

2019:00424 - Åpen

# Rapport

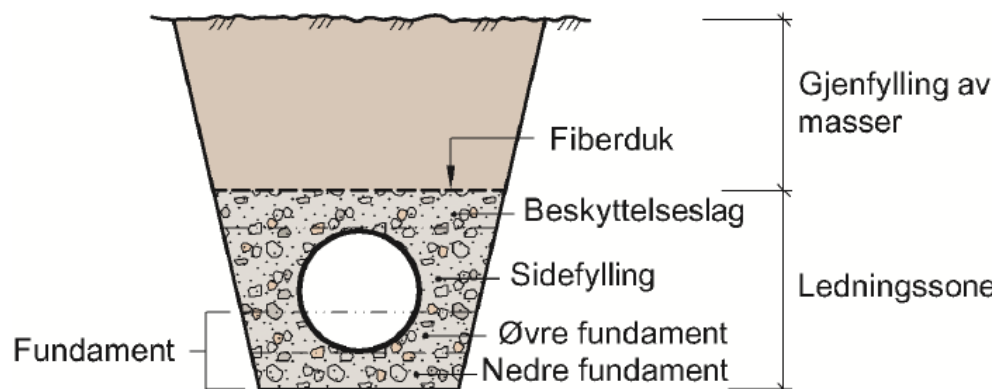
## Vurdering av resirkulert tilslag

Egnethet i rørgrøfter

### Forfattere

Christian John Engelsen

Torun Rise



# Rapport

## Vurdering av resirkulert tilslag

Egnethet i rørgrøfter

<b>EMNEORD:</b> Resirkulert tilslag Gravemasser Våtprosess Mekaniske egenskaper	<b>VERSJON</b> 1.0	<b>DATO</b> 2019-04-11
	<b>FORFATTERE</b> Christian J. Engelsen Torun Rise	
	<b>OPPDRAGSGIVER(E)</b> RESGRAM partnere	<b>OPPDRAGSGIVERS REF.</b> Norges Forskningsråd
	<b>PROSJEKTNR</b> 102013302	<b>ANTALL SIDER OG VEDLEGG:</b> 19

### SAMMENDRAG

I denne rapporten er egnetheten til å bruke resirkulert tilslag i rørgrøfter vurdert på bakgrunn av eksisterende kunnskap og erfaringer. Kvaliteten på resirkulert tilslag er generelt avhengig av kildemateriale. Resirkulert tilslag fra normal betong og tegl har noe lavere motstand mot nedknusing og høyere porøsitet enn knust berg. Ved høyere porøsitet anbefales generelt høyere vanninnhold ved komprimering for å oppnå god «smørende» og «omlagrende» effekt samt mindre nedknusing av materialene. Resirkulert tilslag fra gravemasser har blitt testet ut i både ubunden og bunden bruk med gode erfaringer. Dette er også forventet på bakgrunn av mineralogi, kjemisk sammensetning og mekanisk styrke.

Resirkulert tilslag fra både knust betong og gravemasser er egnet for bruk i rørgrøfter og kan være et viktig bruksområde for denne typen materiale. Det forutsettes at tilslaget tilvirkes i en kontrollert produksjonsprosess. For resirkulering av gravemasser vil det være nødvendig med en våtprosess.

**UTARBEIDET AV**  
Christian J. Engelsen

SIGNATUR  


**KONTROLLERT AV**  
Stein Olav Christensen

SIGNATUR  


**GODKJENT AV**  
 Gunrid Kjellmark

SIGNATUR  


**RAPPORTNR**  
2019:00424

**ISBN**  
978-82-14-06343-1

**GRADERING**  
Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**  
Åpen

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>3</b>
1.1	Bakgrunn .....	3
1.2	Bidrag til sirkulær økonomi.....	3
1.3	RESGRAMs demonstrasjoner med resirkulert tilslag.....	3
<b>2</b>	<b>Standarder og retningslinjer</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Dokumenterte egenskaper til resirkulert tilslag</b> .....	<b>5</b>
3.1	Hva er resirkulert tilslag? .....	5
3.2	Dokumenterte egenskaper i Norge.....	7
3.2.1	Viktige egenskaper .....	7
3.2.2	Oppnådde LA-verdier.....	8
3.2.3	Funksjonsegenskaper .....	9
3.2.4	Frostbestandighet.....	9
3.2.5	Telefare .....	9
3.2.6	Komprimerbarhet.....	10
3.2.7	Innhold av miljøfarlige stoffer .....	11
3.2.8	Pågående tester.....	11
3.3	Internasjonale undersøkelser .....	12
<b>4</b>	<b>Vurdering av egnethet av resirkulert tilslag</b> .....	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>14</b>
A.1	Pågående laboratorieforsøk .....	16

## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn

RESGRAM (Utvikling av resirkulert tilslag fra byggavfall og gravemasser til bruk i veibygging og betongproduksjon) er et fireårig innovasjonsprosjekt som startet høsten 2016. Prosjektets hensikt er å produsere resirkulert tilslag som oppfyller de samme kravene som naturlig tilslag. Dette vil være mulig fordi gravemassene hovedsakelig består av jomfruelig jord og stein. Deltakere i prosjektet er Velde Industri AS (prosjektleder), Asak AS, Statens Vegvesen Vegdirektoratet, Universitetet i Agder og SINTEF Byggforsk. Prosjektet er støttet av Norges forskningsråd.

### 1.2 Bidrag til sirkulær økonomi

RESGRAM medvirker til en sirkulær økonomi som en viktig del av Regjeringens satsning på klima- og miljøvennlig omstilling (det grønne skiftet). SINTEF ønsker også å bidra innenfor tematikken og samler nå fagmiljøer på tvers i organisasjonen i en langsiktig strategisk satsing innenfor sirkulær økonomi <https://www.sintef.no/sirkular-okonomi/#/>.

Hensikten med sirkulær økonomi er å holde materialer og energi i et sirkulært kretsløp. Dette reduserer uttak av naturlige råmaterialer samtidig som det reduserer mengden generert avfall. Strategier og handlingsplaner som bidrar til å skape, implementere og praktisere sirkulær økonomi er i dag en av de viktigste nasjonale og globale virkemidlene for å takle klimautfordringene og økende ressursknapphet.

Gjenvinning av materialer fra bygge-, rive- og graveaktiviteter er en av de viktigste komponentene i sirkulær økonomi. Dette er fordi materialvolumet som genereres er typisk blant de største avfallsstrømmene i Norge og ellers i verden. I Norge genereres det årlig ca. 2 millioner tonn byggavfall (SSB, 2018). Masser fra anlegg og oppgravingsarbeider utgjør en langt større andel enn byggavfallet. Det er anslått at det genereres 1-1,5 millioner tonn bare på nord-Jæren.

### 1.3 RESGRAMs demonstrasjoner med resirkulert tilslag

I RESGRAM utføres det flere demonstrasjonsprosjekter der resirkulert tilslag blir benyttet. Følgende fullskala demonstrasjonsprosjekter er enten ferdig eller under planlegging:

1. Resirkulert finstoff (< 63 µm) benyttet i betongbelegningssteinproduksjon ved ASAK avd. Kristiansand (de Lange, 2017)
2. Ferdig betonggulv støpt med 100% resirkulert tilslag (Mujica et al., 2019)
3. Resirkulert tilslag skal benyttes i rørgrøft og i veikropp i Liveien i Stavanger kommune (under planlegging).

I denne rapporten er egnetheten til å bruke resirkulert tilslag i rørgrøfter vurdert på bakgrunn av eksisterende kunnskap og erfaringer.

## 2 Standarder og retningslinjer

Resirkulert tilslag er i dag tatt inn i alle standarder og retningslinjer som omtaler tilslag, se tabell 1.

Utforming av rørgrøfter spesifiseres i vegnormalen til Statens vegvesen (N200). Det er ingen begrensninger på valg av materialtype benyttet i ledningssonen. N200 spesifiserer at materialer til fundament, sidefylling og beskyttelseslag ikke skal være telefarlige (T1), og at det skal være egnet til vinterarbeid. Det er ikke spesielle krav til steinkvalitet (mekaniske egenskaper mv.), men materialene skal ikke knuses ned unødige mye under utlegging og komprimering, og materialene skal ikke skade rørmaterialet som det kommer i kontakt med.

Tabell 1 Standarder som omtaler resirkulert tilslag, med bruksområder

Bruksområde	Standard
Veibygging (Statens vegvesen Håndbok – vegnormalen)	N200 Vegbygging
Veibygging (grovt, resirkulert tilslag)	NS-EN 13242
Betongproduksjon (grovt, resirkulert tilslag)	NS-EN 206 og NS-EN 12620
Lett tilslag i betong, mørtel, injiseringsmasse, bituminøse masser og overflatebehandlinger	NS-EN 13055-1 og NS-EN 13055-2
Mørtel	NS-EN 13139
Jernbaneballast	NS-EN 13450

I beskrivelsestekstene til NS 3420-F:2008 nevnes det ingen materialtype som hverken er spesielt egnet eller uegnet. Standarden stiller krav til største kornstørrelse for materialene benyttet i ledningssonen med hensyn til rørmateriale og rørdiameter.

I VA/Miljø-blad nr. 5 2016 (Grøfteutførelse fleksible rør) og VA/Miljø-blad nr. 6 2016 (Grøfteutførelse stive rør) stilles det krav til lagtykkelse, største kornstørrelse og at samme materialet skal benyttes i fundamentet

og sidefyllingen/beskyttelseslaget. I sistnevnte kan det benyttes grovere fraksjon enn i fundamentet. Det beskrives ingen spesiell materialtype i ledningssonen utover de nevnte kravene.

### **3 Dokumenterte egenskaper til resirkulert tilslag**

#### **3.1 Hva er resirkulert tilslag?**

Resirkulert tilslag kommer fra resirkulering av uorganisk materiale som tidligere har vært brukt i bygg- og anleggsarbeider. De vanligste kildematerialene er:

- Betong
- Murverk med mørtel og tegl
- Asfalt
- Gravemasser av naturlig jord, sand, grus og stein

Resirkulert tilslag er i dag tatt inn i alle NS-EN standarder som omhandler naturlig tilslag. I disse standardene klassifiseres resirkulert tilslag med hensyn til mengde bestanddel (f. eks. i NS-EN 13242 - Tilslag til veibygging).

Resirkulert tilslag kan produseres i tørrprosess ved knusing og sikting eller i våtprosess ved rensing og sikting. Resirkulert tilslag fra gravemasser er produsert i våtprosess der materialene blir vasket i flere trinn og siktet til ønsket fraksjon. Tilslaget som produseres ved våtprosess har typisk finstoffinnhold i sandfraksjonen på mindre enn 3%. I Norge finnes det store og moderne anlegg i Rogaland, Trøndelag og Akershus, se fig. 1. Vaske- og gjenvinningsprosessen er detaljert vist i fig. 2.



Fig. 1 Produksjon av resirkulert tilslag ved våtprosess hos Velde AS i Rogaland (bilder øverst) og hos AF Gruppen i Nes Miljøpark i Akershus.

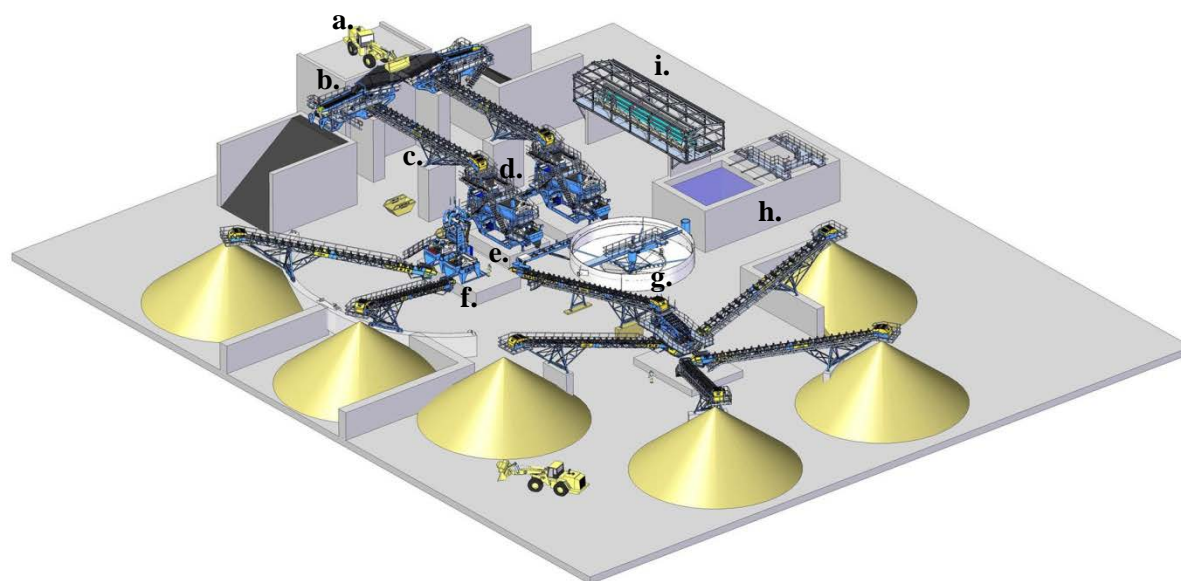


Fig. 2 Prinsippskisse over gjenvinningsanlegget til Velde. Her produseres resirkulert tilslag i fraksjonene (angitt i mm): 0,063/2, 2/4, 4/16, 16/32 og 32/100. **a.** Gravemasser mates inn på toppen av anlegget. **b.** Første sikting og stein > 100 mm ledes ned i 2 bunkere mens < 100 mm går på transportbelte til vaskesikt 1. **c.** Magnetbelter som fjerner metall. **d.** Vaskesikt 1 der < 5 mm til sandvaskeanlegg. **e.** Kornstørrelse > 5 mm går ned i en AggMax som skrubber massene fysisk ved vanntilsetning slik at klumper med leir/sand løses opp. Deretter siktes massene over Vaskesikt 2 der < 4 mm går til sandvaskeanlegg. **f.** Sandvaskeanlegg med en syklon som skiller ut finfraksjonen (< 0,063 mm) som pumpes til bunnfellingstanken. Resten av materialet siktes i fraksjonene 0,063/2 mm (sand) og 2/4 mm. **g.** Bunnfellingstank behandler alt prosessvann med et flokkuleringsmiddel som gjør at slammet synker til bunns. **h.** Lagertank for slam hvor slammet er under omrøring. **i.** Slammet pumpes over til en filterpresse som fjerner 60-80 % av vannet.

## 3.2 Dokumenterte egenskaper i Norge

### 3.2.1 Viktige egenskaper

Dokumentasjon av mekaniske egenskaper er spesielt relevant for ubunden bruk, for eksempel i forsterkningslag og bærelag i veier eller i grøfter. Aktuelle prøvemetoder er i stor grad utviklet for naturlige grus- og steinmaterialer, ikke for resirkulert tilslag av kun betong og tegl. Resirkulert tilslag fra gravemasser består av mer enn 98 % av naturlige grus- og steinmaterialer og vil derfor være egnet for test i henhold til dagens metoder.



Nedenfor beskrives noen viktige metoder og egenskaper for tilslag benyttet i ubunden bruk:

- *Los Angeles-metoden (LA)*: Måler styrken til tilslaget som motstand mot nedknusing i fra stålkuler i en ståltrommel. Er veldig mye benyttet selv om den ikke tar med seg de positive selvsementerende egenskapene til resirkulert tilslag som inneholder sementpasta.
- *Funksjonsrelaterte prøvemetoder*: Eksempler her er treaksialforsøk og gyrotorisk kompaktor, der de mekaniske egenskapene vurderes for et helt lag og ikke ved prøving av enkelte tilslagskorn. Her er det også mulig å vurdere stivhetsøkning (som følge av sementpasta). En ulempe ved denne metoden er kostbart utstyr og komplisert prøving.
- *Frostbestandighet*: Frostbestandigheten avhenger av både materialegenskapene og miljøeksponeringen (se SINTEF Anvisning, 1999). Frostbestandighet dokumenteres etter NS-EN 1367-1 eller NS-EN 1367-2. Krav til frostbestandighet for tilslag i veibygging er gitt i NS-EN 13242.
- *Telefarlighet*: Tele i grunnen vil si at jorda fryser om vinteren og islinser kan dannes ved fukt som tilføres nedenfra ved kapillært sug. Vann som fryser til is utvider seg med 9% og resulterer i en ekspansjon av massene, kalt telehiv, som fører til at grunnen hever seg. Faren for tele er størst i jordarter som har et optimalt forhold mellom kapillær oppsuging og fukttransport. Særlig siltfraksjonen er utsatt.
- *Komprimerbarhet*: I ubunden bruk styres komprimerbarheten av blant annet kornfordeling, kornform og vanninnhold. Optimalt vanninnhold er det vanninnholdet som gir best komprimerbarhet ved utlegging – i praksis det som gir tilfredsstillende stivhet med få valseoverfarer.

### 3.2.2 Oppnådde LA-verdier

De rapporterte LA-verdiene i RESIBA – prosjektet (Petkovic and Lillestøl, 2002) og Gjenbruksprosjektet (Statens vegvesen, 2007) viser at den mekaniske styrken til resirkulert tilslag fra knust betong tilfredsstillende kravene til vegbygging ( $LA \leq 35$ ). Det er vanlig å begrense teglinnholdet til  $< 5\%$ . Det er likevel utført målinger på resirkulert tilslag med høyere andel tegl med tilfredsstillende mekanisk styrke.

I RESGRAM er det også utført mange målinger av LA-verdien til resirkulert tilslag fra gravemasser og de aller fleste målingene viser LA-verdier  $< 30$ . I det nylige gjennomførte demonstrasjonsforsøket med resirkulert tilslag i betonggulv, bestod kildematerialene av 50% knust betong og 50% gravemasser. LA-verdien ble målt til 30 (Mujica et al., 2019).

### 3.2.3 Funksjonsegenskaper

Treaksialforsøk er utført på resirkulert tilslag av betong og tegl hvor prøvene er komprimert med gyratorisk kompaktor. De fleste prøvene av gjenbruksbetong (granulat av resirkulert betong) får stivhet og lastfordelingskoeffisient over det som er satt som standardverdier for granulære bærelag og forsterkningslag til vei (Statens vegvesen, 2005a). Mellomlagring av tillagde prøver før testing gir en påviselig økning i stivhet over tid. I de samme forsøkene viste de gyratoriske testene at densiteten økte kun 3-5% da man økte fra 50 til 250 belastningssyklus.

### 3.2.4 Frostbestandighet

Resirkulert tilslag av bare knust betong bør ikke brukes til ubunden bruk på en slik måte at det kan bli liggende neddykket i vann ved frysing, spesielt ikke i kombinasjon med tinesalter eller sjøvann. Under de mest vanlige og reelle eksponeringsbetingelser i ubunden bruk skal frostbestandigheten være tilfredsstillende (Statens vegvesen, 2005b). På bakgrunn av sammensetningen vil resirkulert tilslag fra gravemasser ha frostbestandighet tilnærmet naturlig tilslag.

### 3.2.5 Telefare

Resirkulert tilslag fra gravemasser er produsert ved vasking der finstoffet separeres fra sand og grovere tilslagsfraksjoner. Finstoffinnholdet ( $< 63 \mu\text{m}$ ) i sandfraksjonen (0/2 mm) er mindre enn 3%. Grovere tilslag (f. eks. 4/16 mm) vil ofte ha finstoffinnhold på  $< 0,5 \%$  og vil klassifiseres som ikke telefarlig (T1), da andelen finstoff på  $< 20 \mu\text{m}$  vil være under 3%, se tabell 2. I et pågående prosjekt i India er kvaliteten på resirkulert tilslag produsert med samme våtprosesseteknologi fra CDE Global (Nord-Irland). Her er finstoffinnholdet ( $< 75 \mu\text{m}$ ) målt til  $\leq 0,3 \%$  for tilslag 10/20 mm produsert fra et kildemateriale der mesteparten var oppgravde masser med høyt innhold av silt (SINTEF-rapport under publisering).

Tabell 2 Kriterier for telefare (SINTEF Anvisning, 2012, etter Håndbok N200 Statens vegvesen).

Telegruppe	Av materiale $\leq 22,4$ mm		
	Materiale, vektprosent		
	< 0,002 mm	< 0,02 mm	< 0,2 mm
Ikke telefarlig, T1		< 3	
Litt telefarlig, T2		3–12	
Middels telefarlig, T3	<sup>1)</sup>	> 12	< 50
Meget telefarlig, T4	< 40	> 12	> 50

<sup>1)</sup> Jordarter med mer enn 40 % < 0,002 mm regnes som middels telefarlig, T3.

### 3.2.6 Komprimerbarhet

Til bruk i veifundamenter kan komprimeringsbehovet være noe større for grove sorteringer av resirkulert tilslag fra knust betong enn for naturlige steinmaterialer. Finere sorteringer av resirkulert tilslag, for eksempel brukt i VA-grøfter, trenger ikke mer komprimering enn naturlig tilslag. Ved optimalt vanninnhold kan sortering 0/100 mm ha bedre komprimerbarhet ved utlegging enn sortering 20/100 mm (Statens vegvesen, 2005c).

Praktiske erfaringer fra demonstrasjonsprosjektene på Yggeset i Asker og Dalsnaret i Oslo viser at det resirkulerte tilslaget ikke krever mer komprimering eller er vanskeligere å komprimere enn naturlig tilslag (Mehus et al., 2002). I disse forsøkene ble det benyttet resirkulert tilslag av knust betong og tegl (10/20).

Resirkulert tilslag fra gravemasser kan produseres med og uten en andel knust betong. Tilslaget som produseres uten betong inneholder kun naturlig steinmateriale og komprimeringsbehovet vurderes ikke som vesentlig høyere enn for tilsvarende knust berg. Sistnevnte kan ha en større "hakeeffekt" avhengig av knusemetode og dermed en høyere flisighetsindeks. I et nylig oppstartet PhD-prosjekt, ble flisighetsindeksen målt til å være i samme område for både knust berg (8/16) og resirkulert tilslag fra gravemasser (4/16), se tabell 3 (Solomon, 2019).

Tabell 3 Mekaniske egenskaper for tilslag produsert fra forskjellig kildemateriale (Solomon, 2019).

Tilslag type	Kilde	Partikkel størrelse (d/D)	Egenskaper							Benevning
			LA	MD <sub>E</sub>	Flisighetsindeks(%)	Vannabsorpsjon (%)	Partikkel densitet (g/ml)			
							□ <sub>1</sub>	□ <sub>2</sub>	Gj. snitt	
Natur tilslag	Reddal	10/20	35	9	1	0,48	2,64	2,64	2,64	M <sub>1</sub>
Knust berg	Reddal-(Omre)	8/16	36	16	10	0,45	2,70	2,71	2,70	M <sub>2</sub>
Tunnel masse	Velde	8/16	13	9	10	0,51	2,69	2,70	2,69	M <sub>3</sub>
Grave masser	Velde	4/16	28	7	12	0,22	2,55	2,55	2,55	M <sub>4</sub>

### 3.2.7 Innhold av miljøfarlige stoffer

Omfattende undersøkelser er gjort på utlekking fra resirkulert tilslag fra knust betong og tegl (SINTEF Anvisning, 2015). I RESGAM har det blitt utført ytterligere kjemisk analyse av resirkulert tilslag fra gravemasser. De foreløpige resultatene viser at materialene overholder tilstandsklasse 1 (dvs. normverdiene angitt i Forurensningsforskriften) (Mujica et al., 2019).

### 3.2.8 Pågående tester

I laboratoriet til Velde er det utført innledende komprimeringsforsøk for å sammenligne densitetssøkning, hulrominnhold og komprimeringshøyde, se Vedlegg A.1. Foreløpige resultater er positive og viser noe høyere densitet for resirkulert tilslag enn for knust berg med samme komprimeringsenergi. Komprimert høyde er noe lavere (høyere nedfall) for resirkulert tilslag, se Vedlegg A.1. Basert på innledende forsøk, skal det kjøres en systematisk testmatrise (flere parallelle målinger) der også vanninnholdet skal bestemmes sammen med korngradering før og etter komprimering.

### 3.3 Internasjonale undersøkelser

Bassani and Tefa (2018) studerte 3 typer resirkulert tilslag fra byggavfall, se fig. 3. Produksjonsmetodene var både slagmølle (1) og kjefteknuser (2, 3). De fant høyere nedknusing på UCDW (Unseparated Construction and Demolition Waste) sammenlignet med NAT (NATtural aggregates). Nedknusingen av større partikler var den samme for 30 og 100 gyrotasjoner. Dette viser at dannelsen av finere partikler skjer i starten. Dette var også tilfellet i Aurstad (2005) som konkluderte med at gevinsten ved å øke fra 50 til 250 sykler i gyratorisk kompaktortest var liten i form av økt densitet. Det samme har blitt funnet tidligere av Leite et al. (2011). Der ble det konkludert med at desintegreringen av partiklene førte til en høyere densitet og en forbedret mekanisk ytelse under treaksiale laster.

Bassan and Tefa (2018) målte også stivheten (resilient E-modul) til materialene ved treaksiale forsøk etter komprimering i gyratorisk kompaktor. Det ble ikke funnet forskjell på resirkulerte og naturlige steinmaterialer (i dette tilfelle vesentlig rundkornet). Det ble heller ikke dokumentert effekt på stivheten ved å øke komprimeringen til 100 sykler. Studien påpeker selvsementerende effekt med resirkulert tilslag av knust betong.

I Gjenbruksprosjektet vises det til at stivhet og lastfordelende evne til alle tilslagene utprøvd ved treaksialforsøk er over vegnormalens krav for bærelag og forsterkningslag (Statens vegvesen, 2005a). Disse kravene er i tillegg konservative (dvs. godt på den sikre siden). Studien påpeker selvsementerende effekt med resirkulert tilslag av knust betong.

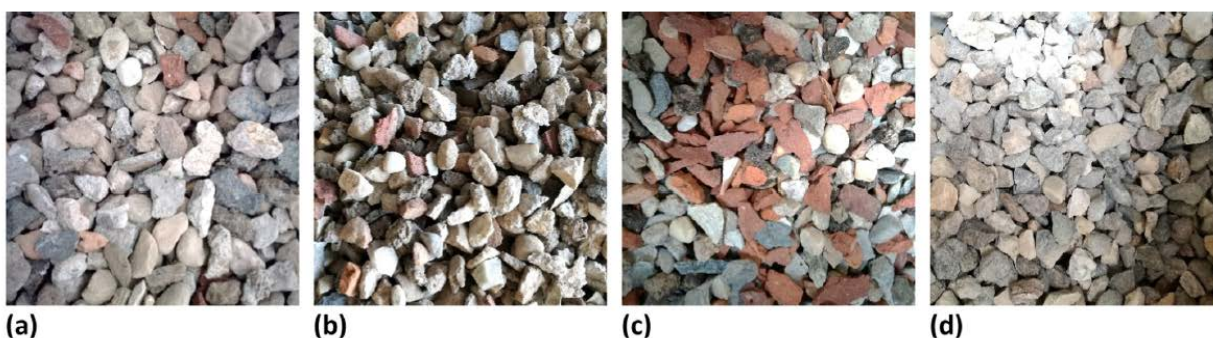


Fig. 3 Prøver av (a) UCDW1, (b) UCDW2, (c) UCDW3, og (d) NAT fraksjon 10/14 mm, preparert for Los Angeles og fryse-tine tester (Bassani and Tefa, 2018).

## 4 Vurdering av egnethet av resirkulert tilslag

Tidligere erfaringer og dokumentasjon viser at resirkulert tilslag med og uten knust betong generelt er egnet i ledningssonen til grøfter. Dersom resirkulert tilslag fra knust betong og tegl skal benyttes, bør teglinnholdet begrenses til mindre enn 5 %. Resirkulert tilslag fra gravemasser inneholder ikke tegl og har god mekanisk styrke og bestandighet. Det forutsettes at tilslaget er produsert under en kontrollert våtprosess med samme kontrollprosedyrer som produksjon av naturlig tilslag.

## 5 Konklusjon

I denne rapporten er egnetheten til å bruke resirkulert tilslag i rørgrøfter vurdert på bakgrunn av eksisterende kunnskap og erfaringer. Kvaliteten på resirkulert tilslag er generelt avhengig av kildemateriale. Resirkulert tilslag fra normal betong og tegl har noe lavere motstand mot nedknusing og høyere porøsitet enn knust berg. Dette er også avhengig av teglinnholdet. I ubunden bruk har dette vist seg å være positivt i forhold til økt stivhet på bærelag. Ved høyere porøsitet anbefales generelt høyere vanninnhold ved komprimering for å oppnå god «smørende» og «omlagrende» effekt samt mindre nedknusing av materialene. Resirkulert tilslag fra gravemasser har blitt testet ut i både ubunden og bunden bruk med gode erfaringer. Dette er også forventet på bakgrunn av mineralogi, kjemisk sammensetning og mekanisk styrke.

Resirkulert tilslag fra både knust betong og gravemasser er egnet for bruk i rørgrøfter og kan være et viktig bruksområde for denne typen materiale. Det forutsettes at tilslaget tilvirkes i en kontrollert produksjonsprosess. For resirkulering av gravemasser vil det være nødvendig med en våtprosess.

## 6 Referanser

Bassani, L., Tefa, L., Compaction and freeze-thaw degradation assessment of recycled aggregates from unseparated construction and demolition waste, *Construction and Building Materials* 160 (2018) 180–195.

Engelsen, C.J., H.A. Van der Sloot, and G. Petkovic. 2017. Long-term leaching from recycled concrete aggregates applied as sub-base material in road construction. *Sci Total Environ.* 587-588:94-101.

de Lange, A., Hallingby, E.M., Must Evensen, K.M., Resirkulerte gravemasser i betongbelgningsstein, Hovedoppgave for Bachelorgrad i realfag, Univesitetet i Agder, Fakultet for teknologi og realfag (2017).

Leite, F. D. C.; Motta, R. D. S.; Vasconcelos, K. L.; Bernucci, L. 2011. Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements, *Construction and Building Materials* 25(6): 2972–2979.

Mehus, J., Skaare, L., Myhre, Ø., Ubunden bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter, RESIBA – prosjektrapport 06/2002 (NBI Prosjektrapport 330).

Mujica, H., E. Velde, C.J. Engelsen, and M.N. Malmedal. 2019. Recycled aggregates produced from two different feedstock materials – applied in ready-mixed concrete. *In Proceedings of the International Conference on Sustainable Materials, Systems and Structures (SMSS 2019). New Generation of Construction Materials 20-22 March 2019 – Rovinj, Croatia.* Rilem publications. 655.

Petkovic, G. og B. Lillestøl. *Materialegenskaper for resirkulert tilslag.* RESIBA – prosjektrapport 02/2002, NBI Prosjektrapport 332. Oslo: Norges Byggeforskningsinstitutt, 2002.

SINTEF Anvisning, 2012. Byggegrunn og terreng. *SINTEF Byggforsk kunnskapssystemer. Anvisning 511.101 Byggforskserien.*

SINTEF Anvisning, 2015. Resirkulert tilslag av tegl og betong. *SINTEF Byggforsk kunnskapssystemer. Anvisning 572.111 Byggforskserien.*

SINTEF Anvisning, 1999. Frostnedbrytning av betong og andre porøse byggematerialer. *SINTEF Byggforsk kunnskapssystemer. Anvisning 520.067 Byggforskserien.*

Solomon, A., 2019. Physical and mechanical properties of aggregates derived from excavation materials, C&D waste and natural aggregates, Manuscript in preparation for PhD thesis at University of Agder.

SSB, 2019. Avfall fra byggeaktivitet, Statistisk sentralbyrå, statistikk for 2018 publisert 4 april 2019

<https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/avfbygganl/aar>.

Statens vegvesen Teknologirapport nr. 2431, Gjenbruksprosjektet - Prosjektrapport nr 13:  
Materialdeklarasjon av resirkulert tilslag – Uttesting av deklarasjonsordning, 2007.

Statens vegvesen Teknologirapport nr. 2422, Gjenbruksprosjektet - Prosjektrapport nr 11: Gjenbruk av knust  
betong i vegbygging Mekaniske egenskaper og testmetoder, 2005a.

Statens vegvesen Teknologirapport nr. 2411, Gjenbruksprosjektet - Prosjektrapport nr 10: Frostbestandighet  
av resirkulert tilslag, 2005b.

Statens vegvesen, Vegdirektoratet. Gjenbruksprosjektet – Prosjektrapport nr. 12: *Gjenbruksvegen E6  
Melhus*. Intern rapport nr. 2423. Oslo: Statens vegvesen, 2005c.



## A.1 Pågående laboratorieforsøk

<b>Egenskaper av 4/16 mm. Pukk og 4/16 mm. Miljø</b>					
	<b>4/16 mm Velde Miljø AS</b>		<b>4/16 mm. Velde Pukk AS</b>		
	<b>Testresultat</b>	<b>Kommentarer</b>	<b>Testresultat</b>	<b>Kommentarer</b>	<b>Referanse krav og Standard</b>
<b>Fisighetsindex</b>	11	Gjennomsnitt 8 prøver. Hyppighet 1 prøve per måned	13,3	Gjennomsnitt 8 prøver. Hyppighet 1 prøve hver 3 måneder	Håndbok N200-2018: "42. Lukkende rørgrøfter: Det er ikke spesielle krav til steinkvalitet (mekaniske egenskaper etc.), men materialene skal være slik at materialene ikke knuses unødig mye ned under utlegging og komprimering, og materialer skal ikke skade rørmateriale som det kommer i kontakt med.
<b>Klassifisering av bestanddelene av grovt resirkulert tilslag</b>	Ru = 90%	Ru: Mekanisk stabilisert tilslag, naturstein. Gjennomsnitt 8 prøver. Hyppighet 1 prøve per måned	Ru = 100%	Knust Fjell	Håndbok N200-2018: "42. Lukkende rørgrøfter: Det er ikke spesielle krav til steinkvalitet (mekaniske egenskaper etc.), men materialene skal være slik at materialene ikke knuses unødig mye ned under utlegging og komprimering, og materialer skal ikke skade rørmateriale som det kommer i kontakt med.
<b>Korndensitet (Mg/m<sup>3</sup>)</b>	2,63 (+/- 0,02)	Gjennomsnitt 3 prøver. Hyppighet 1 prøve hver 6 måned	2,63 (+/- 0,01)	Gjennomsnitt 3 prøver. Hyppighet 1 prøve hver 6 måned	Håndbok N200-2018: "42. Lukkende rørgrøfter: Det er ikke spesielle krav til steinkvalitet (mekaniske egenskaper etc.), men materialene skal være slik at materialene ikke knuses unødig mye ned under utlegging og komprimering, og materialer skal ikke skade rørmateriale som det kommer i kontakt med.
<b>Vannabsorpsjon (%)</b>	1,2 (+/- 0,3)	Gjennomsnitt 3 prøver. Hyppighet 1 prøve hver 6 måned	0,2 (+/- 0,1)	Gjennomsnitt 3 prøver. Hyppighet 1 prøve hver 6 måned	Håndbok N200-2018: "42. Lukkende rørgrøfter: Det er ikke spesielle krav til steinkvalitet (mekaniske egenskaper mv.), men materialene skal være slik at materialene ikke knuses unødig mye ned under utlegging og komprimering, og materialer skal ikke skade rørmateriale som det kommer i kontakt med.
<b>Los Angeles (LA)</b>	LA ≤ 35	Gjennomsnitt 12 prøver. Hyppighet 1 per måned	LA ≤ 25	Gjennomsnitt 4 prøver. Hyppighet 1 prøve hver 6 måneder	Håndbok N200-2018: "42. Lukkende rørgrøfter: Det er ikke spesielle krav til steinkvalitet (mekaniske egenskaper mv.), men materialene skal være slik at materialene ikke knuses unødig mye ned under utlegging og komprimering, og materialer skal ikke skade rørmateriale som det kommer i kontakt med.
<b>Micro-Deval</b>	MD ≤ 15	Gjennomsnitt 12 prøver. Hyppighet 1 per måned	MD ≤ 10	Gjennomsnitt 4 prøver. Hyppighet 1 prøve hver 6 måneder	Håndbok N200-2018: "42. Lukkende rørgrøfter: Det er ikke spesielle krav til steinkvalitet (mekaniske egenskaper mv.), men materialene skal være slik at materialene ikke knuses unødig mye ned under utlegging og komprimering, og materialer skal ikke skade rørmateriale som det kommer i kontakt med.
<b>Bestemmelse av prosentinnhold av knust korn i grov tilslag</b>	C <sub>91/9</sub>	Gjennomsnitt 2018. Hyppighet 1 prøve hver 2 måneder. C <sub>c/r</sub> = (c) Crushed or broken particle: Particle with more than 50% of its surface crushed or broken. (r) Runde particle: Particles with 50% or less of its surface crushed or broken.	C <sub>100/0</sub>	C <sub>c/r</sub> = (c) Crushed or broken particle: Particle with more than 50% of its surface crushed or broken. (r) Runde particle: Particles with 50% or less of its surface crushed or broken.	Håndbok N200-2018: "42. Lukkende rørgrøfter: Det er ikke spesielle krav til steinkvalitet (mekaniske egenskaper mv.), men materialene skal være slik at materialene ikke knuses unødig mye ned under utlegging og komprimering, og materialer skal ikke skade rørmateriale som det kommer i kontakt med.
<b>Gradering NE-EN 13242</b>	GC <sub>80-20</sub>	I henhold NS-EN 13242	GC <sub>80-20</sub>	I henhold NS-EN 13242	(NS-EN 13242 tabell 2)
<b>Overstorrelse</b>	11,1 %	I henhold NS-EN 13243	9,0 %	I henhold NS-EN 13242	Krav: 1 til 20 % (NS-EN 13242 tabell 2)
<b>Understorrelse</b>	10,5 %	I henhold NS-EN 13244	6,6 %	I henhold NS-EN 13242	Krav: 0 til 20% (NS-EN 13242 tabell 2)
<b>Finstoffinnhold</b>	f <sub>2</sub> ; ≤ 2%	20μ mindre enn 3% = T1 Ikke telegarlig (Håndbok N200. Tabell 512.1)	f <sub>2</sub> ; ≤ 2%	20μ mindre enn 3% = T1 Ikke telegarlig (Håndbok N200. Tabell 512.1)	Håndbok N200-2018: " T1 Ikke telefarlig" Tabell 512.1
<b>PROSJEKTNR</b>	<b>RAPPORTNR</b>		<b>VERSJON</b>		
102013302	2019:00424		1:0		16 av 19
					Hernan Mujica Produktsjef 29.03.2019

NS-EN 1097-3

## Løst lagret densitet og hulrominnhold

Materiale: 4/16 mm ute- knust fjell  
 Dato: 28.03.2019  
 Kunde/Kilde: Velde Pukk AS  
 Sign: Michal

## Data:

	Mg/m <sup>3</sup>	
	<i>løst</i>	<i>komprimert</i>
delprøve 1	1,39	1,55
delprøve 2	1,42	1,55
delprøve 3	1,39	1,55
<b>gjennomsnit</b>	<b>1,40</b>	<b>1,55</b>

## Resultater:

Løst lagret densitet <i><math>\rho_b</math></i>	Mg/m <sup>3</sup>	<b>1,40</b>
Komprimert densitet <i><math>\rho_k</math></i>	Mg/m <sup>3</sup>	<b>1,55</b>

Hulrominnhold <i>v</i>	%	<b>46,8</b>
------------------------	---	-------------

## Tilleggsinformasjon:

Materiale tilstand	<b>fuktig</b>
--------------------	---------------

Vanninnhold <i>w</i>	%	<b>ikke bestemt</b>
----------------------	---	---------------------

Komprimeringsmetode	<b>vibrerende bord (3 lag)</b>
---------------------	--------------------------------

Michal Malek

**NS-EN 1097-3**
**Løst lagret densitet og hulrominnhold**

Materiale: 4/16 mm miljø- resirkulert tilslag  
 Dato: 28.03.2019  
 Kunde/Kilde: Velde Miljø AS  
 Sign: Michal

**Data:**

	<i>Mg/m<sup>3</sup></i>	
	<i>løst</i>	<i>komprimert</i>
delprøve 1	1,44	1,65
delprøve 2	1,45	1,67
delprøve 3	1,45	1,65
<b>gjennomsnit</b>	<b>1,45</b>	<b>1,66</b>

**Resultater:**

Løst lagret densitet <i>ρ<sub>b</sub></i>	<i>Mg/m<sup>3</sup></i>	<b>1,45</b>
Komprimert densitet <i>ρ<sub>k</sub></i>	<i>Mg/m<sup>3</sup></i>	<b>1,66</b>

Hulrominnhold <i>v</i>	%	<b>44,7</b>
------------------------	---	-------------

**Tilleggsinformasjon:**

Materiale tilstand	<b>fuktig</b>
--------------------	---------------

Vanninnhold <i>w</i>	%	<b>ikke bestemt</b>
----------------------	---	---------------------

Komprimeringsmetode	<b>vibrenderende bord (3 lag)</b>
---------------------	-----------------------------------

Michal Malek

---





Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)