ved avforming				Ved prøving			Trykkfasthet	
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	Døgn
1	2281,1	1279,2	1001,9	2276,8	2281,1	2276,8	185,54	18,55	1d
2	2281,8	1287,5	994,3	2294,9	2281,8	2294,9	180,69	18,07	1d
3	2289,5	1289,2	1000,3	2288,8	2289,5	2288,8	196,66	19,67	1d
4	2296,5	1302,3	994,2	2309,9	2308,1	2321,6	261,66	26,17	2d
5	2294,9	1292,0	1002,9	2288,3	2307,7	2301,0	257,69	25,77	2d
6	2311,4	1312,2	999,2	2313,3	2321,6	2323,5	278,81	27,88	2d
7	2268,1	1272,9	995,2	2279,0	2283,0	2294,0	371,59	37,16	7d
8	2285,4	1289,4	996,0	2294,6	2300,0	2309,2	388,08	38,81	7d
9	2279,3	1279,8	999,5	2280,4	2295,0	2296,1	365,76	36,58	7d
10	2284,7	1290,3	994,4	2297,6	2303,7	2316,7	530,21	53,02	28d
11	2270,7	1273,2	997,5	2276,4	2289,5	2295,2	504,34	50,43	28d
12	2311,7	1313,7	998,0	2316,3	2320,5	2325,2	562,62	56,26	28d
Gjennomsnitt:	2287,9	1290,1	997,8	2293,0	-	-	-	-	-
Gjennomsnitt 1d:	-	-	-	-	2284,1	2286,8	187,63	18,76	-
Gjennomsnitt 2d:	-	-	-	-	2312,5	2315,4	266,05	26,61	-
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2292,7	2299,8	375,14	37,51	-
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2304,6	2312,4	532,39	53,24	-
Standardavvik 1d:	-	-	-	-	4,7	9,2	8,19	0,82	-
Standardavvik 2d:	-	-	-	-	7,9	12,4	11,22	1,12	-
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	8,7	8,2	11,58	1,16	-
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	15,5	15,4	29,20	2,92	-
Resept: V35-56-150-5-aks+Ld									
Støpedato: 16.02.2021									
Prøvestykke	Ved avforming				Ved prøving			Trykkfasthet	
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	Døgn
1	2229,7	1223,8	1005,9	2216,6	2229,7	2216,6	156,68	15,67	1d
2	2243,9	1230,3	1013,6	2213,8	2243,9	2213,8	155,82	15,58	1d
3	2261,5	1243,5	1018,0	2221,5	2261,5	2221,5	155,19	15,52	1d
4	2239,6	1234,5	1005,1	2228,2	2248,5	2237,1	212,83	21,28	2d
5	2265,0	1245,4	1019,6	2221,5	2274,1	2230,4	219,53	21,95	2d
6	2290,2	1262,5	1027,7	2228,5	2301,0	2239,0	217,16	21,72	2d
7	2240,3	1229,9	1010,4	2217,2	2256,3	2233,1	297,49	29,75	7d
8	2265,1	1251,4	1013,7	2234,5	2281,2	2250,4	295,57	29,56	7d
9	2226,9	1219,8	1007,1	2211,2	2243,1	2227,3	292,86	29,29	7d
10	2270,8	1251,8	1019,0	2228,5	2291,7	2249,0	400,73	40,07	28d
11	2253,9	1238,9	1015,0	2220,6	2275,4	2241,8	400,51	40,05	28d
12	2255,5	1238,3	1017,2	2217,4	2276,6	2238,1	414,56	41,46	28d
Gjennomsnitt:	2253,5	1239,2	1014,4	2221,6	-	-	-	-	-
Gjennomsnitt 1d:	-	-	-	-	2245,0	2217,3	155,90	15,59	-
Gjennomsnitt 2d:	-	-	-	-	2274,5	2235,5	216,51	21,65	-
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2260,2	2236,9	295,31	29,53	-
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2281,2	2242,9	405,27	40,53	-
Standardavvik 1d:	-	-	-	-	15,9	3,9	0,75	0,07	-
Standardavvik 2d:	-	-	-	-	26,3	4,5	3,40	0,34	-
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	19,3	12,0	2,33	0,23	-
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	9,1	5,5	8,05	0,80	-



Fagkode: TKT 4950  
Utført av: Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

RADATA FRA TRYKKTESING AV RESEPT MENT FOR VANGENE - ark 3 av 3

Resept: V35-60-150-5-aks+Ld

Støpedato: 22.02.2021

Prøvestykke	Ved avforming			Ved prøving				Trykkfasthet		Døgn
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]		
1	2220,9	1217,0	1003,9	2212,3	2220,9	2212,3	142,78	14,28	1d	
2	2180,7	1176,4	1004,3	2171,4	2180,7	2171,4	129,09	12,91	1d	
3	2200,1	1197,8	1002,3	2195,1	2200,1	2195,1	142,79	14,28	1d	
4	2207,0	1207,4	999,6	2207,9	2220,1	2221,0	209,59	20,96	3d	
5	2203,7	1195,4	1008,3	2185,6	2218,9	2200,6	201,56	20,16	3d	
6	2196,0	1183,0	1013,0	2167,8	2209,4	2181,0	195,09	19,51	3d	
7	2181,7	1183,5	998,2	2185,6	2198,3	2202,3	254,98	25,50	7d	
8	2206,9	1195,5	1011,4	2182,0	2224,4	2199,3	256,29	25,63	7d	
9	2213,3	1205,6	1007,7	2196,4	2231,1	2214,1	250,49	25,05	7d	
10	2160,4	1160,1	1000,3	2159,8	2183,7	2183,0	357,37	35,74	28d	
11	2181,5	1174,0	1007,5	2165,3	2203,9	2187,5	341,18	34,12	28d	
12	2195,7	1191,4	1004,3	2186,3	2217,6	2208,1	351,88	35,19	28d	
Gjennomsnitt:	2195,7	1190,6	1005,1	2184,6	-	-	-	-		
Gjennomsnitt 1d:	-	-	-	-	2200,6	2192,9	138,22	13,82		
Gjennomsnitt 2d:	-	-	-	-	2216,1	2200,9	202,08	20,21		
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2217,9	2205,2	253,92	25,39		
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2201,7	2192,9	350,14	35,01		
Standardavvik 1d:	-	-	-	-	20,1	20,5	7,91	0,79		
Standardavvik 2d:	-	-	-	-	5,9	20,0	7,26	0,73		
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	17,3	7,8	3,04	0,30		
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	17,1	13,4	8,23	0,82		

Resept: V35-63-150-5-aks+Ld

Støpedato: 22.02.2021

Prøvestykke	Ved avforming			Ved prøving				Trykkfasthet		Døgn
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]		
1	2184,7	1181,2	1003,5	2177,1	2184,7	2177,1	121,74	12,17	1d	
2	2179,4	1172,4	1007,0	2164,3	2179,4	2164,3	126,85	12,69	1d	
3	2199,5	1198,1	1001,4	2196,4	2199,5	2196,4	131,15	13,12	1d	
4	2188,9	1181,8	1007,1	2173,5	2203,2	2187,7	196,46	19,65	3d	
5	2226,8	1220,7	1006,1	2213,3	2242,7	2229,1	215,78	21,58	3d	
6	2211,6	1199,5	1012,1	2185,2	2259,7	2232,7	200,47	20,05	3d	
7	2215,4	1210,6	1004,8	2204,8	2234,8	2224,1	259,04	25,90	7d	
8	2203,3	1193,3	1010,0	2181,5	2222,3	2200,3	249,95	25,00	7d	
9	2235,6	1221,8	1013,8	2205,2	2253,7	2223,0	257,97	25,80	7d	
10	2195,0	1188,4	1006,6	2180,6	2218,1	2203,6	354,44	35,44	28d	
11	2167,8	1165,9	1001,9	2163,7	2191,4	2187,2	298,48	29,85	28d	
12	2203,6	1194,9	1008,7	2184,6	2226,4	2207,2	343,05	34,31	28d	
Gjennomsnitt:	2201,0	1194,1	1006,9	2185,8	-	-	-	-		
Gjennomsnitt 1d:	-	-	-	-	2187,9	2179,3	126,58	12,66		
Gjennomsnitt 2d:	-	-	-	-	2235,2	2216,5	204,24	20,42		
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2236,9	2215,8	255,65	25,57		
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2212,0	2199,3	331,99	33,20		
Standardavvik 1d:	-	-	-	-	10,4	16,2	4,71	0,47		
Standardavvik 2d:	-	-	-	-	29,0	25,0	10,20	1,02		
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	15,8	13,4	4,97	0,50		
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	18,3	10,6	29,57	2,96		

## **Appendiks C.2**

Rådata av resultatene fra trykktesting av betongene ment for senter

Fagkode:	TKT 4950									
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim									
RADATA FRA TRYKKTESING AV RESEPT MENT FOR SENTER - ark 1 av 2										
Resept: S50-59-100-2										
Støpedato:	21.01.2021									
	Ved avforming				Ved prøving		Trykkfasthet			
Prøvestykke	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	Døgn	
1	2213,9	1217,2	996,7	2221,2	2232,8	2240,2	144,79	14,48	4d	
2	2193,3	1198,5	994,8	2204,8	2211,9	2223,5	130,56	13,06	4d	
3	2198,5	1203,1	995,4	2208,7	2218,4	2228,7	137,85	13,79	4d	
4	2202,9	1207,1	995,8	2212,2	2226,7	2236,1	159,34	15,93	7d	
5	2226,1	1222,0	1004,1	2217,0	2249,9	2240,7	168,86	16,89	7d	
6	2180,2	1189,4	990,8	2200,4	2204,2	2224,7	163,86	16,39	7d	
7	2217,5	1214,1	1003,4	2210,0	2239,7	2232,1	248,58	24,86	28d	
8	2209,6	1201,9	1007,7	2192,7	2216,4	2199,5	245,68	24,57	28d	
9	2198,1	1204,8	993,3	2212,9	2219,0	2234,0	242,77	24,28	28d	
Gjennomsnitt:	2204,5	1206,5	998,0	2208,9	-	-	-	-		
Gjennomsnitt 4d:	-	-	-	-	2221,0	2230,8	137,73	13,77		
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2226,9	2233,8	164,02	16,40		
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2225,0	2221,8	245,68	24,57		
Standardavvik 4d:	-	-	-	-	10,7	8,6	7,12	0,71		
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	22,9	8,3	4,76	0,48		
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	12,8	19,4	2,91	0,29		
Resept: S45-88-100-5										
Støpedato:	21.01.2021									
	Ved avforming				Ved prøving		Trykkfasthet			
Prøvestykke	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	Døgn	
1	2119,4	1108,8	1010,6	2097,2	2124,1	2101,8	97,92	9,792	1d	
2	2084,8	1083,7	1001,1	2082,5	2089,5	2087,2	94,79	9,479	1d	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	1d	
4	2121,3	1122,0	999,3	2122,8	2142,1	2143,6	111,13	11,113	2d	
5	2103,3	1113,1	990,2	2124,1	2123,8	2144,8	110,4	11,04	2d	
6	2157,4	1156,8	1000,6	2156,1	2176,8	2175,5	119,36	11,936	2d	
7	2153,9	1153,2	1000,7	2152,4	2172,8	2171,3	177,15	17,715	7d	
8	2112,1	1121,1	991,0	2131,3	2130,7	2150,1	175,08	17,508	7d	
9	2121,5	1118,4	1003,1	2114,9	2141,4	2134,8	177,63	17,763	7d	
Gjennomsnitt:	2121,7	1122,1	999,6	2122,7	-	-	-	-		
Gjennomsnitt 4d:	-	-	-	-	2106,8	2094,5	96,4	9,6		
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2147,6	2154,6	113,6	11,4		
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2148,3	2152,0	176,6	17,7		
Standardavvik 4d:	-	-	-	-	24,5	10,3	2,2	0,2		
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	26,9	18,1	5,0	0,5		
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	21,9	18,3	1,4	0,1		

Fagkode: TKT 4950  
Utført av: Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

RÅDATA FRA TRYKKTESTING AV RESEPT MENT FOR SENTER - ark 2 av 2

Resept: S35-67-150-5

Støpedato: 15.02.2021

Prøvestykke	Ved avforming				Ved prøving		Trykkfasthet		Døgn
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	
1	2168,9	1172,0	996,9	2175,6	2168,9	2175,6	73,62	7,36	1d
2	2189,1	1188,5	1000,6	2187,8	2189,1	2187,8	84,19	8,42	1d
3	2195,8	1196,7	999,1	2197,8	2195,8	2197,8	80,44	8,04	1d
4	2045,9	1047,8	998,1	2049,8	2066,7	2070,6	131,38	13,14	3d
5	2169,2	1166,3	1002,9	2162,9	2184,8	2178,5	178,01	17,80	3d
6	2140,9	1138,3	1002,6	2135,3	2157,7	2152,1	161,07	16,11	3d
7	2131,8	1136,7	995,1	2142,3	2153,4	2164,0	212,50	21,25	7d
8	2167,0	1171,6	995,4	2177,0	2187,1	2197,2	213,46	21,35	7d
9	-	-	-	-	-	-	-	-	7d
10	2139,0	1143,5	995,5	2148,7	2168,5	2178,3	296,97	29,70	28d
11	2091,1	1093,5	997,6	2096,1	2121,0	2126,1	268,37	26,84	28d
12	2191,2	1199,8	991,4	2210,2	2215,3	2234,5	354,99	35,50	28d
Gjennomsnitt:	2148,2	1150,4	997,7	2153,1	-	-	-	-	
Gjennomsnitt 1d:	-	-	-	-	2184,6	2187,1	79,42	7,94	
Gjennomsnitt 3d:	-	-	-	-	2136,4	2133,7	156,82	15,68	
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2170,3	2180,6	212,98	21,30	
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2168,3	2179,6	306,78	30,68	
Standardavvik 1d:	-	-	-	-	14,0	11,1	5,36	0,54	
Standardavvik 3d:	-	-	-	-	61,9	56,2	23,60	2,36	
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	23,8	23,5	0,68	0,07	
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	47,2	54,2	44,13	4,41	

Resept: S35-88-150-5

Støpedato: 15.02.2021

Prøvestykke	Ved avforming				Ved prøving		Trykkfasthet		Døgn
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	
1	2096,8	1108,3	988,5	2121,2	2115,9	2140,5	112,44	11,24	3d
2	2117,6	1134,2	983,4	2153,3	2136,1	2172,2	120,52	12,05	3d
3	1970,7	977,6	993,1	1984,4	1996,6	2010,5	100,51	10,05	3d
4	2038,0	1048,3	989,7	2059,2	2063,8	2085,3	135,80	13,58	7d
5	2017,3	1026,6	990,7	2036,2	2042,7	2061,9	130,36	13,04	7d
6	2091,4	1103,0	988,4	2115,9	2114,5	2139,3	143,36	14,34	7d
7	2007,4	1018,7	988,7	2030,3	2041,3	2064,6	184,48	18,45	28d
8	2019,5	1029,5	990,0	2039,9	2050,2	2070,9	206,75	20,68	28d
9	2079,4	1085,9	993,5	2093,0	2110,9	2124,7	212,81	21,28	28d
Gjennomsnitt:	2048,7	1059,1	989,6	2070,4	-	-	-	-	
Gjennomsnitt 3d:	-	-	-	-	2082,9	2107,7	111,16	11,12	
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2073,7	2095,5	136,51	13,65	
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2067,5	2086,8	201,35	20,14	
Standardavvik 3d:	-	-	-	-	75,4	85,7	10,07	1,01	
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	36,9	39,7	6,53	0,65	
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	37,9	33,0	14,92	1,49	

Resept: S35-78-150-5-Ld

Støpedato: 16.02.2021

Prøvestykke	Ved avforming				Ved prøving		Trykkfasthet		Døgn
	Vekt i luft [g]	Vekt i vann [g]	Volum [cm <sup>3</sup> ]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vekt i luft [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruddlast [kN]	Trykkfasthet [MPa]	
1	2065,8	1046,4	1019,4	2026,5	2089,1	2049,3	138,96	13,90	3d
2	2154,1	1149,5	1004,6	2144,2	2174,4	2164,4	161,86	16,19	3d
3	2037,2	1030,7	1006,5	2024,0	2060,4	2047,1	131,23	13,12	3d
4	2159,8	1159,9	999,9	2160,0	2181,5	2181,7	210,32	21,03	7d
5	2054,5	1054,0	1000,5	2053,5	2079,4	2078,4	162,23	16,22	7d
6	2049,0	1044,9	1004,1	2040,6	2079,1	2070,6	154,40	15,44	7d
7	2057,5	1042,7	1014,8	2027,5	2088,8	2058,3	222,78	22,28	28d
8	2103,3	1102,4	1000,9	2101,4	2131,5	2129,6	273,06	27,31	28d
9	2111,9	1106,6	1005,3	2100,8	2141,2	2129,9	274,80	27,48	28d
Gjennomsnitt:	2088,1	1081,9	1006,2	2075,4	-	-	-	-	
Gjennomsnitt 3d:	-	-	-	-	2108,0	2087,0	144,02	14,40	
Gjennomsnitt 7d:	-	-	-	-	2113,3	2110,2	175,65	17,57	
Gjennomsnitt 28d:	-	-	-	-	2120,5	2105,9	256,88	25,69	
Standardavvik 3d:	-	-	-	-	59,3	67,1	15,93	1,59	
Standardavvik 7d:	-	-	-	-	59,0	62,0	30,28	3,03	
Standardavvik 28d:	-	-	-	-	27,9	41,2	29,54	2,95	

## Appendiks C.3

Rådata av resultatene fra trykktesting av betongene blandet hos Betong Øst

BØCar-S35-78-150-5-Ld

BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.1

BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2

BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld

BØOp-V35-61-150-5-Ld

BØOp-V35-63-180-5-Ld

Reseptnr: BØ-S35-78-150-5 BØ-S35-78-150-5-Ld

Prøve	Dato	Avd	Kunde	Følge- seddel	X Timer		2 døgn		7 døgn		28 døgn		56 døgn		90 døgn		1 døgn X døgn				
					Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	
80693	24.02.2021	343	Con-Form Produksjon AS	10718069 3	BØCar-S35-78-150-5-Ld										2,22	34,2					6,5
80957	16.03.2021	343	Con-Form Produksjon AS	10718095 7			BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.1				15,9	2,00	23,2								
81097	24.03.2021	343	Con-Form Produksjon AS	10718109 7			BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2		1,95	15,0	1,98	21,8									
<b>Ant prøver:</b> 3					<b>Standardavvik:</b>					1,95	15,5	2,06	26,4						6,5		
					<b>Karakteristiske verdier:</b>							0,6	6,8								

22.04.2021

Dato



Svein Erling Nisja

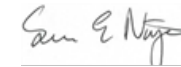
Signatur

Reseptnr: BØ-V35-63-150-5-aks BØ-V35-63-150-5-aks+Ld

Prøve	Dato	Avd	Kunde	Følge- seddel	X Timer		2 døgn		7 døgn		28 døgn		56 døgn		90 døgn		1 døgn X døgn		
					Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l	Trykk N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/l
80683	24.02.2021	343	Con-Form Produksjon AS	10718068 3	BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld	16,7					2,35	42,6							9,6
80848	09.03.2021	343	Con-Form Produksjon AS	10718084 8	BØOp-V35-61-150-5-Ld			2,22	28,5	2,22	40,3								
80871	10.03.2021	343	Con-Form Produksjon AS	10718087 1	BØOp-V35-63-180-5-Ld			2,22	24,1	2,22	35,0								
							16,7	2,22	26,3	2,26	39,3								9,6
<b>Ant prøver:</b>		3		<b>Standardavvik:</b>						3,1		3,9							
<b>Karakteristiske verdier:</b>																			

22.04.2021

Dato



Svein Erling Nisja

Signatur



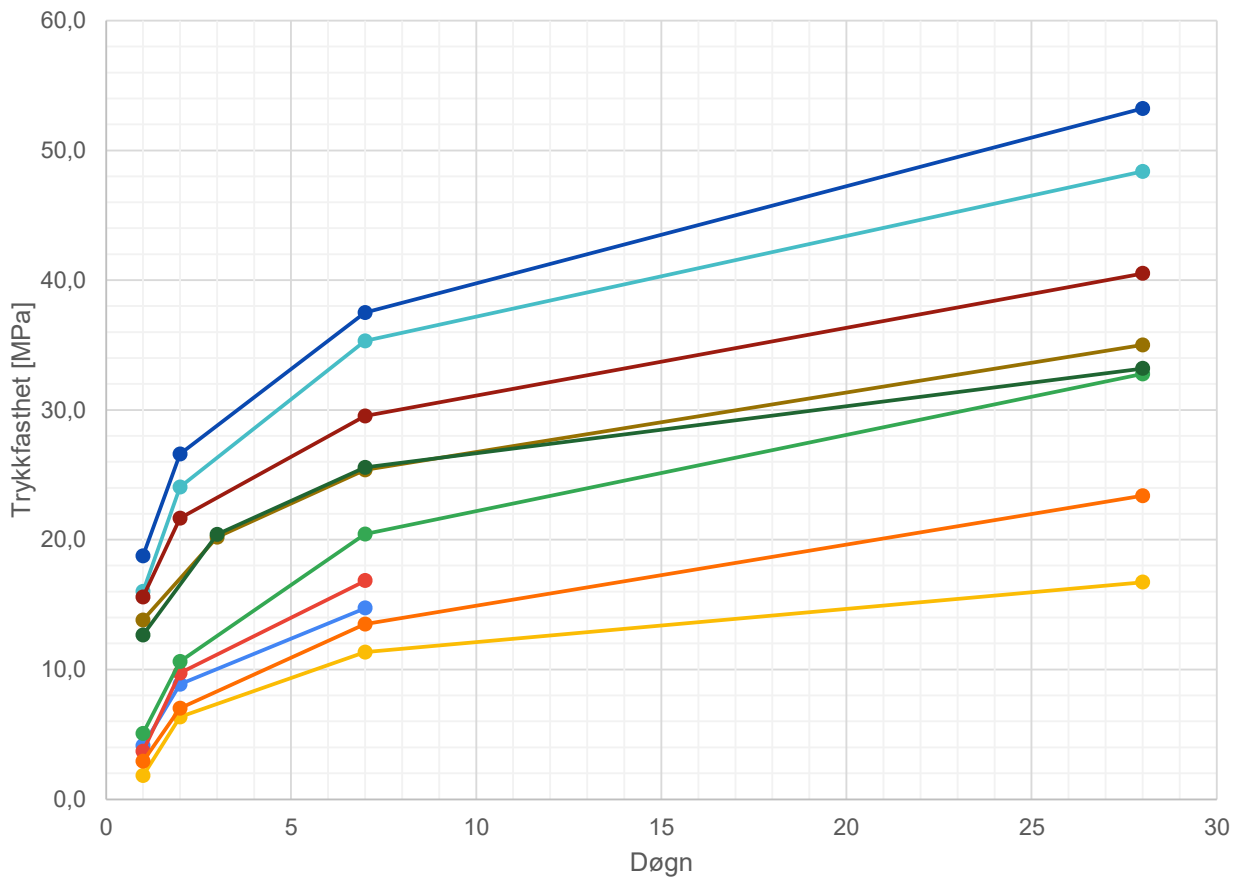
## **Appendiks D.1**

Oppsummering av trykkresultatene og grafisk fremstilling av trykkresultatene for  
betongene ment for vangene

Fagkode:	TKT 4950			
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim			
<b>GJENNOMSNIITTDATA FRA TRYKKTESING AV RESEPT MENT FOR VANGENE</b>				
<b>Masseforhold m=0,50</b>				
Resept: V50-41-200-2				
<b>Gjennomsnitt av:</b>				
Densitet ved avforming:	2199,5	kg/m <sup>3</sup>		
Trykkfasthet etter 1d:	4,1	MPa		
Trykkfasthet etter 2d:	8,9	MPa		
Trykkfasthet etter 7d:	14,7	MPa		
<b>Masseforhold m=0,45</b>				
Resept: V45-41-200-2			Resept: V45-55-200-2	
<b>Gjennomsnitt av:</b>			<b>Gjennomsnitt av:</b>	
Densitet ved avforming:	2206,8	kg/m <sup>3</sup>	Densitet ved avforming:	2150,9 kg/m <sup>3</sup>
Trykkfasthet etter 1d:	3,7	MPa	Trykkfasthet etter 1d:	1,8 MPa
Trykkfasthet etter 2d:	9,7	MPa	Trykkfasthet etter 2d:	6,3 MPa
Trykkfasthet etter 7d:	16,9	MPa	Trykkfasthet etter 7d:	11,3 MPa
			Trykkfasthet etter 28d:	16,7 MPa
Resept: V45-41-150-5			Resept: V45-55-150-5	
<b>Gjennomsnitt av:</b>			<b>Gjennomsnitt av:</b>	
Densitet ved avforming:	2218,3	kg/m <sup>3</sup>	Densitet ved avforming:	2153,3 kg/m <sup>3</sup>
Trykkfasthet etter 1d:	5,1	MPa	Trykkfasthet etter 1d:	2,9 MPa
Trykkfasthet etter 2d:	10,6	MPa	Trykkfasthet etter 2d:	7,0 MPa
Trykkfasthet etter 7d:	20,4	MPa	Trykkfasthet etter 7d:	13,5 MPa
Trykkfasthet etter 28d:	32,8	MPa	Trykkfasthet etter 28d:	23,4 MPa
<b>Masseforhold m=0,35</b>				
Resept: V35-41-150-5			Resept: V35-41-150-5-aks+Ld	
<b>Gjennomsnitt av:</b>			<b>Gjennomsnitt av:</b>	
Densitet ved avforming:	2254,3	kg/m <sup>3</sup>	Densitet ved avforming:	2293,0 kg/m <sup>3</sup>
Trykkfasthet etter 1d:	16,0	MPa	Trykkfasthet etter 1d:	18,8 MPa
Trykkfasthet etter 2d:	24,1	MPa	Trykkfasthet etter 2d:	26,6 MPa
Trykkfasthet etter 7d:	35,3	MPa	Trykkfasthet etter 7d:	37,5 MPa
Trykkfasthet etter 28d:	48,4	MPa	Trykkfasthet etter 28d:	53,2 MPa
Resept: V35-55-150-5-aks+Ld			Resept: V35-60-150-5-aks+Ld	
<b>Gjennomsnitt av:</b>			<b>Gjennomsnitt av:</b>	
Densitet ved avforming:	2221,6	kg/m <sup>3</sup>	Densitet ved avforming:	2184,6 kg/m <sup>3</sup>
Trykkfasthet etter 1d:	15,6	MPa	Trykkfasthet etter 1d:	13,8 MPa
Trykkfasthet etter 2d:	21,7	MPa	Trykkfasthet etter 3d:	20,2 MPa
Trykkfasthet etter 7d:	29,5	MPa	Trykkfasthet etter 7d:	25,4 MPa
Trykkfasthet etter 28d:	40,5	MPa	Trykkfasthet etter 28d:	35,0 MPa
Resept: V35-63-150-5-aks+Ld				
<b>Gjennomsnitt av:</b>				
Densitet ved avforming:	2185,8	kg/m <sup>3</sup>		
Trykkfasthet etter 1d:	12,7	MPa		
Trykkfasthet etter 3d:	20,4	MPa		
Trykkfasthet etter 7d:	25,6	MPa		
Trykkfasthet etter 28d:	33,2	MPa		

Fagkode: TKT 4950

Utført av: Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

**TRYKKRESULTATENE FOR VANGEBETONGENE GRAFISK FREMSTILT**


● V50-41-200-2

● V45-41-200-2

● V45-55-200-2

● V45-41-150-5

● V45-55-150-5

● V35-41-150-5

● V35-41-150-5-aks+Ld

● V35-55-150-5-aks+Ld

● V35-60-150-5-aks+Ld

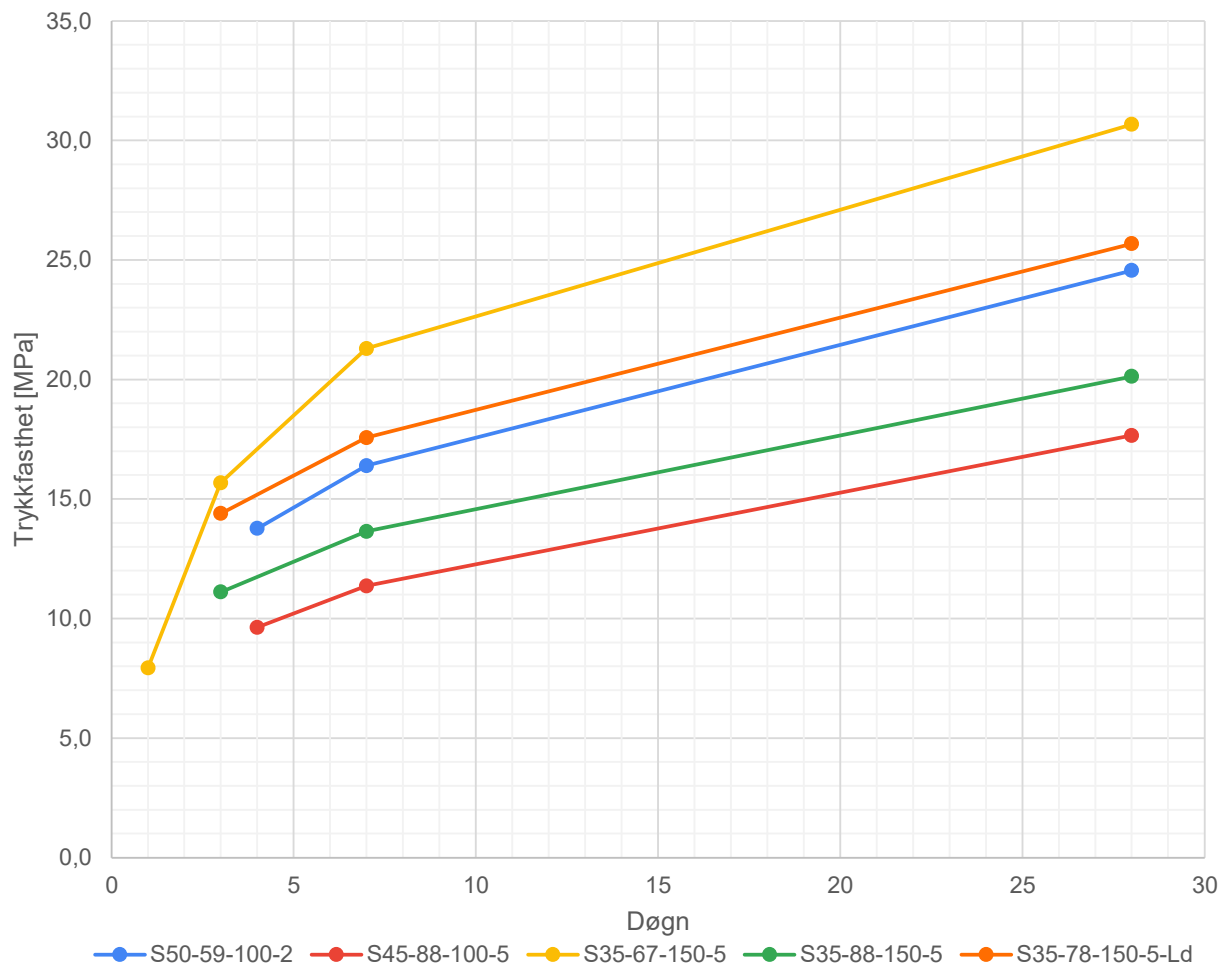
● V35-63-150-5-aks+Ld

## **Appendiks D.2**

Oppsummering av trykkresultatene og grafisk fremstilling av trykkresultatene for  
betong ment for senter

Fagkode:	TKT 4950			
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim			
<b>GJENNOMSNIITTDATA FRA TRYKKTESING AV RESEPT MENT FOR SENTER</b>				
<b>Masseforhold m=0,50</b>				
Resept: S50-59-100-2				
<b>Gjennomsnitt av:</b>				
Densitet ved avforming:	2208,9	kg/m <sup>3</sup>		
Trykkfasthet etter 4d:	13,8	MPa		
Trykkfasthet etter 7d:	16,4	MPa		
Trykkfasthet etter 28d:	24,6	MPa		
<b>Masseforhold m=0,45</b>				
Resept: S45-88-100-5				
<b>Gjennomsnitt av:</b>				
Densitet ved avforming:	2122,7	kg/m <sup>3</sup>		
Trykkfasthet etter 4d:	9,6	MPa		
Trykkfasthet etter 7d:	11,4	MPa		
Trykkfasthet etter 28d:	17,7	MPa		
<b>Masseforhold m=0,35</b>				
Resept: S35-67-150-5			Resept: S35-88-150-5	
<b>Gjennomsnitt av:</b>			<b>Gjennomsnitt av:</b>	
Densitet ved avforming:	2153,1	kg/m <sup>3</sup>	Densitet ved avforming:	2070,4 kg/m <sup>3</sup>
Trykkfasthet etter 1d:	7,9	MPa	Trykkfasthet etter 3d:	11,1 MPa
Trykkfasthet etter 3d:	15,7	MPa	Trykkfasthet etter 7d:	13,7 MPa
Trykkfasthet etter 7d:	21,3	MPa	Trykkfasthet etter 28d:	20,1 MPa
Trykkfasthet etter 28d:	30,7	MPa		
Resept: S35-78-150-5-Ld				
<b>Gjennomsnitt av:</b>				
Densitet ved avforming:	2075,4	kg/m <sup>3</sup>		
Trykkfasthet etter 3d:	14,4	MPa		
Trykkfasthet etter 7d:	17,6	MPa		
Trykkfasthet etter 28d:	25,7	MPa		

Fagkode:	TKT 4950
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

**TRYKKRESULTATENE FOR SENTERBETONGENE GRAFISK FREMSTILT**


## **Appendiks D.3**

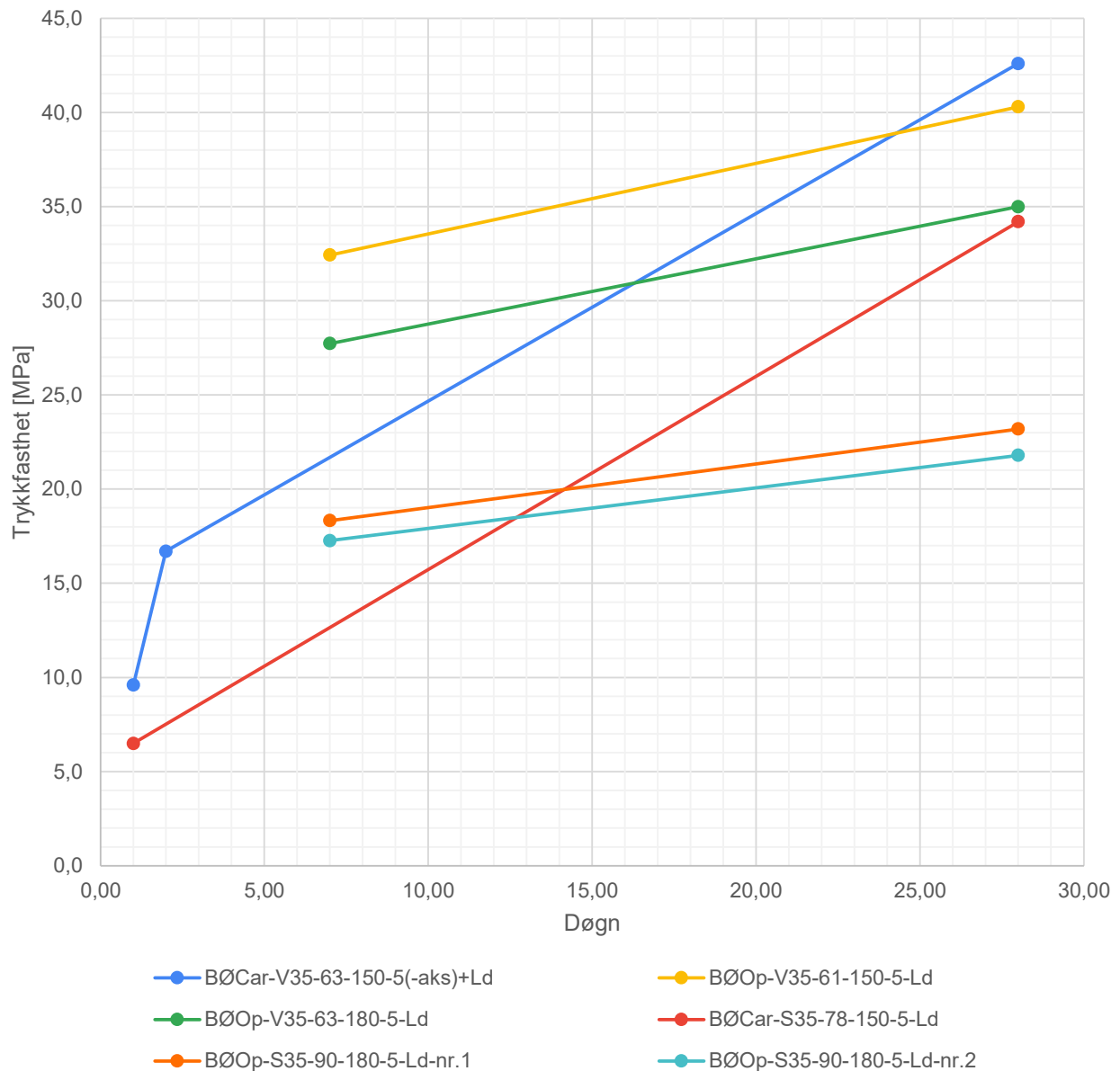
Oppsummering av trykkresultatene og grafisk fremstilling av trykkresultatene for  
betongene blandet hos Betong Øst



Fagkode:	TKT 4950			
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim			
GJENNOMSNITTDATA FRA TRYKKTESING AV RESEPTER PRODUSERT HOS BETONG ØST				
Prøveblanding				
Resept: BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld		Resept: BØCar-S35-78-150-5-Ld		
Gjennomsnitt av:		Gjennomsnitt av:		
Densitet ved 28d:	2350,0 kg/m <sup>3</sup>	Densitet ved 28d:	2220,0 kg/m <sup>3</sup>	
Trykkfasthet etter 1d:	9,6 MPa	Trykkfasthet etter 1d:	6,5 MPa	
Trykkfasthet etter 2d:	16,7 MPa	Trykkfasthet etter 28d:	34,2 MPa	
Trykkfasthet etter 28d:	42,6 MPa			
Vangebetong				
Resept: BØOp-V35-61-150-5-Ld		Resept: BØOp-V35-63-180-5-Ld		
Gjennomsnitt av:		Gjennomsnitt av:		
Densitet ved 28d:	2220,0 kg/m <sup>3</sup>	Densitet ved 28d:	2220,0 kg/m <sup>3</sup>	
Trykkfasthet etter 7d:	32,4 MPa	Trykkfasthet etter 7d:	27,7 MPa	
Trykkfasthet etter 28d:	40,3 MPa	Trykkfasthet etter 28d:	35,0 MPa	
Senterbetong				
Resept: BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.1		Resept: BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2		
Gjennomsnitt av:		Gjennomsnitt av:		
Densitet ved 7d:	1905,6 kg/m <sup>3</sup>	Densitet ved 7d:	1950,0 kg/m <sup>3</sup>	
Densitet ved 28d:	2000,0 kg/m <sup>3</sup>	Densitet ved 28d:	1980,0 kg/m <sup>3</sup>	
Trykkfasthet etter 7d:	18,3 MPa	Trykkfasthet etter 7d:	17,3 MPa	
Trykkfasthet etter 28d:	23,2 MPa	Trykkfasthet etter 28d:	21,8 MPa	

Fagkode: TKT 4950

Utført av: Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

**TRYKKRESULTATENE FOR RESEPTER PRODUSERT HOS BETONG ØST**


## **Appendiks D.4**

Grafisk fremstilling av densitetsendring for vange- og senterbetongen

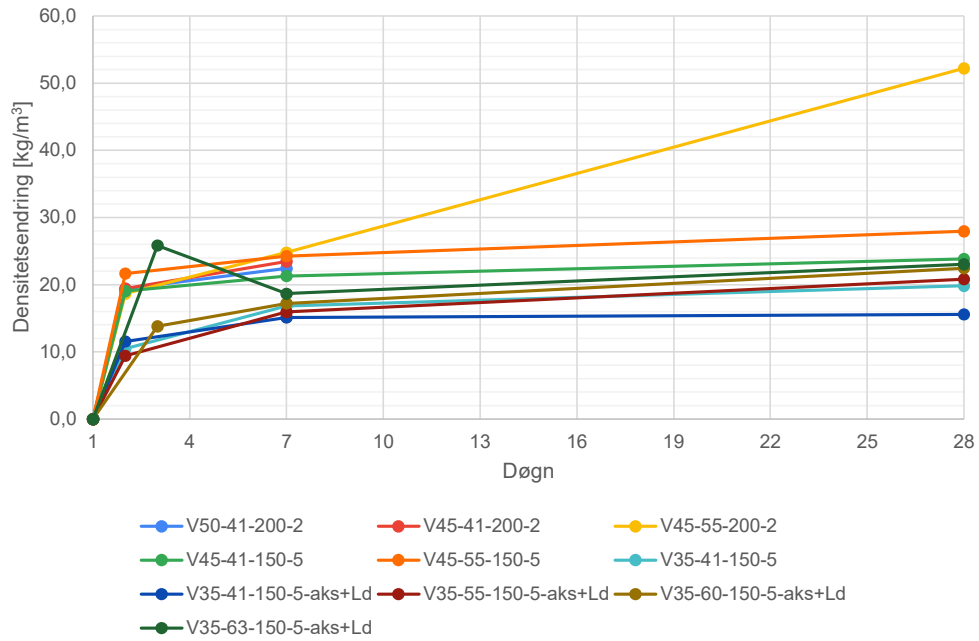
Fagkode: TKT 4950

Utført av: Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

GRAFISK FREMSTILLING AV DENSITETSENDRING FOR BETONGENE

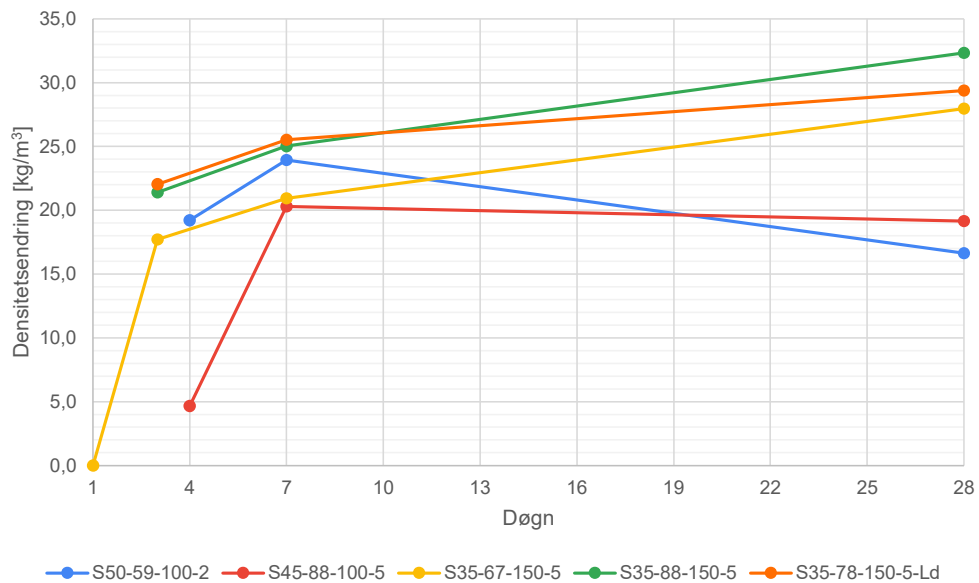
Densitetsendring for vangebetongene

Gjennomsnitt 28d = 25,7 kg/m<sup>3</sup>  
Standardavvik 28d = 11,3 kg/m<sup>3</sup>



Densitetsendring for senterbetongene

Gjennomsnitt 28d = 25,1 kg/m<sup>3</sup>  
Standardavvik 28d = 6,8 kg/m<sup>3</sup>

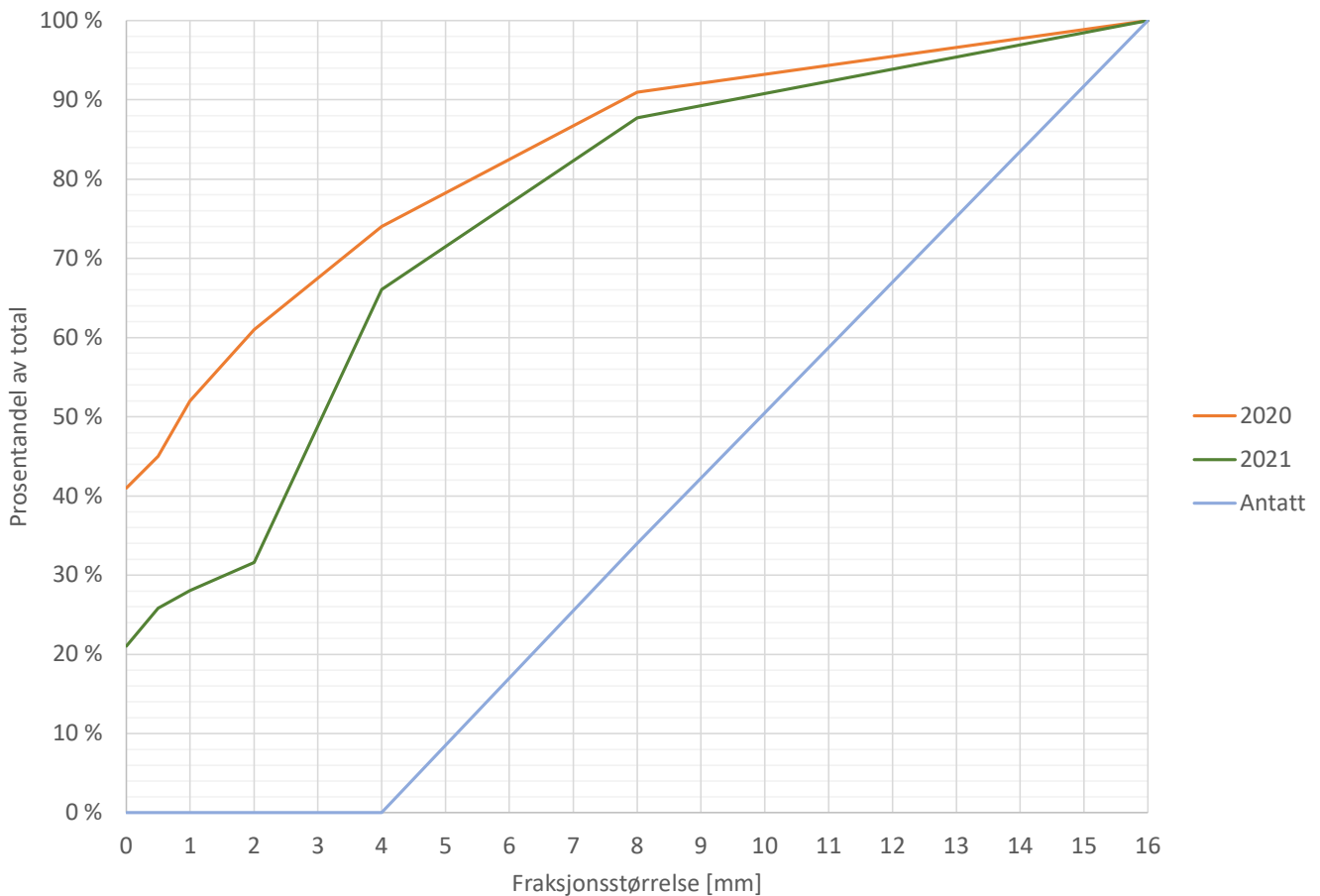


## **Appendiks E**

Siktekurve fra sikteforsøk utført i 2020, 2021 og tidligere antatt siktekurve for biokull  
Siktekurve fra sikteforsøk utført på biokull hentet fra Orkanger

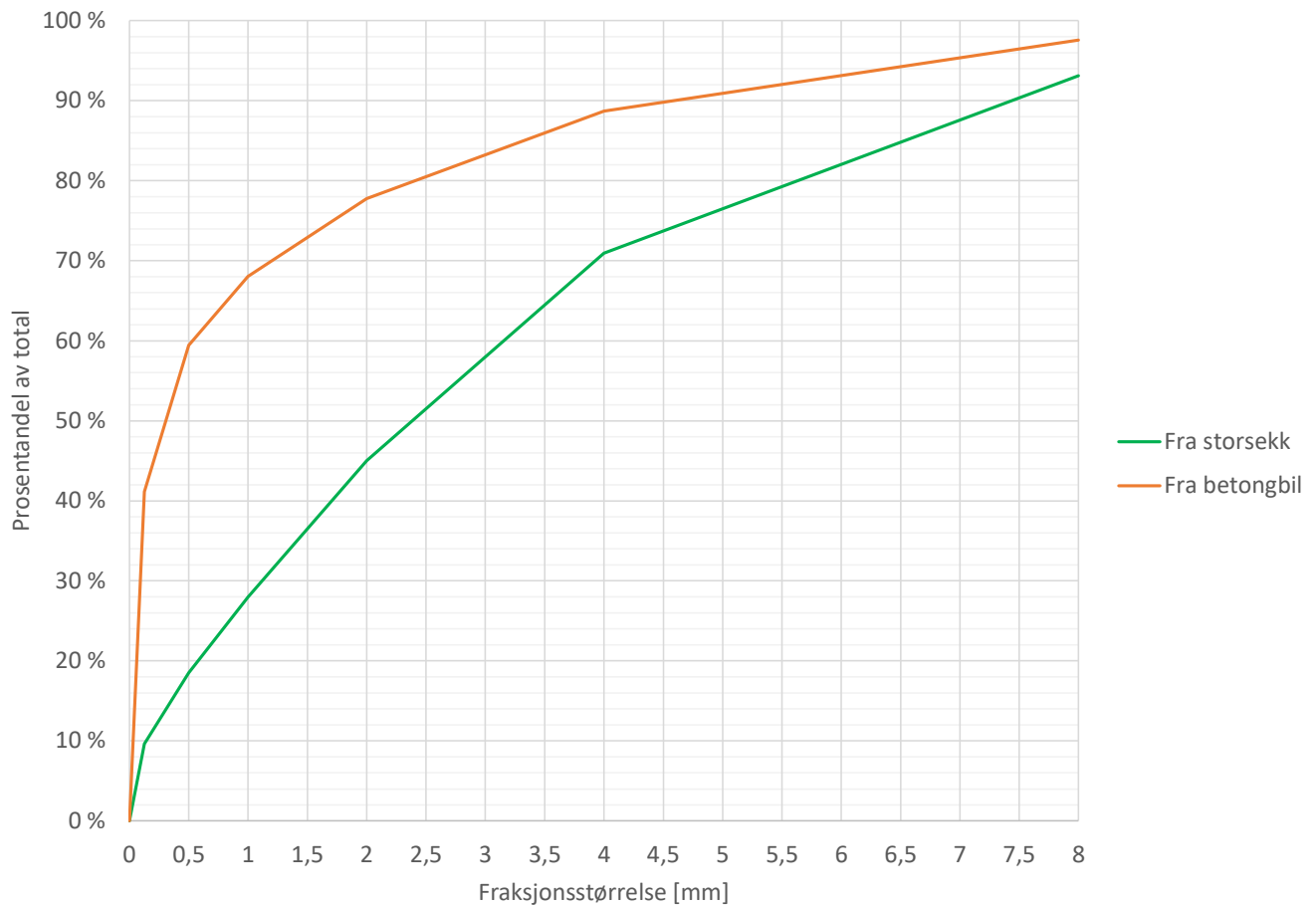
Fagkode: TKT4950  
 Utført dato: 27.01.2021  
 Utført av: Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

RÅDATA FRA SIKTEFORSØK 2021					RÅDATA FRA SIKTEFORSØK 2020				
Fraksjon [mm]	Delprøve nr.	Vekt av B [g]	% B av prøven [%]	Kumulativ verdi [%]	Fraksjon [mm]	Delprøve nr.	Vekt av B [g]	% B av prøven [%]	Kumulativ verdi [%]
16		0	0 %	100 %	16		1,8	0 %	100 %
8		89,8	12 %	88 %	8		108,9	9 %	91 %
4		159,2	22 %	66 %	4		193,1	16 %	74 %
2		252,9	34 %	32 %	2		154,7	13 %	61 %
1	1	27,7	4 %	28 %	1	1	235	20 %	52 %
1	2	28,6	4 %		1	2	59,6	5 %	
1	3	21,3	3 %	26 %	1	3	37,2	3 %	45 %
0,5	1	14,1	2 %		0,5	1	232,1	20 %	
0,5	2	16,4	2 %		0,5	2	16,4	1 %	
0,5	3	18,3	2 %	21 %	0,5	3	9,6	1 %	41 %
< 0,5	1	31,7	4 %		< 0,5	1	22,7	2 %	
< 0,5	2	34,4	5 %		< 0,5	2	46,5	4 %	
< 0,5	3	39,0	5 %		< 0,5	3	67,5	6 %	
Sum siktet materiale		733,4	100 %		Sum siktet materiale		1185,1	100 %	

**SIKTEKURVE**


Fagkode: TKT4950  
 Utført dato: 22.03.2021  
 Utført av: Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

RADATA - PRØVE FRA STORSEKK				RADATA - PRØVE FRA BETONGBIL			
Fraksjon [mm]	Vekt av B [g]	% B av prøven [%]	Kumulativ verdi [%]	Fraksjon [mm]	Vekt av B [g]	% B av prøven [%]	Kumulativ verdi [%]
8	22,5	7 %	93 %	8	15,8	2 %	98 %
4	72,2	22 %	71 %	4	58	9 %	89 %
2	84,6	26 %	45 %	2	71,2	11 %	78 %
1	55,8	17 %	28 %	1	63,4	10 %	68 %
0,5	30,9	9 %	18 %	0,5	56,3	9 %	59 %
0,125	28,8	9 %	10 %	0,125	119,2	18 %	41 %
< 0,125	31,5	10 %	0 %	< 0,125	268,4	41 %	0 %
Sum siktet materiale	326,3	100 %		Sum siktet materiale	652,3	100 %	

**SIKTEKURVE**




## **Appendiks F**

Karbonregnskapet for alle betongene som er produsert

Fagkode:	TKT 4950
Utført av:	Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

**KARBONREGNSKAP FOR ALLE PRODUSERTE BETONGER**

VERDIER SOM BENYTTES I UTREGNING:		Fargekode:	
GWP sementproduksjon per kg [kg]	0,585	Negativ	
Antall prosent sementen utgjør av betongens avtrykk	90 %	±0,5 kg anses som nøytral	
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter biokull per kg [kg]	3,45	Positiv	
Prosent karbon i biokull [%]	94 %		

**VANGEBETONGER**

Resept:	V45-41-200-2	V50-41-200-2	V45-55-150-5	V45-41-150-5
Sement per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	315,00	296,20	295,30	304,40
Mengde biokull per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	41,00	41,00	55,20	41,00
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra sement [kg/m <sup>3</sup> ]	184,28	173,28	172,75	178,07
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra betong [kg/m <sup>3</sup> ]	204,75	192,53	191,95	197,86
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra biokull [kg/m <sup>3</sup> ]	141,45	141,45	190,44	141,45
Diff CO <sub>2</sub> ekvivalenter [kg/m <sup>3</sup> ]	-63,30	-51,08	-1,50	-56,41
Diff CO <sub>2</sub> ekv. i vegg m/tot.vangetykkelse 120mm [kg/m <sup>2</sup> ]	-7,60	-6,13	-0,18	-6,77

Resept:	V45-55-150-5	V35-41-150-5	V35-41-150-5-aks+Ld	V35-55-150-5-aks+Ld
Sement per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	284,40	348,40	347,50	339,50
Mengde biokull per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	55,00	41,00	41,00	55,10
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra sement [kg/m <sup>3</sup> ]	166,67	203,81	203,29	198,61
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra betong [kg/m <sup>3</sup> ]	185,19	226,46	225,88	220,68
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra biokull [kg/m <sup>3</sup> ]	189,75	141,45	141,45	190,10
Diff CO <sub>2</sub> ekvivalenter [kg/m <sup>3</sup> ]	4,57	-85,01	-84,43	-30,58
Diff CO <sub>2</sub> ekv. i vegg m/tot.vangetykkelse 120mm [kg/m <sup>2</sup> ]	0,55	-10,20	-10,13	-3,67

Resept:	V35-60-150-5-aks+Ld	V35-63-150-5-aks+Ld	BØCar-V35-63-150-5(-aks)+Ld	BØOp-V35-61-150-5-Ld
Sement per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	331,70	327,00	327,00	327,50
Mengde biokull per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	60,10	63,00	63,00	60,70
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra sement [kg/m <sup>3</sup> ]	194,04	191,30	191,30	191,59
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra betong [kg/m <sup>3</sup> ]	215,61	212,55	212,55	212,88
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra biokull [kg/m <sup>3</sup> ]	207,35	217,35	217,35	209,42
Diff CO <sub>2</sub> ekvivalenter [kg/m <sup>3</sup> ]	-8,26	4,80	4,80	-3,46
Diff CO <sub>2</sub> ekv. i vegg m/tot.vangetykkelse 120mm [kg/m <sup>2</sup> ]	-0,99	0,58	0,58	-0,42

Resept:	BØOp-V35-63-180-5-Ld
Sement per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	326,70
Mengde biokull per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	63,10
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra sement [kg/m <sup>3</sup> ]	191,12
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra betong [kg/m <sup>3</sup> ]	212,36
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra biokull [kg/m <sup>3</sup> ]	217,70
Diff CO <sub>2</sub> ekvivalenter [kg/m <sup>3</sup> ]	5,34
Diff CO <sub>2</sub> ekv. i vegg m/tot.vangetykkelse 120mm [kg/m <sup>2</sup> ]	0,64

Fagkode: TKT 4950

Utført av: Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

**KARBONREGNSKAP FOR ALLE PRODUSERTE BETONGER**

VERDIER SOM BENYTTES I UTREGNING:		Fargekode:	
GWP sementproduksjon per kg [kg]	0,585		Negativ
Antall prosent sementen utgjør av betongens avtrykk	90 %		±0,5 kg anses som nøytral
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter biokull per kg [kg]	3,45		Positiv
Prosent karbon i biokull [%]	94 %		

**SETERBETONGER**

Resept:	S50-59-100-2	S45-88-100-5	S45-59-150-5	S45-88-150-5
Sement per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	260,5	228,3	267,6	228,6
Mengde biokull per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	58,9	87,6	59	87,6
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra sement [kg/m <sup>3</sup> ]	152,39	133,56	156,55	133,73
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra betong [kg/m <sup>3</sup> ]	169,33	148,4	173,94	148,59
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra biokull [kg/m <sup>3</sup> ]	203,21	302,22	203,55	302,22
Diff CO <sub>2</sub> ekvivalenter [kg/m <sup>3</sup> ]	33,88	153,83	29,61	153,63
Diff CO <sub>2</sub> ekv. i vegg m/sentertykkelse 80 mm [kg/m <sup>2</sup> ]	2,71	12,31	2,37	12,29
Diff CO <sub>2</sub> ekv. i vegg m/sentertykkelse 130 mm [kg/m <sup>2</sup> ]	4,40	20,00	3,85	19,97

Resept:	S35-67-150-5	S35-88-150-5	S35-76-150-5	S35-78-150-5-Ld
Sement per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	334,8	302,7	321,9	332,5
Mengde biokull per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	67,4	88,2	75,7	77,8
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra sement [kg/m <sup>3</sup> ]	195,86	177,08	188,31	194,51
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra betong [kg/m <sup>3</sup> ]	217,62	196,76	209,24	216,13
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra biokull [kg/m <sup>3</sup> ]	232,53	304,29	261,17	268,41
Diff CO <sub>2</sub> ekvivalenter [kg/m <sup>3</sup> ]	14,91	107,54	51,93	52,29
Diff CO <sub>2</sub> ekv. i vegg m/sentertykkelse 80 mm [kg/m <sup>2</sup> ]	1,19	8,6	4,15	4,18
Diff CO <sub>2</sub> ekv. i vegg m/sentertykkelse 130 mm [kg/m <sup>2</sup> ]	1,94	13,98	6,75	6,80

Resept:	BØCar-S35-78-150-5-Ld	BØOp-S35-90-180-5-Ld
Sement per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	332,5	300
Mengde biokull per kubikk [kg/m <sup>3</sup> ]	77,8	90,1
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra sement [kg/m <sup>3</sup> ]	194,51	175,5
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra betong [kg/m <sup>3</sup> ]	216,13	195
CO <sub>2</sub> ekvivalenter fra biokull [kg/m <sup>3</sup> ]	268,41	310,85
Diff CO <sub>2</sub> ekvivalenter [kg/m <sup>3</sup> ]	52,29	115,85
Diff CO <sub>2</sub> ekv. i vegg m/sentertykkelse 80 mm [kg/m <sup>2</sup> ]	4,18	9,27
Diff CO <sub>2</sub> ekv. i vegg m/sentertykkelse 130 mm [kg/m <sup>2</sup> ]	6,80	15,06

# Appendiks G

Analyseprøver av:  
Biokullet produsert av Carbofex  
Biokullet produsert av Oplandske Bioenergi

## PRODUCT PROPERTIES

### Carbofex Biochar Natural EBC ku1-19 premium quality



Specific surface area m <sup>2</sup> /g:	279 (BET), 550 (DR)
Fixed carbon (FC)	93.6 %
Bulk density	130 kg/m <sup>3</sup>
Conductivity	21,5 mS/m
Moisture content	30 - 50 %
Ash	2,6 %
PAH	1.7 mg/kg, d
pH	9,5
Pyrolysis temperature	~600°C, <10 min, continuous

- H / Corg – ratio:	0.13
- Nutrient content:	N 0.65 (water soluble N 0,0%) P 0.15 (water soluble P 0,0%) K 0.2 (water soluble K 0,1%) Ca 0.6 Mg 0.1
- Water content	25,3
- Raw density	1.8

Arsenic (As)	0,036 mg/kg	Copper (Cu)	9 mg/kg
Cadmium (Cd)	0,006 mg/kg	Nickel (Ni)	28 mg/kg
Lead (Pb)	0,12 mg/kg	Chromium (Cr)	43 mg/kg
Mercury (Hg)	0,0024 mg/kg	Boron (B)	10 mg/kg
Manganese (Mn)	533 mg/kg	Zinc (Zn)	83 mg/kg

Feed stock and origin PEFC-certified Spruce, max distance of harvest  
80 km from the production facility  
Approved for organic production



Intended use substrate, filter media, compost additive, feed supplement

Producer: Carbofex Oy  
Tehdaskartanonkatu 25  
33400 TAMPERE, Finland  
carbofex.fi  
info@carbofex.fi

Oplandske Bioenergi AS

Honnevegen 60

ODS

2836 BIRI

Attn: Einar Stuve

**AR-21-MM-008917-01****EUNOMO-00283969**

Prøvemottak: 19.01.2021

Temperatur:

Analyseperiode: 19.01.2021-05.02.2021

Referanse: Biokull

## ANALYSERAPPORT

Prøvenr.:	<b>439-2021-01190582</b>	Prøvetakingsdato:	18.01.2021		
Prøvetype:	Kull	Prøvetaker:	Einar Stuve		
Prøvemerkning:	Biokull	Analysestartdato:	19.01.2021		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a) TIC	0.2	% (w/w)	0.1		DIN 51726: 2004-06
a) Totalt uorganisk karbon (TIC)	0.2	% (w/w)	0.1		DIN 51726: 2004-06
a) Vanninnhold	0.6	% (w/w)	0.1	3%	DIN 51718: 2002-06
<b>a)* Bulk density</b>					
a)* Bulkdensitet <3 mm	97	kg/m <sup>3</sup>			in Anlehnung an VDLUFA-Methode A 13.2.1
<b>a)* pH</b>					
a)* pH i CaCl <sub>2</sub>	9.7				DIN ISO 10390: 2005-12
a)* Konduktivitet	585	µS/cm	5		BGK III. C2: 2006-09
<b>a)* Termogravimetri (TGA)</b>					
a)* Thermogravimetry TGA 950°C by N-Atm.	se vedlegg				TGA 701 D4C
a)* Saltinnhold	0.299	g/l	0.005		BGK III. C2: 2006-09
b)* Spesifikt overflateareal (BET)	412.92	m <sup>2</sup> /g			DIN ISO 9277
<b>a) H/C/O forhold molar</b>					
a) H/C forhold (molar)	0.09				Beregnet
a) H/C organisk forhold (molar)	0.09				Beregnet
a) O/C forhold (molar)	0.014				Beregnet
<b>a) H/C/O forhold molar</b>					
a) H/C forhold (molar)	0.09				Beregnet
a) H/C organisk forhold (molar)	0.09				Beregnet
a) O/C forhold (molar)	0.014				Beregnet
a)* saltinnhold (beregnet)	3.09	g/kg	0.005		BGK III. C2: 2006-09
<b>a) Aske innhold</b>					
a) Askeinnhold (550°C)	3.2	% (w/w)	0.1		DIN 51719: 1997-07
<b>a) Ash content (550°C) [fossile fuels] ma.-% dw</b>					
a) Askeinnhold (550°C)	3.2	% (w/w)	0.1		DIN 51719: 1997-07
a) Arsen (As)	< 0.8	mg/kg	0.8		DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01
a) Bly (Pb)	< 2	mg/kg	2		DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01
a) Bor (B)	14	mg/kg	1		DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01
a) Kadmium (Cd)	< 0.2	mg/kg	0.2		DIN EN ISO 17294-2

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen

LOQ: Kvantifiseringsgrense

MU: Måleusikkerhet

&lt;: Mindre enn &gt;: Større enn nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som &lt;1, &lt;50 e.l. betyr 'ikke påvist'.

Måleusikkerhet er angitt med dekningsfaktor k=2. Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi/ -området.

For mikrobiologiske analyser oppgis konfidensintervallet. Ytterligere opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Resultater gjelder prøven slik den ble mottatt hos laboratoriet.

				(E29): 2017-01
a)	Krom (Cr)	2 mg/kg	1	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01
a)	Kobber (Cu)	8 mg/kg	1 16%	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01
a)	Mangan (Mn)	540 mg/kg	1	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01
a)	Nikkel (Ni)	4 mg/kg	1 16%	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01
a)	Kvikksølv (Hg)	< 0.07 mg/kg	0.07	DIN 22022-4: 2001-02
a)	Sink (Zn)	23 mg/kg	1 28%	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01
<b>a)</b>	<b>Kalسيوم som CaO</b>			
a)	Calcium as CaO	34.4 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
<b>a)</b>	<b>Jern som Fe2O3 (ash 550°C) (brensel)</b>			
a)	Jernoksid (Fe2O3) - beregnet	1.0 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
<b>a)</b>	<b>Kalium som K2O</b>			
a)	Kaliumoksid (K2O) - beregnet	14.1 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
<b>a)</b>	<b>Magnesium som MgO (ash 550°C) brensel</b>			
a)	Magnesiumoksid (MgO) - beregnet	4.9 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
<b>a)</b>	<b>Fosfor som P2O5(ash 550°C)(brensel)</b>			
a)	Fosforoksid (P2O5) - beregnet	2.8 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
<b>a)</b>	<b>Natrium som Na2O</b>			
a)	Natriumoksid (Na2O) - beregnet	1.3 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
<b>a)</b>	<b>Svovel som SO3</b>			
a)	Sulfit (SO3) - beregnet	1.1 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
<b>a)</b>	<b>Silisium som SiO2</b>			
a)	Silisiumoksid (SiO2) - beregnet	6.0 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
a)	Karbon (C)	94.2 % (w/w)	0.2	DIN 51732: 2014-07
a)	Karbon (C)	94.8 % (w/w)	0.2	DIN 51732: 2014-07
a)	Hydrogen (H)	0.7 % (w/w)	0.1	DIN 51732: 2014-07
a)	Hydrogen (H)	0.7 % (w/w)	0.1	DIN 51732: 2014-07
<b>a)</b>	<b>Nitrogen</b>			
a)	Total nitrogen	0.44 % (w/w)	0.05	DIN 51732: 2014-07
a)	Nitrogen (N)	0.45 % (w/w)	0.05	DIN 51732: 2014-07
a)	Svovel (S)	< 0.03 % (w/w)	0.03	DIN 51724-3: 2012-07
a)	Svovel (S)	< 0.03 % (w/w)	0.03	DIN 51724-3: 2012-07
a)	Oksygen (O) - 815°C	1.8 % (w/w)		DIN 51733: 2016-04
a)	Oksygen (O) - 815°C	1.8 % (w/w)		DIN 51733: 2016-04
a)	Karbonat-CO2	0.9 % (w/w)	0.4	DIN 51726: 2004-06
a)	Karbonat-CO2	0.9 % (w/w)	0.4	DIN 51726: 2004-06
<b>a)</b>	<b>Karbon, organisk</b>			
a)	Organisk karbon (C)	94.0 % (w/w)		Beregnet
a)	Organisk karbon (C)	94.6 % (w/w)		Beregnet

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet

<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1, <50 e.l. betyr 'ikke påvist'.

Måleusikkerhet er angitt med dekningsfaktor k=2. Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi/-området.

For mikrobiologiske analyser oppgis konfidensintervallet. Ytterligere opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Resultater gjelder prøven slik den ble mottatt hos laboratoriet.



a) PAH(16)			
a) Naftalen	3.6 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Acenaftylen	0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Acenaften	< 0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Fluoren	< 0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Fenantren	0.8 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Antracen	0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Fluoranten	0.3 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Pyren	0.3 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Benzo[a]antracen	< 0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Krysen	0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Benzo[b]fluoranten	0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Benzo[k]fluoranten	< 0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Benzo[a]pyren	0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Indeno[1,2,3-cd]pyren	< 0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Dibenzo[a,h]antracen	< 0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Benzo[ghi]perylen	< 0.1 mg/kg	0.1	DIN EN 16181:2019-08
a) Sum PAH(16)	5.5 mg/kg		DIN EN 16181:2019-08
a) Jern (Fe) - aske 550°C	< 0.1 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
a) Kalsium (Ca) - aske 550°C	0.8 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
a) Magnesium (Mg) - aske 550°C	< 0.1 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
a) Kalium (K) - aske 550°C	0.4 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
a) Silisium (Si) - aske 550°C	< 0.1 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
a) Natrium (Na) - aske 550°C	< 0.1 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
a) Fosfor (P) - aske 550°C	< 0.1 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09
a) Svovel (S) - aske 550°C	< 0.1 % (w/w)	0.1	DIN EN ISO 11885 (E22): 2009-09

**Utførende laboratorium/ Underleverandør:**

a)\* Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiberg), Lindenstraße 11, Gewerbegebiet Freiberg Ost, D-09627, Bobritzsch-Hilbersdorf

a) Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiberg), Lindenstraße 11, Gewerbegebiet Freiberg Ost, D-09627, Bobritzsch-Hilbersdorf DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00,

b)\* Ruhr Lab GmbH, Glückaufstraße 56, DE-45896, Gelsenkirchen

**Moss 05.02.2021**


Kjetil Sjaastad

Analytical Service Manager

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen

LOQ: Kvantifiseringsgrense

MU: Måleusikkerhet

&lt;: Mindre enn &gt;: Større enn nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som &lt;1,-50 e.l. betyr 'ikke påvist'.

Måleusikkerhet er angitt med dekningsfaktor k=2. Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi/ -området.

For mikrobiologiske analyser oppgis konfidensintervallet. Ytterligere opplysninger om måleusikkerhet fås ved henvendelse til laboratoriet.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Resultater gjelder prøven slik den ble mottatt hos laboratoriet.

## **Appendiks H**

Resultat fra estimering av biokullets vannabsorpsjon og densitet for resept:

BØOp-V35-61-150-5-Ld

BØOp-V35-63-180-5-Ld

BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2

Fagkode: TKT4950  
 Utført av: Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

### RESEPTKORREKSJON - ark 1 av 2

Resept:		BØOp-V35-61-150-5-Ld						
Materialer	Resept			Korrigert abs og dens			Korrigert resept	
	kg/m <sup>3</sup>	Dens	Volum	kg/m <sup>3</sup>	Dens	Volum	kg/m <sup>3</sup>	Volum
Norcem Standard FA	327,5	3000,0	109,2	327,5	3000,0	109,2	329,0	109,7
Elkem Microsilica	17,2	2200,0	7,8	17,2	2200,0	7,8	17,3	7,9
Fritt vann	120,7	1000,0	120,7	140,0	1000,0	140,0	140,6	140,6
Absorbent vann	116,0	0,0	0,0	96,7	0,0	0,0	97,1	0,0
Ramlo 0/8 mm nat. vask.	936,4	2680,0	349,4	936,4	2680,0	349,4	940,6	351,0
Gjølme 8/16mm	281,8	2800,0	100,6	281,8	2800,0	100,6	283,1	101,1
Gjølme 16/22 mm	281,8	2800,0	100,6	281,8	2800,0	100,6	283,1	101,1
Biokull	60,7	355,0	171,0	60,7	364,0	166,8	61,0	167,5
Mapei Dynamon SX-23	3,4	1261,0	0,6	3,4	1261,0	0,6	3,4	0,6
Mapei Demper RM	2,0	1000,0	0,5	2,0	1000,0	0,5	2,0	0,0
Luft	-	-	40,0	-	-	20,0	-	20,1
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	2143		1000			996	2153	1000

Målt dens	2 153		2 153
Masseforhold	0,35		0,41
Teoretisk vannabsorpsjon	182 %		150 %
Est. biokull < 0,125 mm	41 %		75 %
Matriksvolum	343		419
Vol. andel biokull	17 %		17 %

Resept:		BØOp-V35-63-180-5-Ld						
Materialer	Resept			Korrigert abs og dens			Korrigert resept	
	kg/m <sup>3</sup>	Dens	Volum	kg/m <sup>3</sup>	Dens	Volum	kg/m <sup>3</sup>	Volum
Norcem Standard FA	326,7	3000,0	108,9	326,7	3000,0	108,9	330,1	110,0
Elkem Microsilica	17,2	2200,0	7,8	17,2	2200,0	7,8	17,4	7,9
Fritt vann	120,4	1000,0	120,4	140,0	1000,0	140,0	141,4	141,4
Absorbent vann	119,3	0,0	0,0	99,7	0,0	0,0	100,7	0,0
Ramlo 0/8 mm nat. vask.	927,6	2680,0	346,1	927,6	2680,0	346,1	937,2	349,7
Gjølme 8/16mm	277,6	2800,0	99,1	277,6	2800,0	99,1	280,5	100,2
Gjølme 16/22 mm	277,6	2800,0	99,1	277,6	2800,0	99,1	280,5	100,2
Biokull	63,1	355,0	177,7	63,1	377,0	167,4	63,8	169,1
Mapei Dynamon SX-23	4,4	1261,0	0,8	4,4	1261,0	0,8	4,4	0,8
Mapei Demper RM	2,0	1000,0	0,5	2,0	1000,0	0,5	2,0	0,0
Luft	-	-	40,0	-	-	20,0	-	20,2
Prop. betongdens. (kg/m <sup>3</sup> )	2131		1001			990	2153	1000

Målt dens	2 153		2 153
Masseforhold	0,35		0,41
Teoretisk vannabsorpsjon	180 %		149 %
Est. biokull < 0,125 mm	41 %		75 %
Matriksvolum	345		421
Vol. andel biokull	18 %		17 %

Fagkode: TKT4950

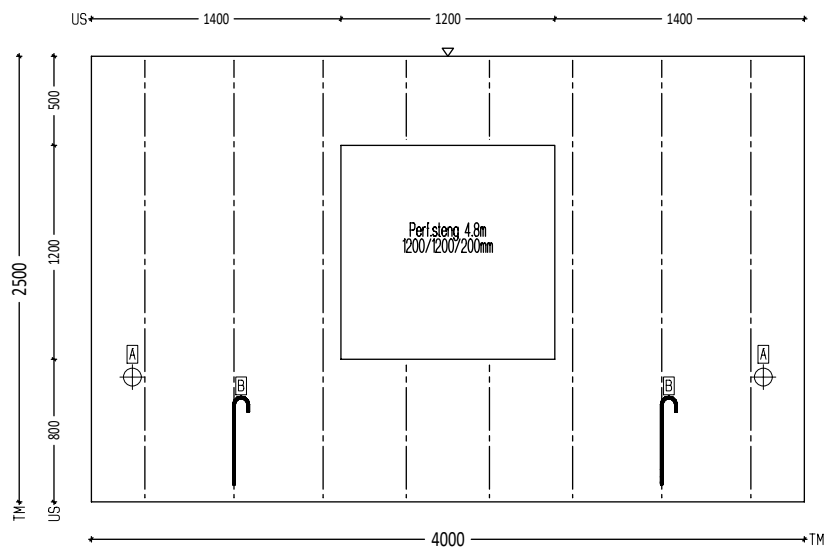
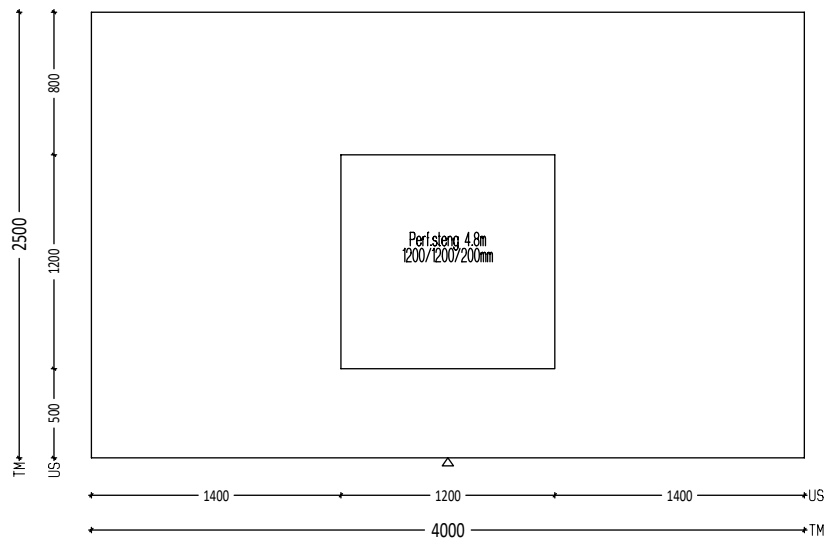
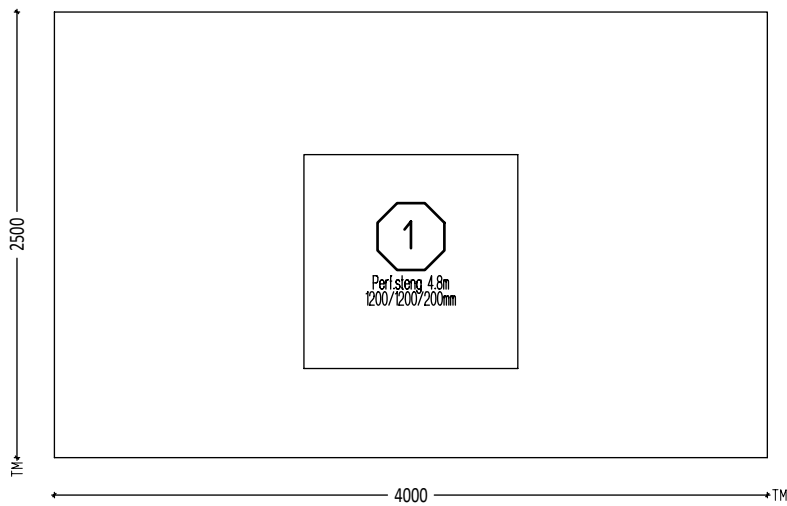
Utført av: Petter W. Gjengår, Håkon F. Nesse og Vibeke H. Solheim

## RESEPTKORREKSJON - ark 2 av 2

Resept:		BØOp-S35-90-180-5-Ld-nr.2								
Materialer	Resept			Korrigert abs og dens			Korrigert resept			
	kg/m3	Dens	Volum	kg/m3	Dens	Volum	kg/m3	Volum		
Norcem Standard FA	300,0	3000,0	100,0	300,0	3000,0	100,0	305,2	101,7		
Elkem Microsilica	15,8	2200,0	7,2	15,8	2200,0	7,2	16,1	7,3		
Fritt vann	110,5	1000,0	110,5	140,0	1000,0	140,0	142,4	142,4		
Absorbert vann	167,5	0,0	0,0	138,0	0,0	0,0	140,4	0,0		
Ramlo 0/8 mm nat. vask.	850,4	2680,0	317,3	850,4	2680,0	317,3	865,0	322,8		
Gjølme 8/16mm	238,4	2800,0	85,1	238,4	2800,0	85,1	242,5	86,6		
Gjølme 16/22 mm	238,4	2800,0	85,1	238,4	2800,0	85,1	242,5	86,6		
Biokull	90,1	355,0	253,9	90,1	397,0	227,0	91,7	231,0		
Mapei Dynamon SX-23	4,4	1261,0	0,8	4,4	1261,0	0,8	4,5	0,8		
Mapei Demper RM	2,0	1000,0	0,5	2,0	1000,0	0,5	2,0	0,0		
Luft	-	-	40,0	-	-	20,0	-	20,3		
Prop. betongdens. (kg/m3)	2012		1000			983	2047	1000		
Målt dens	2 047						2 047			
Masseforhold	0,35						0,44			
Teoretisk vannabsorpsjon	180 %						147 %			
Est. biokull < 0,125 mm	41 %						75 %			
Matriksvolum	354						457			
Vol. andel biokull	25 %						23 %			

# Appendiks I

Tegninger for vegger støpt i Orkanger  
Tegning for liten vegg støpt på laboratoriet med biokullstaver



Synlig:  
 Arm : K257  
 o : 20 mm  
 as L\*: 3.34 cm<sup>2</sup>/m  
 as T\*: 2.57 cm<sup>2</sup>/m  
 Nett : K257

Ikke synlig:  
 Arm : K257  
 o : 20 mm  
 as L\*: 3.34 cm<sup>2</sup>/m  
 as T\*: 2.57 cm<sup>2</sup>/m  
 Nett : K257

Ikke synlig:  
 Git 2 SWA 16.0-07707-450  
 Git 2 SWA 16.0-07707-750  
 Git 6 SWA 16.0-07707-2460

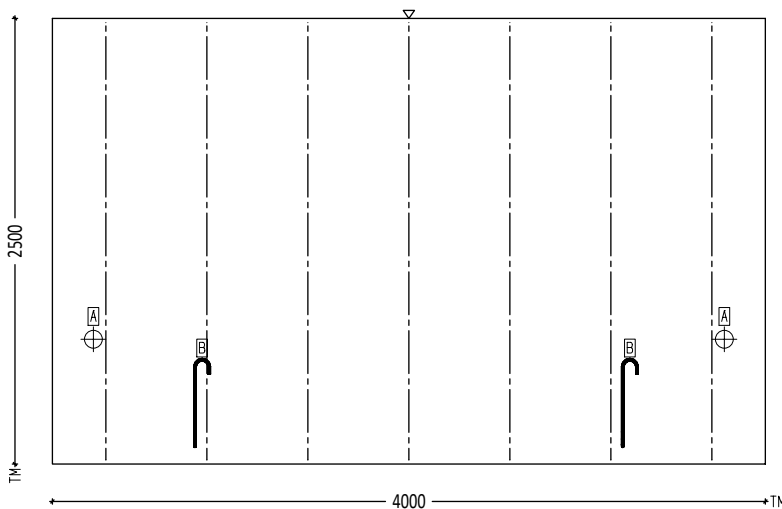
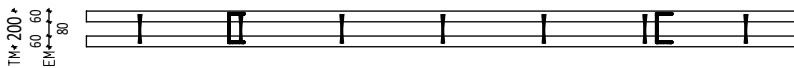
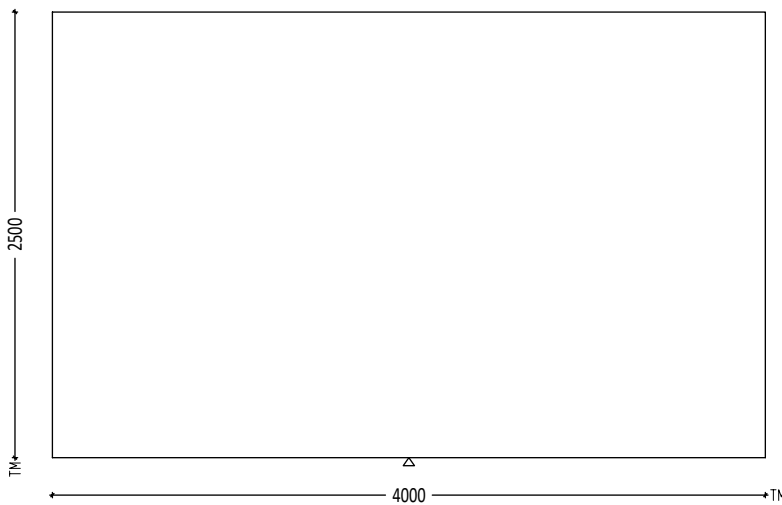
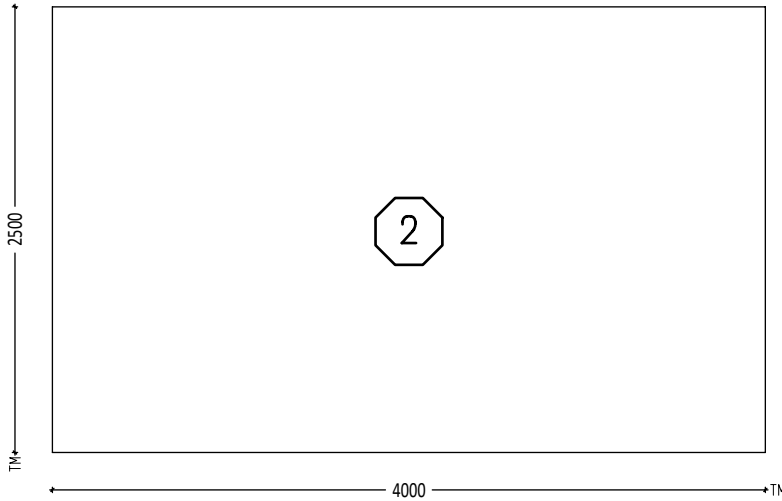
A 2x Montasjehylse M12  
 B 2x Lyft BGW16.5

1x Perf.steng 4.8m 1200/1200mm

Beregninger ifølge EN 1992-1-1	Ikke synlig:	Synlig:	Tegnings-status: -				-	-	15.02.2021	
	Fasthetskl:	B 30	B 30	Total vekt:	2.54 t	Max VCT	0.5	Rettelse:		
	Eksp.kl/Best.kl:	XC1,M60	XC1,M60	Vekt armering:	99.69 kg	Livslengde	L50	Prosj navn:	<b>Biokull test</b>	
	Betongmengde:	0.51 m <sup>3</sup>	0.51 m <sup>3</sup>	Tot. bet. mengde:	1.02 m <sup>3</sup>	Lufttilsats	0% i h.h.t	Prosj nr:	Etg.: -	
	Overdekn:	20 mm	20 mm	Gitterbjelke:	SWA 16.0-07707	Avformingsfasthet	16Mpa	Kunde:		
	Skivetykkelse:	60 mm	60 mm	Veggtykkelse:	200 mm	Leveransfasthet	70% av fasth.kl	Konstruktør:		
	Brutto areal:	10.00 m <sup>2</sup>		Elementdim:	4.000 x 2.500	Kamstål/tråd	B500NC/B500NA	Dato:	15.02.2021	Mål: 1 : 30.0
								Elem nr:	V1	Rev: -

H/W = 420 / 297 (0.12m<sup>2</sup>)

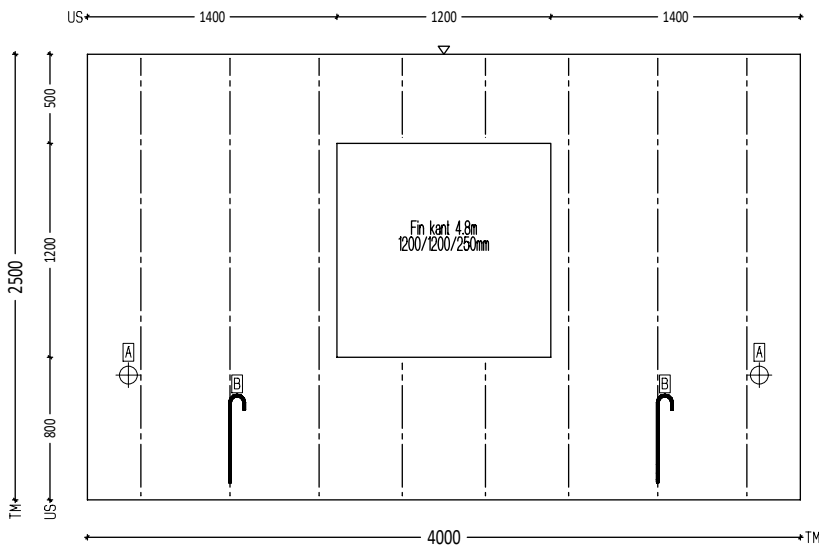
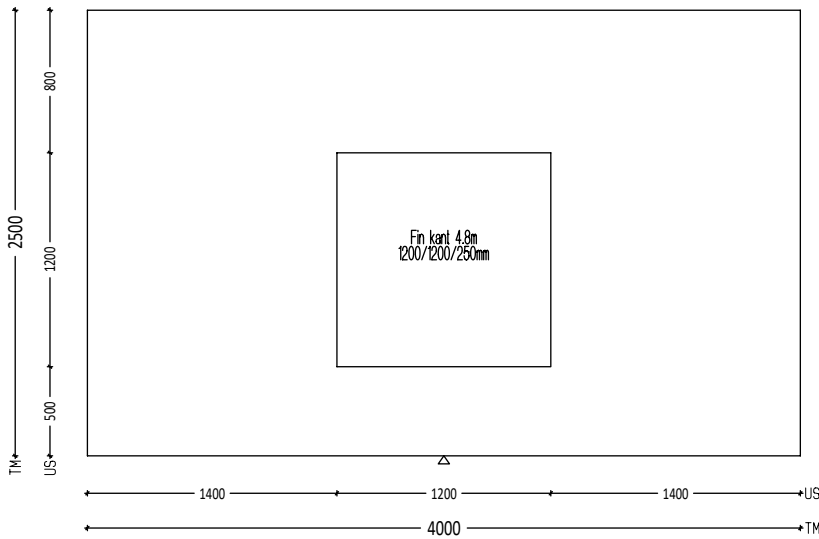
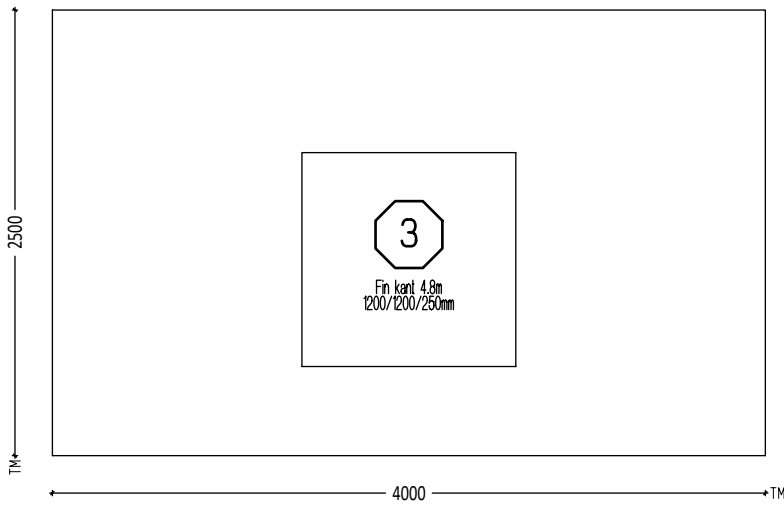
PLANBAR



Synlig:	
Arm	: K257
o	: 20 mm
as L*	: 3.24 cm <sup>2</sup> /m
as T*	: 2.57 cm <sup>2</sup> /m
Nett	: K257
Ikke synlig:	
Arm	: K257
o	: 20 mm
as L*	: 3.24 cm <sup>2</sup> /m
as T*	: 2.57 cm <sup>2</sup> /m
Nett	: K257
Ikke synlig:	
Git	7 SWA 16.0-07707-2460
A	2x Montasjehylse M12
B	2x Lyft BGW16.5

Beregninger ifølge EN 1992-1-1	Ikke synlig:	Synlig:	Tegnings-status: -		-	-	15.02.2021	Sign.:	
	Fasthetskl:	B 30	B 30	Total vekt:	2.95 t	Max VCT	0.5	Prosj navn:	<b>Biokull test</b>
	Eksp.kl/Best.kl:	XC1,M60	XC1,M60	Vekt armering:	99.77 kg	Livslengde	L50	Prosj nr:	Etg.: -
	Betongmengde:	0.59 m <sup>3</sup>	0.59 m <sup>3</sup>	Tot. bet. mengde:	1.19 m <sup>3</sup>	Lufttilsats	0% i h.h.t	Kunde:	
	Overdekn:	20 mm	20 mm	Gitterbjelke:	SWA 16.0-07707	Avformingsfasthet	16Mpa	Konstruktør:	
	Skivetykkelse:	60 mm	60 mm	Veggtykkelse:	200 mm	Leveransfasthet	70% av fasth.kl	Dato:	15.02.2021
	Brutto areal:	10.00 m <sup>2</sup>		Elementdim:	4.000 x 2.500	Kamstål/tråd	B500NC/B500NA	Mål:	1 : 30.0
								Rev:	-
				<b>H/W = 420 / 297 (0.12m<sup>2</sup>)</b>				<b>PLANBAR</b>	





Synlig:  
 Arm : K257  
 o : 20 mm  
 as L\*: 3.34 cm2/m  
 as T\*: 2.57 cm2/m  
 Nett : K257

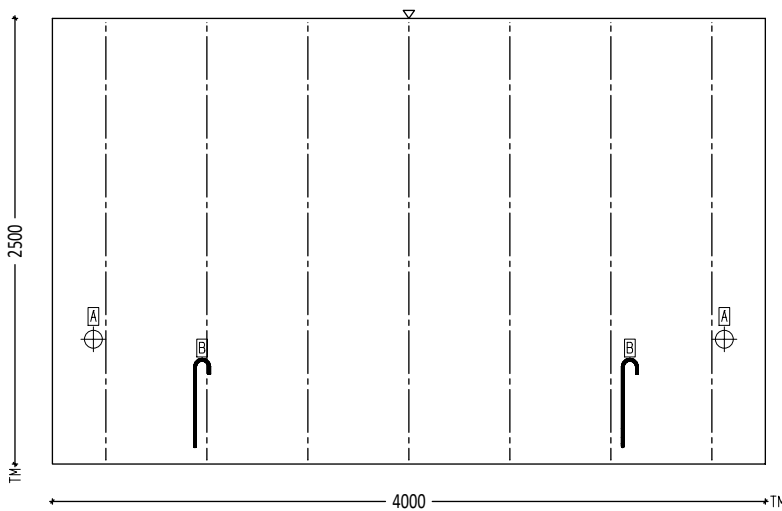
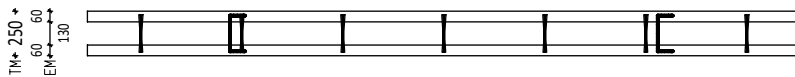
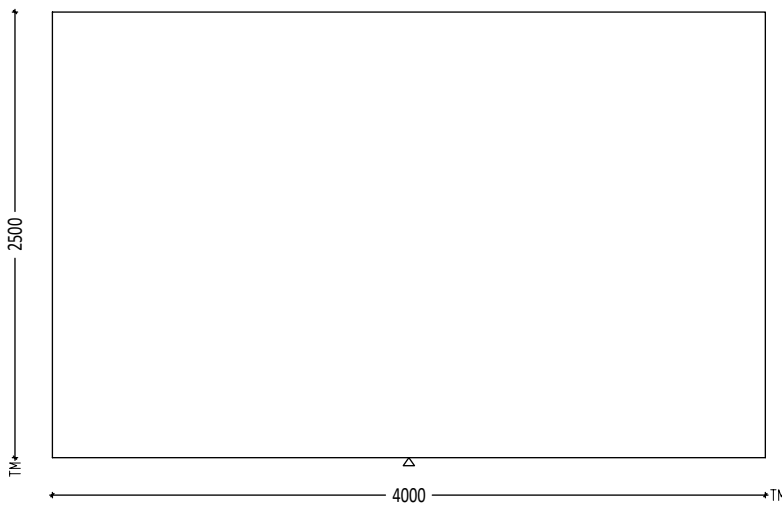
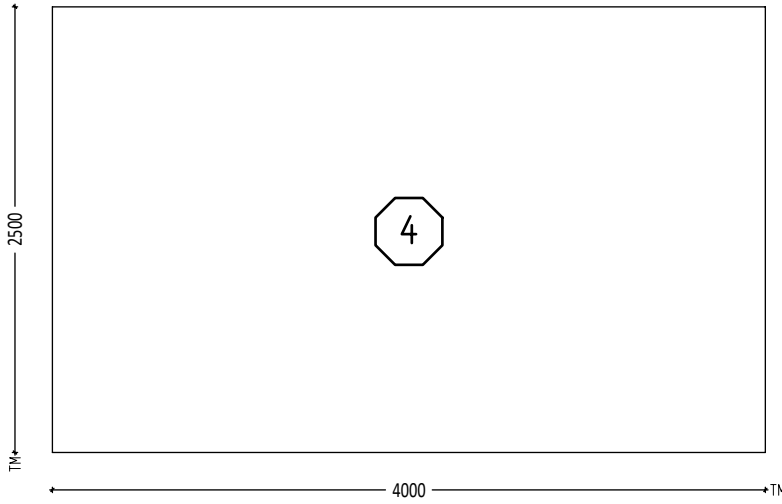
Ikke synlig:  
 Arm : K257  
 o : 20 mm  
 as L\*: 3.34 cm2/m  
 as T\*: 2.57 cm2/m  
 Nett : K257

Ikke synlig:  
 Git 2 SWA 21.0-07707-450  
 Git 2 SWA 21.0-07707-750  
 Git 6 SWA 21.0-07707-2460

A 2x Montasjehylse M12  
 B 2x Lyft BGW21.5

1x Fin kant 4.8m 1200/1200mm

Beregninger ifølge EN 1992-1-1	Ikke synlig:	Synlig:	Tegnings-status: -				-	-	15.02.2021	
	Fasthetskl:	B 30	B 30	Total vekt:	2.54 t	Max VCT	0.5	Rettelse:		
	Eksp.kl/Best.kl:	XC1,M60	XC1,M60	Vekt armering:	105.68 kg	Livslengde	L50	Prosj navn: <b>Biokull test</b>		
	Beløngmengde:	0.51 m3	0.51 m3	Tot. bet. mengde:	1.01 m³	Lufttilsats	0% i h.h.t	Prosj nr:                      Etg.: -		
	Overdekn:	20 mm	20 mm	Gitterbjelke:	SWA-21.0-07707	Avformingsfasthet	16Mpa	Kunde:		
	Skivetykkelse:	60 mm	60 mm	Veggtykkelse:	250 mm	Leveransfasthet	70% av fasth.kl	Konstruktør:		
	Brutto areal:	10.00 m²		Elementdim:	4.000 x 2.500	Kamstål/tråd	B500NC/B500NA	Dato: 15.02.2021	Mål: 1: 30.0	Rev: -
					H/W = 420 / 297 (0.12m²)		Elem nr: V3			
	<b>PLANBAR</b>									



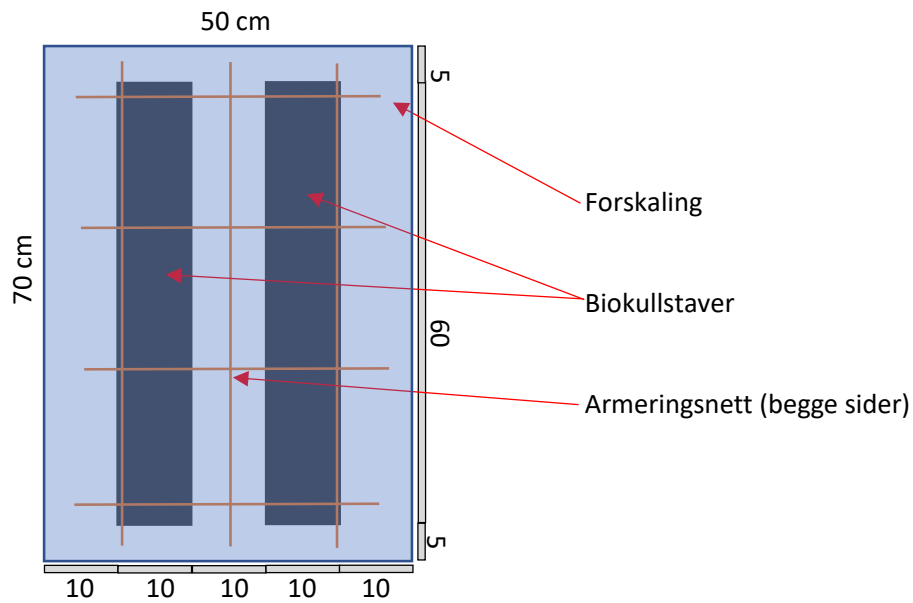
Synlig:	
Arm :	K257
o :	20 mm
as L*:	3.24 cm <sup>2</sup> /m
as T*:	2.57 cm <sup>2</sup> /m
Nett :	K257
Ikke synlig:	
Arm :	K257
o :	20 mm
as L*:	3.24 cm <sup>2</sup> /m
as T*:	2.57 cm <sup>2</sup> /m
Nett :	K257
Ikke synlig:	
Git	7 SWA 21.0-07707-2460
A	2x Montasjehylse M12
B	2x Lyft BGW21.5

Beregninger ifølge EN 1992-1-1	Ikke synlig:	Synlig:	Tegnings-status: -				-	-	15.02.2021		
	Fasthetskl:	B 30	B 30	Total vekt:	2.96 t	Max VCT	0.5	Prosj navn: <b>Biokull test</b>			
	Eksp.kl/Best.kl:	XC1,M60	XC1,M60	Vekt armering:	105.78 kg	Livslengde	L50	Prosj nr:	Etg.: -		
	Betongmengde:	0.59 m <sup>3</sup>	0.59 m <sup>3</sup>	Tot. bet. mengde:	1.19 m <sup>3</sup>	Lufttilsats	0% i h.h.t	Kunde:			
	Overdekn:	20 mm	20 mm	Gitterbjelke:	SWA 21.0-07707	Avformingsfasthet	16Mpa	Konstruktør:			
	Skivetykkelse:	60 mm	60 mm	Veggtykkelse:	250 mm	Leveransfasthet	70% av fasth.kl	Dato:	15.02.2021	Mål: 1 : 30.0	Rev:
	Brutto areal:	10.00 m <sup>2</sup>		Elementdim:	4.000 x 2.500	Kamstål/tråd	B500NC/B500NA	Elem nr:	V 4		
					<b>H/W = 420 / 297 (0.12m<sup>2</sup>)</b>						

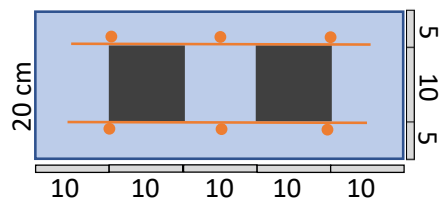
## Plan for vegg med biokullstaver, støpt på laboratoriet

Alle enheter er oppgitt i cm

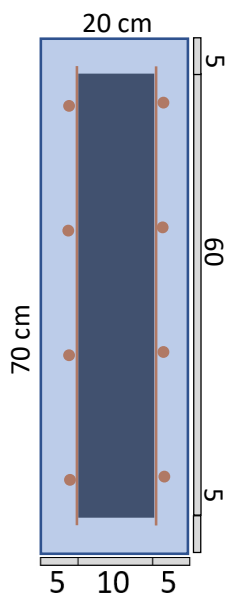
Forfra:



Ovenfra:



Fra siden:



## **Appendiks J**

Visuell undersøkelse og tynnslipanalyse av utboret betong med biokull

**SINTEF AS**Postadresse:  
Postboks 4760 Torgarden  
7465 TrondheimBesøksadresse:  
Richard Birkelands veg 3  
Trondheim

Sentralbord: 400 05 100

info@sintef.no  
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>  
Foretaksregister:  
NO 919303808 MVA

# Prøvingsrapport

## Visuell undersøkelse og tynnslipanalyse av utboret betong med biokull

**Betonglaboratoriet****Prosjektleder/forfatter(e):**

Marit Haugen

**Oppdragsgiver(e):**Skanska Norge AS  
Postboks 1175 Sentrum  
0107 Oslo**Prosjektnummer:**

102003040-186

**Dato:**

2021-06-01

**Oppdragsgivers referanse:**

Sverre Smeplass

**Antall sider og vedlegg:**

9 + 0 vedlegg

**Sammendrag:**

SINTEF mottok 2021-04-15 én utboret betongkjerne med diameter 76 mm og lengde 255 mm fra oppdragsgiver. Betongkjernen er boret ut uten SINTEFs medvirkning. Betongen inneholder ifølge oppdragsgiver biokull, og biokullet er benyttet både som erstatning for noe av sementen og for noe av tilslaget. Oppdragsgiver ønsker å få undersøkt mikrostrukturen i betongen.

To borkjerner som ankom samtidig ble overlevert til studenter ved NTNU, men denne rapporten omhandler ikke disse to kjernene.

For å undersøke mikrostrukturen i betongen er det utført tynnslipanalyse. Prøvingen ble utført i perioden 2021-04-16--05-31. Resultatene er presentert på side 2-9.

Tynnslipanalysen viser at betongen med biokull har svært homogen sementpasta, og det er observert svært lite riss. Mikroriss er praktisk talt fraværende. Det er observert et høyt antall biokullpartikler i finfraksjonen, og disse partiklene er jevnt fordelt og godt integrert i sementpastaen. Den eneste "uregelmessigheten" som kan observeres er at det rundt en del av de større biokullpartiklene er luftbobler i varierende omfang.

Utstyrs ID	B-295
------------	-------

**Prosjektleder/forfatter:**

Marit Haugen

*Signatur***Kontrollert av:**

Jan Lindgård

*Signatur***Rapportnr:**

3040-186

**Gradering:**

Fortrolig

## 1 PRØVEMATERIALET

SINTEF mottok 2021-04-15 én utboret betongkjerne med diameter 76 mm og lengde 255 mm fra oppdragsgiver. Betongkjernen er boret ut uten SINTEFs medvirkning. Betongen inneholder ifølge oppdragsgiver biokull, og biokullet er benyttet både som erstatning for noe av sementen og for noe av tilslaget. Oppdragsgiver ønsker å få undersøkt mikrostrukturen i betongen.

Betongkjernen hadde et endesjikt (en støpeskjøt) med tykkelse knapt 60 mm på begge sider. På den ene siden av kjernen hadde endesjiktet løsnet.

## 2 UTFØRT UNDERSØKELSE

Det er utført følgende analyse av den innsendte borkjernen:

- \* Visuell undersøkelse
- \* Mikroanalyse av fluorescensimpregnerte, polerte tynnslip undersøkt i polarisasjonsmikroskop påmontert UV-filtre. Det er etter ønske fra oppdragsgiver plassert 2 stk tynnslip i midtsjiktet i kjernen (endesjiktene på begge sider er ikke undersøkt)

## 3 RESULTATER

### 3.1 Visuell undersøkelse

Ved den visuelle undersøkelsen kunne det ikke observeres riss eller andre skader i betongen. Kjernen bestod av et midtsjikt samt to endesjikt med tykkelse knapt 60 mm på begge sider. Foto nr 1 viser bilder av kjernen.

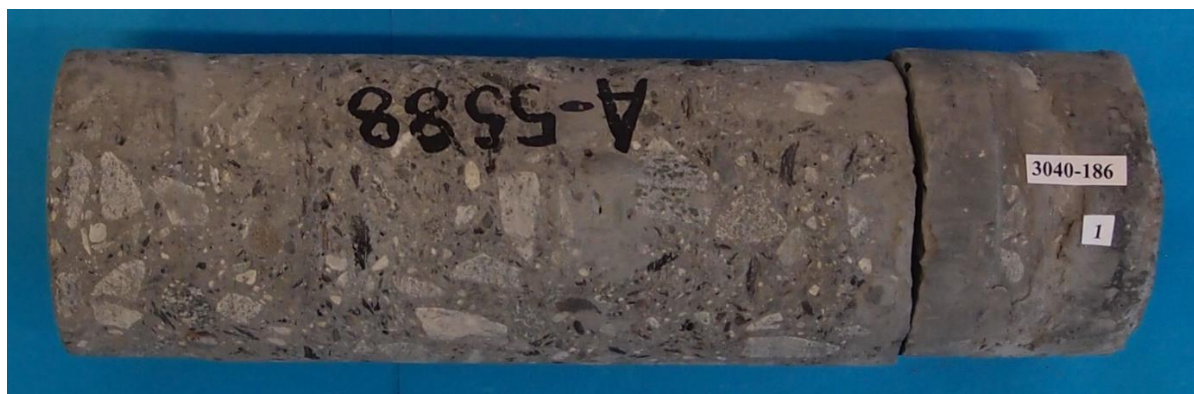


Foto nr 1. Oversiktsfoto av borkjernen. Total kjernelengde er 255 mm. Endesjiktene på begge sider har begge tykkelse knapt 60 mm.

### 3.2 Tynnslipanalyse

Det ble framstilt 2 stk fluorescensimpregnerte, polerte tynnslip fra midtsjiktet i kjernen. Tynnslipenes størrelse er 48 mm x 24 mm, og Foto nr 2 viser hvor tynnslipene ble plassert i midtsjiktet. Resultatene fra tynnslipobservasjonene er presentert i Tabell 1 og 2, samt i foto nr 3-10.

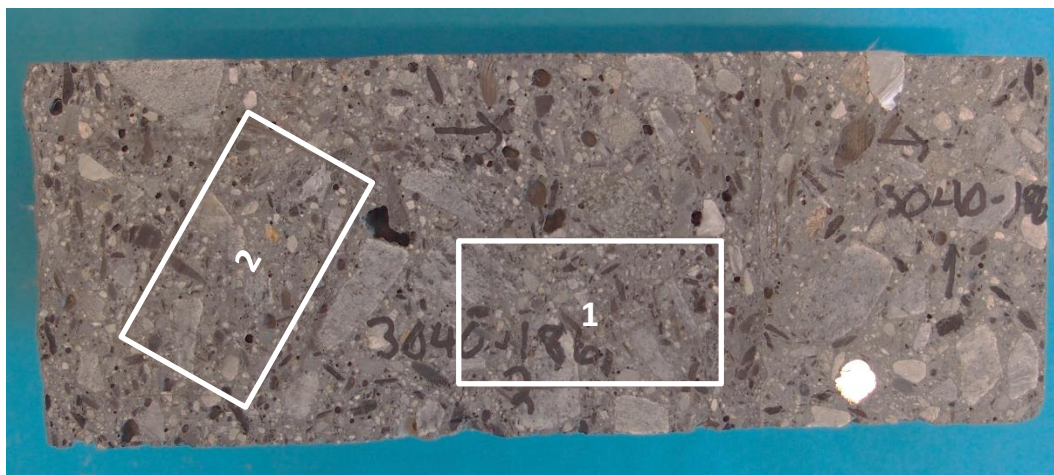


Foto nr 2. Plassering av tynnslipene (markert med hvitt) i midtsjiktet. Det løse endesjiktet er ikke såget, og er heller ikke med på bildet. På foto nr 2 er borkjernen orientert motsatt vei i forhold til på Foto nr 1, dvs at tynnslip nr 1 er nærmest det faste endesjiktet.

**Tabell 1 Observasjoner i tynnslipet**

Tynnslip nr	1 (foto nr 3-6)
Porøsitet i mørtelfasen	Svært homogen
Luftinnblandet	Jå
Mikroriss	Praktisk talt ikke observert
Fine riss i betongen	Svært få
Grove riss	Ikke observert
Utfellinger i luftporer og riss	Ikke observert
Type steintilslag	Singel, hovedsakelig gneis/granitt, silt-leirstein og grønnstein i tillegg til biokull
Alkalireaksjoner	Ikke observert
Kommentar	<p>Betongen er svært homogen med svært lite riss</p> <p>I kontaktsonen mellom singel og sementpasta kan det ikke observeres uregelmessigheter, kontaktsonen synes å være intakt</p> <p>Rundt en del av de større biokullpartiklene er det anrikning av luftbobler i varierende omfang</p> <p>Det er observert et høyt antall biokullpartikler i finfraksjonen, og disse partiklene er jevnt fordelt og godt integrert i sementpastaen</p>



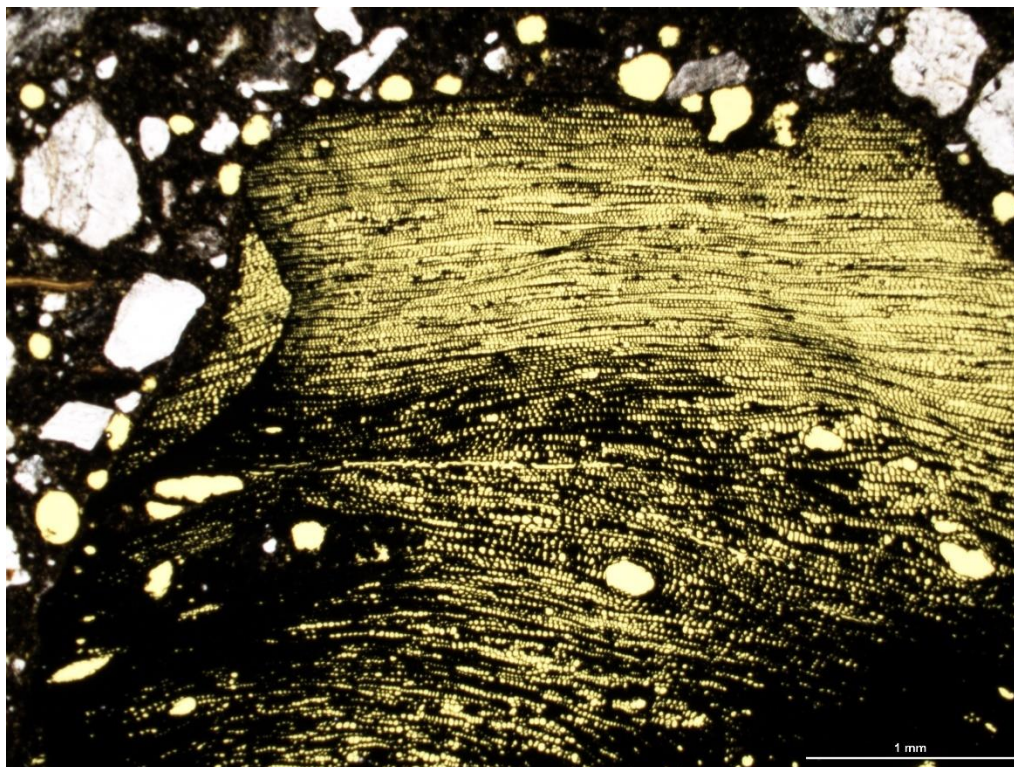


Foto nr 3. Tynnslip nr 1 - utsnitt fra tynnslipet. Bildet viser en biokullpartikkel. Det kan ikke observeres spesielt stor anrikning av luftbobler rundt partikkelen.

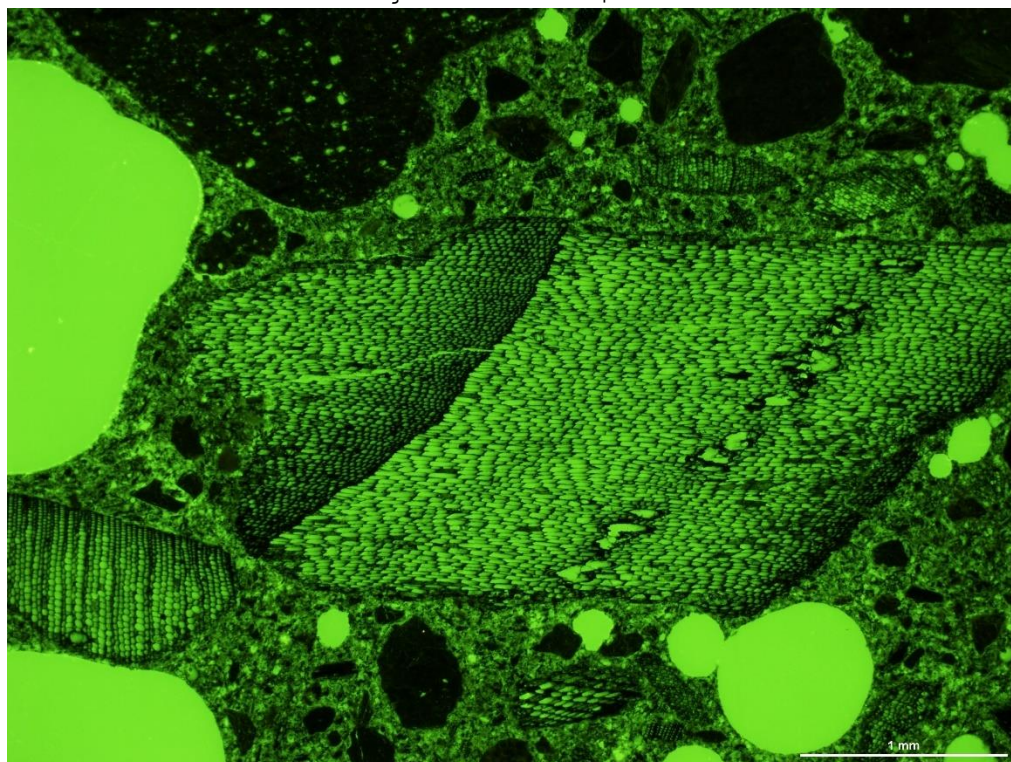


Foto nr 4. Tynnslip nr 1 - utsnitt fra tynnslipet fotografert i fluorescerende lys. Med denne belsningsformen framkommer tilslagskorn som mørk grønne-svarte, mens sementpastaen er lysere grønn. Riss og hulrom er fylt med fluorescerende epoksy og framkommer som lysegrønne. Biokullpartiklene framkommer som "hullete". Bildet viser flere biokullpartikler, og det kan ikke observeres spesielt stor anrikning av luftbobler rundt disse. Sementpastaen er svært homogen.



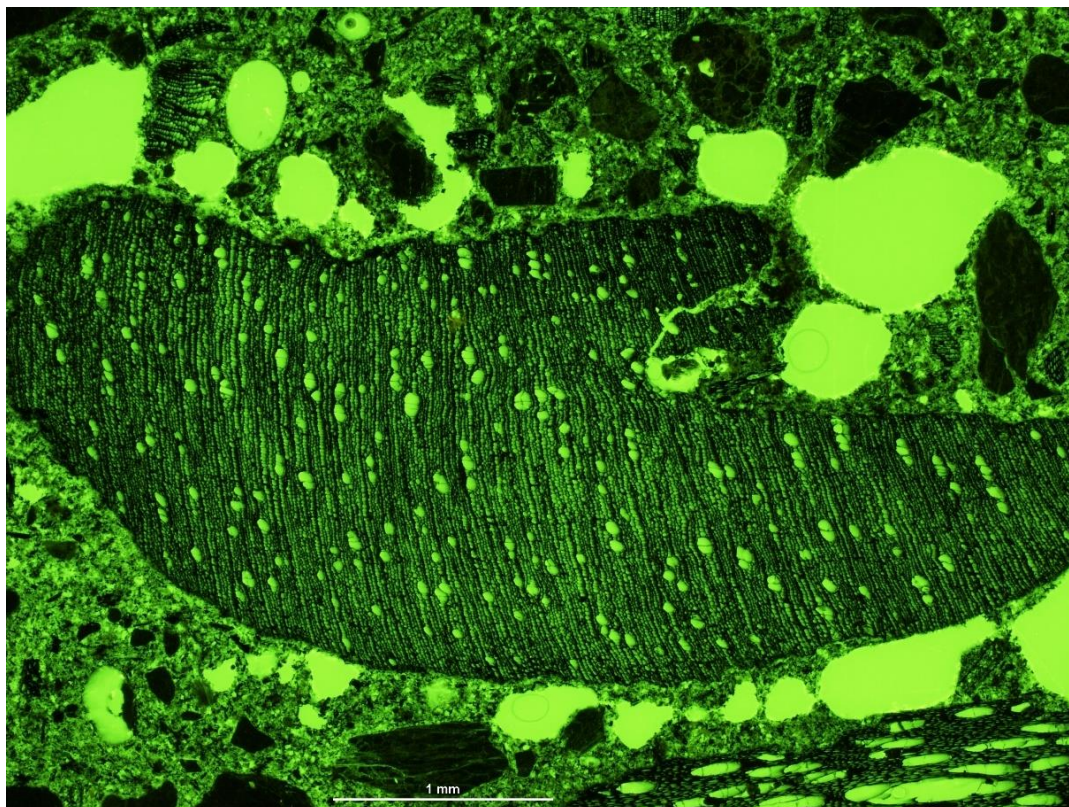


Foto nr 5. Tynnslip nr 1 - utsnitt fra tynnslipet fotografert i fluorescerende lys. Bildet viser anrikning av luftbobler rundt en biokullpartikkel.

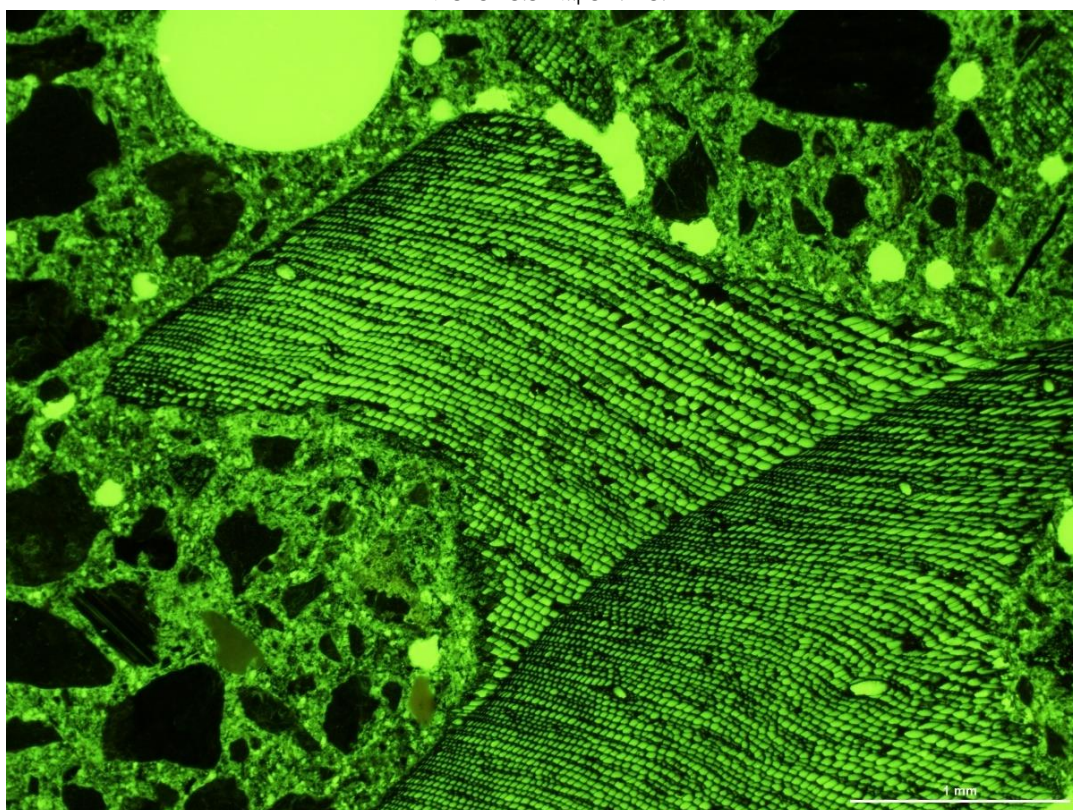


Foto nr 6. Tynnslip nr 1 - utsnitt fra tynnslipet fotografert i fluorescerende lys. Det er et par luftbobler rundt en biokullpartikkel øverst på bildet, ellers er kontaktsonen mot sementpastaen intakt.

**Tabell 2 Observasjoner i tynnslipet**

Tynnslip nr 2	2 (foto nr 7-10)
Porøsitet i mørtelfasen	Svært homogen
Luftinnblandet	Jå
Mikroriss	Praktisk talt ikke observert
Fine riss i betongen	Svært få
Grove riss	Ikke observert
Utfellinger i luftporer og riss	Ikke observert
Type steintilslag	Singel, hovedsakelig gneis/granitt, silt-leirstein og grønnstein i tillegg til biokull
Alkalireaksjoner	Ikke observert
Kommentar	<p>Betongen er svært homogen med svært lite riss</p> <p>Kontaktsonen mellom singel og sementpasta synes å være intakt, med svært få unntak der det lokalt kan observeres heftriss</p> <p>Rundt en del av biokullpartiklene er det anrikning av luftbobler i varierende omfang</p> <p>Det er observert et høyt antall biokullpartikler i finfraksjonen, og disse partiklene er jevnt fordelt og godt integrert i sementpastaen</p>



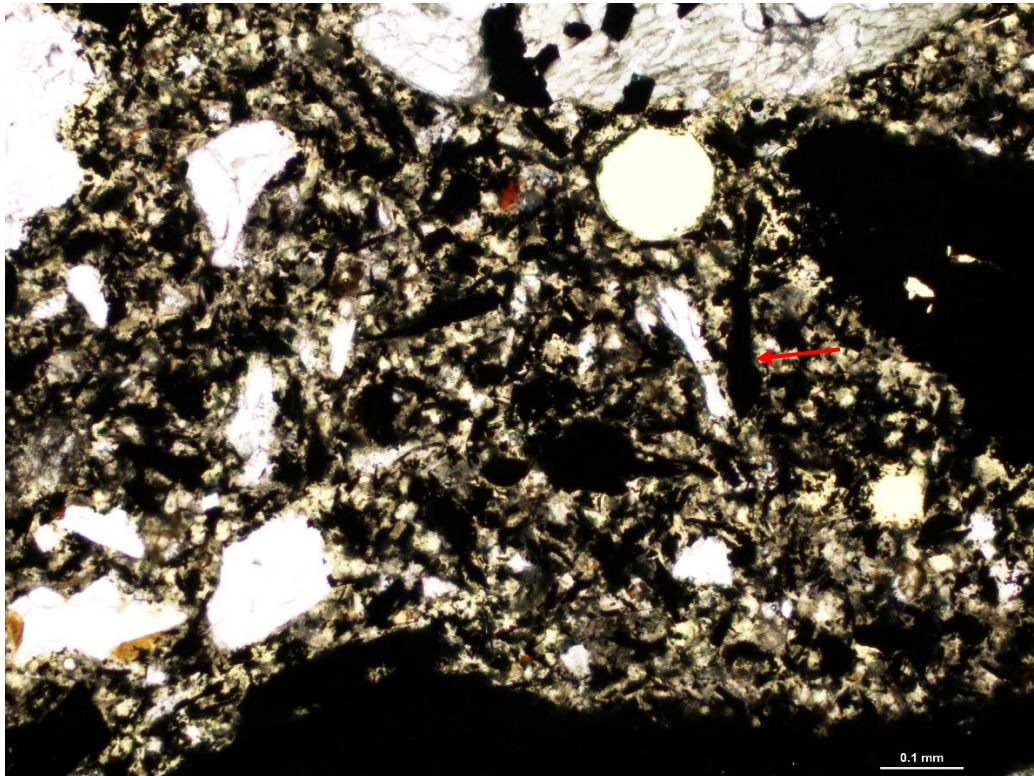


Foto nr 7. Tynnslip nr 2 - utsnitt fra tynnslipet. Bildet viser mange jevnt fordelte biokullpartikler i finfraksjonen som er godt integrert i sementpastaen (rød pil).

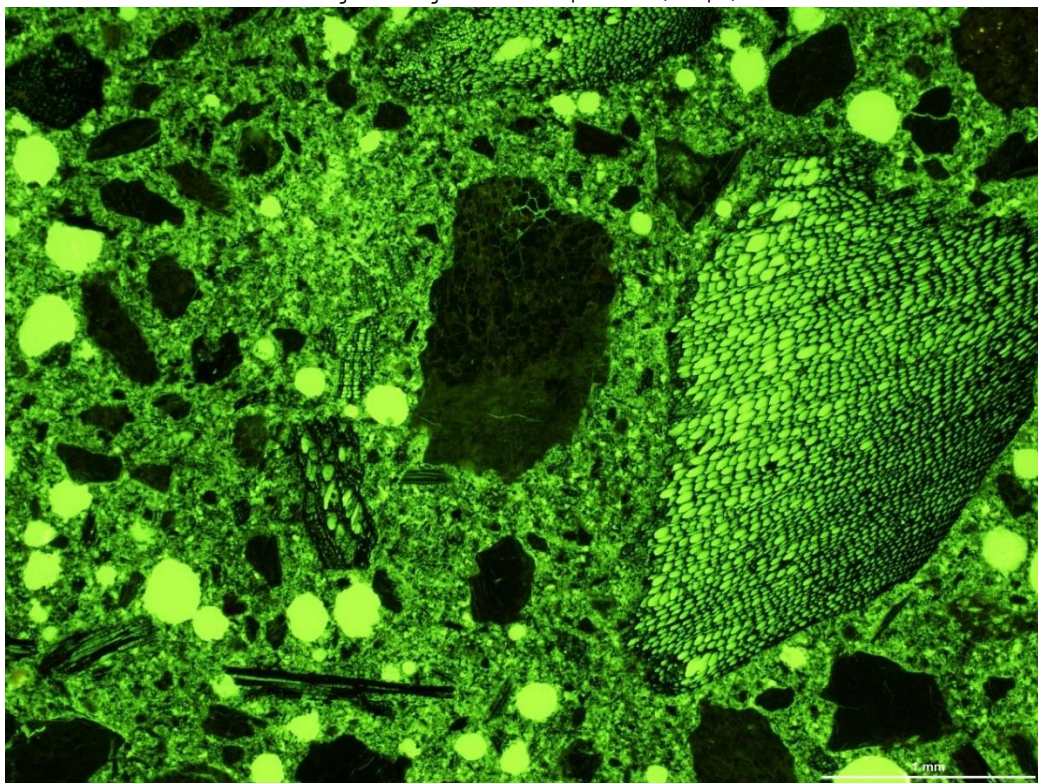


Foto nr 8. Tynnslip nr 2 - utsnitt fra tynnslipet fotografert i fluorescerende lys. Til venstre på bildet er det anriking av luftbobler i sementpastaen, mens kontaktsonen mellom sementpastaen og biokullpartikkelen til høyre på bildet er intakt.



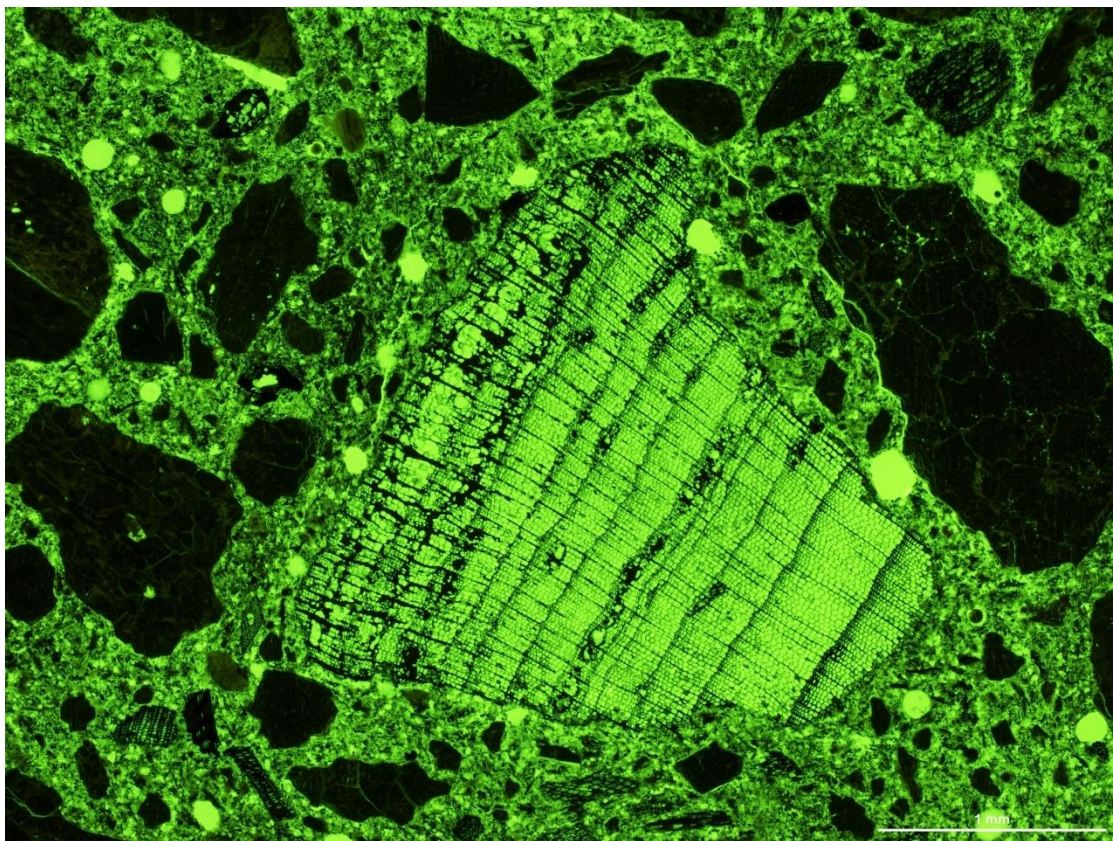


Foto nr 9. Tynnslip nr 2 - utsnitt fra tynnslipet fotografert i fluorescerende lys. Bildet viser enkelte luftbobler rundt biokullpartikkelen midt på bildet, mens det meste av kontaktsonen er intakt. Sementpastaen er svært homogen.

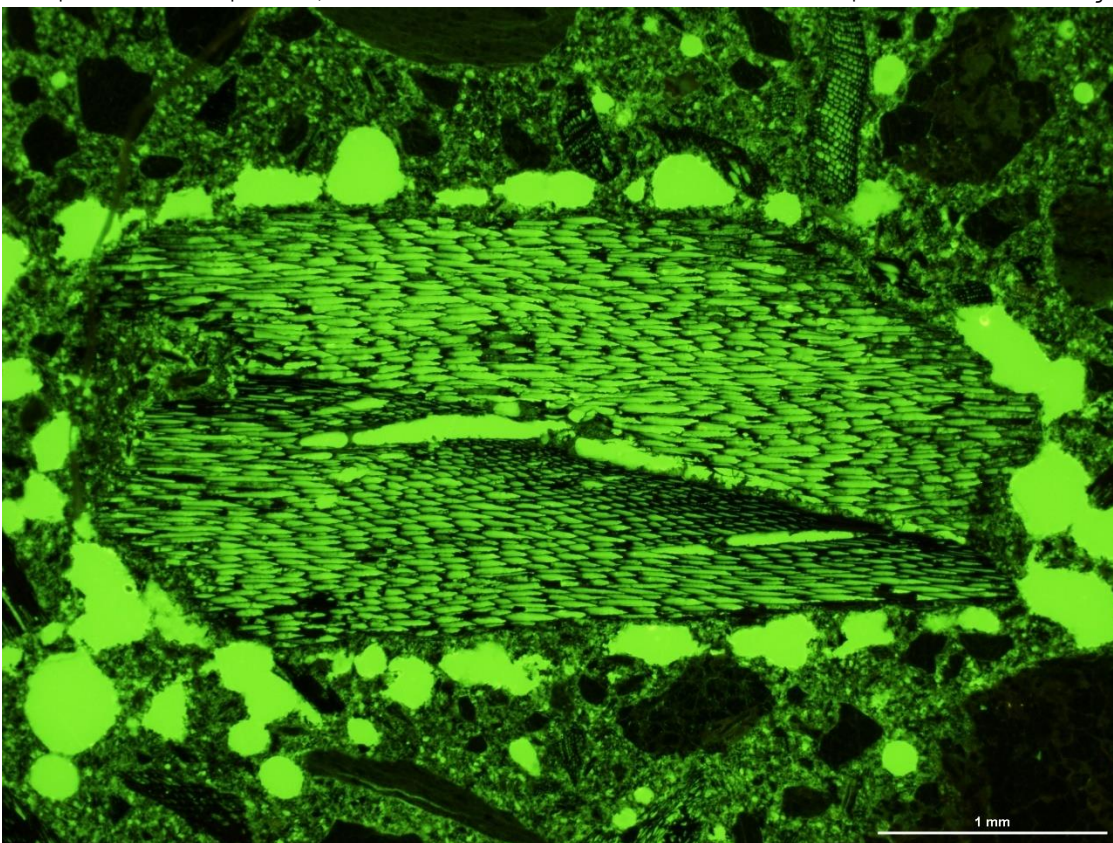


Foto nr 10. Tynnslip nr 2 - utsnitt fra tynnslipet fotografert i fluorescerende lys. Bildet viser at det rundt biokullpartikkelen midt på bildet er svært mange luftbobler.

#### 4 VURDERING AV LABORATORIERESULTATENE

Sementpastaen i betongen med biokull er svært homogen, og det kan ikke observeres endring i porøsitet i kontaktsonen mellom grove partikler av naturlig opprinnelse og sementpastaen. I normalbetong kan det ofte observeres forhøyet porøsitet rundt store tilslagspartikler av naturlig opprinnelse, men dette er ikke tilfelle her. Det er også svært lite riss i betongen, og mikroriss er praktisk talt ikke observert. Sistnevnte er uvanlig.

Biokullpartikler er observert i grovfraksjonen, men i tillegg er det også observert et høyt antall biokullpartikler i finfraksjonen. De sistnevnte partiklene er jevnt fordelt og godt integrert i sementpastaen".

Rundt en del av de større biokullpartiklene er det anrikning av luftbobler i varierende omfang.





