



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Industriell økonomi/Bygg og prosjektledelse	Høstsemesteret, 2019 <u>Åpen</u> / Konfidensiell
Forfatter: Taher Al Bastami	<i>Taher Bastami</i>
Fagansvarlig: Sindre Lorentzen (UiS) Veileder(e): Ole Garborg Østrem (Block Berge Bygg AS)	
Tittel på masteroppgaven: Hvordan kan betonggjenvinning benyttes for å behandle hulldekkeskalkene i Block Berge Bygg AS, vurdert fra et teknisk, miljømessig og økonomisk perspektiv? Engelsk tittel: How can concrete recycling be used to treat the hollow core deck residues in Block Berge Bygg AS, evaluated from a technical, environmental and economical perspective?	
Studiepoeng: 30 Sp	
Emneord: Hulldekkeskalker Betonggjenvinning Tilslag Hulldekke Miljø Bærekraft Økonomi Sirkulær økonomi	Sidetall: 65 + vedlegg/annet: 11 Stavanger, 22.12.2019



Universitetet
i Stavanger

Det teknisk- naturvitenskapelige fakultet
Institutt for sikkerhet, økonomi og planlegging

MASTEROPPGAVE

Hvordan kan betonggjenvinning benyttes for å behandle hulldekkeskalkene i Block Berge Bygg AS, vurdert fra et teknisk, miljømessig og økonomisk perspektiv?



Taher Al Bastami

Stud. nr. 228451

22.Desember 2019

Forord

Denne masteroppgaven er et avsluttende arbeid for det 5-årige masterstudiet i industriell økonomi ved Universitetet i Stavanger. Jeg har valgt fordypning i bygg og prosjektledelse, en kombinasjon som gir en dyp innsikt i implementering av prosjektledelse og -styring i byggeprosjekter. Oppgaven er laget og utført i samarbeid med UiS og Block Berge Bygg AS, og har blitt veiledet av Sindre Lorentzen fra UiS og Ole Garborg Østrem fra BBB.

Masteroppgaven dreier seg om å vurdere betonggjenvinning som en løsning til å behandle betongrester fra hulldekkeproduksjonen i BBB-fabrikken. Oppgaven er altså basert på å vurdere en løsning til en eksisterende utfordring, noe som gjorde at arbeidet var utfordrende, lærerikt og spennende.

Oppgaven ga tilfredsstillende resultater i forhold til forventningene til BBB. Takket være den gode veiledningen fra både Sindre og Ole som har vært essensiell i denne oppgaven. Jeg vil takke Sindre for hans betydelige støtte og presise veiledning. Jeg vil også takke Ole for hans hjelp med å formulere oppgaven og hans kontinuerlige støtte gjennom de siste månedene. I tillegg vil jeg takke alle foreleserne på UiS for den solide kunnskapen de har gitt meg gjennom mange ulike og spennende emner under studietiden. Sist, men ikke minst takker jeg min familie og mine venner, som alltid har vært avgjørende støttespillere til å fullføre studiet og ikke minst denne masteroppgaven.

Taher Bastami

22/12 - 19

Sammendrag

Byggeindustrien er kjent som en miljøbelastende industri i både Norge og verden. Den har stadig økende miljøbelastninger i form av avfall, luftforurensning og materialbruk. Byggeindustrien står for 25% av alt avfall i Norge, hvor cirka halvparten av dette stammer ifra betong- og teglarbeider [1].

Block Berge Bygg AS er en råbyggsentreprenør som produserer og leverer betongelementer til alle typer byggeprosjekter. Omtrent 60% av deres totale produksjon er basert på et element kalt «hulldekke», hvor det utgjør 200 000 m^2 i året. Av dette blir ca. 4% (8000 m^2) til avfall på grunn av avkapp og tilpasning av elementet. Dette avfallet kalles hulldekkeskalker og sendes hovedsakelig til deponi, noe som anses som miljøbelastende.

For å behandle disse skalkene ble det foreslått å benytte betonggjenvinning. Denne masteroppgaven tar derfor for seg en vurdering av denne løsningen (betonggjenvinning) for BBB. Den foreslåtte løsningen (betonggjenvinning) er basert på et samarbeid mellom BBB og Velde. Vurderingen tar et utgangspunkt i følgende perspektiver, teknisk, miljømessig og økonomisk.

I den tekniske delen, ble en prøve av hulldekkeskalker gjenvunnet i Velde, hvor det ble produsert prøver med gjenvunnet tilslag. Deretter ble disse prøvene benyttet til å gjøre noen tekniske tester for å studere effektiviteten av gjenvunnet tilslag og hvordan et slikt tilslag er i forhold til et vanlig tilslag. I tillegg ble det laget noen forskjellige betongblandinger med varierende mengder gjenvunnet tilslag for å studere effektiviteten av betong som er laget med et slikt tilslag. Funnene/resultatene i denne delen var tilfredsstillende i forhold til standard og forventede verdier for vanlig betong. Dette danner et tekniske startpunkt for BBB til å starte en realisering av denne løsningen (betonggjenvinning).

I den miljømessige delen, ble den foreslåtte løsningen vurdert for å se på miljømessige fordeler og ulemper ved betonggjenvinning i BBB. Dette er gjort ved å sammenligne miljøeffekten av denne løsningen med miljøeffekten av dagens strategi (deponi). Det ble dermed funnet ut at betonggjenvinning vil bidra med at mindre avfall blir sendt til deponi, samtidig vil det resultere i gjenbruk av materialer, noe som bidrar til en reduksjon av en fremtidig ressursknapphet. Derfor vil betonggjenvinning av hulldekkeskalkene kunne forsterke BBBs miljøvernssystem og

redusere miljøbelastningen i fabrikk. Med andre ord, kan denne løsningen anses som miljøvennlig sammenlignet med dagens strategi. Den eneste miljøutfordringen er at bruk av gjenvunnet tilslag i betongproduksjonen kan kreve større mengder sement, noe som kan bidra til luftforurensing ettersom sement anses som et ikke-miljøvennlig produkt.

I den økonomiske delen ble den foreslåtte strategien analysert og vurdert med hensyn til samarbeidet med den eksterne aktøren (Velde). I tillegg ble det foretatt en kostnadsestimering av strategien, for å kunne få en oversikt over hvor mye dette potensielt kan koste BBB. Vurderingen er også basert på en økonomisk sammenligning mellom denne foreslåtte strategien med dagens strategi (deponi). Funnene i denne vurderingen ga et grunnlag for et godt og effektivt samarbeid mellom BBB og Velde, hvor begge vil kunne få nytte av den foreslåtte strategien. Økonomisk sett, vil den foreslåtte strategien ha kostnader som er større enn de for dagens strategi, noe som vil kunne bidra til å svekke lønnsomheten i bedriften. Dette skyldes de prisene Velde har estimert, som er høyere enn dagens pris. Derfor bør BBB forhandle med Velde for å utarbeide priser som er passende og som bidrar med en økonomisk nytte for begge parter.

Arbeidet i denne masteroppgaven har generelt sett gitt et godt inntrykk av at betonggjenvinning kan være sunt for BBB. For en slik løsning vil i tillegg til miljøgevinsten kunne skape et godt renommé for BBB og øke bedriftens satsning på kreativitet og nye løsninger.

Innholdsfortegnelse

Forord	1
Sammendrag	2
Innholdsfortegnelse	4
Begreper og forkortelser	6
1 Innledning	7
1.1 Bakgrunn og problemstilling	7
1.2 Innhold og oppbygning	9
1.3 Avgrensninger	9
2 Bakgrunn	11
2.1 Betongkonstruksjoner	11
2.2 Hulldekke	12
2.2.1 Definisjon	12
2.2.2 Egenskaper av hulldekke	12
2.2.3 Produksjonsprosessen i BBB	13
2.3 Betong og miljø	14
2.3.1 Betongavfall	14
2.3.2 Luftforurensning	15
2.3.3 Materialbruk	15
2.4 Betonggjenvinning	16
3 Litteraturgjennomgang	19
3.1 RESGRAM-prosjektet	19
3.2 RESIBA-prosjektet	21
4 Teori	25
4.1 Betongresirkulering	25
4.1.1 Påvirkningen av betongavfall	25
4.1.2 Egenskaper av resirkulert tilslag	26
4.1.3 Bruk av resirkulert tilslag	28
4.2 Sirkulær økonomi	29
4.2.1 Definisjon	29
4.2.2 Sirkulær økonomi i bygge- og anleggsbransjen	30
4.3 Betongresirkulering og økonomi	33
5 Laboratoriearbeid	34
5.1 Gjenvunnet tilslag	34
5.2 Betong laget med gjenvunnet tilslag	36

6 Analyse av gjenvinningsstrategien	39
6.1 <i>En sirkulær strategi</i>	40
6.2 <i>Kostnader av strategien</i>	41
6.3 <i>Et samarbeid mellom BBB og Velde</i>	44
7 Sammenligning og diskusjon	46
7.1 <i>Teknisk perspektiv</i>	46
7.1.1 <i>Gjenvunnet tilslag</i>	46
7.1.2 <i>Betong laget med gjenvunnet tilslag</i>	48
7.2 <i>Miljømessig perspektiv</i>	50
7.3 <i>Økonomisk perspektiv</i>	52
8 Konklusjon	55
Bildeliste	58
Tabelliste	59
Figurliste	59
Vedlegg	60
<i>Vedlegg I Møtereferat</i>	61
<i>Vedlegg II Siktekurve av gjenvunnet (8-16 mm) tilslag</i>	62
<i>Vedlegg III Siktekurve av vanlig (8-16 mm) tilslag</i>	63
<i>Vedlegg IV Betongproporsjonering</i>	64
<i>Vedlegg V Betjeningsveiledning Luftporemåler</i>	68
<i>Vedlegg VI Beregning av kostnadsdifferanse i Excel</i>	70
Referanser	71

Begreper og forkortelser

BBB	Block Berge Bygg AS.
Velde	Leverandør av tilslag og materialer til myggindustrien.
SINTEF	Et sentralt institutt for anvendt forskning, teknologi og innovasjon. SINTEF har et partnerskap med NTNU.
UHPC	Ultra-High-performance concrete (Ultra høyfast betong).
NHP4	Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall 2017 – 2020.
TU	Teknisk ukeblad.
CO2-gass	Karbondioksidgass.
RESGRAM	Utvikling av resirkulert tilslag fra gravmasser til bruk i veibygging og betongproduksjon. Et 4-årig forskningsprogram (2016-2020) som forsker effektiviteten av resirkulert tilslag.
RESIBA	Resirkulert tilslag for bygg og anlegg. Et forskningsprosjekt som er utført i tidsperioden 1999-2002, hvor formålet var å studere bruk av resirkulert tilslag i sementbaserte produkter.
GRIP-senter	Stiftelsen for bærekraftig produksjon og forbruk (1995-2008). senterets arbeid var basert på å utvikle kunnskap, verktøy og metoder om bærekraftig forbruk og produksjon i Norge [2].
BREEAM	Et ledende verktøy for miljøsertifisering av bygninger i Europa. Denne sertifiseringen er laget for å måle miljøpåvirkningen av et byggeprosjekt.
BREEAM-NOR	En norsk tilpasning av BREEAM som er Norges eneste metode for å sertifisere et bærekraftig/miljøvennlig bygg [3].
A20-listen	En liste som gir en oversikt over de mest miljø- og helsefarlige stoffene utenom forbudte stoffer. For å miljøsertifisere et bygg må det tas hensyn til disse materialene, hvor minimum kravet er at bygget ikke inneholder noen av materialene som er presentert på lista [4].
Avfalls-hierarkiet	Et begrep som brukes i avfallspolitikken. Hierarkiet/trekanten består av flere prioriteringer for behandling av avfall.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og problemstilling

Byggeindustrien hadde et antall sysselsatte på ca. 335 000 personer [5] og en total omsetning på ca. 563 milliarder norske kroner i 2017 [6]. Dette gjør den til en av de 3 største industriene i Norge, noe som betyr at den er en sentral industri i den norske økonomien.

Betong er det mest brukte materialet i både store og små prosjekter i industrien. Grunnen til dette er at den lett kan formes og farges etter ønske og behov, har lang levetid, er bestandig og effektiv [7]. For å lage betongkonstruksjoner, trenger en materialer som tilslag (sand og stein), sement, vann, eventuelle kjemiske tilsetninger og armering.

Et stort bruk av betong i bygge- og anleggsaktivitetene krever et stadig økende behov for ulike ressurser som råmaterialer. Dette har ført til at mange forskere og teknologer har tatt initiativet og forsket på løsninger som hindrer mangel på materialer. Når det gjelder betong, er det en løsning om å benytte gjenvinning. Det vil si å gjenvinne betongavfall og -rester for å produsere materialer som kan gjenbrukes i produksjonen. En dypere forskning i Norge og i verden pågår i skrivende stund som så langt har gitt lovende resultater for gjenbruk av materialer fra betongavfall. En slik løsning vil naturligvis kunne resultere i mindre materialkostnader og økt bærekraft [8].

Dette temaet er tatt opp og diskutert med Ole Garborg Østrem ved Block Berge Bygg AS. Firmaet ble etablert i 1966, av Gunnar Block Watne og Sigvald Bergesen d.y. som var pionerer innen norsk byggeteknikk og shipping. Tanken var å etablere et fremtidsrettet entreprenørselskap, samt satse på prefabrikasjon av byggelementer [9]. I 1999 ble BBB kjøpt av Veidekke, men fortsatte under samme navnet. Ved årsskiftet 2017/2018 ble totalentreprenøren «Block Berge» delt i to. Entreprenørdelen ble gjort om til en regional Veidekke-avdeling og Block Berge fortsatte som en ren råbyggsentreprenør med produksjon og montasje av betongelementer. I dag produserer, leverer og monterer BBB betongelementer som blant annet vegger, bjelker, søyler og hulldekke til mange ulike byggeprosjekter innenfor boligbygg, kommersielle bygg og industribygg. BBB har en av Norges største betongelement-fabrikker med omlag 190 ansatte, og leverer til prosjekter i hele landet. Omsetningen i 2018 var på 578 millioner norske kroner. Firmaet har deltatt i flere forskningsprosjekter innenfor blant annet fiberarmert betong, geopolymer og UHPC.

BBB produserer ca. 200 000 m^2 hulldekke i året, noe som tilsvarer arealet av til sammen 29 fotballbaner. Denne produksjonen utgjør omtrent 60% av den totale produksjonen i fabrikkens målt i m^3 betong. Av dette blir 3-4 % avfall (ca. 8000 m^2), noe som tilsvarer arealet av til sammen 1,5 fotballbaner. Grunnen til dette avfallet er hovedsakelig avkapp og tilpasning av elementet⁵. Avfallet anses som en tapt ressurs for BBB, hvor en utnyttelse av denne ressursen ved å benytte gjenvinning vil kunne resultere i en bedre økonomi og mindre miljøbelastning. Derfor ble denne oppgaven formulert med følgende problemstilling:

«Hvordan kan betonggjenvinning benyttes til å behandle hulldekkeskalkene i Block Berge Bygg AS, vurdert fra et teknisk, miljømessig og økonomisk perspektiv?»



Bilde 1 Hulldekkeskalker i BBB

For å finne en løsning, brytes problemstillingen ned til følgende deler:

I Tekniske delen: Formålet med denne delen er å vurdere om gjenvunnet materialer fra hulldekkeskalkene tilfredsstillende de tekniske kravene, samt å vurdere om betong som er laget med disse materialene (tilslag) har tilfredsstillende egenskaper. Denne delen er basert på å utføre tester og undersøkelser i BBB-fabrikkens, som vil resultere en oversikt over en rekke egenskaper av både gjenvunnet tilslag og betong laget med gjenvunnet tilslag.

II Miljødelen: Formålet med denne delen er å vurdere hvordan betongavfallet påvirker miljøet, samt å vurdere fordeler og ulemper ved å benytte betonggjenvinning i BBB.

III Økonomidelen: Formålet med denne delen er å utvikle en strategi for betonggjenvinning i BBB. Strategien er etter BBBs ønske basert på et samarbeid mellom BBB og Velde. Denne strategien skal vurderes med tanke på kostnader og eventuell lønnsomhet. Vurderingen anses som en del av teorien for sirkulær økonomi som handler om hvordan naturressursene blir utnyttet på en forsvarlig og bærekraftig måte[10]. I tillegg skal det presenteres en total oversikt over det selve samarbeidet mellom BBB og Velde for å behandle hulldekkeskalkene ved å benytte gjenvinning.

1.2 Innhold og oppbygning

Denne oppgaven deles inn i 6 kapitler, hvor innledningen presenterer bakgrunn for temaet og problemstillingen, samt en presentasjon av BBB. Etterfølgende av et bakgrunnskapittel som gir en oversikt over det som er fundamentet for dette temaet, nemlig betongkonstruksjoner, betonggjenvinning og miljø. Videre følger et litteraturstudium av tidligere forskningsprogrammer innenfor betonggjenvinning og -resirkulering. Deretter følger et teorigapittel som presenterer relevant teoristoff om sirkulær økonomi og betonggjenvinning. Videre følger kapittel 5 «laboratoriearbeid», som presenterer det praktiske arbeidet og dets resultater. Kapittel 6 «analyse av gjenvinningsstrategien» tar for seg en analyse av samarbeidet mellom BBB og Velde, samt en økonomisk analyse av den foreslåtte gjenvinningsstrategien. Disse kapitlene danner et godt grunnlag for et videre arbeid i neste kapittelet som er «sammenligning og diskusjon» som diskuterer de ulike perspektivene i problemstillingen og hvordan den er sammenlignet med dagens strategi som er basert på deponi. Deretter følger det siste kapittelet som er «konklusjon». I dette kapittelet konkluderes hele arbeidet for oppgaven hvor det forsøkes å svare på problemstillingen. I tillegg vil dette kapittelet presentere noen forslag til videre arbeid i temaet og eventuelle andre interessante problemstillinger som falt utenfor rammen for masteroppgaven.

1.3 Avgrensninger

Denne masteroppgaven er et vitenskapelig arbeid, hvor relevant kunnskap er anvendt til å vurdere løsninger eller finne svar på en problemstilling. I dette tilfellet er betongavfallet i BBB formulert som en akademisk problemstilling, hvor både teknisk- og økonomiskkompetansen er anvendt. Med andre ord kan denne masteroppgaven kjennetegnes som en empirisk oppgave, hvor hensikten å vurdere en økonomisk løsning til den eksisterende tekniske utfordringen i BBB. Derfor er hovedfokuset med dette arbeidet å vurdere den foreslåtte løsningen/strategien

(betonggjenvinning) ved å se om den tilfredsstillende tekniske krav, samt at den fører til bedre forhold innenfor økonomi og miljø i produksjonen hos BBB.

Masteroppgaven rettes i stor grad mot problemstillingen som finner sted i den ovennevnte bedriften, og spesielt avdelingen for hulldekke og betongproduksjon. Et generelt teoristoff om betongavfall og betongresirkulering- og gjenvinning vil bli tatt opp, men hovedfokuset er rettet mot behandling av hulldekkeskalkene i BBB for å produsere gjenvunnet materialer (tilslag) som kan gjenbrukes i betongproduksjonen.

2 Bakgrunn

Oppgaven tar for seg en relevant og relativ kompleks problemstilling som omhandler et tema innenfor et bestemt fagområde, nemlig betongkonstruksjoner. Derfor er det viktig å gi en innsikt i det som ligger til grunn i dette fagområdet. Formålet med dette kapitlet er dermed at leseren får en innsikt i hva betongkonstruksjoner og hulldekke er, samt hvordan de produseres og hvilke utfordringer og løsninger som finnes i produksjonsprosessen.

2.1 Betongkonstruksjoner

En betongkonstruksjon er en sammensetning av betong og armering, som sammen danner et element for å motstå lastene i en konstruksjon. For å produsere betongkonstruksjoner, trengs det materialer som tilslag (sand og stein), sement, vann, armeringsjern og eventuelle tilsetninger. Selve prosessen foregår i følgende hovedfaser:

Betonglaging: Materialene blandes godt sammen og resultatet er en betongblanding som kalles «Fersk betong». Materialmengdene er bestemt etter hvilken type betong det er behov for, altså betongproporsjonering.

Forskalingsarbeid: En forskaling er en form som lages og tilpasses etter hvilke dimensjoner betongelementet skal ha. Den brukes hovedsakelig til å oppbevare elementet til den har herdet og fått ønsket form.

Armeringsarbeid: Armering/armeringsjern brukes i betongkonstruksjonen for å øke fastheten, herunder strekk- og trykkfastheten. Armering, som hovedsakelig er stålstenger eller stålkabler, ligger innstøpt i betongen, slik at de sammen danner en betongkonstruksjon som motstår konstruksjonslastene. Det finnes flere typer armering, nemlig slakkarmering, spennarmering og fiberarmering. Slakkarmering er den mest vanlige og tradisjonelle armeringen, hvor en benytter stålstenger som støpes inn i betongen (f.eks. Betongsøyle). Spennarmering er en avansert armeringsmetode, hvor en benytter stålkabler(wire) og spenner dem opp før eller etter støping (eks. Hulldekke). Fiberarmering er når en bruker fiber i betongblandingen istedenfor vanlige stålstenger eller stålkabler (f.eks. Betonggulv).

Støping: Når de tre forrige fasene er gjennomført, støpes betongen i forskalingen for å få de ønskede dimensjonene og ønsket form.

Betongherdning: Betongherdningen foregår ved en kjemisk prosess kalt hydratisering. I denne prosessen dannes kjemiske forbindelser mellom vannmolekyler og sement. Disse forbindelsene anses som en slags lim (sementlim) som binder de ulike aggregatene og stål sammen. Prosessen starter umiddelbart etter støping og fortsetter gradvis til betongen oppnår full herdning og full fasthet etter ca. 4 uker.

2.2 Hulldekke

Oppgavens formål er å finne en løsning til utfordringen som finner sted i hulldekkeproduksjonen i BBB. Dermed er det nødvendig å gi en dypere innsikt i hva hulldekke er, egenskaper og hvordan den produseres i BBB.

2.2.1 Definisjon

Hulldekke er et prefabrikkert betongelement som blant annet brukes som dekker, etasjeskillere og tak. Elementet har, som vist på bilde 2 nedenfor, langsgående runde hull/kanaler i midtsjiktet. Hensikten med hullene er å redusere vekten av elementet, samt lage en god plass til å plassere tekniske anlegg, for eksempel ventilasjon og elkraft. Dette er med å redusere kostnader av både materialbruket og transport, sammenlignet med andre vanlige solide betongdekker.



Bilde 2 Hulldekke[11]

2.2.2 Egenskaper av hulldekke

Hulldekke produseres alltid ferdig i en fabrikk før det transporteres til en byggeplass. På byggeplassen heises hulldekket opp og monteres på plass i bygningen. Elementet anses som kostnadseffektivt, hvor dets produksjonsprosesser og montasjemetoder betegnes som rasjonelle. Elementet er lyd-isolerende, hvor hullene utgjør et slags mellomrom som kan dempe

og svekke lydbølgene. I tillegg skaper elementets utforming en god termisk effekt, noe som fører til at elementet er med å spare energi og opprettholde varmen i bygningen.

Hulldekke er et fleksibelt element, hvor en kan tilpasse dimensjoner etter ønske og behov i bygningen. Vanligvis har elementet en bredde på 120 cm og en tykkelse som varierer mellom 15 cm og 55 cm. Lengden av elementet kan kappes av og tilpasses for hvert enkelt tilfelle i bygningen. Hullene i elementet har vanligvis en diameter på ca. 2/3-3/4 av elementets tykkelse. Dermed er hulldekket godt egnet til bruk i alle slags bygninger, helt fra små hus til svære fleretasjesbygninger som for eksempel forretningsbygg og skyskrapere [12].

Hulldekket er alltid spennarmert (forspenning). Det vil si at det brukes stålkabler (wire) som spennes opp før de støpes inn i betongelementet. I svært få tilfeller kan det produseres slakkarmerte hulldekker som ved for eksempel kort utkraging, men dette utgjør under 0,1%, ifølge BBB.

2.2.3 Produksjonsprosessen i BBB

Produksjonen av hulldekke i BBB foregår, som vist i bilde 3 nedenfor, i lange liggende benker/baner i fabrikk. Prosessen starter med å rengjøre benken. Deretter blir benken påført olje, og wire (armeringskabler) blir satt opp. Når wirene er festet og sikret, blir de spent opp med en vanlig oppspenning på 10 tonn. Videre heises hulldekkemaskinen på plass i enden av benken. Benken skylles rikelig med vann slik at det ligger et lag med vann framfor maskinen. Videre fylles maskinen med betong og kjøres framover. Etter hvert som maskinen produserer hulldekket, blir elementet målt til rett lengde og diverse utsparinger blir hogget ut eller merket. Når benken er ferdig støpt blir den dekket med plast for å hindre fukten å forsvinne fra betongen. Etter ca. 6 timer er betongen herdnet og elementet kan kappes og heises ut. Deretter blir benken rengjort og prosessen starter på nytt.

Resultatet i denne produksjonsprosessen er produkt og avfall. Produktet i dette tilfellet er et betongelement kalt hulldekke og avfallet er hovedsakelig betongskalker/betongrester. Disse skalkene oppstår fordi maskinen som produserer hulldekket må gå noen meter før den klarer å forme hulldekket skikkelig. Det langssagte avkappet oppstår ettersom de fleste prosjekter trenger et eller flere tilpasset hulldekke for å fylle ut arealet i hver etasje. Det blir også produsert noen vrakelementer. Hulldekkeskalkene er ikke brukbare og anses derfor som betongavfall.



Bilde 3 Produksjon av hulldukke i BBB

Hulldukkeproduksjonen krever mange ulike ressurser i både produksjons- og montasjeprosessen. I produksjonsprosessen trengs det råmaterialer og et godt egnet og sikret anlegg med en godt kvalifisert arbeidskraft, slik at produksjonen foregår på en effektiv og forsvarlig måte. I montasjeprosessen trengs det en god og forsvarlig transportstrategi, samt god planlegging og arbeidskraft for å montere elementet på riktig plass med riktige dimensjonerte detaljer. Produksjons- og montasjeprosessene i mange fabrikker som blant annet BBB-fabrikken bruker i dag innovative metoder og teknologi som er med å optimalisere produksjonen. For å oppnå den optimale produksjonen, jobber fabrikkene stadig med å optimalisere bruken av de ulike ressursene, samtidig som det tas hensyn til miljøet og bærekraft. Dette kan gjøres ved å blant annet forbedre og tilpasse bruken av råmaterialer og stadig opprettholde en vennlig produksjonsprosess.

2.3 Betong og miljø

I hvilken grad betongindustrien påvirker miljøet avhenger av hvor og hvordan betongen produseres og hvordan den blir anvendt. Et stort forbruk av betong kan potensielt sett forårsake en betydningsfull miljøbelastning i form av avfall, luftforurensning og tap av ressurser.

2.3.1 Betongavfall

Byggeindustrien i sin størrelse er kjent som en stor avfallsgenerator, hvor den står for cirka 25% av alt avfall i Norge. Avfallet fra denne bransjen i 2017 var på cirka 1,9 millioner tonn. Av dette utgjorde betong- og teglarbeider cirka 0,9 millioner tonn. Dette innebærer avfall fra alle byggeaktiviteter som blant annet nybygging, rivingsarbeid og rehabiliteringsarbeid [13].

Med andre ord stammer cirka 12% av alt avfall i Norge fra betong- og teglarbeider. Dette avfallet anses til å være miljøbelastende, spesielt når det forventes en stadig økning i byggeaktivitetene. Denne avfallsmengden kan reduseres ved å benytte bærekraftige produksjonsprosesser eller gjenvinningsprosesser. Norge har derfor valgt å tilslutte seg til EUs avfallsdirektiv som er en del av EØS-avtalen. Direktivet har et mål å redusere avfallet ved å benytte gjenvinning, hvor målet for bygge- og anleggsbransjen ifølge NHP4 er å gjenvinne 70% av alt avfall innen 2020 [14].

2.3.2 Luftforurensning

Gassutslipp i betongproduksjonen utgjør en betydningsfull utfordring i bygge- og anleggsbransjen i hele verden. Ifølge TU står betong for hele 5% av verdens CO₂-utslipp. Gassutslippet fra betongproduksjonen er i utgangspunktet ikke stor sammenlignet med andre byggematerialer som blant annet stål, men ettersom betong brukes i større grad enn andre byggematerialer, er det totale utslippet stort [15]. Hovedårsaken til denne forurensningen er bruk av sement, hvor dens produksjonsprosess er miljøbelastende i form av luftforurensning. Prosessen foregår ved å blande kalkstein med noen andre stoffer, som blant annet kvarts og skifer. Blandingen brennes i en roterende ovn på ca. 1450 °C slik at det lages klinker som tilsettes lite gips (3-5%) for å bli til sement [16]. Denne prosessen krever mye energi og som følge av forbrenningsprosessen produseres det CO₂-gass som biprodukt. SINTEF og NORCEM forsker på å finne et mindre miljøbelastende alternativ til sement med nullutslipp innen 2030 [15]. Betongstøv som er frigjort ved riving av betongkonstruksjoner og naturkatastrofer kan også være en kilde til farlig luftforurensning. Tilstedeværelsen av noen stoffer i støv som slippes ut i luften kan forårsake helseproblemer på grunn av toksisitet og radioaktivitet [17].

2.3.3 Materialbruk

Byggeindustrien er avhengig i stor grad av råmaterialer som direkte eller indirekte involveres i byggeaktivitetene. De ulike byggematerialene er vanligvis en sammensetning av flere materialer, kjemiske stoffer eller mineraler. Eksempelvis produseres stål ved en legeringsprosess mellom jern, karbon og eventuelle andre stoffer. Betong er også en sammensetning av flere materialer som både er råmaterialer og fabrikkerte materialer. Et stadig økende bruk av råmaterialer vil kunne føre til mangel på materialer i fremtiden. Dette kan hindres ved å finne tiltak og løsninger som reduserer bruken av unødvendige materialer, samt

effektiv bruk av det i produksjonen. Hovedfaktorene for et effektivt og bærekraftig bruk av betong er materialeffektivisering, arealeffektivisering og substitusjon.

Med materialeffektivisering menes det å optimalisere design/dimensjonering for å redusere bruk av materialer. Eksempelvis kan man redusere bruk av betong i bygningens bæresystem ved å designe optimale avstander mellom søylene. Dette kan for eksempel gjøres ved at prosjekterende/dimensjonerende (vedkommende som designer en konstruksjon) estimerer en riktig last for konstruksjonen og videre dimensjonerer konstruksjonen for denne lasten, slik at det ikke brukes for mye unødvendige byggematerialer.

Arealeffektivisering betyr at en bygger etter behov eller bygger mindre. Dette innebærer å bygge med samme funksjonalitet og kvalitet på mindre arealer. Dette kan gjøres ved å for eksempel gå gjennom detaljene i prosjektets plan og studere mulige arealreduksjoner, samt prøve å unngå tap av areal på grunn av eventuelle unødvendige arkitektoniske ønsker. Et annet eksempel er å unngå å bygge for mye arealer under terreng som vanligvis krever en sterkere konstruksjon (f.eks. mer betong) sammenlignet med andre arealer.

Med substitusjon menes det å stadig prøve å finne andre alternativer til materialer i bygninger. Eksempelvis må arkitektene og prosjekterende stadig jobbe med å bruke materialer som gir samme funksjonalitet med mindre forurensning som for eksempel trekonstruksjoner. Et annet eksempel er å bruke lavkarbonbetong (konstruksjonsbetong produsert for å begrense klimagassutslippet) istedenfor vanlig betong.

2.4 Betonggjenvinning

Betonggjenvinning er en voksende metode for å behandle betongavfall og betongrester fra betongkonstruksjoner. Vanligvis sendes denne massen til deponier, men på grunn av en bedre miljøbevissthet, miljølover og økonomi blir det stadig satsing på gjenvinning. Hovedprinsippet til betonggjenvinning er at avfall og rester knuses, renses og sorteres slik at tilslaget kan gjenbrukes i betongproduksjonen.

Betongkonstruksjoner er armerte med stål/armeringsjern. Ved gjenvinning fjernes metallet med magneter og sendes til andre anlegg for resirkulering. Den resterende massen består hovedsakelig av betong som er en hard masse bestående av stein, sand og sement.

Velde har et av de mest avanserte betonggjenvinningsanleggene i Norge. Betonggjenvinning i Velde foregår, som vist i figur 1 nedenfor, ved at massen går igjennom følgende prosesser:

- **Magnetisk separasjon:** Fjerning av metaller fra betongmassen.
- **Knusing:** Betongmassen knuses og det produseres tilslag med flere fraksjoner.
- **Sikting og vasking:** Sortering etter størrelse og vask av betongmassen.
- **Kjemisk rensing:** Bruk av kjemikalier til å rense betongmassen slik at det fjernes mest mulig sementlim.
- **Avvanning med høytrykk filterpresse:** En metode for å tørke massen.



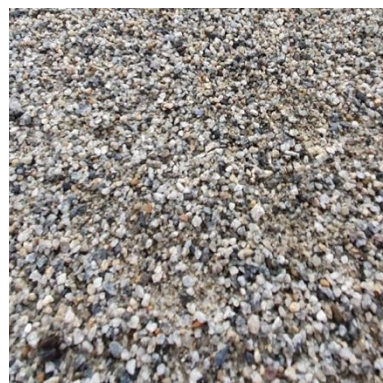
Figur 1 Gjenvinningsprosessen av betongavfall

Denne prosessen kjennetegnes som høyteknologisk og er godt egnet til gjenvinning av betong. Velde klarer med denne prosessen å produsere resirkulert tilslag med ulike fraksjoner (kornstørrelser). De produserer tilslag med fraksjoner som varierer fra 100mm og ned til nesten 0mm [18].

Bilde 4-7 nedenfor er tatt i Veldes anlegg og viser hulldekkerester og gjenvunnet material. Bildene viser resirkulert tilslag med varierende størrelser som anses som meget fint og godt egnet til gjenbruk i betongproduksjonen.



Bilde 4 Hulldekkerester(20-100mm)



Bilde 5 Resirkulert tilslag(10-20mm)



Bilde 6 Resirkulert tilslag(4-10mm)



Bilde 7 Resirkulert tilslag(0-4mm)

Betonggjenvinningen utfordres ved at massene kan stamme fra ulike og kanskje ukjente kilder. Hvis en ikke vet eksakt hvor massen kommer fra og hvordan den har vært brukt, er det vanskelig å finne ut hva den består av. For betong lages og formes etter ønske og behov, noe som gjør at massene kan inneholde ulike mineraler og materialer med forskjellige egenskaper.

Betonginnholdet er viktig for å studere hvor effektivt gjenvunnet tilslag kan være, samt hvordan et eventuelt gjenbruk av det kan påvirke miljøet. Eksempelvis vil en masse som kommer fra et rivingsarbeid være gammel nok til å ha vært utsatt for miljø- og geologiske påvirkninger under dens levetid. Dette vil kunne påvirke mineralogien til de ulike materialene som var brukt i betongen. Disse parameterne sammen med de fysiske parameterne, testes regelmessig i laboratoriet, slik at produksjonen oppnår riktige mekaniske og miljømessige egenskaper.

3 Litteraturgjennomgang

Betonggjenvinning er et spennende tema i bygge- og anleggsvirksomheten både lokalt og globalt. Dette skyldes store mengder avfall som betong- og teglarbeid genererer. Betong- avfall og rester anses som svært miljøbelastende. Dette har ført til at mange har valgt å forske på betonggjenvinning og studere effektiviteten av betong som er laget med gjenvunnet/resirkulert materialer.

Det har blitt gjennomført en rekke forskningsprosjekter innenfor betonggjenvinning og betongresirkulering av små og store aktører i Norge som blant annet Statens vegvesen, SINTEF Byggforsk og Veidekke. Eksempelvis RESIBA-prosjektet, Gjenbruksprosjektet og RESGRAM-prosjektet. RESIBA og RESGRAM er mest relevante for temaet i denne oppgaven, hvor de fokuserer på å studere bruk av resirkulert tilslag i konstruksjonsbetong, mens Gjenbruksprosjektet fokuserer mest på bruk av resirkulert tilslag til veiformål. Derfor presenterer dette kapittelet arbeidet som er gjort i prosjektene «RESGRAM» og «RESIBA».

3.1 RESGRAM-prosjektet

RESGRAM står for «Utvikling av resirkulert tilslag fra gravmasser til bruk i veibygging og betongproduksjon». Dette er et fireårig (2016-2020) innovasjonsprosjekt som er støttet av NORGES forskningsråd. Prosjektets formål er å studere og produsere resirkulert tilslag som har de samme kravene som vanlig tilslag [19]. Prosjektet har følgende deltakere;

- **Velde Industri AS:** En ledende virksomhet innen ferdigbetong, pukkverk, deponi, asfaltproduksjon, asfaltering, transport, gulvsliping og gjenvinning.
- **Asak AS:** En leverandør av betongutemiljøprodukter som blant annet belegningsstein, mur og blokk.
- **Statens Vegvesen:** Et statlig forvaltningsorgan som er underlagt samferdselsdepartementet og arbeider med transports- og veisystemet i Norge.
- **UiA:** Universitetet i Agder.
- **SINTEF Byggforsk:** Norges byggforskningsinstitutt.

Forskningen i RESGRAM fokuserer på å studere om betong laget med resirkulert tilslag tilfredsstillende de tekniske og miljømessige kravene. Dette innebærer å studere det kjemiske innholdet, mineralogien og de fysiske egenskapene av betong laget av resirkulert tilslag.

En undersøkelse som er gjennomført som en del av RESGRAM-prosjektet påstår at det resirkulerte tilslaget tilfredsstillende miljøkravene. Undersøkelsen er gjennomført ved å analysere en prøve som består av ulike størrelser av resirkulert tilslag. Analysen har fokusert på det kjemiske innholdet og mineralogien i prøvene. Tabell 1 nedenfor viser det kjemiske innholdet i prøvene som er brukt i denne forskningen.

Tabell 1 Kjemiske innholdet i resirkulert tilslag [19]

Kjemisk forbindelse	Totalinnhold ($\frac{mg}{kg}$) ^a	
	Resirkulert tilslag	Tiltaksklasse 1
Arsen <i>As</i>	< 5,5	8
Kadmium <i>Cd</i>	< 0,096	1,6
Krom <i>Cr</i>	< 138	50
Kromium (<i>Cr</i>) ⁶⁺	< 0,52	2
Kobber <i>Cu</i>	< 18,9	100
Bly <i>Pb</i>	< 35	60
Kvikksølv <i>Hg</i>	< 0,01	1
Nikkel <i>Ni</i>	< 16,8	60
Sink <i>Zn</i>	< 85	200
Sum PCB-7	n.d. (<i>Ikke detektert</i>)	0,01
Sum PAH-16	0,16	2
Benzen	< 0,01	0,01
Toluene	< 0,04	0,3
Enthylbenzen	< 0,04	0,2
Xylene	< 0,04	0,2
Sum > C12-C35	< 42	100

Tabellen ovenfor viser at det kjemiske innholdet og mineralogien i prøvene er meget tilfredsstillende, hvor de ulike kjemiske forbindelsene har verdier som er langt mindre enn normverdiene i tiltaksklasse 1 som er angitt i forurensningsforskriften. Dermed kan tilslaget trygt gjenbrukes i bygningsdeler over grunnvann og steder uten kontakt med sjøvann.

RESGRAM har også gjennomført et forsøk for å teste hvordan betongen laget av resirkulert tilslag oppfører seg. De har laget et betongdekke av 100 m³ betong. Under støping ble det merket at det var lett å legge betongen. Herdeprosessen var normal og overflaten var tilfredsstillende. Betongen har generelt sett oppført seg fint, hvor det ikke ble oppdaget noen særlige former for sprekker eller slitasje. Etter 5 måneder ble dekket testet og resultatene var meget tilfredsstillende. Konklusjonen er dermed at betongen både i fersk og herdet tilstand hadde tilfredsstillende egenskaper [20].

Undersøkelsene i RESGRAM-prosjektet har så langt vist gode og lovende resultater for bruk av resirkulert tilslag i betongproduksjonen. Prosjektet viser så langt at betong laget med 100% resirkulert tilslag tilfredsstiller både miljø- og tekniske krav. Prosjektet viser også at betong laget med resirkulert tilslag kan ha samme egenskaper som betongen laget med vanlig tilslag.

3.2 RESIBA-prosjektet

RESIBA står for «Resirkulert tilslag for bygg og anlegg» og er et forskningsprosjekt som er støttet av «ØkoBygg/GRIP-senteret» og hadde et mål om å studere bruk av resirkulert tilslag i prosjekter innenfor bygge- og anleggsvirksomheten [21]. Prosjektet hadde følgende deltakere:

- **Veidekke ASA:** En ledende totalentreprenør innen bygg og anlegg.
- **BA Gjenvinning AS:** Entreprenør innen gjenvinning med fokus på tunge rivemasser.
- **Statens Vegvesen:** Et statlig forvaltningsorgan underlagt samferdselsdepartementet som arbeider for transportsystemet i Norge.
- **Kontrollrådet for betongprodukter:** En næringsdrivende stiftelse som leverer tjenester innen sertifisering av betongprodukter.
- **Akershus fylkeskommune.**
- **Plan og bygningsetaten, Oslo kommune.**
- **Optiroc AS:** En leverandør av byggevarer.
- **SINTEF Byggforsk:** Norges byggforskningsinstitutt.

Prosjektet er basert på å studere bruk av resirkulert tilslag i konstruksjonsbetong, sprøytebetong, og bygningsblokk ved å teste det i realistiske bygge- og anleggsprosjekter og laboratorieforsøk. Undersøkelsene er utført og knyttet opp mot følgende prosjekter som var under utbygging i perioden 1999-2002;

- **Sørumsand videregående skole - Akershus:** I dette prosjektet, som ble bygd av Veidekke, ble cirka 37% av grovt tilslag (pukk) i betongen erstattet med resirkulert grovt tilslag (resirkulert pukk) i flere bygningsdeler som fundamenter, banketter, kjellervegger og søyler. I tillegg ble resirkulert tilslag brukt som fylling under kjeller og utearealer.
- **Telenors P-hus – Fornebu, Oslo:** Prosjektet var et parkeringshus som ble bygd av Veidekke i 2000 og eid av Telenor. I 25 fundamenter ble cirka 20% av grovt tilslag (pukk) i betongen erstattet med resirkulert grovt tilslag (resirkulert pukk).
- **Gaustadtrikken – Gaustadbekkdalen, Oslo:** et anleggsprosjekt som ble bygd av Veidekke. Det ble brukt en fylling av ekspandert polystyren (EPS). Sprøytebetong ble benyttet for å tildekke fyllingen. 20% av sanden (fint tilslag 0-8mm) i betongens tilslag ble erstattet med resirkulert tilslag (0-8mm resirkulert tilslag).
- **Produksjon av bygningsblokker:** Optiroc AS produserte Leca lydskilleblokk (10m³) med cirka 30% resirkulert tilslag (4-8 mm) som er levert av BA Gjenvinning. Blokkene er testet og indikasjonen var at de hadde tilfredsstillende egenskaper.

Tabell 2 nedenfor viser en oversikt over de ulike prosjektene i RESIBA og hvor og hvordan resirkulert tilslag ble brukt. Tabellen viser også at resirkulert tilslag ble brukt i forskjellige prosjekter med varierende mengder.

Tabell 2 Oversikt over prosjekter i RESIBA

Prosjekt	Type betong	Bruksområde	% resirkulert tilslag/størrelse
Sørumsand VGS	Konstruksjonsbetong	Fundamenter, kjellervegger, banketter og søyler.	37%
Telenors P-hus	Konstruksjonsbetong	Fundamenter	20%
Gaustadtrikken	Sprøytebetong	Tildekking av EPS-fylling.	20%
Bygningsblokker	Produksjon/betongelementer	Lydskilleblokk	30%

Videre vurdering og studie av bruk av resirkulert tilslag i RESIBA ble delt inn etter hvilken type betong resirkulert tilslag er anvendt i, herunder konstruksjonsbetong, sprøytebetong og bygningsblokker.

I konstruksjonsbetong var hensikten å erstatte en del av vanlig grovt tilslag (pukk) med resirkulert grovt tilslag (resirkulert pukk), samt å analysere noen prøver av resirkulert tilslag i laboratorium. Hensikten var å studere de ulike tekniske egenskapene av betong som blant annet støpelighet, densitet, fasthet, kryp og bestandighet. Dette har gitt følgende resultater:

- I resirkulert tilslag med størrelsen «10-20 mm» var vannabsorpsjonen på 3,1-5,0% og dermed er det konkludert at resirkulert tilslag kan ha en høyere vannabsorpsjonsevne enn vanlig betong.
- Bruk av resirkulert grovt tilslag vil ikke redusere støpeligheten av betong, forutsatt at tilslagets vannabsorpsjonsevne er tatt i betraktning. Dette vil si at bruk av resirkulert grovt tilslag ikke svekker betongblandings transport og bearbeidbarhet.
- Luftinnholdet i betong med resirkulert grovt tilslag var på 2-3%. Dette er normalt og tilfredsstillende kravene på luftinnhold i betongproduksjonen.
- Når det gjelder trykkfasthet og E-modul var det usikkert å konkludere at betong laget med resirkulert tilslag tilfredsstillende kravene på samme måte som betong laget med naturlig tilslag. Konklusjonen var at en må forvente et større standardavvik på trykkfasthet og E-modul ved større bruksmengder av resirkulert tilslag i betongblandingen.
- Resultatene for svinn og frostbestandighet i betong laget med resirkulert tilslag var tilfredsstillende i forhold til normal betong.

I sprøytebetong i prosjektet «Gaustadtrikken» som vist på bilde 8 nedenfor var hensikten å erstatte en del av naturlig fint tilslag (0-4mm) med resirkulert fint tilslag. Formålet var å studere egenskapene av sprøytebetong som blant annet trykkfasthet, bøyestrekfasthet, vanninntrenging og frostabsorpsjon. Resultatene var tilfredsstillende hvor det ikke ble oppdaget noen vesentlige endringer i betongen i både fersk og herdet tilstand, hvor egenskaper som restbøyestrekfasthet, seighetsindekser og frostbestandighet var greie sammenlignet med egenskapene til normal betong.



Bilde 8 Sprøytebetong i Gaustadtrikken [21]

Videre ble det som vist på bilde 9 laget bygningsblokker med ca. 30% resirkulert fint tilslag (4-8mm). Dette arbeidet var en prøveproduksjon, hvor Optiroc skulle vurdere deres ønske om å videreføre bruk av resirkulert tilslag i produksjonen. Resultatene var tilfredsstillende hvor analysene og undersøkelsene ikke viste noen form for særlige miljøfarlige stoffer. I tillegg hadde blokkene tilfredsstillende egenskaper sammenlignet med egenskapene av blokkene laget med vanlig tilslag.



Bilde 9 Bygningsblokk laget med 30% resirkulert tilslag [21]

RESIBA-prosjektet vurderte også økonomien i bruk av resirkulert tilslag i betong i de fire prosjektene som inngikk i forskningen. De har funnet ut at materialkostnadene til enhver tid kan være lavere, men en må ta i betraktning andre kostnader som blant annet transportkostnader og produksjonskostnader i form av prøvetaking og rengjøring. I konstruksjonsbetong ble det oppdaget lavere materialkostnader på 12 kr/tonn i prosjektet «Telenors P-hus», men det var ekstra arbeidskostnader i form av omlasting av tilslag og rengjøring etter prøvestøping. I sprøytebetong var prisen 62 kr/tonn (inkl. transport), noe som er akseptabelt men de fant ut at det var behov for ekstra arbeider (lengre produksjonstid) for å produsere betongen med resirkulert tilslag. I bygningsblokkene ble prisen av resirkulert tilslag 30 kr/tonn + ca. 130 kr/tonn for transport, noe som ble ansett som dyrt på grunn av høye transportkostnader. Den økonomiske konklusjonen i RESIBA var dermed at det må påregnes med varierende materialkostnader på grunn av transport og eventuelle ekstra arbeider [21].

4 Teori

Oppgavens tema og problemstilling inngår hovedsakelig i betonggjenvinning og sirkulær økonomi, hvor hovedformålet er å studere en løsning til en eksisterende utfordring i BBB. Sirkulær økonomi er et godt egnet fagområde i næringslivet og er i tillegg en viktig del av regjeringens satsning på klima- og miljøvennlig omstilling i Norge, nemlig «Det grønne skiftet». Dette kapittelet tar for seg et generelt teoristoff om betonggjenvinning og sirkulærøkonomi, samt hvordan de blir anvendt i bygge- og anleggsbransjen.

4.1 Betongresirkulering

Betong har alltid vært kjent som et tungt byggemateriale som er sterkt og holdbart, noe som tyder på at stadig økende bruk av det vil føre til større miljøbelastning i form av avfall fra bygge- og rivningsaktivitetene. Dette avfallet er kjent som CDW (Construction and Demolition Waste). Med et ønske om et renere og bærekraftig bruk av betong som et byggemateriale, må CDW planlegges, styres og behandles på en miljøvennlig måte som for eksempel resirkulering. Betongresirkulering er en betegnelse for resirkulering av betongavfall og -rester fra bygge-, anleggs- og rivningsarbeid, slik at materialene kan gjenbrukes i betongproduksjonen. I dette delkapittelet fokuseres det på hvordan slikt avfall påvirker miljøet, hvilke egenskaper resirkulert tilslag har og hvor resirkulert tilslag kan bli anvendt.

4.1.1 Påvirkningen av betongavfall

Betongavfallet behandles hovedsakelig ved å sende det til deponier og avfallsfyllinger. Dette vil medføre kostnader i form av transport og dumpingsavgifter, og økt miljøbelastning i form av økende bruk av naturressurser og avfallsgenerering. I senere tid har det blitt en økende satsning på å resirkulere dette avfallet, slik at en nyttiggjør seg denne ressursen. Påvirkningen av betongavfall på miljøet «D» kan bli uttrykt med følgende formel;

$$D = P \times I \times W \text{ ----- (1) [22]}$$

Hvor P står for populasjon, I står for industriellvekst-indeks og W står for samfunnets ubevissthet til miljøvern. Betongavfall vil hovedsakelig påvirke industriellvekst-indeksen *I* som igjen påvirkes av økende populasjonstall. Hvis samfunnets ubevissthet til miljøvern reduseres, vil betongens miljøpåvirkning reduseres. Dette kan oppdages ved å se på formel 1 ovenfor, hvor

hvis W reduseres, reduseres D. Dette betyr at hvis for eksempel bygge- og anleggsindustrien får mer bevissthet og øker satsningen på betonggjenvinning, så vil betongavfallets miljøpåvirkning bli mindre.

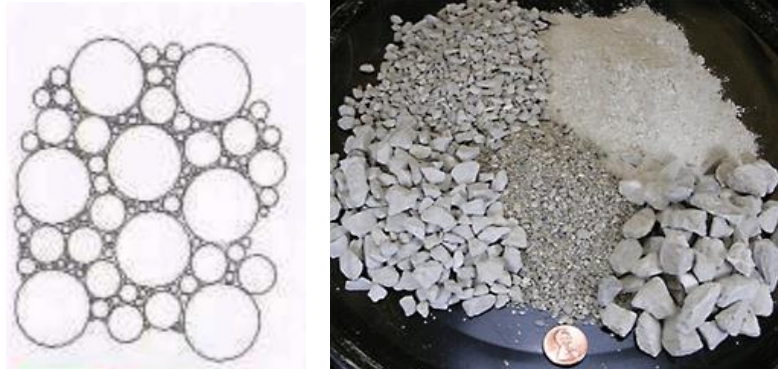
4.1.2 Egenskaper av resirkulert tilslag

I betongproduksjonen spiller tilslaget en betydningsfull rolle i bestemmelse av kvaliteten i betongen både i fersk og herdet tilstand. Egenskaper av tilslag er avgjørende i betongproporsjoneringen, hvor det bestemmes mengder av de ulike materialene som inngår i betongen som sement, vann, tilslag (sand og pukk) og eventuelle kjemiske tilsetninger. Tilslaget er dermed en viktig faktor for å bestemme kvaliteten og jevnheten av betong. Eksempelvis påvirker graderingen av tilslag betongens fasthet/styrke, mens formen av tilslag påvirker betongens heft og hvordan aggregatene fester og tilpasser seg i blandingen.

For resirkulert tilslag, forventes egenskapene til å avvike fra de for vanlig tilslag. Grunnen til dette er opprinnelsen til betongavfallet og gravmassene, altså hvor de har vært brukt og hvilke egenskaper betongen har hatt. Gjennom levetiden til betongkonstruksjoner, blir de utsatt for ulike klima- og lastfaktorer som påvirker betongen og dens materialer. Eksempelvis blir betongen som brukes i områder i kontakt med sjøvann/salt tilpasset for å ha bestandighets-egenskaper som kan motstå påvirkningen av sjøvann som blant annet kloridinntrengning og korrosjon, som kan resultere i svekkelse og erosjon av betongen. Derfor er det viktig å identifisere betongavfallet og gravmassene og undersøke hvordan materialene i betongen har blitt påvirket slik at en klarer å studere egenskapene av de resirkulerte materialene. Det er også viktig å undersøke mineralogien og det kjemiske innholdet i materialene, samt hvordan tilslagets form og størrelse har blitt endret. Disse undersøkelsene vil kunne lage et grunnlag for å bestemme tilslagsegenskaper som blant annet gradering, vannabsorpsjonsevne og styrke.

Tilslag/aggregater som brukes i betonglaging utgjør 60-70% av betongblandingen og består av flere forskjellige kornstørrelser (fraksjoner) som kan variere fra 0 til 30 mm. Denne sammensetningen av ulike størrelser betegnes som *gradering av tilslag*. Som vist i figur 1 nedenfor vil mindre fraksjoner fylle hulrommene mellom større fraksjoner, slik at det i blandingen oppnås færre hulrom. Dette fører til mindre behov for vann og sement (sementpasta) og dermed oppnås en betong med større fasthet og bedre holdbarhet. Med andre ord vil dette bidra med å lage en betongblanding med mindre volum og dermed en god betongkvalitet. Graderingen må foregå

på en forsvarlig måte, hvor for mye gradering fører til for lite sementpasta og dermed får en hardere blanding som kan svekke støpeligheten (hvor lett og homogent betongen er til å støpes). Graderingen av tilslag kan bestemmes ved å benytte en siktekurve [23].



Bilde 10 gradering av tilslag [24][25]

Tilslagets vannabsorpsjon måles i prosent og er en betegnelse for hvor mye vann tilslaget inneholder. Tilslaget kan også ha noe som kalles «fri fukt» som er en betegnelse på hvor fuktig tilslaget er. Med andre ord betyr dette hvor mye fukt som finnes på og mellom tilslagskornene. Denne fukten vil kunne reagere med sementen under betongblandingen og dermed vil denne egenskapen være med å bestemme vannmengden i proporsjoneringen. Det er altså snakk om vann-sement forholdet (VC-tall) i betongblandingen. Dette forholdet er viktig for betongens styrke som er påvirket av vanninnholdet i blandingen. Hvis man ender opp med for mye vann i betongblandingen (høyere V/C tall), vil blandingen være mildere (tynnere) og løsere, noe som resulterer i svakere betong. For lite vann (lavere VC-tall) vil derimot gjøre betongen hardere (tykkere) og dermed blir den vanskeligere å bearbeide og komprimere, noe som resulterer i sterkere betong, men dårligere kvalitet. Det er alltid ønskelig å lage en betong som er sterk nok og samtidig støpelig og komprimerbar, derfor er det viktig å bestemme vannabsorpsjonsevnen og passende vannmengder i betongblandingen.

Densitet er en viktig parameter/egenskap av tilslag når en skal proporsjonere en betongblanding. Densiteten av tilslag bestemmes ved å multiplisere dens relative densitet med vannets densitet. Vanligvis varierer densiteten av tilslaget mellom 2400 kg/m^3 og 2900 kg/m^3 [26]. Dette er nødvendig for å opprettholde et tilstrekkelig forhold mellom vekt og volum i betongblandingen.

Egenskapene av resirkulert tilslag forventes å være forskjellige sammenlignet med vanlig tilslag. Resirkulert tilslag forventes å ha annerledes gradering, som en følge av resirkulerings-

prosessen som er basert på knusing av massene. Det forventes også at resirkulert tilslag har en tilstrekkelig form men høyere absorpsjonsevne på grunn av tilstedeværelsen av gammel porøs sementmørtel på tilslagskornene. Generelt sett, går tilslag gjennom flere belastende og krevende produksjons- og herdeprosesser som påvirker dets egenskaper, slik at ved resirkulering vil det ha varierende egenskaper.

4.1.3 Bruk av resirkulert tilslag

Basert på betongproporsjonering, kan resirkulert tilslag brukes på to måter, herunder delvis- og totalerstatning av naturlig tilslag. Delvis erstating er når en under proporsjoneringen erstatter en viss mengde av tilslaget med resirkulert tilslag, altså brukes det både resirkulert og naturlig tilslag i betongblandingen. Totalerstatning er når en erstatter alt av vanlig tilslag med resirkulert tilslag, altså brukes det kun resirkulert tilslag i betongblandingen.

Bruk av resirkulert tilslag kan være både bunden og ubunden. Bunden bruk er en betegnelse for når tilslag brukes i en blanding som for eksempel betong- og asfaltblanding. Ubunden bruk er en betegnelse for når tilslag brukes i arbeid innen utlegging og mekanisk stabilisering, som for eksempel fyllinger, drenering og avretting. Resirkulert tilslag kan brukes i all slags bygge- og anleggsarbeid, så lenge det tilfredsstillende kravene og standardegenskapene. I byggeprosjekter kan resirkulert tilslag brukes i å produsere ulike betongelementer som dekker og fundamentsøyler (bunden bruk). I anleggsprosjekter kan resirkulert tilslag brukes både i betongblanding (bunden), og som masser og fyllinger (ubunden) som for eksempel avrettende og stabiliserende masser under veier og fundamenter [27].



Bilde 11 Betongresirkulering²⁰

4.2 Sirkulær økonomi

Sirkulær økonomi er et begrep/fagfelt som stadig blir vanligere. I flere industrier i både Norge og verden er det veldig nyttig å tenke sirkulært. Grunnen til dette er at det stadig oppdages store belastninger på miljøet og naturressursene, som kan skyldes økt industrialisering og befolkningstall. Dette vil kunne føre til betydningsfulle miljøbelastninger i form av ressursknapphet og miljøforurensning. Derfor baseres sirkulær økonomi på å utvikle strategier og metoder som sikrer en god tilgang på materialer, en økende verdiskaping og en fremtidsrettet industri med fokus på bærekraft og miljøvennlighet. Dette delkapittelet tar for seg dette temaet og hvordan dette kan implementeres i byggeindustrien.

4.2.1 Definisjon

Sirkulær økonomi er en betegnelse for et økonomisk system som har et formål om et bærekraftig bruk av naturressursene. Dette innebærer blant annet en miljøvennlig produksjon og en vennlig behandling av avfall. Formålet med en sirkulær økonomi er hovedsakelig bærekraft og miljøvennlighet som kan gjenspeile en bedre økonomi.



Figur 2 Illustrasjon av sirkulær økonomi

Figur 2 ovenfor viser en skisse over hvordan en sirkulær økonomi kan implementeres. Den sirkulære økonomien kan deles inn i tre hoveddeler, nemlig produksjon, forbruk og gjenvinning. I produksjonsdelen benyttes prosesser for å produsere bærekraftige og miljøvennlige produkter. Dette resulterer i produkter som har lengre levetid og åpner for et bærekraftig forbruk. Etter produktets levetid behandles produktet på en vennlig måte, som for eksempel gjenvinning hvor en kan bruke materialene om igjen i produksjonen. Deretter gjentar prosessen/sirkelen seg. Dette kalles «sirkularitet» som danner grunnlaget for prinsippet for sirkulær økonomi.

Sirkulær økonomi inneholder flere sirkulære systemer som forbedrer bruk av materialer, reduserer klimabelastningen, øker verdiskapingen og gir en bedre økonomi. Eksempelvis benyttes systemer som følgende:

- **Produktets levetid:** En optimal design av produktet slik at det har mest mulig levetid. I tillegg må produktet kunne vedlikeholdes og repareres for å optimalisere levetiden.
- **Tilrettelegging for gjenvinning:** Dette innebærer å designe produkter med materialer som kan gjenvinnnes og gjenbrukes. Eksempelvis å satse på emballasje laget av papir istedenfor plast.
- **Gjenvinning:** Resirkulering av avfall og ubrukbare produkter, slik at materialer kan gjenbrukes. I tillegg å sørge for å bruke råmateriale rester i produksjonen. Eksempelvis å resirkulere papir-emballasje for å produsere nye papiraktige produkter.
- **Produksjonseffektivitet:** Dette innebærer å optimalisere produksjonsprosessen, slik at det brukes minst mulig energi og ressurser. Eksempelvis å leie utstyr istedenfor å eie hvis det lar seg gjøre.
- **Substitusjon:** Å jobbe stadig for å finne substitutter som gir en bedre bærekraft og miljøvennlighet. Dette gjelder både å designe miljøvennlige produkter og å bruke miljøvennlige materialer i produksjonen. Eksempelvis å bruke fornybare energikilder istedenfor fossile energikilder.¹⁰

4.2.2 Sirkulær økonomi i bygge- og anleggsbransjen

Mange virksomheter innenfor byggeindustrien i hele verden viser en stadig økende bekymring for miljøet. I denne sammenhengen spiller industrien en viktig rolle med tanke på at den er med å øke miljøbelastningen i form av gassutslipp, avfall og økende ressursbehov. Miljøbelastningen i denne industrien finnes hovedsakelig på grunn av bruk av ikke-fornybare energikilder og en utilstrekkelig behandling av avfall og rester [28]. Løsningen i dette tilfellet er å optimalisere bruken av ressurser, gjenvinne avfall og justere byggeaktiviteter slik at de blir mindre miljøbelastende.

Sirkulær økonomi fremstår som et nyttig system for å både fremme bærekraft og skape en bedre økonomi innenfor bygge- og anleggsaktivitetene. For å kunne anvende et slikt system, må det fokuseres på følgende hovedstadier:

- Material og komponentproduksjon.
- Design og planlegging.
- Etter-levetid.

Materialbruk er en viktig faktor i alle byggeaktivitetene. For det er materialene som danner konstruksjonenes funksjonalitet og utseende. Valget av materialer er ofte varierende på grunn av ulike formål og ønsker i en konstruksjon. Materialvalget spiller også en sentral rolle i konstruksjonens levetid og vedlikeholdsfase. I tillegg avgjør materialene hvordan konstruksjonen skal behandles etter levetiden og rivingen. Sirkulær økonomi oppfordrer til å bruke bærekraftige materialer som fører til et godt vedlikehold og gode gjenvinningsmuligheter etter konstruksjonens levetid.

Design- og planleggingsstadiet utgjør en sentral fase i et byggeprosjekt, hvor det designes og planlegges et prosjekt som dekker behov og tilfredsstillende kravene. Sirkulære strategier anvendes her ved at det blant annet designes for en god avfallsbehandling under utbygging og planlegging for vennlig arbeid og modularitet i prosjektet.

Tredje stadiet handler om hvordan prosjektet/produktet skal behandles etter sin levetid. I et sådant tilfelle er det viktig at bygningsdeler og materialer ved endt levetid integreres i verdikjeden og bli sett på som en nyttig ressurs med tanke på både økonomi og miljø. Tabell 3 nedenfor viser en oversikt over hvordan de sirkulære strategiene kan anvendes i byggeaktiviteter [29].

Tabell 3 Overikt over sirkulære strategier i byggeaktiviteter [29]

Stadiet	Material og komponentproduksjon	Design og planlegging	Etter-levetid
Sirkulære strategier	<ul style="list-style-type: none"> ○ Materialer med lang levetid. ○ Materialer med mindre farlige stoffer. ○ Bruk av sekundære materialer. ○ Bruk av resirkulerbare materialer. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Design for montering og miljøvennlig utførelse. ○ Behandling av avfall ved utførelse. ○ Tilpasning og fleksibilitet. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Selektiv riving. ○ Gjenvinning og gjenbruk av produkter og komponenter. ○ En vennlig gjennomføring av nødvendig deponi.

De fleste utviklede sirkulære strategiene er litt for kompliserte på grunn av behov for forskjellige kompetanser for å gjennomføre de ulike prosessene. For å kunne implementere disse fasene, er det derfor viktig med et godt samarbeid mellom bedrifter med forskjellige kompetanser. Det kreves et samarbeid for å utvikle en god koordinering, materialhåndtering og logistikk. Dette samarbeidet anses som et forretningsarbeid som involverer flere parter. Dermed er det viktig å utvikle en god strategi og struktur i dette samarbeidet. Dette kan gjøres ved å benytte et økonomisk prinsipp kalt «Business model/Forretningsmodell».

En forretningsmodell er et «management-verktøy» som definerer en organisatorisk og økonomisk struktur for en organisasjon med flere parter/interessenter. Dette innebærer å danne en organisasjon som konverterer resurser og interesser til en økonomisk verdi. For å inkludere sirkulær økonomi i dette verktøyet, har det blitt etablert en modell kalt «business modell for circular strategies» for å implementere sirkulære strategier i sirkulære forretningsarbeid.

Tabell 4 nedenfor gir en oversikt over kjerneaktiviteter i en forretningsmodell. Tabellen viser ulike perspektiver ved vurdering og gjennomføring av en verdi, og gir et godt grunnlag for å danne en oversikt over behov og hensikt med en verdi.

Tabell 4 Aktiviteter i en forretningsmodell [30]

Verdi-fase	Tilhørende spørsmål	Forretningsmodell-elementer
Verdibeskrivelse	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hva slags verdi? ○ Hva er hensikten? ○ Hvem er verdien skapt til? 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Vurdere behov og tilbudet ○ Kunde behov og interesser.
Verdiskaping og leveranse	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hvordan er verdien skapt? ○ Hvordan er leveranseprosessen? 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ressurser og muligheter. ○ Partnernettverk. ○ Verdikjede-aktiviteter.
Verdifangst	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hvordan er profitt/lønnsomheten? 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Økonomisk struktur (kostnader og inntekter).

Ved å vurdere de tre verdi-fasene illustrert i tabellen, kan en finne svar på hvilken verdi som foreslås og hvordan den kan skapes, leveres og implementeres. Dette kan også anvendes i sirkulære strategier, hvor en vurderer mulighet, gjennomførbarhet og nytte av en forretning innenfor sirkulær økonomi. Eksempelvis ved et forslag om en ny resirkuleringsstrategi, må det defineres et formål, interessenter, fremgangsmåte, økonomisk nytte og eventuelle andre fordeler og ulemper med strategien.

4.3 Betongresirkulering og økonomi

Betongavfall og rester er en verdifull ressurs som går tapt. Grunnen til dette er mangel på kompetanse og tillit når det gjelder gjenbruk av resirkulert tilslag. Denne ressursen må utnyttes først av dedikerte og sterke organisasjoner og virksomheter som har en sterk innflytelse i industrien slik at mindre virksomheter får mer tillit. Ressursen kan anvendes i produksjon av forskjellige betongprodukter til ulike formål. I tillegg til miljø- og samfunnsnyttene, kan denne ressursen være med å skape en bedre økonomi i form av følgende:

- **Lavere materialkostnader:** Bruk av resirkulert tilslag resulterer i mindre behov for nye og vanlige tilslag. Dette vil kunne føre til mindre kostnader, noe som kan resultere i høyere profitt/avkastning.
- **Flere arbeidsplasser:** Resirkuleringsanlegget og transport av avfallet krever kompetanse, arbeidskraft og logistisk planlegging. Derfor blir det skapt nye arbeidsplasser som kan øke ved økt satsning på resirkuleringen.
- **Lavere deponikostnader:** Gjenvinning fører til at mindre avfall blir sendt til deponi og dermed får en reduksjon på kostnadene.
- **Lavere skattekostnader:** Gjenvinning fører til mindre kjøp av nye og naturlige materialer og dermed lavere skatteutgifter. Dette kan anses som skatteinntekter.

5 Laboratoriearbeid

Dette kapitlet inneholder det tekniske arbeidet for å studere egenskapene av gjenvunnet tilslag og betong laget med gjenvunnet tilslag. Arbeidet er basert på å utføre noen tester for å kunne studere kvaliteten til gjenvunnet tilslag, og egenskapene til fersk og herdet betong laget med gjenvunnet tilslag.

Arbeidet startet med å sende hulldekkeskalker til gjenvinning på Velde-anlegget, hvor det ble produsert gjenvunnet tilslag som ble sendt tilbake til BBB-fabrikken. Det gjenvunnede tilslaget ble testet ved å benytte sikteanalyse og fuktinnholds-måling. Hensikten med disse testene var henholdsvis å se på tilslagskornstørrelser (tilslagsgradering) og fuktinnholdet hos det gjenvunnede tilslaget.

Videre ble tilslaget benyttet til å lage forskjellige betongblandinger for å kunne teste slumputbredelse, luftinnhold og trykkfastheten. Hensikten med å utføre disse testene var å kunne se på støpeligheten, luftinnholdet i fersk tilstand og fastheten av betongen i herdet tilstand. De neste segmentene i dette kapitlet presenterer dette arbeidet og dets resultater.

5.1 Gjenvunnet tilslag

Den første observasjonen som ble gjort, ga indikasjon av fuktighet hos det gjenvunnede tilslaget. Årsaken til dette kan være som et resultat av gjenvinningsprosessen, hvor tilslag vaskes ved en kjemisk prosess for å fjerne sementlim. Ifølge Velde, er det nesten umulig å fjerne hele sementlimet på tilslaget under gjenvinningsprosessen. Dermed er sementlim-restene på tilslaget med å absorbere vann og øke fukten i tilslaget. Tilslag har vanligvis fri fukt og absorbert fukt. Fri fukt er en betegnelse for fukten som er på og mellom tilslagskornene som reagerer med sementen under herdeprosessen, mens absorbert fukt er en betegnelse for fukten som blir værende inne i tilslagskornene under herdeprosessen.

For å måle den totale fuktigheten i tilslaget, ble det tatt fire prøver av det gjenvunnede tilslaget. Prøvene ble varmet opp i en kjele for å måle vektforskjellen før oppvarming (vått) og etter oppvarming (tørt). Bildet 12 og 13 nedenfor viser tilslaget før og etter oppvarming (prøve 1) og viser at tilslaget har et fuktinnhold som kan ha betydning på betongproporsjonering.



Bilde 12 Gjenvunnet tilslag før oppvarming



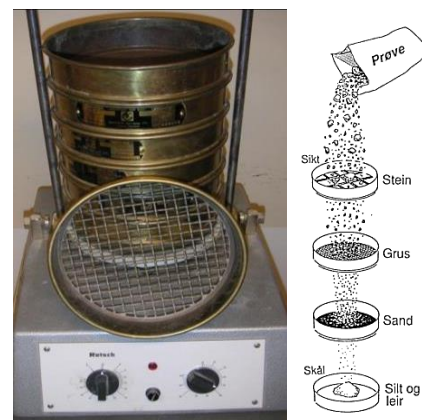
Bilde 13 Gjenvunnet tilslag etter oppvarming

Prøve 1 hadde en vekt på 1532,4 g før oppvarming og 1480,2 g etter oppvarming. Det vil si at $(1532,4 \text{ g} - 1480,2 \text{ g} = \mathbf{52,2 \text{ g}})$ var fukt/væske som har dampet under oppvarmingen. Dermed er det oppdaget $\frac{52,2 \text{ g}}{1532,4 \text{ g}} \cdot 100 = \mathbf{3,41\%}$ total fukt i tilslaget. Tilslagets absorbert fukt er fast og ble målt til 0,23%, og dermed blir fri fukten på $(3,41\% - 0,23\% = \mathbf{3,11\%})$. På samme måte ble fuktinnholdet i de andre prøvene målt og presentert i tabell 5 nedenfor.

Tabell 5 Fuktinnhold i gjenvunnet tilslag

Prøve nr.	Vekt før oppvarming(g)	Vekt etter oppvarming(g)	Total fukt (%)	Absorbert fukt (%)	Fri fukt (%)
1	1532,4	1480,2	3,41	0,23	3,18
2	1552,0	1508,2	2,82	0,23	2,59
3	1631,2	1594,6	2,24	0,23	2,01
4	1306,8	1266,8	3,06	0,23	2,83

Videre ble en sikteanalyse benyttet for å kunne gi et bilde av kornstørrelsene og korngraderingen i tilslaget. Analysen er utført ved å ta en prøve av det gjenvunnede tilslaget og riste den igjennom en siktesats med flere sikteåpninger som kan vise kornstørrelser fra 0 mm til >63 mm. Bilde 14 [31] til høyre viser en siktesats og hvordan prøven går igjennom de ulike sikteåpningene. Denne analysen har gitt gradering og siktekurve som vist i Vedlegg II.



Bilde 14 Sikteanalyse

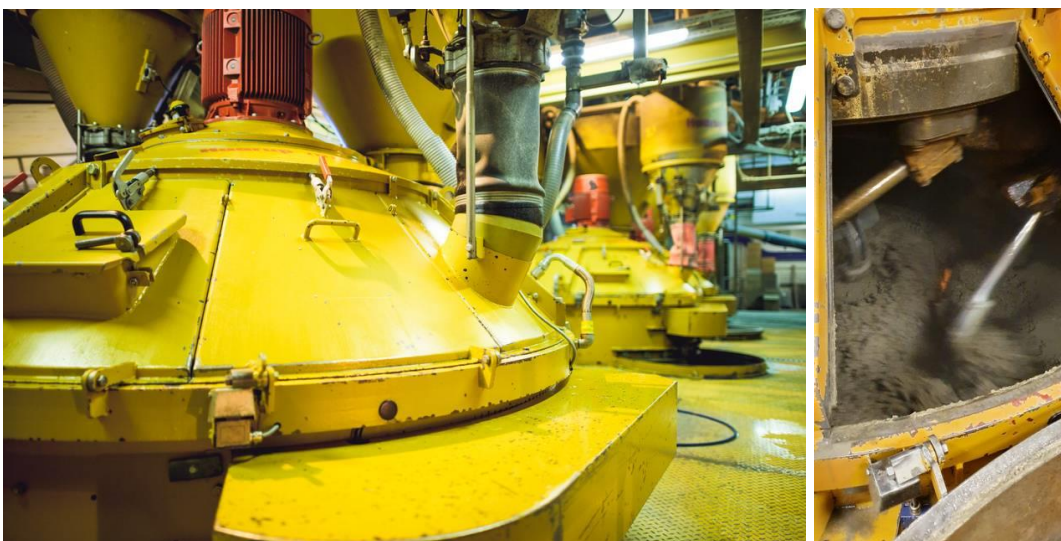
5.2 Betong laget med gjenvunnet tilslag

I forbindelse med oppgaven, ble det laget følgende 4 betongblandinger med forskjellige mengder gjenvunnet tilslag og forskjellige fasthetsklasser;

- **Blanding 1:** B35 betong med 5% gjenvunnet (8-16 mm) tilslag.
- **Blanding 2:** B35 betong med 100% gjenvunnet (8-16 mm) tilslag.
- **Blanding 3:** B55 betong med 100% gjenvunnet (8-16 mm) tilslag.
- **Blanding 4:** B55 betong med 5% gjenvunnet (8-16 mm) tilslag.

I blanding 1 og 4 ble **5%** av 8-16mm-vanlig tilslag erstattet med gjenvunnet tilslag. Dette er gjort i henhold til NS-EN 206+NA:2017, som er en standard som er laget for å sikre at en betongblanding har en god sammensetning av materialer for å oppnå de ønskede betongegenskapene. Standarden tillater en erstatning på 5% av vanlig tilslag med gjenvunnet tilslag. I blanding 2 og 3 ble **alt** av 8-16mm-vanlig tilslag erstattet med gjenvunnet tilslag. Dette er gjort for å se på betongegenskapene ved å maksimere bruket av gjenvunnet tilslag.

Det ble laget 300 liter betong av hver blanding. Vedlegg IV presenterer proporsjonerings-skjemaene som viser de ulike materialemengdene og detaljene i de ulike blandingene. Proporsjoneringen og betonglagingen er gjort i BBB-fabrikken, og foregikk ved at materialemengdene ble veid opp før de ble lagt inn i en betongblander som blandet materialene sammen i ca. 200 sekunder. Når blandingen var klar ble den transportert til et støpepunkt, hvor 3 bølter ble fylt med betong og testet i laboratoriet. Resten av betongen ble støpt i klosser for å kunne observere støpeligheten og hvordan betongen legger seg. Bilde 15 viser betongblanderens/ blandemaskinen i BBB-fabrikken.



Bilde 15 Betongblanderens i BBB-fabrikken [32]

De ulike blandingene ble testet og undersøkt i både fersk og herdet tilstand. I fersk tilstand ble det utført undersøkelser for å teste slumpbredelse, luftinnhold og støpeligheten av betong, mens i herdet tilstand ble det utført en trykktest av terninger laget med de ulike blandingene.

Slumpbredelsestesten ble utført ved å benytte Abrams slumpkjegle (bilde 16 til høyre [33]). Testen startet med å hente en kjegle og et brett og skylle det med vann. Videre ble kjeglen plassert godt på midten av brettet og fylt med betong. Deretter ble kjeglen løftet forsiktig opp med en konstant fart. Dette er gjort for at betongen kunne utbrede seg selv på brettet. Til slutt ble diameteren på betongutbredelse (d_f) målt i to horisontale retninger som vist på bildene 17 og 18 nedenfor. Denne testen er utført for alle blandingene og har gitt følgende utbredelsesdiameterer:



Bilde 16 Abrams kjegle

Tabell 6 Betongutbredelse for blandingene

Betongblanding	Betongutbredelse 1 (d_{f1})	Betongutbredelse 2 (d_{f2})
1	620 mm	640 mm
2	660 mm	660 mm
3	490 mm	510 mm
4	650 mm	620 mm



Bilde 17 Betongutbredelse 1 (d_{f1}) for blanding 1



Bilde 18 Betongutbredelse 2 (d_{f2}) for blanding 1

Luftinnholdet i blandingene ble målt ved å ta i bruk en luftporemåler som illustrert på bilde 19, og testen ble utført i henhold til «NS - EN 12350-7: Prøving av fersk betong – Del 7: Luftinnhold – Trykkmetoder», som er en standard som beskriver metoder for å bestemme luftinnholdet i fersk betong. Testen ble også utført ved å bruke betjeningsveiledningen som er gitt av produsenten av luftporemåleren (Vedlegg V). Resultatet av testen er en prosentverdi på

luftinnholdet i prøven, altså hvor stor andel av betongprøven som er luft.

Testen har gitt følgende verdier for luftinnholdet i blandingene;

- Blanding 1: **5,0 %** luftinnhold.
- Blanding 2: **4,3 %** luftinnhold.
- Blanding 3: **5,6 %** luftinnhold.
- Blanding 4: **4,8 %** luftinnhold.



Bilde 19 Luftporemåler, luftinnhold i blanding 1

For å teste trykkfastheten til herdet betong for de ulike blandingene, ble det laget terninger med dimensjoner på 100x100x100 mm. Det ble laget 6 terninger (bilde 20) av hver blanding som videre ble testet ved å benytte en trykktest-maskin (bilde 21). Trykktesten ble utført på følgende måte: 2 terninger ble testet etter ett døgn, 2 terninger etter én uke og 2 terninger etter 28 døgn. Testene ble utført i henhold til standard «NS-EN 12390-3:2009: Prøving av herdet betong». Prøvene er lagt inn med omregnet sylindrefasthet. Dette gjøres, ifølge kontrollrådet, ved å multiplisere oppdaget trykkfasthet fra trykktest med 0,8. Tabell 7 viser de ulike trykkfasthetene (sylindrefasthetene) for blandingene.

Tabell 7 Målte trykkfastheter for blandingene

Blanding	Trykkfasthet etter ett døgn (N/mm^2)	Trykkfasthet etter én uke (N/mm^2)	Trykkfasthet etter 28 døgn (N/mm^2)
1	23,05	41,40	50,52
2	20,75	41,39	50,51
3	22,52	42,72	52,13
4	50,52	51,25	62,54



Bilde 20 Innstøpte terninger fra blanding 1

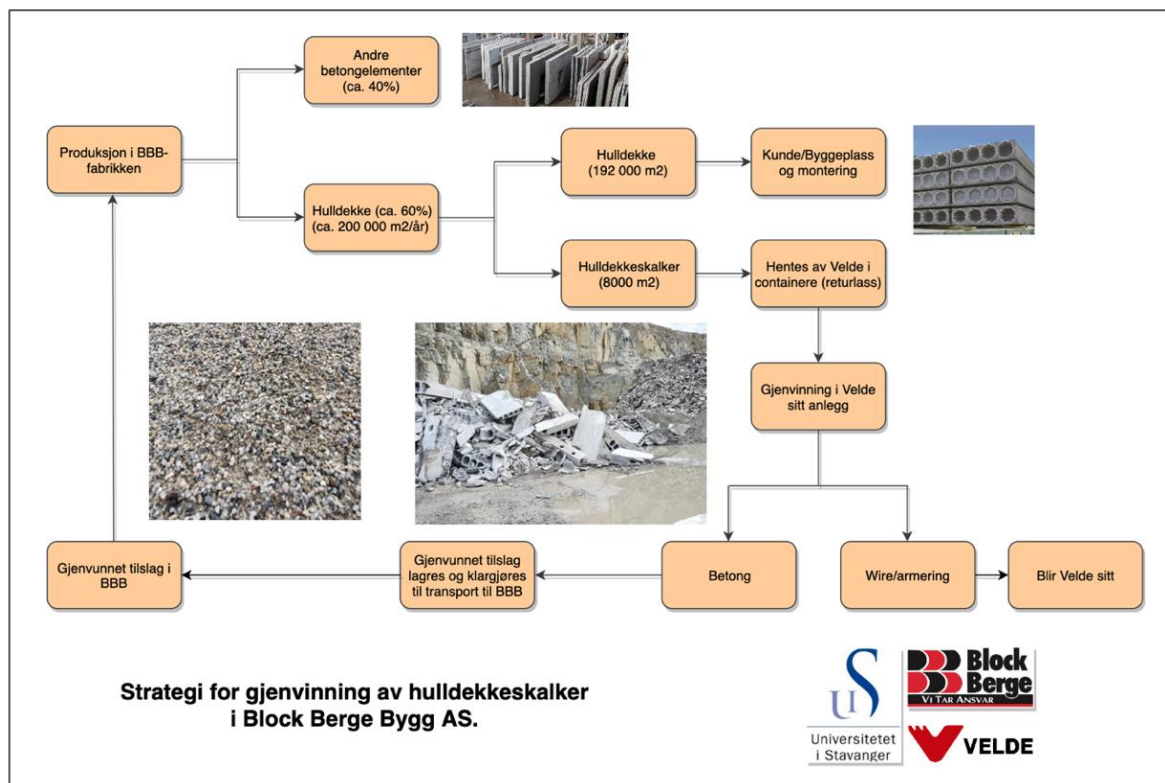


Bilde 21 Trykktest-maskin

6 Analyse av gjenvinningsstrategien

I dag behandler BBB hulldekkeskalkene basert på en avtale med et eksternt entreprenørfirma som knuser og sender skalkene til deponifyllinger. Etersom hulldekkeskalkene blir ansett som en tapt ressurs, ble det foreslått et samarbeid mellom BBB og Velde. Samarbeidet baseres på å gjenvinne skalkene slik at det produseres gjenvunnet tilslag som kan brukes i betongproduksjonen i BBB. Grunnen til dette er at Velde har et høy-teknologisk anlegg med god kompetanse for gjenvinning av betong, samt at Velde er BBBs hovedleverandør av tilslag. I den anledningen ble det arrangert et møte mellom BBB og Velde den 25.09.2019, hvor det ble diskutert en mulighet for å utvikle et samarbeid for å gjenvinne hulldekkeskalkene fra BBB-fabrikken. Som vist i figur 3 nedenfor ble det foreslått følgende strategi:

- BBB samler hulldekkeskalkene i containere som klargjøres for transport til Velde.
- Velde henter deretter containerne som en returlast. Det vil si at når Velde leverer materialer i BBB-fabrikken, kan de hente containerne på returreisen.
- Velde gjenvinner skalkene i sitt anlegg, hvor betongrestene gjenvinnes for å produsere tilslag med forskjellig fraksjoner. Samtidig blir wire-ene (armering) igjen hos Velde.
- Velde transporterer det gjenvunne tilslaget tilbake til BBB-fabrikken, hvor dem bruker det i betongproduksjonen.



Figur 3 Diagram for den foreslåtte gjenvinningsstrategien mellom BBB og Velde

Hvis betonggjenvinningen viser seg å tilfredsstillende de ulike tekniske, miljømessige og økonomiske kravene, samt det blir en enighet mellom BBB og Velde, vil BBB starte med gjenvinningsprosessen omgående etter at den tidligere avtalen (deponi) er avsluttet. Den foreslåtte gjenvinningsstrategien anses som en sirkulær strategi som foreslår en vennlig løsning til å behandle hulldekkeskalkene i BBB. Dette kapitlet presenterer en vurdering av samarbeidet mellom Velde og BBB, samt lønnsomheten og økonomien rundt denne strategien.

6.1 En sirkulær strategi

Den foreslåtte strategien anses som sirkulær, ettersom den er basert på gjenvinning av betongrester (hulldekkeskalkene) og gjenbruk av materialer (Gjenvunnet tilslag). Med andre ord vil betongproduksjonen inneholde en form for sirkularitet. For å vurdere denne strategien, kan en vurdere de stadiene som er presentert i tabell 3 i kapittel 4.

Material og komponentproduksjon

Gjenvinning av hulldekkeskalkene resulterer i sekundære materialer som kan gjenbrukes i betongproduksjonen hos BBB. Ettersom hulldekket består av både betong og stål, vil en ved gjenvinningen produsere tilslag med varierende størrelser (fraksjoner) og stål (armering) som kan resirkuleres og brukes i ulike typer produksjon. For BBB vil det kunne være nyttig å bruke det gjenvunne tilslaget i betongproduksjonen i fabrikk.

Design og planlegging

Tilslag går vanligvis gjennom flere prosesser i betongproduksjonen. I tillegg går tilslag igjennom flere tunge prosesser under gjenvinning. Dette gjør at gjenvunnet tilslag kan ha forskjellige og varierende egenskaper som kan ha betydning for betongen og dens egenskaper. Derfor vil det alltid anbefales å ta hensyn til egenskapene av det gjenvunne tilslaget under design- og planleggingsfasen. Det vil si at BBB må ha en tilstrekkelig forståelse av å kunne tilpasse det gjenvunne tilslaget i betongproduksjonen.

Etter-levetid

Betongelementer er generelt sett elementer som kan resirkuleres for å produsere tilslag som kan gjenbrukes i flere ulike byggeaktiviteter. Dette tilslaget kan blant annet brukes som fyllingsmasser (grus), men det er en pågående forskning når det gjelder bruk av det i større grad i

betongproduksjonen. BBB må også ta hensyn til om elementer laget med gjenvunnet tilslag kan resirkuleres og gjenbrukes.

Tabell 8 gir en oversikt over de ulike stadiene i den foreslåtte strategien. Tabellen viser også hvordan arbeidet fordeles mellom BBB og Velde.

Tabell 8 Oversikt over stadiene i den foreslåtte sirkulære strategien

	Materialproduksjon		Design og planlegging	Etter-levetid
Firma	BBB	Velde	BBB	BBB
Beskri- velse	Hulldekkeskalkene er generert i BBB-fabrikken på grunn av avkapp og tilpasning av elementet i prosjektet. Skalkene er ressursen til den foreslåtte strategien.	Velde henter skalkene og gjenvinner dem i anlegget sitt. Det gjenvunnede tilslaget blir transportert til BBB-fabrikken, hvor det skal gjenbrukes i betongproduksjonen.	Tilpasning av bruk av gjenvunnet tilslag. Det vil si å ta hensyn til egenskapene av det gjenvunnede tilslaget i betongproporsjonering for å produsere betong med de ønskede egenskapene.	BBB tar en vurdering av levetiden av betongen som er laget med gjenvunnet tilslag og hvordan den skal håndteres etter levetiden.

6.2 Kostnader av strategien

Den foreslåtte strategien inneholder to økonomiske prosesser. Den ene er henting og knusing av hulldekkeskalkene og den andre er kjøp og leveranse av det gjenvunnede tilslaget. I dette kapitlet skal de totale kostnadene av begge prosessene beregnes for å kunne danne et økonomisk bilde av strategien.

For å estimere den årlige vekten av hulldekkeskalkene, kan det tas et utgangspunkt i at hulldekkeskalkene utgjør et areal (A) på ca. 8000 m² per år. Ifølge BBB er gjennomsnittsvekten

(v) og gjennomsnittstykkelsen (h) av hulldekket på henholdsvis 2430 Kg/m^3 og 0,3 m. Dermed er den estimerte totale vekten av hulldekkeskalkene per år (V) som følger;

$$V = (A \times h) \times v \text{ ----- (2)}$$

$$V = (8000 \text{ m}^2 \times 0,3 \text{ m}) \times 2430 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 5\,832\,000 \text{ Kg} = \mathbf{5\,832 \text{ tonn.}}$$

Prosess 1: Henting og knusing av hulldekkeskalkene

Denne prosessen innebærer sortering, henting (transport) og knusing av hulldekkeskalkene. Velde har anslått en pris på ca. 631 NOK/tonn i denne prosessen. Årlige kostnader i denne prosessen tar et utgangspunkt i at det som vist i formel 2 kan genereres opptil ca. 5832 tonn hulldekkeskalk per år.

I 2018 ble det ifølge BBB generert 5100 tonn hulldekkeskalk. Ved å ta et utgangspunkt i denne mengden, kan man finne mulige kostnader hvis BBB hadde benyttet gjenvinning i 2018.

Prosess 2: Leveranse av det gjenvunne tilslaget

Denne prosessen innebærer leveranse av det gjenvunne tilslaget. Tanken her er at dersom BBB velger å benytte det gjenvunne tilslaget i betongproduksjonen, vil det kompensere for en del vanlig tilslag. Dette tilslaget vil ifølge Velde ha følgende anslåtte priser for de ulike fraksjonene av det gjenvunne tilslaget:

- **2 – 5 mm (fin sand):** P1 = 100 NOK
- **5 – 8 mm (stein):** P2 = 100 NOK
- **8 – 16 mm (stein):** P3 = 160 NOK

Grunnlaget for å regne ut kostnadene på det gjenvunne tilslaget er å estimere hvor stor andel av skalkene som blir til tilslag. Velde tror i teori at omtrent 100% av skalkene blir til tilslag, og dermed kan det bli produsert følgende mengder (m1, m2, m3) av 1 tonn hulldekkeskalk:

- **2 – 5 mm (fin sand):** m1 = 0,35 tonn.
- **5 – 8 mm (stein):** m2 = 0,35 tonn.
- **8 – 16 mm (stein):** m3 = 0,30 tonn.

På samme måte som i prosess 1, kan en finne de årlige kostnadene av prosess 2 ved å ta et utgangspunkt at det årlig genereres opptil 5832 tonn hulldekkeskalker. For å finne mulige kostnadene tas det et utgangspunkt at det i 2018 ble det generert 5100 tonn hulldekkeskalker.

Følgende tabell viser beregningen av de totale kostnadene i begge prosessene ved å bruke de gitte prisene og tilslagsmengdene i gjenvinningsprosessen:

Tabell 9 De totale kostnadene av gjenvinningsstrategien

Vekt av hulldekke (Gj.snitt)	2430,00	Kg/m ³
Tykkelse av hulldekke (Gj.snitt)	0,30	m
Totalt areal av hulldekkeskalker per år	8000,00	m²
Estimert total vekt av hulldekkeskalkene per år	5832,00	Tonn
Hulldekkeskalker i 2018	5100,00	Tonn
Pris prosess 1 (NOK/per tonn)	NOK 631,00	
Priser prosess 2 (NOK/ tonn):	Gjenvunnet tilslag	
2 - 5 mm (P1)	NOK 100,00	
5 - 8 mm (P2)	NOK 100,00	
8 - 16 mm (P3)	NOK 160,00	
Mengder tilslag produsert av 1 tonn hulldekkeskalker:		
0 - 2 mm, fin sand (m1)	0,35	Tonn
5 - 8 mm, stein (m2)	0,35	Tonn
8 - 16 mm, stein (m2)	0,30	Tonn
De estimerte årlige kostnadene:		
Prosess 1	NOK 3 679 992,00	
Prosess 2	NOK 688 176,00	
Totalt	NOK 4 368 168,00	
Mulige kostnader i 2018:		
Prosess 1	NOK 3 218 100,00	
Prosess 2	NOK 601 800,00	
Totalt	NOK 3 819 900,00	

Basert på beregningen i tabell 9 ovenfor, er de totale estimerte årlige kostnadene av den foreslåtte strategien på ca. **4,37** millioner norske kroner. Tabellen viser også totale kostnader på ca. **3,82** millioner norske kroner hvis BBB hadde benyttet den foreslåtte strategien i 2018.

6.3 Et samarbeid mellom BBB og Velde

Hensikten med den foreslåtte strategien er å konvertere resursen i BBB (hulldekkeskalkene) til en økonomisk verdi, hvor hovedinteressen er å behandle skalkene på en miljøvennlig måte (gjenvinning). BBB har i skrivende stund ikke en tilstrekkelig kapasitet for å gjenvinne skalkene på egen hånd i fabrikk. Dermed er de nødt til å etablere et samarbeid med en ekstern aktør som har kapasitet til å gjøre jobben, som er Velde i dette tilfellet.

Verdien av gjenvinningsarbeidet for BBB er at de kan produsere produkter (betongelementer) med en mindre miljøbelastende produksjonsprosess. Dette gjør markedet og kundene enda mer fornøyde, noe som med andre ord betyr at dette arbeidet kan virke som en god markedsføring for BBB. I tillegg vil dette arbeide føre til at BBB kjøper mindre nye og vanlige tilslag, noe som kan gjenspeile en bedre økonomi i form av økonomiske besparelser.

Verdien av gjenvinningsarbeidet for Velde er at de får mulighet til å bidra i miljøvernet i form av å behandle betongavfall og -rester på en miljøvennlig måte. Gjenvinningsanlegget er en del av bedriften og dermed vil samarbeidet med BBB bidra i en økonomisk avkastning. BBB er i tillegg Veldes kunde, og dermed forsterker dette samarbeidet forholdet med BBB.

Velde stiller med en tilstrekkelig kompetanse til å gjenvinne hulldekkeskalkene, mens BBB stiller med en tilstrekkelig kompetanse til å bruke det gjenvunnede tilslaget i betongproduksjonen. Tabell 10 nedenfor gir en oversikt over de viktige elementene som kan gi en total vurdering av samarbeidet mellom BBB og Velde. I tillegg viser tabellen hva slags verdi dem har og hva som kan oppnås med dette samarbeidet.

Tabell 10 Oversikt over ulike elementer i samarbeidet mellom BBB og Velde

Firma	Elementer i forretningsmodellen	Material- og komponentproduksjon
Velde	Verdi	<ul style="list-style-type: none"> - Miljøvern (reduserer miljøbelastningen). - Utvide arbeidet i gjenvinnings-anlegget. - Oppmerksomhet i markedet (markedsføring).
	Ressurser og muligheter	<ul style="list-style-type: none"> - Personell og anlegg for betonggjenvinning. - Kan levere gjenvunnet tilslag av flere ulike størrelser (fraksjoner). - God transportstrategi
	Partner-nettverk	<ul style="list-style-type: none"> - Dette vil hjelpe med å opprettholde det gode samarbeidet med BBB som anses som en viktig kunde.
	Økonomistruktur	<ul style="list-style-type: none"> - Økonomisk avkastning.
BBB	Verdi	<ul style="list-style-type: none"> - Bruk av gjenvunnet tilslag fra hulldekkeskalkene. - Lavere kostnader. - Miljøvern (reduserer miljøbelastningen).
	Ressurser og muligheter	<ul style="list-style-type: none"> - Tilstrekkelig kompetanse til å bruke det gjenvunnede tilslaget.
	Partner-nettverk	<ul style="list-style-type: none"> - Opprettholde et godt forhold med Velde som er en viktig leverandør.
	Økonomistruktur	<ul style="list-style-type: none"> - Mulige økonomiske besparelser på både behandling av hulldekkeskalkene og materialkostnader.

7 Sammenligning og diskusjon

I denne masteroppgaven ble den foreslåtte strategien vurdert basert på teknisk, miljømessig og økonomisk perspektiv. For å vurdere om den tilfredsstillende de ulike kravene, er det nødvendig å sammenligne den med dagens strategi (deponi). Det er også nødvendig å vurdere om de tekniske egenskapene ved bruk av gjenvunnet tilslag samsvarer med de standardiserte og forventede egenskapene. I tillegg er det viktig å diskutere hvordan den foreslåtte strategien påvirker BBBs miljøvernssystem og økonomi. I dette kapitlet skal derfor begge strategier (deponi og gjenvinning) sammenlignes og diskuteres for å danne et grunnlag for å konkludere arbeidet og svare på problemstillingen.

7.1 Teknisk perspektiv

Ifølge tidligere forskning, vil gjenvunnet/resirkulert tilslag i teorien ha forskjellige egenskaper sammenlignet med vanlig tilslag. I dette delkapitlet skal resultatene fra undersøkelsene som er utført i kapittel 5 sammenlignes med typiske og forventede verdier. Det vil si å sammenligne de tekniske egenskapene ved bruk av gjenvunnet tilslag med egenskapene ved bruk av vanlig tilslag.

7.1.1 Gjenvunnet tilslag

Det ble som forventet oppdaget varierende sementrester på noen korn av det gjenvunnede tilslaget. Bilde 22 nedenfor viser et tilslagskorn fra det gjenvunnede tilslaget, og et tilslagskorn fra det vanlige tilslaget. Bildet viser at en må forvente varierende mengder sementrester på gjenvunnet tilslag.



Bilde 22 Sementrester oppdaget på gjenvunnet tilslag

Det gjenvunnede tilslaget har form og størrelse som er relativt forskjellige sammenlignet med vanlig tilslag. Det ble for eksempel, som vist på bilde 23 og 24, observert noen lange og tynne korn i det gjenvunnede tilslaget, mens kornene i det vanlige tilslaget stort sett er runde og kubiske. Bildet 23 viser at det gjenvunnede tilslaget har en tilstrekkelig gradering. Ved å se på siktekurvene (Vedlegg II og III) kan en se at korngraderingen i det gjenvunnede tilslaget stort sett er mellom øvre og nedre grense. Sammenlignet med siktekurven for et vanlig tilslag, ble det oppdaget litt avvik i graderingen i det gjenvunnede tilslaget. Dette kan skyldes gjenvinningsprosessen, hvor fraksjoneringen av det gjenvunnede tilslaget ikke var tilstrekkelig.



Bilde 23 Gjenvunnet tilslag



Bilde 24 Vanlig tilslag

Det totale fuktinnholdet i det gjenvunnede tilslaget var litt høyere enn det for vanlig tilslag. Dette skyldes at det gjenvunnede tilslaget hadde en større fri fukt sammenlignet med det vanlige tilslaget, hvor det absorberte fuktinnholdet i det gjenvunnede tilslaget var på ca. 0,13% som er det samme for vanlig tilslag. Det gjenvunnede tilslaget hadde i snitt fri fukt på ca. 2,56% (tabell 5), og ifølge BBB pleier det vanlige tilslaget å ha en fri fukt på 0,8-1,07 %. Høyere fri fukt kan skyldes at tilslaget ikke fikk en tilstrekkelig avvanning, noe som indikerer at tilslaget ikke fikk tørket tilstrekkelig etter gjenvinningsprosessen. Denne mengden fukt vil være med å påvirke V/C-tallet i betongblandingen.

Stort sett er egenskapene av det gjenvunnede tilslaget tilstrekkelige og har ikke betydningsfulle avvik sammenlignet med det vanlige tilslaget.

7.1.2 Betong laget med gjenvunnet tilslag

I de utførte undersøkelsene i kapittel 5, ble gjenvunnet tilslag brukt for å lage 4 forskjellige betongblandinger. I denne seksjonen skal resultatene fra undersøkelsene sammenlignes med standardiserte og forventede verdier for hver blanding.

I første undersøkelse (slumputbredelse) var det et ønske om å lage en betong som er selvkomprimerende. Typiske verdier for å oppnå en selvkomprimerende betong er at diameteren på betongutbredelsen skal være på **600-750 mm** [34]. Som vist i tabell 6 i kapittel 5 ble det målt følgende betongutbredelser:

- Blanding 1 (B35M60, 5% gjenvunnet 8-16mm-tilslag): **620x640 mm.**
- Blanding 2 (B35M60, 100% gjenvunnet 8-16mm-tilslag): **660x660 mm.**
- Blanding 3 (B55M45, 100% gjenvunnet 8-16mm-tilslag): **490x510 mm.**
- Blanding 4 (B55M45, 5% gjenvunnet 8-16mm-tilslag): **650x620 mm.**

Disse verdiene viser at blanding 1 og 2 hadde tilstrekkelige verdier på slumputbredelse. Blanding 3 var B55 betong (sterk betong) med 100% bruk av gjenvunnet 8-16mm-tilslag. Samtidig kan den karakteriseres som tykk og vanskelig å bearbeide. Dermed ble det tenkt at betongen kanskje ble tykkere på grunn av bruk av gjenvunnet tilslag i betong med høyere fasthetsklasse. Derfor ble det i blanding 4 brukt mindre mengde gjenvunnet tilslag (5% av 8-16mm-tilslag) og større mengde SP (et tilsetningsstoff som påfører blandingen luft slik at den blir lettere å bearbeide og støpe). Dette har gitt en tilstrekkelig slumputbredelse i blanding 4. Dette gir en indikasjon på at ved bruk av gjenvunnet tilslag i sterkere betong, trengs det ekstra tilpasning av materialemengder for å lage en betongblending med ønskede egenskaper.

Betongen fra blanding 1, 2 og 4 klarte å legge seg fint under støping, mens betongen fra blanding 3 slet med å legge seg på samme måte som de andre blandingene. Poenget er dermed at for mye bruk av gjenvunnet tilslag i betong med høy fasthetsklasse (sterkere betong) vil kunne svekke betongen og dens egenskaper.

Det ble også utført en undersøkelse for å måle luftinnholdet i blandingene. Et passende luftinnhold er nødvendig i en betongblending for å sikre en tilstrekkelig frostbestandighet i betongen. Luftinnholdet blir værende som luftbobler/luftporer i betongen, noe som hjelper med at betongen ikke frakturerer under kalde værforhold. Hovedkravet, ifølge standarden «NS-EN

206», er at betongblandingen skal ha et minimum luftinnhold på 4%. Statens Vegvesens retningslinjer oppfordrer til at betongblandingen skal ha et luftinnhold på $5 \pm 1,5\%$ eller $3,5 \pm 1,5\%$ avhengig av fasthetsklassen. I tillegg er det krav på at luftboblene må ha en diameter på omtrent 0,05 mm for å være effektive til å motstå frost- og tineskader i betongen [35].

Det ble, som vist i kapittel 5, målt luftinnhold i blandingene på henholdsvis 5%, 4,3%, 5,6% og 4,8%. Dette tyder på at bruk av gjenvunnet tilslag i betongproduksjonen ikke fører til noe avvik i forhold til luftinnholdet, hvor alle de ovennevnte luftinnholdene var større enn 4 % og samtidig ligger innenfor øvre og nedre grense som er anbefalt fra Statens Vegvesen. I tilfellet det er et utilstrekkelig luftinnhold i betongen, kan en bruke et tilsetningsstoff kalt «luftinnførende tilsetningsstoffer, *L-stoffer*» som hjelper med å danne nødvendige luftmengder i betong.

Blanding 1 og 2 er B35 betong, mens Blanding 3 og 4 er B55 betong. Dette betyr at blanding 1 og 2 er designet for å ha en trykkfasthet på 35 MPa, mens blanding 3 og 4 er designet for å ha en trykkfasthet på 55 MPa. Med utgangspunkt i tabell 7 i kapittel 5 er de gjennomsnittlige trykkfasthetene i blandingene med ulike herdeperioder vist i tabell 11 nedenfor.

Tabell 11 Trykkfasthet i betongblandingen (trykktest)

Blanding	1	2	3	4
Forventet	35 MPa	35 MPa	55 MPa	55 MPa
1 døgn	23,05	20,75	22,52	27,42
1 uke	41,4	41,39	42,72	51,25
28 dager	50,52	50,51	52,13	62,54

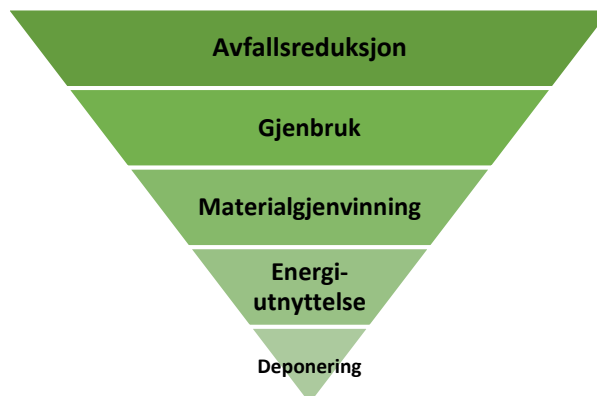
Verdiene som er presentert i tabellen viser at betongfastheten for alle blandingene var tilstrekkelige, hvor betongen har oppnådd de ønskede og forventede styrkene. I tillegg viser tabellen at fastheten har utviklet seg fint gjennom 4 uker. Denne utviklingen er i teorien samme som den for betongen laget med vanlig tilslag.

7.2 Miljømessig perspektiv

Betonggjenvinning anses generelt sett som et miljøvennlig tiltak til å behandle betongavfall og betongrester fra aktivitetene i byggeindustrien. Dette tiltaket kan ha både fordeler og ulemper i BBBs miljøstrategi. Hoved miljøfaktorene som påvirkes av hulldekkeskalkene i BBB er avfall, sementbruk, miljøforurensning, ressursknapphet og gjenbruk. Dette delkapitlet presenterer de ulike fordelene og ulempene for den foreslåtte gjenvinningsstrategien i BBB.

Hulldekkeskalkene betegnes som tungt avfall som er svært belastende å deponere. Derfor vil betonggjenvinning av hulldekkeskalkene bidra med at BBB reduserer mengden tungt avfall som sendes til deponifyllinger. I tillegg vil dette bidra med at BBBs miljøstrategi forbedres i form av et fornuftig bruk og utnyttelse av ressurser som er inneholdt i skalkene.

Betonggjenvinning i BBB vil kunne føre til mindre behov for vanlig tilslag. For når hulldekkeskalkene er gjenvunnet, blir det produsert tilslag som kan kompensere for vanlig/nytt tilslag som er produsert fra naturressurser som for eksempel fjellmasser. Den foreslåtte strategien vil kunne bidra med å forbedre to sentrale miljøbelastningsfaktorer, nemlig avfallsgenerering og ressursknapphet. Betonggjenvinning vil kunne føre til at BBB behandler hulldekkeskalkene på en mindre-miljøbelastende måte, samt at BBB får mulighet til å gjenbruke en del av ressursene/materialene istedenfor nye ressurser. Denne løsningen (gjenvinning) vil derfor kunne tilfredsstille de tre første prioriteringene i avfallshierarkiet/avfallstrekanten vist i figur 4, nemlig materialgjenvinning (lage nytt av brukt), gjenbruk (bruke ting om igjen) og avfallsreduksjon (lage mindre avfall). Dagens strategi er basert på deponi som finner sted lavest i avfallshierarkiet.



Figur 4 Avfallshierarkiet

BBB er ISO14001 sertifisert. Det vil si at BBBs miljøledelse og miljøstyringssystem er sertifiserte og kjennetegnes som gode. De jobber kontinuerlig med å produsere betongelementer med mindre belastning på miljøet. Det er altså mye fokus på å tilpasse elementene og produksjonsprosessen for å være miljøvennlige. Eksempelvis bygges elementene ved å bruke materialer som ikke er på A20-lista, altså materialer som ikke er helse- og miljøfarlige. I tillegg har BBBs betongelementer minimum 20% lavere CO₂-utslipp enn tilsvarende elementer. Dermed bidrar BBBs betongelementer med å tilfredsstille miljøkravene i BREEAM-NOR sertifisering som betyr at BBB bidrar med å bygge bærekraftige og fremtidsrettede bygninger.³²

BREEAM[®] NOR

Ulempen i forhold til miljøet med denne strategien er at ved bruk av gjenvunnet tilslag i BBB, vil det kanskje kreves en større mengde sement i betongproduksjonen. Tatt i betraktning at sement er et ikke-miljøvennlig produkt, kan bruk av gjenvunnet tilslag i betongproduksjonen betraktes som en miljøbelastende prosess i form av luftforurensning, hvor produksjonsprosessen til sement slipper ut CO₂-gass. I tillegg vil det i gjenvinningsprosessen kreves litt ekstra transport, som hovedsakelig er basert på å bruke fossilt brennstoff som blant annet diesel og bensin, noe som også er med å øke luftforurensningen. I de ulike betong-blandingene som er laget i forbindelse med masteroppgaven, ble det ikke brukt større mengder sement. Basert på undersøkelsene som er utført i kapittel 5, viste betongen seg for å kunne karakteriseres som fin og effektiv til tross for at det ble brukt samme mengde sement som i vanlig betong. Derfor er det usikkert å kunne anslå at det kreves større mengde sement ved bruk av gjenvunnet tilslag i betongproduksjonen. Dermed kan det foreslås at BBB gjennomfører grundigere undersøkelser og studier for å se om det er behov for større mengde sement i dette tilfellet, og eventuelt hvor mye. Aktørene i byggeindustrien satser og forsker på å finne en substitutt til sement som kan være mindre miljøbelastende, så denne miljøbelastningen vil i utgangspunktet ikke være betydningsfull på lang sikt.

Den foreslåtte strategien anses allikevel som miljøvennlig og bærekraftig, hvor hoved miljøgevinsten vil være å redusere mengden avfall som sendes til deponi, samt at det er mindre belastning på naturressursene. Det kan dermed trygt sies at gjenvinning av hulldekkeskalkene vil kunne forsterke BBBs miljøstrategi og renommé.

7.3 Økonomisk perspektiv

Den økonomiske vurderingen av den foreslåtte strategien er avhengig av prisene som Velde estimerer for begge prosessene presentert i kapittel 6. De anslåtte prisene fra Velde er forskjellige sammenlignet med dagens priser (deponi). For å vurdere om det er noen form for lønnsomhet, settes begge strategiene opp og sammenlignes. Sammenligningen er basert på å regne ut kostnadsdifferansen mellom de to strategiene for å se om det er en økonomisk nytte ved å benytte gjenvinningsstrategien istedenfor deponistrategien. Dette delkapittelet presenterer en økonomisk vurdering og sammenligning av de to strategiene.

Dagens strategi er som sagt basert på deponi og koster BBB 376 NOK per tonn hulldekkeskalker. Dermed er det, som vist i tabell 12 nedenfor, estimert årlige deponikostnader på ca. 2,2 millioner norske kroner. I 2018 ble det generert 5100 tonn hulldekkeskalker, og dermed kostet deponiprosessen ca. 1,92 millioner norske kroner.

Tabell 12 Kostnader av dagens strategi (deponi)

Vekt av hulldekke (Gj.snitt)	2430,00	Kg/m ³
Tykkelse av hulldekke (Gj.snitt)	0,30	m
Totalt areal av hulldekkeskalker	8000,00	m ² /år
Estimert vekt av hulldekkeskalkene	5832,00	Tonn/år
Hulldekkeskalker i 2018	5100,00	Tonn
Pris på deponi (NOK/per tonn)	NOK 376,00	
Deponikostnader (dagens strategi):		
Estimert årlig	NOK 2 192 832,00	
2018	NOK 1 917 600,00	

Beregningen av kostnadsdifferansen mellom dagens strategi og den foreslåtte strategien er basert på de anslåtte prisene, og hvor mye tilslag av de ulike fraksjonene Velde klarer å produsere fra hulldekkeskalkene. For å se på kostnadsdifferansen i dette tilfellet, ble det laget en økonomisk modell i Excel som viser de totale kostnadene av begge strategiene og hvilken kostnadsdifferanse det er mellom strategiene. Modellen er presentert i vedlegg VI «Beregning av kostnadsdifferanse i Excel», og viser de totale kostnadene og kostnadsdifferansen for hver

prosess i den foreslåtte strategien. Prosess 1 dreier seg om å behandle hulldekkeskalkene, mens prosess 2 dreier seg om å produsere tilslaget og leverer det til BBB-fabrikken.

Kostnadsdifferansene er basert på at prosess 1 sammenlignes med dagens strategi (deponi), mens prosess 2 er basert på hvor mye tilslag Velde klarer å produsere fra hulldekkeskalkene. Ettersom disse mengdene vil kompensere for en del av det vanlige tilslaget som brukes i betongproduksjonen i BBB-fabrikken. Eksempelvis vil 1 tonn gjenvunnet 8-16mm-tilslag (pris = 218 NOK/tonn) kompensere for 1 tonn vanlig 8-16mm-tilslag (pris = 160 NOK/tonn), og dermed vil dette resultere i en kostnadsdifferanse på $218 - 160 = 58$ NOK/tonn.

Excel-modellen regner ut den totale kostnadsdifferansen, og er basert på følgende:

- **Prosess 1:** Velde har estimert en pris på 631 NOK per tonn hulldekkeskalker for knusing og gjenvinning, mens dagens strategi er basert på deponi og koster 376 NOK per tonn hulldekkeskalker. Dermed blir de totale kostnadene av begge strategiene som vist i tabell 13 nedenfor.

Tabell 13 totale kostnader i prosess 1 i begge strategiene

	Deponi	Gjenvinning (Velde)
Pris	376 NOK/tonn	631 NOK/tonn
Hulldekkeskalker	5832 tonn per år	
Totalt	376 NOK/tonn x 5832 tonn = <u>2 192 832 NOK</u>	631 NOK/tonn x 5832 tonn = <u>3 679 992 NOK</u>

- **Prosess 2:** I dette tilfellet er det tatt et utgangspunkt i at Velde klarer å gjenvinne 100% av hulldekkeskalkene. Det ble estimert at ved å gjenvinne 1 tonn hulldekkeskalker, blir det produsert 0,35 tonn 2-5mm-tilslag, 0,35 tonn 5-8mm-tilslag og 0,30 tonn 8-16mm-tilslag. Dette føler til at ved å anta at det genereres 5832 tonn hulldekkeskalker i året, blir det produsert følgende mengder gjenvunnet tilslag per år:
 - 2-5mm tilslag: $0,35 \times 5832 = 2041,2$ tonn.
 - 5-8mm tilslag: $0,35 \times 5832 = 2041,2$ tonn.
 - 8-16mm tilslag: $0,30 \times 5832 = 1749,6$ tonn.

Med de anslåtte prisene, vil disse mengdene gi totale kostnader som vist i tabell 14.

Tabell 14 Totale kostnader i prosess 2 i begge strategiene

	Vanlig	Gjenvunnet
2 - 5 mm tilslag	2041,2 tonn x 131 NOK/tonn = <u>267 397,20 NOK</u>	2041,2 tonn x 100 NOK/tonn = <u>204 120,00 NOK</u>
5 - 8 mm tilslag	2041,2 tonn x 239 NOK/tonn = <u>487 846,80 NOK</u>	2041,2 tonn x 100 NOK/tonn = <u>204 120,00 NOK</u>
8 - 16 mm tilslag	1749,6 tonn x 218 NOK/tonn = <u>381 412,80 NOK</u>	1749,6 tonn x 160 NOK/tonn = <u>279 936,00 NOK</u>
Totalt	<u>1 136 656,80 NOK</u>	<u>688 176,00 NOK</u>

Tabell 13 og 14 ovenfor gir et grunnlag for å kunne estimere den årlige kostnadsdifferansen. Som vist i Excel-modellen (vedlegg IV) er det estimert en årlig kostnadsdifferanse på ca. **-1,49 millioner NOK** i prosess 1, og **+0,45 millioner NOK** i prosess 2. Dette gir en total estimert årlig kostnadsdifferanse på ca. **- 1,04 millioner NOK**. Hvis det tas et utgangspunkt i at i 2018 ble det generert 5100 tonn hulldekkeskalker, hadde den totale kostnadsdifferansen som vist i Excel-modellen vært på ca. **-0,9 millioner NOK** i 2018.

Beregningen viser at prosess 1 i den foreslåtte strategien (gjenvinning) er mye dyrere enn dagens strategi (deponi), mens prosess 2 gir en besparelse hvis BBB velger å erstatte en del av det vanlige tilslaget med det gjenvunnede tilslaget. Dermed bør BBB forhandle med Velde og prøve å redusere prisen på prosess 1 for å oppnå en økonomisk nytte av denne strategien.

8 Konklusjon

Formålet med denne masteroppgaven var hovedsakelig å vurdere en miljøvennlig løsning til å behandle hulldekkeskalkene i BBB-fabrikken. Skalkene behandles ved å sendes til deponi per i dag. Deponi anses som miljøbelastende ettersom skalkene er betongavfall som betegnes som tungt avfall. Den foreslåtte løsningen er basert på gjenvinning av disse skalkene som i prinsipp anses som ikke-miljøbelastende. Etter diskusjon med BBB ble det enighet om å se på muligheten til å utvikle et samarbeid med Velde (BBBs leverandør av materialer). Det ble derfor foreslått en gjenvinningsstrategi som går ut på at Velde henter hulldekkeskalkene for så å knuse/gjenvinne dem og produsere tilslag som blir levert til BBB, slik at det kan brukes i betongproduksjonen. Denne strategien ble vurdert basert på et teknisk, miljømessig og økonomisk perspektiv.

Tidligere forskningsprosjekter som blant annet RESIBA og RESGRAM har vist at det er fullt mulig å bruke resirkulert og gjenvunnet tilslag i betongproduksjonen. Betongen laget ved bruk av disse materialene forventes å være effektiv og brukbar selv om den til enhver tid trenger små justeringer og tilpasninger i forhold til materialebestemmelser og proporsjonering. I tillegg viser forskningen at gjenvinning og resirkulering av betongavfall bidrar med å redusere miljøbelastning som for eksempel at mindre tungt avfall blir sendt til deponifyllinger. Nyere forskning gir stadig lovende resultater, noe som har ført til at miljødirektoratet har valgt å lette på kravene for gjenvinning og gjenbruk av betong [36]. Gjenbruk av materialer som er inneholdt i betongavfallet vil kunne bidra med lavere materialkostnader, noe som kan gjenspeile en god økonomi. Derimot vil gjenvinnings- og resirkuleringsprosessene kunne bidra med ekstra kostnader som blant annet transportkostnader, noe som kan svekke lønnsomheten.

Den tekniske vurderingen i oppgaven var basert på noen undersøkelser for å kunne studere det gjenvunnede tilslaget og betongen som er laget med dette tilslaget. Undersøkelsene har stort sett gitt tilfredsstillende resultater, som er ansett som lovende for BBB. Det ble oppdaget noen små utfordringer i forhold til bruk av gjenvunnet tilslag i sterkere betong, men det forventes at med en god kompetanse og tilpasning av det gjenvunnede tilslaget i betongproduksjonen, vil BBB kunne oppnå en betong som er tilfredsstillende. Det kan godt konkluderes med at betong laget med gjenvunnet tilslag kan ha tilfredsstillende tekniske egenskaper.

Den miljømessige vurderingen var tilfredsstillende og ga en lovende miljøgevinst i form av bedre avfallshåndtering og ressursbruk. Avfallsproduksjonen anses som hovedutfordringen i byggeindustrien og derfor vil betonggjenvinning av hulldekkeskalkene i BBB bidra med å redusere påvirkningen av denne utfordringen. I tillegg er betonggjenvinning med å redusere belastningen på naturressursene, noe som på lang sikt vil redusere mangel på ressurser(tilslag). Det er en eventuell miljøutfordring som ikke ble tatt med i oppgaven, nemlig CO₂-utslipp og luftforurensning dersom bruk av gjenvunnet tilslag krever større mengder sement.

Den økonomiske vurderingen ble basert på å dele den foreslåtte gjenvinningsstrategien i to prosesser. Den ene er henting og gjenvinning av hulldekkeskalkene og den andre er å produsere og levere det gjenvunnede tilslaget. Den første prosessen ble sammenlignet med dagens strategi som er basert på deponi, og den andre ble sammenlignet med kjøp av tilslag. I forbindelse med masteroppgaven har Velde anslått en pris i prosess 1 på 631 NOK/tonn hulldekkeskalk, mens dagens strategi (deponi) koster 376 NOK/tonn hulldekkeskalk. Velde har i teorien kapasitet til å gjenvinne 100% av hulldekkeskalkene og kan klare å produsere tilslag med fraksjoner på 2-5mm, 5-8mm og 8-16 mm. Prisen på disse fraksjonene er anslått på henholdsvis 100 NOK/tonn, 100 NOK/tonn og 160 NOK/tonn, mens prisen på vanlig tilslag er på henholdsvis 131 NOK/tonn, 239 NOK/tonn, 218 NOK/tonn. Basert på disse faktorene ble det estimert en årlig kostnadsdifferanse på ca. -1,49 millioner NOK i prosess 1 og ca. +0,45 millioner NOK i prosess 2. Dette ga en estimert total årlig kostnadsdifferanse på ca. **-1,04 millioner NOK**. Derfor konkluderes det med at den foreslåtte strategien med de gitte prisene ikke kan bidra med en økonomisk lønnsomhet for BBB.

Det kan konkluderes med at denne masteroppgaven har gitt et godt startpunkt for BBB til å utvikle et samarbeid med Velde for å gjenvinne hulldekkeskalkene. BBB satser på å ta dette videre og fortsette å realisere denne løsningen, ettersom det bidrar med betydningsfulle tiltak til å redusere miljøbelastningen. Dette vil også skape et godt renommé for BBB og håpet er da at det smitter over i byggeindustrien, slik at det blir mer satsning på å utvikle byggeaktiviteter som er mindre miljøbelastende og fremmer bærekraft.

Perspektivering og videre arbeid

I den tekniske delen, bør BBB jobbe videre med å tilpasse bruk av gjenvunnet tilslag i betongproduksjonen. Det vil si å tilpasse materialmengdene som blant annet vann og sement, for å unngå feil dosering av materialer i betongblandingen. Det er også viktig å presisere og studere hvor mye gjenvunnet tilslag som kan brukes i betong i de forskjellige fasthetsklassene uten å svekke dens egenskaper. Dette kan gjøres ved å utføre undersøkelser i større skala. Eksempelvis kan BBB lage og teste noen betongelementer laget med gjenvunnet tilslag. Dette vil gi et klarere bilde av hvor effektivt og praktisk det er å bruke gjenvunnet tilslag i betongproduksjonen. I tillegg er det nødvendig å studere effektiviteten av gjenvinningsstrategien i Velde. I teorien vil de klare å gjenvinne 100% av skalkene for å produsere gjenvunnet tilslag. Spørsmålet er om dem klarer å få til 100% i praksis også.

I den miljømessige vurderingen oppfordres BBB til å finne ut hvordan sementbehovet endrer seg under bruk av gjenvunnet tilslag i betongproduksjonen, slik at de klarer å studere luftforurensingen i dette tilfellet. I tillegg oppfordres de til å ta hensyn til at transport kan bidra med luftforurensning ved bruk av tradisjonelle transportmidler som bruker fossilt brennstoff. Det foreslås derfor at BBB gjennomfører grundigere undersøkelser for å studere miljøbelastningen ved bruk av gjenvunnet tilslag i betongproduksjonen med tanke på sementbruk og gassutslipp under transportprosessene.

I den siste vurderingen som innebærer økonomi, bør BBB i lag med Velde prøve å finne en pris som bidrar til økonomisk nytte i bedriften. For hulldekkeskalkene blir ansett som en tapt ressurs som kan brukes til å forbedre økonomien i bedriften. Sist, men ikke minst foreslås det at BBB ser på andre muligheter til å gjenvinne disse skalkene. Det kan for eksempel vurderes et eventuelt samarbeid med andre aktører i markedet, eller vurdere å bygge et eget anlegg for gjenvinning hvis det lar seg gjøre.

Bildeliste

Bilde 1 Hulldekkeskalker i BBB	8
Bilde 2 Hulldekke.....	12
Bilde 3 Produksjon av hulldekke i BBB	14
Bilde 4 Hulldekkerester(20-100mm), Bilde 5 Resirkulert tilslag(10-20mm)	17
Bilde 6 Resirkulert tilslag(4-10mm), Bilde 7 Resirkulert tilslag(0-4mm)	18
Bilde 8 Sprøytebetong i Gaustadtrikken	23
Bilde 9 Bygningsblokk laget med 30% resirkulert tilslag.....	24
Bilde 10 gradering av tilslag	27
Bilde 11 Betongresirkulering	28
Bilde 12 Gjenvunnet tilslag før oppvarming, Bilde 13 Gjenvunnet tilslag etter oppvarming	35
Bilde 14 Sikteanalyse	35
Bilde 15 Betongblanderen i BBB-fabrikken	36
Bilde 16 Abrams kjegle.....	37
Bilde 17 Betongutbredelse 1 (d_{f1}) for blanding 1, Bilde 18 Betongutbredelse 2 (d_{f2}) for blanding 1.....	37
Bilde 19 Luftporemåler, luftinnhold i blanding 1	38
Bilde 20 Innstøpte terninger fra blanding 1, Bilde 21 Trykktest-maskin	38
Bilde 22 Sementrester oppdaget på gjenvunnet tilslag	46
Bilde 23 Gjenvunnet tilslag, Bilde 24 Vanlig tilslag.....	47

Tabelliste

Tabell 1 Kjemiske innholdet i resirkulert tilslag	20
Tabell 2 Oversikt over prosjekter i RESIBA	22
Tabell 3 Overikt over sirkulære strategier i byggeaktiviteter.....	31
Tabell 4 Aktiviteter i en forretningsmodell	32
Tabell 5 Fuktinnhold i gjenvunnet tilslag	35
Tabell 6 Betongutbredelse for blandingene	37
Tabell 7 Målte trykkfastheter for blandingene	38
Tabell 8 Oversikt over stadiene i den foreslåtte sirkulære strategien.....	41
Tabell 9 De totale kostnadene av gjenvinningsstrategien	43
Tabell 10 Oversikt over ulike elementer i samarbeidet mellom BBB og Velde.....	45
Tabell 11 Trykkfasthet i betongblandingen (trykktest).....	49
Tabell 12 Kostnader av dagens strategi (deponi)	52
Tabell 13 totale kostnader i prosess 1 i begge strategiene	53
Tabell 14 Totale kostnader i prosess 2 i begge strategiene	54

Figurliste

Figur 1 Gjenvinningsprosessen av betongavfall	17
Figur 2 Illustrasjon av sirkulær økonomi	29
Figur 3 Diagram for den foreslåtte gjenvinningsstrategien mellom BBB og Velde	39
Figur 4 Avfallshierarkiet	50

Vedlegg

Vedlegg I Møtereferat	61
Vedlegg II Siktekurve av gjenvunnet (8-16 mm) tilslag	62
Vedlegg III Siktekurve av vanlig (8-16 mm) tilslag	63
Vedlegg IV Betongproporsjoner	64
Vedlegg V Betjeningsveiledning luftporemeter	68
Vedlegg VI Beregning av kostnadsdifferanse i Excel	70

Vedlegg I Møtereferat

Gjenbruk av HD skalkar
25/9-19

Til stede: Kjartan Eggebø, Velde
Ole Garborg Østrem, Block Berge
Taher Bastami, Student UiS

I forbindelse med ei masteroppgåve mellom Block Berge og UiS blei me einige om følgande:

- BBB sender eit lass med knust HD til Velde for sortering. Dei knuste massane er 0-100.
- Velde sender tilbake eit lass med 8-16 som BBB lagrar ute før det blir testa i betongen.
- Me vurderer om det er plass i oppgåva til å teste fleire fraksjonar
- Oppgåva skal uansett innehalde ei teoretisk berekning av fortene/kost ved bruk av fraksjonane 8-16, 4-16 og 0-16.
- Det skal bli nytta listepisar i oppgåva for å samanlikne kost for ny løysning vs dagens løysning.
- Taher sender ein kopi av den ferdige oppgåva til Velde
- Oppgåva blir open for alle.

I forbindelse med vidare samarbeid mellom BBB og Velde rundt temaet å gjenbruke knust HD blei me einige om følgande:

- Velde sender eit pristilbud til BBB per tonn levert HD. Dette inkluderer transport, deponi og knusing/sortering. All wire som ligg i HD-restane blir Velde sitt. Pris for å levere det knuste tilslaget kjem utanom.
- Dersom BBB akspeterar tilbudet kan BBB starte å levere HD restar i containere med ein gong. Det må dobbelsjekkes med Grunnservice om det finnes ei oppsigelsestid på dagens avtale.
- Containarane blir henta av Velde som returlass.
- *Det er uklart kven som stiller med sjølve containarane.*
- Det er ønskjeleg frå Velde si side at BBB brukar alle fraksjonar frå 0-16. Velde kan levere rein 8-16 også, men då til ein høgare pris per tonn.
- Det er einigheit om at fokuset fram mot jul blir masteroppgåva til Taher.

Vedlegg II Siktekurve av gjenvunnet (8-16 mm) tilslag



Kvalitetssikring

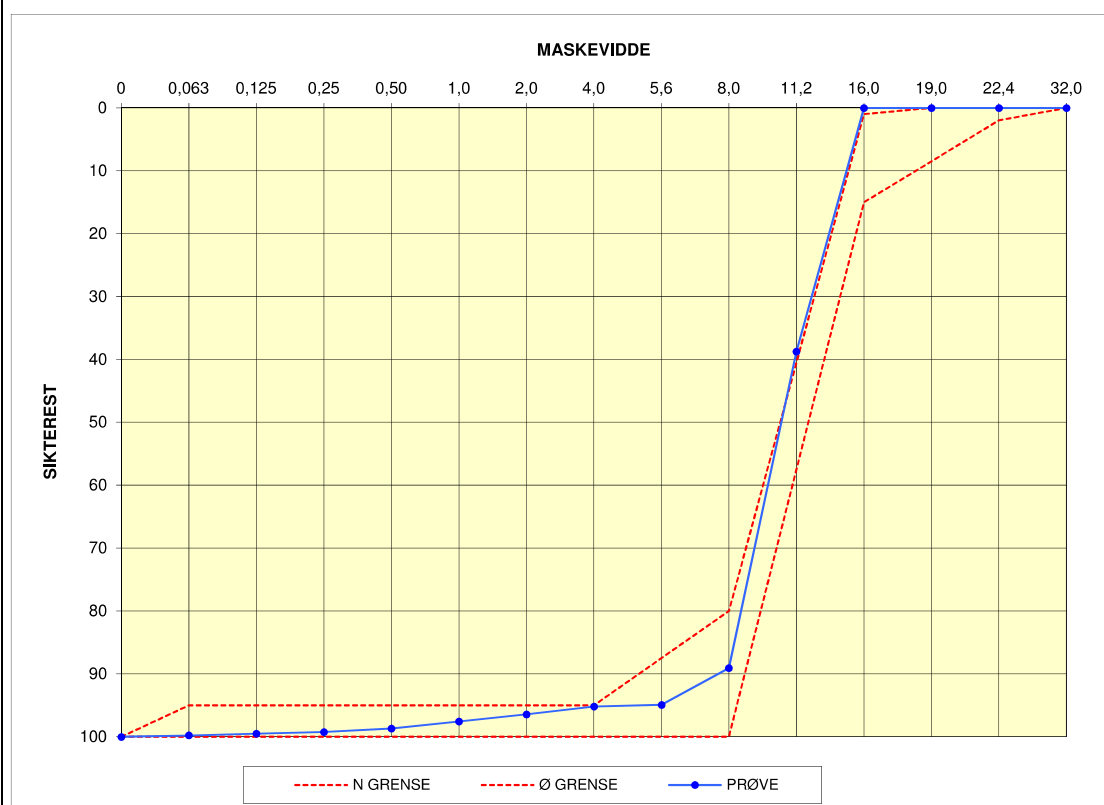
Avdeling	Blandå	Laga av	ÅB	Dato	06.07.2001
Nr	06.302	Revidert av	OGØ	Dato	27.06.2017
Type	Skjema	Godkjent	EL	Dato	27.06.2017
			Revisjon	5	Side
					1 av 1

KONTROLLSKJEMA FOR TILSLAG

PRØVENUMMER	1	HUMUS	0
DATO	20.11.2019	SLAM	0
HVOR UTTATT	Vekt BBB	KORNFORM	Pukk
PRODUKSJONSSTED	Kylles	ABSORBERT FUKT	0,23
VARENAMN	Velde 8-16 Gjvunnet	FRITT VANNINHOLD	3,86
		D MAKS	16

Våt vekt	2442,2	Tørr vekt	2346,3
Vekt pr sikt	2341,1	2334,5	2328,5
	2315,6	2288,9	2262,4
	2233,6	2226,9	2090,0
	909,0	0	0
	0	0	0
	0	0	0

SIKTER	0	0,063	0,125	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	19,0	22,4	32,0	FM
STANDARD	100	99,3	99,1	99,0	98,8	98,7	98,7	98,6	98,6	94,4	67,4	13,0	0,5	0,0	0,0	8,17
N GRENSE	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	57,5	15,0	8,5	2,0	0,0	8,33
Ø GRENSE	100	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	87,5	80,0	40,5	1,0	0,0	0,0	0,0	7,32
PRØVE	100	99,8	99,5	99,2	98,7	97,6	96,4	95,2	94,9	89,1	38,7	0,0	0,0	0,0	0,0	7,60
AVVIK	0,0	0,5	0,4	0,2	-0,1	-1,1	-2,3	-3,4	-3,7	-5,3	-28,7	-12,5	-0,5	0,6	0,0	
PR SJIKT	-0,5	0,1	0,2	0,3	1,0	1,1	1,1	0,3	1,6	23,3	-15,7	-12,5	-0,5	0,6	0,0	



Vedlegg III Siktekurve av vanlig (8-16 mm) tilslag

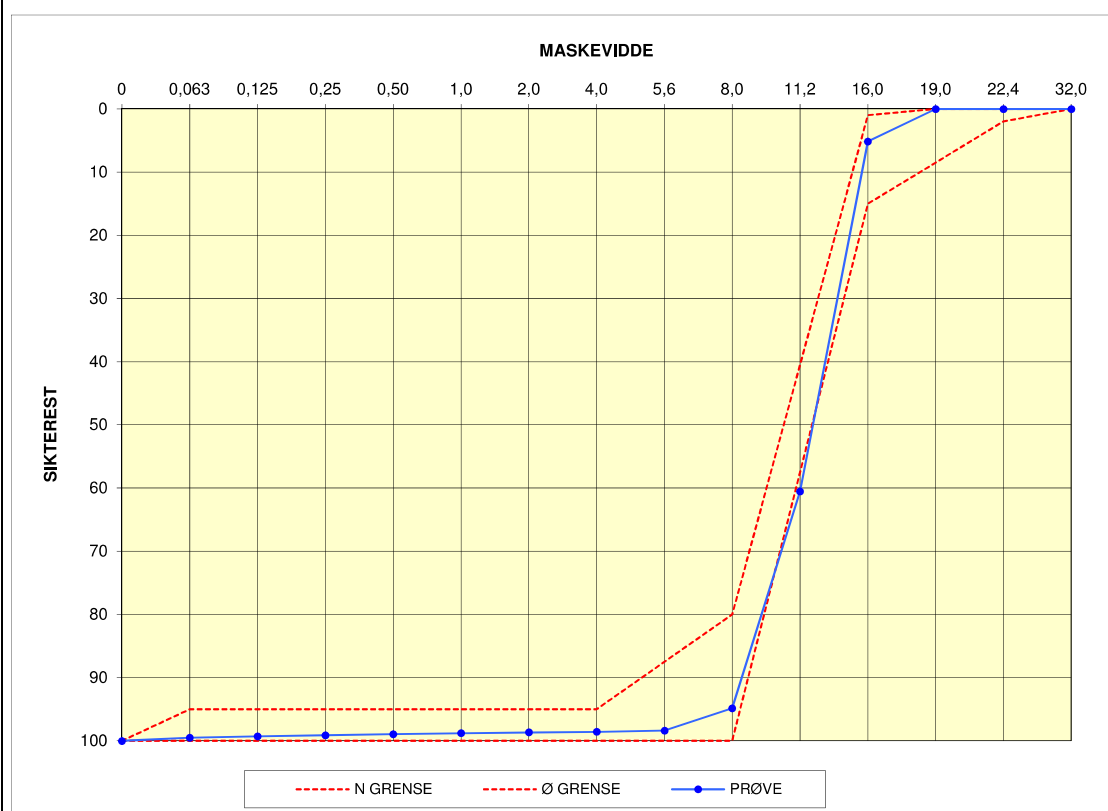


Kvalitetssikring

Avdeling	Blandå	Laga av	ÅB	Dato	06.07.2001
Nr	06.302	Revidert av	OGØ	Dato	27.06.2017
Type	Skjema	Godkjent	EL	Dato	27.06.2017
		Revisjon	5	Side	1 av 1

KONTROLLSKJEMA FOR TILSLAG

PRØVENUMMER	10		HUMUS	0												
DATO	01.11.2019		SLAM	0												
HVOR UTTATT	Vekt BBB		KORNFORM	Pukk												
PRODUKSJONSSTED	Kylles		ABSORBERT FUKT	0,23												
VARENAMN	Velde 8-16		FRITT VANNINHOLD	0,65												
			D MAKS	22,4												
Våt vekt	1739,0	Tørr vekt	1723,9													
Vekt pr sikt	1715,0	1711,8	1708,7	1705,6	1702,9	1700,7	1699,2	1696,0	1634,9	1043,0	88,7	0	0	0		
SIKTER	0	0,063	0,125	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	19,0	22,4	32,0	FM
STANDARD	100	99,3	99,1	99,0	98,8	98,7	98,7	98,6	98,6	94,4	67,4	13,0	0,5	0,0	0,0	8,17
N GRENSE	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	57,5	15,0	8,5	2,0	0,0	8,33
Ø GRENSE	100	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	87,5	80,0	40,5	1,0	0,0	0,0	0,0	7,32
PRØVE	100	99,5	99,3	99,1	98,9	98,8	98,7	98,6	98,4	94,8	60,5	5,1	0,0	0,0	0,0	8,03
AVVIK	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	-0,2	0,4	-6,9	-7,4	-0,5	0,1	0,0	
PR SJIKT	-0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	-0,7	7,3	1,0	-7,4	-0,5	0,1	0,0	



Vedlegg IV Betongproporsjonering

Betongblanding 1:

Blanding 1		Receipt 803 Version 5 Gjenvunnet 5% B35MBDøck Berge Bygg AS	
Varenummer		Konsistens	660,00 mm
Miljøklasse	Moderat	Konsistenstabel	4
Eksponeringsklasse		Blandetid, sek.	200
Konsistensklasse		Tolerance vand/cement-tal	0,02
Styrkeklasse		Luftindhold	3,00 Volumen-%
Chloridindh.klasse	Cl 0,2	Proportioneringsenhet	Kilogram
Trykstyrke	35,0 MN/m ²	Fugtmåling skalafaktor	1,000
Skrivebeskyttelse	OFF	Effektfølsomhed ved 1000 kg	
Betonfamilie		Leveret i henhold til	NS-EN 206+NA:2017
Kontrolklasse			
<u>Beregninger</u>		Effektændring uden vandtilsætning	
Pris	239 kr/ton	Chargestørrelse korrektionskurve	
Densitet (våd)	2317 kg/m ³	Max. kornstørrelse	16 mm
Vand/cement-tal	0,540	Automatisk vandtilpasning	OFF
Vand/pulver-tal	0,540	Max. chargestørrelse	1,050 Kubikmeter
		Oprettet: 22.11.2019 12.34.42 / Ændret:	
<u>Blandeforløb</u>			
1	Doser [1] 1 0-2 Velde fin Sand		
2	Doser [1] 5 5-8 Velde Stein		
3	Doser [1] 6 8-16 Velde Stein		
4	Doser [1] 8 8-16 GjenvVelde Stein		
5	Vent [8] 1 s		
6	Doser [1] 50 Rapidsment Binde		
7	Doser [1] 51 Miljøsement Binde		
8	Vent [8] 10 s		
9	Doser [1] 99 Varmt vatn Vatn		
10	Fortsæt [7] 2 s		
11	Doser [1] 61 L - Air11 TSS		
12	Vent [8] 30 s		
13	Doser [1] 60 SP - Ease 5003 TSS		
14	Vent [8] 120 s		
15	Start tømning [13] 20 s - 10 s		
<u>Proportionering (Kilogram)</u>			
Materiale	% af gruppe	I alt	Værdi Kilogram AF-korr. Chloride Alkali
- Cement -			
50 Rapidsment Binde	60	198,0	198,0 (0,08%) 0,16 (1%) 1,98
51 Miljøsement Binde	40	100,0	132,0 330 132,0 (0,07%) 0,09 (0,85%) 1,12
- Vand -			
99 Varmt vatn Vatn	100	100,0	175,0 175 (0,67%) 1,17 (0,42%) 0,73
- Sten -			
5 5-8 Velde Stein	11,5		100,5
6 8-16 Velde Stein	78,1		682,6
8 8-16 GjenvVelde Stein	10,4	100,0	90,9 874
- Sand -			
1 0-2 Velde fin Sand	100	100,0	947,0 947
		Cementfiller	0,0
		Kilogram total	2326,0
- Additiv/Luftmiddel -			
	% af cement		Vand
60 SP - Ease 5003 TSS	0,773	2,55	1,86 (0,01%) 0,00 (2%) 0,05
61 L - Air11 TSS	0,4	1,32	1,31 (0,1%) 0,00
22.11.2019 12.34.49			Side 1

Betongblanding 2:

Blanding 2

Recept 804 Version 1 Gjenvunnet 100% B35 Blok Berge Bygg AS

Varenummer		Konsistens	660,00 mm
Miljøklasse	Moderat	Konsistenstabel	4
Eksponeringsklasse		Blandetid, sek.	200
Konsistensklasse		Tolerance vand/cement-tal	0,02
Styrkeklasse		Luftindhold	3,00 Volumen-%
Chloridindh.klasse	Cl 0,2	Proportioneringsenhed	Kilogram
Trykstyrke	35,0 MN/m ²	Fugtmåling skalafaktor	1,000
Skrivebeskyttelse	OFF	Effektfølsomhed ved 1000 kg	
Betonfamilie		Leveret i henhold til	NS-EN 206+NA:2017
Kontrolklasse			

Beregninger

Pris	221 kr/ton	Effektændring uden vandtilsætning	
Densitet (våd)	2317 kg/m ³	Chargestørrelse korrektionskurve	
Vand/cement-tal	0,540	Max. kornstørrelse	16 mm
Vand/pulver-tal	0,540	Automatisk vandtilpasning	OFF
		Max. chargestørrelse	1,050 Kubikmeter
		Oprettet: 25.11.2019 11.34.01 / Ændret:	

Blandeforløb

- 1 Doser [1] 1 0-2 Velde fin Sand
- 2 Doser [1] 5 5-8 Velde Stein
- 3 Doser [1] 8 8-16 GjenvVelde Stein
- 4 Vent [8] 1 s
- 5 Doser [1] 50 Rapidsement Binde
- 6 Doser [1] 51 Miljøsement Binde
- 7 Vent [8] 10 s
- 8 Doser [1] 99 Varmt vatn Vatn
- 9 Fortsæt [7] 2 s
- 10 Doser [1] 61 L - Air11 TSS
- 11 Vent [8] 30 s
- 12 Doser [1] 60 SP - Ease 5003 TSS
- 13 Vent [8] 120 s
- 14 Start tømning [13] 20 s - 10 s

Proportionering (Kilogram)

Materiale	% af gruppe	I alt	Værdi	Kilogram	AF-korr.	Chloride	Alkali
- Cement -							
50 Rapidsement Binde	60		198,0		198,0	(0,08%) 0,16	(1%) 1,98
51 Miljøsement Binde	40	100,0	132,0	330	132,0	(0,07%) 0,09	(0,85%) 1,12
- Vand -							
99 Varmt vatn Vatn	100	100,0	175,0	175		(0,67%) 1,17	(0,42%) 0,73
- Sten -							
5 5-8 Velde Stein	11,5		100,5				
8 8-16 GjenvVelde Stein	88,5	100,0	773,5	874			
- Sand -							
1 0-2 Velde fin Sand	100	100,0	947,0	947			
			Cementfiller	0,0			
			Kilogram total	2326,0			
- Additiv/Luftmiddel -							
	% af cement				Vand		
60 SP - Ease 5003 TSS	0,773		2,55		1,86	(0,01%) 0,00	(2%) 0,05
61 L - Air11 TSS	0,4		1,32		1,31		(0,1%) 0,00
		Kilogram recept total	2329,9		178,17	1,42	3,89

25.11.2019 12.05.42

Chargenr. 810292

Side 1

Betongblanding 3:

Blanding 3		M45				
Receipt 805 Version 2 Gjenvunnet 100% B55 M45 Kvik Berge Bygg AS						
Varenummer		Konsistens	660,00 mm			
Miljøklasse	Aggressiv	Konsistenstabel	4			
Ekspneringsklasse		Blandetid, sek.	200			
Konsistensklasse		Tolerance vand/cement-tal	0,02			
Styrkeklasse		Luftindhold	3,00 Volumen-%			
Chloridindh.klasse	Cl 0,2	Proportioneringsenhed	Kilogram			
Trykstyrke	55,0 MN/m ²	Fugtmåling skalafaktor	1,000			
Skrivebeskyttelse	OFF	Effektfølsomhed ved 1000 kg				
Betonfamilie		Leveret i henhold til	NS-EN 206+NA:2017			
Kontrolklasse		Effektændring uden vandtilsætning				
<u>Beregninger</u>		Chargestørrelse korrektionskurve				
Pris	245 kr/ton	Max. kornstørrelse	16 mm			
Densitet (våd)	2333 kg/m ³	Automatisk vandtilpasning	OFF			
Vand/cement-tal	0,425	Max. chargestørrelse	1,150 Kubikmeter			
Vand/pulver-tal	0,425	Oprettet: 28.11.2019 12.16.13 / Ændret:				
<u>Blandeforløb</u>						
1	Doser [1] 1 0-2 Velde fin Sand					
2	Doser [1] 5 5-8 Velde Stein					
3	Doser [1] 8 8-16 GjenvVelde Stein					
4	Vent [8] 1 s					
5	Doser [1] 50 Rapidsement Binde					
6	Doser [1] 51 Miljøsement Binde					
7	Vent [8] 10 s					
8	Doser [1] 99 Varmt vatn Vatn					
9	Fortsæt [7] 2 s					
10	Doser [1] 61 L - Air11 TSS					
11	Vent [8] 30 s					
12	Doser [1] 60 SP - Ease 5003 TSS					
13	Vent [8] 120 s					
14	Start tømning [13] 20 s - 10 s					
<u>Proportionering (Kilogram)</u>						
Materiale	% af gruppe	I alt	Værdi Kilogram AF-korr.	Chloride	Alkali	
- Cement -						
50 Rapidsement Binde	40		162,0	162,0	(0,08%) 0,13	
51 Miljøsement Binde	60	100,0	243,0	405	243,0	(0,07%) 0,17
- Vand -						
99 Varmt vatn Vatn	100	100,0	169,0	169	(0,67%) 1,13	(0,42%) 0,71
- Sten -						
5 5-8 Velde Stein	10		97,7			
8 8-16 GjenvVelde Stein	90	100,0	879,3	977		
- Sand -						
1 0-2 Velde fin Sand	100	100,0	752,0	752		
			Cementfiller	0,0		
			Kilogram total	2303,0		
- Additiv/Luftmiddel -						
	% af cement			Vand		
60 SP - Ease 5003 TSS	0,62		2,51	1,83	(0,01%) 0,00	(2%) 0,05
61 L - Air11 TSS	0,37		1,50	1,48		(0,1%) 0,00
		Kilogram recept total	2307,0	172,32	1,43	4,45
28.11.2019 12.21.28				Side 1		

Betongblanding 4:

Blanding 4

Receipt 806 Version 1 Gjenvunnet5%B55M4Block Berge Bygg AS

Varenummer		Konsistens	660,00 mm
Miljøklasse	Aggressiv	Konsistenstabel	4
Eksponeringsklasse		Blandetid, sek.	200
Konsistensklasse		Tolerance vand/cement-tal	0,02
Styrkeklasse		Luftindhold	3,00 Volumen-%
Chloridindh.klasse	Cl 0,2	Proportioneringsenhed	Kilogram
Trykstyrke	55,0 MN/m ²	Fugtmåling skalafaktor	1,000
Skrivebeskyttelse	OFF	Effektfølsomhed ved 1000 kg	
Betonfamilie		Leveret i henhold til	NS-EN 206+NA:2017
Kontrolklasse			

Beregninger

Pris	266 kr/ton	Effektændring uden vandtilsætning	
Densitet (våd)	2333 kg/m ³	Chargestørrelse korrektionskurve	
Vand/cement-tal	0,425	Max. kornstørrelse	16 mm
Vand/pulver-tal	0,425	Automatisk vandtilpasning	OFF
		Max. chargestørrelse	1,150 Kubikmeter
		Oprettet: 28.11.2019 13.54.31 / Ændret:	

Blandeforløb

- 1 Doser [1] 1 0-2 Velde fin Sand
- 2 Doser [1] 5 5-8 Velde Stein
- 3 Doser [1] 6 8-16 Velde Stein
- 4 Doser [1] 8 8-16 GjenvVelde Stein
- 5 Vent [8] 1 s
- 6 Doser [1] 50 Rapidsment Binde
- 7 Doser [1] 51 Miljøsement Binde
- 8 Vent [8] 10 s
- 9 Doser [1] 99 Varmt vatn Vatn
- 10 Fortsæt [7] 2 s
- 11 Doser [1] 61 L - Air11 TSS
- 12 Vent [8] 30 s
- 13 Doser [1] 60 SP - Ease 5003 TSS
- 14 Vent [8] 120 s
- 15 Start tømning [13] 20 s - 10 s

Proportionering (Kilogram)

Materiale	% af gruppe	I alt	Værdi Kilogram	AF-korr.	Chloride	Alkali
- Cement -						
50 Rapidsment Binde	40		162,0	162,0	(0,08%) 0,13	(1%) 1,62
51 Miljøsement Binde	60	100,0	243,0	405 243,0	(0,07%) 0,17	(0,85%) 2,07
- Vand -						
99 Varmt vatn Vatn	100	100,0	169,0	169	(0,67%) 1,13	(0,42%) 0,71
- Sten -						
5 5-8 Velde Stein	10		97,7			
6 8-16 Velde Stein	81,1		792,3			
8 8-16 GjenvVelde Stein	8,9	100,0	87,0	977		
- Sand -						
1 0-2 Velde fin Sand	100	100,0	752,0	752		
			Cementfiller	0,0		
			Kilogram total	2303,0		
- Additiv/Luftmiddel -						
	% af cement			Vand		
60 SP - Ease 5003 TSS	0,62		2,51	1,83	(0,01%) 0,00	(2%) 0,05
61 L - Air11 TSS	0,37		1,50	1,48		(0,1%) 0,00

28.11.2019 13.55.13

Chargenr. 811112

Side 1

Vedlegg V Betjeningsveiledning Luftporemåler



BETJENINGSVEILEDNING

FTS - LUFTPOREMÅLER B 2020 8 LITER FOR BETONG

PROVEPROSEDYRE:

1. Bøtten (pos. 8) fylles helt opp med betong, dvs. 8 ltr, og komprimeres/vibres iht. NS-EN 12350-7. Enklest er komprimering med stikkstang og beskrives kort her : Beholderen fylles helt opp med betong i tre like tykke lag. Hvert lag bearbeides med 25 støt av stikkstangen jevnt fordelt på overflaten av hvert lag. Hver bearbeiding avsluttes med 10 - 15 slag med gummiklubbe. Overflaten avrettes med stikkstangen i flukt med bøttekanten.
 2. Rengjør bøttekanten med svamp e.l.
 3. Overdelen (pos. 4) monteres på bøtta og klemmes fast med hurtigklemmene (pos. 7).
 4. Lukk opp begge kuleventilene (pos. 5 og 6). Ved hjelp av en sprøyteflaske eller trakt fylles det på vann gjennom en av kuleventilene inntil det kommer ut vann fri for luftbobler gjennom den andre kuleventilen.
 5. Justeringsventilen (pos. 3.) skal være lukket. Skru løs luftpumpehåndtaket. Pump opp trykket inntil manometervisere (med urviser) står ca. 10 mm forbi det røde justeringsmerket. Reguler trykket ved å skru forsiktig opp justeringsventilen (pos. 3) inntil manometervisere står eksakt over det røde justeringsmerket. (Hvis viseren skulle gå forbi justeringsmerket, pump opp litt trykk på nytt.)
 6. Lukk igjen begge kuleventilene.
 7. Fra det røde justeringsmerket starter nå testen. Trykk ned hevarm (pos 2) i ca. 20 sek. inntil manometervisere faller til ro, samtidig som det kakes lett på manometeret med fingertuppen. P.S. Når hevarmen trykkes ned, slippes luften fra trykkammeret ned i bøtta, og trykket utjevnes.
 8. Luftmengden i prosent leses direkte av på manometeret. Prøvingen er nå ferdig.
 9. Kuleventiler åpnes forsiktig slik at lufttrykket i bøtta går ut.
 10. Overdelen tæs av, og hevarm trykkes ned slik at resttrykket blåser ut eventuelt sementslam.
 11. Bøtta tømmes. Overdelen og bøtta rengjøres og tørkes. Rengjør gjerne med en oppvaskbørste og litt vann, og med en gang.
- Når bøtten skal tømmes for betong skal den ikke snus på hodet og slås ned i pukken. Dette vil føre til hakk i bøttekanten, og den vil ikke holde tett lenger. Hvis du uheldigvis skulle få hakk i bøttekanten nytter det ikke å stramme klemmene mer, det vil bare ødelegge dem. Leverandør må kontaktes.
- HUSK :** B2020 er ingen ubåt. Det er et måleinstrument for betong.

Skf. 01.01.14

Servi Hydranor AS
TEL. 64 97 97 97 post@servi.no

1



MÅLEREN SKAL MED JEVNE MELLOMROM KALIBRERES.

1. Bøtta fylles med vann. Luftblærene røres ut med stikkstang.
2. Kalibreringsrøret (det rette røret, pos. 19 i deliste) stikkes eventuelt bankes forsiktig fast i kanalen til en av kuleventilene på undersiden av overdelen. Det er montert riktig, hvis røret stikker ned i bøtta når overdelen monteres. **NB ! Husk på hvilken side det rette røret er montert.**
3. Begge kuleventiler åpnes, og overdelen monteres på bøtta og klemmes fast med hurtigklemmene.
4. Ved hjelp av en sprøyteflaske eller trakt fylles det på vann gjennom den kuleventilen hvor det rette røret er montert, inntil det kommer ut vann fri for luftbobler gjennom motstående kuleventil. **NB ! Det er viktig at det fylles på vann gjennom den kuleventilen som er i forbindelse med det rette kalibreringsrøret (som er montert på undersiden), slik at luften kan unngå ut gjennom den motstående åpne ventilen.**
5. Det krumme kalibreringsrøret (pos. 12 i deliste) skrues fast i den kuleventilen som er i forbindelse med det rette røret. Det skal nå være forbindelse mellom det krumme og rette kalibreringsrøret via kuleventilen.
6. Justeringsventilen (pos. 3) skal være lukket.
7. Skru løs luftpumpehåndtaket. Pump opp trykket inntil manometervisere (med urviser) står ca. 10 mm forbi det røde justeringsmerket. Reguler trykket ved å skru forsiktig opp justeringsventilen inntil manometervisere står eksakt over det røde justeringsmerket.
8. Lukk begge kuleventiler.
9. Det skal nå tappes ut nøyaktig 400 ml vann. Plasser en 500 ml målesylinder (ev. kan 250ml brukes) under det krumme kalibreringsrøret. Lukk opp den kuleventilen, hvor det krumme kalibreringsrøret er montert. Trykk ned hevarm inntil 400 ml vann er tappet ut i målesylinderen. Det kan være nødvendig å etterpump for å få ut 400 ml. På slutten av uttappingen er det enklest å tappe ut den eksakte vannmengden ved å åpne og lukke kuleventilen.
10. **Viktig!** Lukk forsiktig opp den kuleventilen uten påskrudde rør, slik at resttrykket går ut av bøtta. Det skal nå ikke være noe trykk i bøtta. Om det skulle være et resttrykk igjen i trykkammeret i overdelen (vises på manometeret) så har det ingen betydning.
11. Lukk nå også forsiktig opp den andre kuleventilen, hvor kalibreringsrørene er montert. Nå skal begge kuleventiler være åpne.
12. Lukk igjen begge kuleventiler.
13. Pump opp trykket inntil manometervisere står ca. 10 mm forbi det røde justeringsmerket. Reguler trykket ved å skru forsiktig opp justeringsventilen inntil manometervisere står eksakt over det røde justeringsmerket.

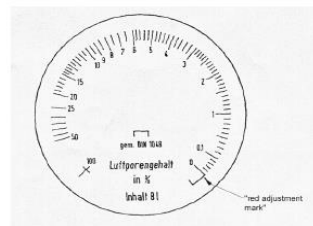
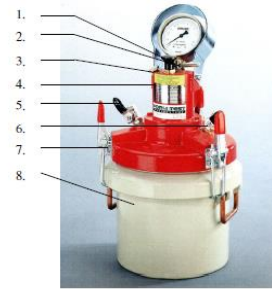
Skf. 01.01.14

Servi Hydranor AS
TEL. 64 97 97 97 post@servi.no

3



- POS. 1 LUFTPUMPE
- POS. 2 HEVARM-VENTIL
- POS. 3 JUSTERINGSVENTIL
- POS. 4 OVERDEL
- POS. 5 KULEVENTIL
- POS. 6 KULEVENTIL
- POS. 7 HURTIGKLEMMER
- POS. 8 BØTTE



KALIBRERINGSPROSEDYRE

Skf. 01.01.14

Servi Hydranor AS
TEL. 64 97 97 97 post@servi.no

2



14. Trykk ned hevarm i ca. 20 sek. og inntil manometervisere faller til ro, samtidig som det bankes lett på manometeret. Viseren skal nå vise 5 %, og måleren er da korrekt (5 % av 8ltr. = 400 ml).
15. Lukk forsiktig opp den kuleventilen uten påskrudde rør, slik at resttrykket går ut av bøtta. Lukk deretter opp den kuleventilen, hvor kalibreringsrørene er montert.

HVIS MANOMETERET IKKE VISER 5%, FORTSETT KALIBRERINGS PROSEDYREN SOM FØLGER:

16. Skru av det krumme kalibreringsrøret.
17. Ta av bøtta og fyll opp bøtta med vann som beskrevet under pkt. 1. Det rette røret er fremdeles montert på. Sett på overdelen igjen, som beskrevet under pkt. 3. Fortsett som beskrevet under pkt. 4, 6, 7 og 8. NB ! Det krumme kalibreringsrøret skal ikke monteres.
18. Trykk ned hevarm (pos. 2) i ca. 20 sek. inntil manometervisere faller til ro, samtidig som det bankes forsiktig på manometeret. Viseren skal nå stoppe på skalastreken "0".
19. Hvis viseren ikke viser "0" må viseravstanden mellom det "røde justeringsmerket og "0"-merking forskyves til venstre eller høyre ved å flytte det røde justeringsmerket. Manometers frontring skrues sammen med glasset. (Det kan være nødvendig å ta av manometerbeskyttelsen.) Det "røde justeringsmerket" kan nå forskyves.
20. Lukk først forsiktig opp den kuleventilen uten kalibreringsrøret, og deretter kan den andre kuleventilen åpnes.
21. Videre prosedyre som under pkt. 4, 6, 7 og 8.
22. Trykk ned hevarm (pos. 2) som beskrevet under pkt. 17. Kontroller om viseren står på skalastreken "0". Monter frontring med manometerglass.
23. Gjenta kalibreringen, som beskrevet under pkt. 1-14.

JUSTERING AV MANOMETERSKALA

Hvis manometeret ikke viser 5% etter kalibreringen som overfor beskrevet under pkt. 1-22 må manometerskalaen også justeres.

Hvis manometeret f.eks. viser 4 %, fjernes plastikkproppen på baksiden av manometeret, og ved hjelp av medleverte firkantnøkkel stilles manometervisere slik at viseren står eksakt på 5 %. Plastikkproppen settes tilbake.

KALIBRERINGEN GJENTAS.

Skf. 01.01.14

Servi Hydranor AS
TEL. 64 97 97 97 post@servi.no

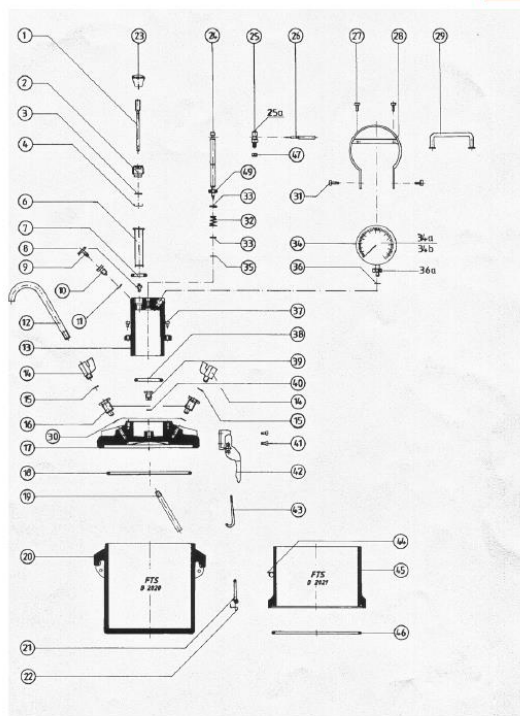
4

Resevedelsliste for FTS B2020 Luftporemåle 8 ltr		
Pos.	Art.nr	Artikkelbeskr pr språk
	A2501-2020/201	Topp
	A2501-2020/001	Påkingssett består av A2501-2020/04, 07, 08, 18, 38 & 40
	A2501-2020/003	Kalibreringssett bestående av: rett rør, krummet rør og trekantnøkkel
Pos 1	A2501-2020/01	Pumpestang
Pos 2	A2501-2020/02	Føringfflens
Pos 4	A2501-2020/04	Pumpepakning
Pos 3	A2501-2020/041	Holder for pumpepakning
Pos 6	A2501-2020/06	Pumperør til FTS luftporemåler B2020
Pos 7	A2501-2020/07	O-ring Ø22 x1,5mm for pumperør
Pos 8	A2501-2020/08	Tilbakeslagsventil
Pos 9	A2501-2020/09	Justeringskrue
Pos 10	A2501-2020/10	Justeringsventil
Pos 14	A2501-2020/14	Venstre kuleventil
Pos 14	A2501-2020/141	Høyre kuleventil
Pos 15	A2501-2020/15	Flatpakning
Pos 16	A2501-2020/16	Overgang
Pos 18	A2501-2020/18	O-ring Ø220 x 4mm
Pos 20	A2501-2020/20	Bette
Pos 23	A2501-2020/23	Pumpehåndtak
Pos 24	A2501-2020/24	Spindel
Pos 25	A2501-2020/25	Hevarmbolt
Pos 25a	A2501-2020/251	Stift
Pos 26	A2501-2020/26	Hevarm
Pos 28	A2501-2020/28	Bayle
Pos 29	A2501-2020/29	Bærehåndtak
Pos 30	A2501-2020/30	O-ring Ø10 x 2mm for overgang
Pos 32	A2501-2020/32	Fjær
Pos 33	A2501-2020/33	Skive
Pos 34	A2501-2020/34	Manometer
Pos 34a	A2501-2020/341	Manometerglass
Pos 35	A2501-2020/35	Sikring
Pos 36	A2501-2020/36	Gummipakning 16,5 x 6 x 6mm for manometer
Pos 36a	A2501-2020/36A	Mutter
Pos 38	A2501-2020/38	O-ring Ø74 x 2,5mm
Pos 39	A2501-2020/39	Ventilbøtte
Pos 40	A2501-2020/40	Gummitettning 16,5 x 4 x 4,5mm
Pos 42	A2501-2020/42	Håndklemme
Pos 43	A2501-2020/43	Krokbylle
	A2501-2020/42K	Hurtigklemme kpl. bestående av håndklemme, krokbylle, tverrbolt og 4 muttere
Pos 49	A2501-2020/49	O-ring 8 x 2mm

SKL 01.01.14

Servi Hydranor AS
 TF. 64 97 97 97 post@servi.no

5



SKL 01.01.14

Servi Hydranor AS
 TF. 64 97 97 97 post@servi.no

6

Vedlegg VI Beregning av kostnadsdifferanse i Excel

Beregning av kostnadsdifferansen mellom dagens strategi (deponi) og den foreslåtte strategien (gjenvinning)

Strategien inneholder to økonomiske prosesser. Den ene er at velde henter og knuser huldekkeskalkene og den andre er at BBB kjøper og får levert det gjenvunnede tilslaget.

Prosess 1: Henting og knusing av huldekkeskalkene: Dagens pris som er basert på deponi er 376 NOK per tonn huldekkeskalker (rødt felt), mens prisen på å hente og knuse skalkene er Velde er anslått til 631 NOK per tonn huldekkeskalker (grønt felt).

Prosess 2: Kjøp og leveranse av tilslag: Hvis BBB velger å benytte det gjenvunnede tilslaget i betongproduksjonen, vil det kompensere for en del vanlig tilslag. Dermed vil bruk av gjenvunnet tilslag fra huldekkeskalkene kunne gi forskjellige kostnader. Prisen på gjenvunnet tilslag er anslått som vist i gule felt nedenfor. Prisen på det vanlige tilslaget er Velde sin liste pris (oransje felt).

Beregning av kostnadsdifferansen mellom dagens strategi og den foreslåtte strategien er basert på de anslåtte prisene og hvor mye tilslag av de

Vekt av huldekke (Gj.snitt)	2430,00 Kg/m ³
Tykkelse av huldekke (Gj.snitt)	0,30 m
Totalt areal av huldekkeskalker	8000,00 m ² /år

Estimert årlig vekt av huldekkeskalkene	5832,00 Tonn/år
Huldekkeskalker i 2018	5100,00 Tonn

Tilslag produsert av 1 tonn huldekkeskalker:

2 - 5 mm (Fin sand)	0,35 Tonn
5 - 8 mm (Stein)	0,35 Tonn
8 - 16 mm (stein)	0,30 Tonn

Priser av å knuse huldekkeskalkene (per tonn):

Dagens strategi (deponi)	NOK 376,00
Velde (Gjenvinning)	NOK 631,00

Priser på tilslag fra Velde (NOK/ tonn):

	Vanlig	Gjenvunnet
2 - 5 mm	NOK 131,00	NOK 100,00
5 - 8 mm	NOK 239,00	NOK 100,00
8 - 16 mm	NOK 218,00	NOK 160,00

Estimert årlig kostnadsdifferanse i prosess 1	
Dagens strategi (deponi)	NOK 2 192 832,00
Velde (Gjenvinning)	NOK 3 679 992,00
Differanse 1	-NOK 1 487 160,00

Estimert årlig kostnadsdifferanse i prosess 2	
Vanlig tilslag	NOK 1 136 656,80
Gjenvunnet tilslag	NOK 688 176,00
Differanse 2	NOK 448 480,80

Kostnadsdifferansen i prosess 1 i 2018	
Dagens strategi (deponi)	NOK 1 917 600,00
Velde (Gjenvinning)	NOK 3 218 100,00
Differanse 1 (2018)	-NOK 1 300 500,00

Kostnadsdifferanse i prosess 2 i 2018	
Vanlig tilslag	NOK 993 990,00
Gjenvunnet tilslag	NOK 601 800,00
Differanse 2 (2018)	NOK 392 190,00

Estimert årlig kostnadsdifferanse	-NOK 1 038 679,20
--	--------------------------

Kostnadsdifferanse i 2018	-NOK 908 310,00
----------------------------------	------------------------

Referanser

- [1] BYGGEMILJØ. (2019, 05.FEBRUAR). HVOR MYE AVFALL PRODUSERER BYGGE- OG ANLEGGSNÆRINGEN? HENTET FRA [HTTP://WWW.BYGGEMILJO.NO/RAPPORT-HVOR-MYE-AVFALL-PRODUSERER-BYGG-OG-ANLEGGNAERINGEN/](http://www.byggemiljo.no/rapport-hvor-mye-avfall-produserer-bygg-og-anleggsnaeringen/)
- [2] OLERUD, K. (2015, 25.DESEMBER). GRIP. STORE NORSKE LEKSIKON, SNL. HENTET FRA [HTTPS://SNL.NO/GRIP](https://snl.no/grip)
- [3] BYGGTJENESTE. BREEAM/BREEAM-NOR. HENTET FRA [HTTPS://BYGGTJENESTE.NO/BREEAM-NOR/](https://bygg tjeneste.no/breeam-nor/)
- [4] TREINDUSTRIEN. BREEAM. HENTET FRA [HTTP://WWW.TREINDUSTRIEN.NO/FOR-MEDLEMMER/MERKEORDNINGER/BREEAM](http://www.treindustrien.no/for-medlemmer/merkeordninger/breeam)
- [5] ENERWE. (2017, 06.OKTOBER) HVA ER NORGES STØRSTE NÆRINGER? HENTET FRA [HTTPS://ENERWE.NO/HVA-ER-NORGES-STORSTE-NAERINGER/149262](https://enerwe.no/hva-er-norges-storste-naeringer/149262)
- [6] STATISTISK SENTRALBYRÅ SSB. (2019, 07.MAI). BYGGE- OG ANLEGGSVIRKSOMHET, STRUKTURSTATISTIKK. HENTET FRA [HTTPS://WWW.SSB.NO/BYGG-BOLIG-OG-EIENDOM/STATISTIKKER/STBYGGANL](https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/stbygganl)
- [7] LAANKE, B. BETONG. SINTEF. HENTET FRA [HTTPS://WWW.SINTEF.NO/BETONG/](https://www.sintef.no/betong/)
- [8] SKOGLUND, J. (2019, 18.MARS). SINTEF: FULLT MULIG Å PRODUSERE FULLVERDIG BETONG MED 100 PROSENT RESIRKULERT TILSLAG. VEIER24. HENTET FRA [HTTPS://WWW.VEIER24.NO/ARTIKLER/SINTEF-FULLT-MULIG-A-PRODUSERE-BETONG-MED-100-PROSENT-RESIRKULERT-TILSLAG/460536](https://www.veier24.no/artikler/sintef-fullt-mulig-a-produkere-betong-med-100-prosent-resirkulert-tilslag/460536)
- [9] BLOCK BERGE. HISTORIE. HENTET FRA [HTTP://BLOCKBERGE.NO/OM-OSS/HISTORIE/ARTICLE19572.ECE](http://blockberge.no/om-oss/historie/article19572.ece)
- [10] BENJAMINSEN, C. (2018, 09.APRIL). SINTEF. HVA BETYR EGENTLIG SIRKULÆR ØKONOMI? HENTET FRA [HTTPS://WWW.SINTEF.NO/SISTE-NYTT/HVA-BETYR-EGENTLIG-SIRKULAR-OKONOMI/](https://www.sintef.no/siste-nytt/hva-betyr-egentlig-sirkular-okonomi/)
- [11] NORELEMENT. HULLDEKKE. HENTET FRA [HTTP://WWW.NORELEMENT.NO/?PAGE_ID=82](http://www.norelement.no/?page_id=82)
- [12] DEKKESYSTEMER. OM HULLDEKKER. HENTET FRA [HTTPS://DEKKESYSTEMER.NO/HULLDEKKER/OM-HULLDEKKE/](https://dekkesystemer.no/hulldekker/om-hulldekke/)
- [13] BYGGEMILJØ. (2019, 05.FEBRUAR). HVOR MYE AVFALL PRODUSERER BYGGE- OG ANLEGGSNÆRINGEN? HENTET FRA [HTTP://WWW.BYGGEMILJO.NO/RAPPORT-HVOR-MYE-AVFALL-PRODUSERER-BYGG-OG-ANLEGGNAERINGEN/](http://www.byggemiljo.no/rapport-hvor-mye-avfall-produserer-bygg-og-anleggsnaeringen/)
- [14] BYGGEMILJØ. (2017, 01.DESEMBER). NASJONAL HANDLINGSPLAN FOR BYGG- OG ANLEGGSAVFALL 2017-2020, NHP4, ER KLAR. HENTET FRA [HTTP://WWW.BYGGEMILJO.NO/NASJONAL-HANDLINGSPLAN-FOR-BYGG-OG-ANLEGGSAVFALL-2017-2020-NHP4-ER-KLAR/](http://www.byggemiljo.no/nasjonale-handlingsplan-for-bygg-og-anleggsavfall-2017-2020-nhp4-er-klar/)

-
- [15] SOLBERG, M G. (2016, 31.MAI). TEKNISK UKEBLAD. BETONG STÅR FOR 5 PROSENT AV VERDENS CO₂-UTSLIPP. SLIK SKAL FORSKERNE LAGE EN RENERE VARIANT SOM VARER LENGER. HENTET FRA [HTTPS://WWW.TU.NO/ARTIKLER/BETONG-STAR-FOR-5-PROSENT-AV-VERDENS-CO2-UTSLIPP-SLIK-SKAL-FORSKERNE-LAGE-EN-STERKERE-OG-RENERE-VARIANT/347625](https://www.tu.no/artikler/betong-star-for-5-prosent-av-verdens-co2-utslipp-slik-skal-forskerne-lage-en-sterkere-og-renere-variant/347625)
- [16] ÅRTUN, T OG NESSE, N. (2019, 16.JULI). SEMENT. STORE NORSKE LEKSIKON SNL. HENTET FRA [HTTPS://SNL.NO/SEMENT](https://snl.no/semment)
- [17] CENTERS FOR DISEASE CDC. CONTROL AND PREVENTION. (2015, 07.DESEMBER). RADIATION FROM BUILDING MATERIALS. HENTET FRA [HTTPS://WWW.CDC.GOV/NCEH/RADIATION/BUILDING.HTML](https://www.cdc.gov/nceh/radiation/building.html)
- [18] SPRENGER M. (2017, 26.OKTOBER). VELDE. RESIRKULERTE MASSER KAN BENYTTES SOM TILSLAG I BETONGPRODUKSJON, VISER INNOVASJONSPROSJEKT. HENTET FRA [HTTPS://WWW.VELDEAS.NO/NYHETER/DEPONIMASSER](https://www.veldeas.no/nyheter/deponimasser)
- [19] SINTEF. (2019, 31.MARS). GJENBRUKTE GRAVMASSER KAN ERSTATTE NATURLIG TILSLAG I BETONG. HENTET FRA [HTTPS://WWW.SINTEF.NO/SISTE-NYTT/GJENBRUKTE-GRAVEMASSER-KAN-ERSTATTE-NATURLIG-TILSLAG-I-BETONG/](https://www.sintef.no/siste-nytt/gjenbrukte-gravemasser-kan-erstatte-naturlig-tilslag-i-betong/)
- [20] SINTEF. (2017, 07.MARS). UTVIKLING OG GJENBRUK AV RESIRKULERT TILSLAG FRA GRAVEMASSER. HENTET FRA [HTTPS://WWW.SINTEF.NO/SISTE-NYTT/UTVIKLING-OG-GJENBRUK-AV-RESIRKULERT-TILSLAG-FRA-G/](https://www.sintef.no/siste-nytt/utvikling-og-gjenbruk-av-resirkulert-tilslag-fra-g/)
- [21] LAHUS, OLAV; LILLESTØL, BENTE; HAUCK, CHRISTINE; FARSTAD, TOM; BORCHSENIUS, HENRIK. (2002, JULI). BRUK AV RESIRKULERT TILSLAG I SEMENTBASERTE PRODUKTER, RESIBA – PROSJEKTRAPPORT. TILGJENGELIG PÅ [HTTPS://SINTEF.BRAGE.UNIT.NO/SINTEF-XMLUI/BITSTREAM/HANDLE/11250/2418559/PROSJEKTRAPPORT331.PDF?SEQUENCE=1&ISALLOWED=Y](https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2418559/prosjektrapport331.pdf?sequence=1&isAllowed=Y)
- [22] MEHTA, P. K. 2001, «REDUCING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF CONCRETE» ACI CONCRETE
- [23] STATENS VEGVESEN. (2005, APRIL). HÅNDBOK 014 LABORATORIEUNDERSØKELSER, 14.432 KORNFORDELING VED SIKTING. TILGJENGELIG PÅ [HTTPS://WWW.VEGVESEN.NO/S/VEGNORMALER/HB/014/KVALITETSIKREDE%20_FILER/14_4_LOSMASSER_FJELL OG STEINMATERIALER/14_43 KORNGRADERING/014_432 SIKTING MARS_05%20.PDF](https://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/kvalitetsikrede%20filer/14_4_losmasser_fjell_og_steinmaterialer/14_43_korngradering/014_432_sikting_mars_05%20.pdf)
- [24] BUILDINGRESEARCH.COM.NP. CONCRETE TECHNOLOGY, GRADATION OF COARSE AGGREGATES. HENTET FRA [HTTP://WWW.BUILDINGRESEARCH.COM.NP/SERVICES/CT/CT6.PHP](http://www.buildingresearch.com.np/services/ct/ct6.php)
- [25] THECONSTRUCTIONCIVIL.ORG. GRADING OF AGGREGATES – AGGREGATE GRADING. HENTET FRA [HTTPS://WWW.THECONSTRUCTIONCIVIL.ORG/GRADING-OF-AGGREGATES/](https://www.theconstructioncivil.org/grading-of-aggregates/)
- [26] SHAHRIAR, SAFIN. CIVILTODAY.COM. DENSITY OF AGGREGATE – BULK AND RELATIVE DENSITY. HENTET FRA [HTTPS://CIVILTODAY.COM/CIVIL-ENGINEERING-MATERIALS/AGGREGATE/198-DENSITY-OF-AGGREGATE](https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/aggregate/198-density-of-aggregate)

[27] SKYTTERHOLM, OLE; MEHUS, JACOB. (2002, JUNI). RESIBA – ET ØKOBYGG-PROSJEKT. VEILEDER FOR BRUK AV RESIRKULERT TILSLAG. [HTTP://WWW.BYGGEMILJO.NO/WP-CONTENT/UPLOADS/2014/10/04_2002_VEILEDER_RESIRKULERT_TILSLAG.PDF](http://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2014/10/04_2002_VEILEDER_RESIRKULERT_TILSLAG.PDF)

[28] PEDRO NÚÑEZ-CACHO, JAROSŁAW GÓRECKI, VALENTÍN MOLINA AND FRANCISCO ANTONIO CORPAS-IGLESIAS (2018), «NEW MEASURES OF CIRCULAR ECONOMY THINKING IN CONSTRUCTION COMPANIES» JOURNAL OF EU RESEARCH IN BUSINESS, VOL. 2018 (2018), ARTICLE ID 909360, DOI: 10.5171/2018.909360. TILGJENGLIG PÅ [HTTPS://IBIMAPUBLISHING.COM/ARTICLES/JEURB/2018/909360/](https://ibimapublishing.com/articles/jeurb/2018/909360/)

[29] NUBHOLZ, JULIA L.K.; MILIOS, LEONIDAS. (2017, SEPTEMBER). APPLYING CIRCULAR ECONOMY PRINCIPLES TO BUILDING MATERIALS: FRONT-RUNNING COMPANIES´ BUSINESS MODEL INNOVATION IN THE VALUE CHAIN FOR BUILDINGS. TILGJENGLIG PÅ [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/320831772 APPLYING CIRCULAR ECONOMY PRINCIPLES TO BUILDING MATERIALS FRONT-RUNNING COMPANIES' BUSINESS MODEL INNOVATION IN THE VALUE CHAIN FOR BUILDINGS](https://www.researchgate.net/publication/320831772_applying_circular_economy_principles_to_building_materials_front-running_companies'_business_model_innovation_in_the_value_chain_for_buildings)

[30] OSTERWALDER AND PIGNEUR (2010). BUSINESS MODEL GENERATION.

[31] AURSTAD, JORALF. (2016, 24.JUNI). STATNES VEGVESEN. LÆREBOK VEGTEKNOLOGI. TILGJENGLIG PÅ [HTTPS://DOCPLAYER.ME/31433674-STATENS-VEGVESENS-RAPPORTER.HTML](https://docplayer.me/31433674-statens-vegvesens-rapporter.html)

[32] BLOCK BERGE BYGG AS. BREEAM-NOR. HENTET FRA [HTTP://BLOCKBERGE.NO/MILJO/ARTICLE30329.ECE](http://blockberge.no/miljo/article30329.ece)

[33] HAUCON.NO. HENTET FRA [HTTPS://WWW.HAUCON.NO/PRODUCT/PRODUKTER/VERKTOY/MURER-OG-STOPEVERKTOY/PROVEFORM-OG-SYNKMALER/SYNKMALER-M-STANG-18711](https://www.haucon.no/product/produkter/verktoy/murer-og-stopeverktoy/proveform-og-synkmaler/synkmaler-m-stang-18711)

[34] COPPOLA, LUIGI; VOLLSET, DAG. (2002, 06.11). RESCON MAPEI AS – BETONGINDUSTRI. SELVKOMPRIMERENDE BETONG. TILGJENGLIG PÅ [HTTP://WWW.MAPEI.COM/PUBLIC/NO/LINEDOCUMENT/SELVKOMPRIMERENDE BETONG 2002.PDF](http://www.mapei.com/public/no/linedocument/selvkomprimerende_betong_2002.pdf)

[35] KJELLEN, KNUT O.; COCH, FINN. NORCEM AS FOU. LUFTINNFØRING I BETONG, ELLER DET ER IKKE ALLTID SEMENTENS FEIL. TILJENGLIG PÅ [HTTPS://WEBCACHE.GOOGLEUSERCONTENT.COM/SEARCH?Q=CACHE:9Y9E58B-JZUJ:HTTPS://WWW.NORCEM.NO/SYSTEM/FILES_FORCE/ASSETS/DOCUMENT/LUFT_CEMENT_NA_2013_2.PDF%3FDOWNLOAD%3D1+&CD=3&HL=NO&CT=CLNK&GL=NO&CLIENT=FOX-B-D](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:9y9e58b-jzuj:https://www.norcem.no/system/files_force/assets/document/luft_cement_na_2013_2.pdf%3fdownload%3d1+&cd=3&hl=no&ct=clnk&gl=no&client=firefox-b-d)

[36] SEEHUSEN, JOACHIM. (2019, 13.SEPTEMBER). TEKNISK UKEBLAD. MILJØDIREKTORATET VIL LETTE PÅ KRAVENE FOR GJENBRUK: - VIL FØRE TIL EN DOBLING AV GJENVINNING AV GAMMEL BETONG. HENTET FRA [HTTPS://WWW.TU.NO/ARTIKLER/MILJODIREKTORATET-VIL-LETTE-PA-KRAVENE-FOR-GJENBRUK-VIL-FORE-TIL-EN-DOBLING-AV-GJENVINNING-AV-GAMMEL-BETONG/473140](https://www.tu.no/artikler/miljodirektoratet-vil-lette-pa-kravene-for-gjenbruk-vil-fore-til-en-dobling-av-gjenvinning-av-gammel-betong/473140)

[37] NUBHOLZ, JULIA L.K; RASMUSSEN, FREJA NYGAARD; WHALEN, KATHERINE, PLEPYS, ANDRIUS. MATERIAL REUSE IN BUILDINGS: IMPLICATIONS OF CIRCULAR BUSINESS MODEL FOR SUSTAINABLE VALUE CREATION. TILGJENGELIG PÅ <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118546>

[38] NORSK STANDARD. NS-EN 206:2013+A1:2016+NA:2017. BETONG – SPESIFIKASJON, EGENSKAPER, FRAMSTILLING OG SAMSVAR.

[39] NORSK STANDARD. NS-EN 12390-3:2009. PRØVING AV HERDNET BETONG – DEL 3: PRØVELEGEMERS TRYKKFASTHET.