

Gordana Petkovic (Statens vegvesen), Bente Lillestøl (Veidekke)

# Materiallegenskaper for resirkulert tilslag

RESIBA - Prosjektrapport 02/2002



Prosjektrapport 2002

Prosjektrapport 332  
Gordana Petkovic, Bente Lillestøl  
Materialelegenskaper for resirkulert tilslag  
RESIBA - Prosjektrapport 02/2002

Emneord: Gjenvinning, miljø, betong, BA-avfall, resirkulert  
tilslag, materialelegenskaper, laboratorieprøving

ISSN 0801-6461  
ISBN 82-536-0770-9

100 eks. trykt av  
S.E. Thoresen as  
Innmat:100 g Kymultra  
Omslag: 200 g Cyclus

© Copyright Norges byggforskningsinstitutt 2002

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverkslovens bestem-  
melser. Uten særskilt avtale med Norges byggforskningsinstitutt er enhver  
eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning  
det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseor-  
gan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og  
inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B  
Postboks 123 Blindern  
0314 OSLO  
Tlf.: 22 96 55 55  
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

## FORORD

Prosjektet RESIBA (Resirkulert tilslag for bygg og anlegg) utføres med økonomisk støtte fra GRIP-senter/program ØkoBygg, i samarbeid mellom:

- Veidekke ASA (formann i styringskomité: Ole Skytterholm, Veidekke Gjenvinning AS)
- BA Gjenvinning AS (prosjektansvarlig: Edgar Dønåsen)
- Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling
- Statens vegvesen Oslo
- Kontrollrådet for betongprodukter
- Akershus fylkeskommune
- Oslo kommune, Plan- og bygningsetaten
- Optiroc AS
- Norges byggforskningsinstitutt (prosjektleder: Jacob Mehus)

RESIBA består av følgende delprosjekter:

- DP1: Deklarasjon og kvalitetskontroll
- DP2: Demonstrasjonsprosjekter
- DP3: Kunnskapsformidling

Denne prosjektrapporten inngår i en serie rapporter fra RESIBA:

- Prosjektrapport 01/2000: Bruk av resirkulert tilslag i bygg og anlegg – status 2000
- Prosjektrapport 02/2002: Materialelegenskaper for resirkulert tilslag
- Prosjektrapport 03/2002: Miljøpåvirkning ved bruk av resirkulert tilslag
- Prosjektrapport 04/2002: Forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag
- Prosjektrapport 05/2002: Ubunden bruk av resirkulert tilslag i veger og plasser
- Prosjektrapport 06/2002: Ubunden bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter
- Prosjektrapport 07/2002: Bruk av resirkulert tilslag i sementbaserte produkter

Sammendrag av hver prosjektrapport blir lagt ut på prosjektets nettsider

[www.byggforsk.no/Prosjekter/RESIBA](http://www.byggforsk.no/Prosjekter/RESIBA)

Komplette rapporter bestilles hos Norges byggforskningsinstitutt.

Hovedforfattere av denne prosjektrapporten er Gordana Petkovic (Statens vegvesen, Vegdirektoratet) og Bente Lillestøl (Veidekke ASA).

Viktige bidrag er kommet fra Olav Lahus og Jacob Mehus (Byggforsk). Rapporten er basert på bidrag fra all rapportert laboratorieprøving utført i RESIBA-prosjektet.

Oslo, Juni 2002

Trine Tvetter  
Avdelingssjef

Jacob Mehus  
Prosjektleder RESIBA

## **SAMMENDRAG**

Denne rapporten omfatter laboratorieundersøkelser på resirkulert tilslag gjennomført innen RESIBA-prosjektet. Målsetningen var å samle alle resultater fra laboratorieprøving i ett dokument, uavhengig av om de ble utført som en del av feltforsøk eller som en laboratorieprøving for seg. Rapporten er dermed ikke et resultat av en systematisk oppfølging av materialeegenskapene i løpet av prosjektperioden, men en sammenstilling av resultatene fra atskilte laboratorieforsøk.

Rapporten omfatter testing av: korngradering, materialsammensetning, kornform, mekaniske egenskaper, densitet og vannabsorpsjon, kjemiske og frostegenskaper.

Avhengig av egenskap, kommenterer rapporten egenskapene til naturlig tilslag, krav for visse bruksområder og testmetodenes egnethet.

Resultater av laboratorieprøving av resirkulert tilslag viser at materialeegenskaper til resirkulert tilslag ikke skiller seg vesentlig fra naturlig tilslag, noe som betyr at resirkulert tilslag kan brukes som alternativ til naturlig tilslag på en rekke bruksområder.

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>FORORD .....</b>	<b>3</b>
<b>SAMMENDRAG.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INNLEDNING .....</b>	<b>6</b>
<b>2. RESIRKULERT TILSLAG .....</b>	<b>8</b>
<b>3. RESIBA .....</b>	<b>9</b>
<b>4. LABORATORIEUNDERSØKELSER OMFATTET AV RAPPORTEN .....</b>	<b>10</b>
<b>5. TESTMETODER OG KRAV TIL RESIRKULERT TILSLAG .....</b>	<b>11</b>
<b>6. RESULTATER OG VURDERINGER.....</b>	<b>13</b>
6.1    KORNGRADERING .....	13
6.2    MATERIALSAMMENSETNING.....	17
6.3    KORNFORM.....	24
6.4    MEKANISKE EGENSKAPER.....	25
6.5    DENSITET OG VANNABSORPSJON .....	30
6.6    KJEMISKE EGENSKAPER .....	32
6.7    FROSTEGENSKAPER .....	33
<b>7. AVSLUTTENDE PRØVESERIE MAI 2002 .....</b>	<b>35</b>
7.1    KORNSTØRRELSSEFORDELING .....	35
7.2    MATERIALSAMMENSETNING.....	36
7.3    KORNFORM.....	36
7.4    MEKANISKE EGENSKAPER – LOS ANGELES .....	37
7.5    KORNDENSITET OG VANNABSORPSJON .....	37
<b>8. ØKONOMI .....</b>	<b>38</b>
<b>9. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER .....</b>	<b>39</b>
<b>10. REFERANSER .....</b>	<b>41</b>

## 1. INNLEDNING

Resultater, konklusjoner og anbefalinger fra RESIBA-prosjektet presenteres gjennom prosjektrapporter og en felles veiledning som vil bygge på prosjektrapportene. I denne prosjektrapporten behandles materialtekniske egenskaper til resirkulert tilslag. Hensikten med rapporten er å samle og systematisere resultater fra laboratorieanalyser utført på resirkulert tilslag innen RESIBA-prosjektet.

Rapporten er ikke et resultat av en systematisk oppfølging av materialeegenskapene i løpet av prosjektperioden, men en sammenstilling av resultatene fra atskilte laboratorieforsøk. De fleste forsøkene er utført i forbindelse med demonstrasjonsprosjekter og har vært utformet slik det passet det enkelte demonstrasjonsprosjektet. Noen forsøk er knyttet til laboratorieprøving som ble satt i gang for å supplere prosjektets generelle datagrunnlag med egenskaper som ikke var spesielt undersøkt i demonstrasjonsprosjekter. Rapporten viser også resultatene fra en avsluttende serie prøver, utført i mai 2002.

Det er flere forhold som i løpet av RESIBA-prosjektet (1999 – 2002) har påvirket oppfølging av materialeegenskaper i de ulike delprosjektene. De viktigste er:

- I løpet av RESIBA-prosjektet, særlig i forbindelse med arbeidet med forslag til deklarasjonsordning, har det pekt seg ut et utvalg egenskaper som vurderes å være viktig for beskrivelse av resirkulert tilslag<sup>1</sup>. Det er større forståelse rundt faktorer som påvirker disse egenskapene, og det er klarere hvilke egenskaper som er viktige for de enkelte bruksområder.
- RESIBA har forsøkt å tilpasse sine aktiviteter i forhold til CENs arbeid. Prosjektet har støttet seg på arbeidsutgaver av ”amendments”(tilleggspunkter til standarder for naturlig tilslag som omfattet resirkulert tilslag) inntil det ble klart at disse ikke kommer med i denne generasjonen av tilslagsstandarder. CEN-arbeidet har likevel framhevet visse materialparametre og testmetoder som ble valgt ut som formelle metoder for resirkulerte materialer.
- Produsenten BA Gjenvinning har tilpasset sin produksjon til mengden av bygg- og riveavfall, samt etterspørselen. Markedsfaktorer gjør at produksjonen ikke har vært fokusert på et begrenset antall veldefinerte *produkter*, men har vært varierende.

Undersøkelsene samlet i denne rapporten gir en oversikt over orienterende verdier for de viktigste materialeegenskapene av resirkulert tilslag. Rapporten vil kunne hjelpe ved vurdering av bruk av resirkulert tilslag. Den kan også være et godt utgangspunkt for mer målrettet testing og deklarasjon av typisk produksjon av resirkulert tilslag.

Følgende materialeegenskaper er omtalt i rapporten:

- Kornfordeling
- Materialsammensetning (ved korntelling)
- Kornform (flisighet)
- Mekaniske egenskaper (Los Angeles, kulemølle, abrasjon)
- Densitet (korndensitet og bulkdensitet)

- Vannabsorpsjon
- Innhold av klorider og sulfater
- Frostbestandighet

Kjemiske analyser, inklusive utlekking, er ikke med i denne rapporten, men er omtalt i RESIBA prosjektrapport 03/2002 "Miljøpåvirkning ved bruk av resirkulert tilslag"<sup>2</sup>.

Alt tilslag som er testet og rapportert i denne rapportert ble produsert på BA Gjenvinnings anlegg på Grønmo i Oslo.

## 2. RESIRKULERT TILSLAG

I prosjektrapportene fra RESIBA har vi konsekvent brukt ”resirkulert tilslag” i overensstemmelse med det europeiske standardiseringsorganet CENs betegnelse (eng.: recycled aggregate)<sup>3,4</sup>. Dette samsvarer med definisjon gitt i forslag til terminologiliste fra Pukk- og Grusleverandørenes Gjenvinningsforum der resirkulert tilslag er definert som: ”Tilslag fra bearbeidelse av inerte materialer tidligere brukt i bygg- og anleggsbransjen”<sup>5</sup>.

Produksjon av resirkulert tilslag baseres på bearbeidelse (ofte nedknusing og sikting) av betong- og teglavfall fra BAE-næringen (bygg-, anleggs- og eiendomsnæringen). I Norge utgjør avfallet fra denne næringen mer enn 1,5 mill. tonn årlig, hvorav ca. 1,1 mill. tonn er betong og tegl<sup>6</sup>. I tillegg kommer store mengder av andre masser fra utgraving o.l. i størrelsesorden 10 – 15 millioner tonn<sup>7</sup>. Resirkulert tilslag er vanligvis ulike sorteringer av blandede masser (både betong og tegl) og ren betong. Eksempler på sorteringer er 0-10, 10-20, 20-38 og 38-120 mm.

Naturlig tilslag er i prosjektrapportene fra RESIBA brukt som betegnelse for tilslag fra moreneforekomster og knust fjell.

Ved bruk av resirkulert tilslag skilles det mellom ubunden og bunden bruk. Med ubunden bruk menes ulike former for utlegging og mekanisk stabilisering (avretting, tilbakefylling, grøfter, veier, fundamentering, drenering mm.). Med bunden bruk menes tilslag i en matriks som i all hovedsak er sement- eller asfaltbasert. I RESIBA-prosjektet behandles kun sementbaserte produkter.



### 3. RESIBA

RESIBA (Resirkulert tilslag for bygg og anlegg) er et tre-årig ØkoBygg-prosjekt (1999-2002) som har knyttet til seg noen av BAE-næringens mest sentrale aktører<sup>8</sup>. Både kunde- og leverandørsiden, det offentlige og forskningsmiljøer er representert. RESIBA-prosjektets overordnede mål er å bidra til økt bruk av resirkulerte tilslag på en rekke områder innenfor bygg, anlegg og eiendom. RESIBA er delt inn i tre delprosjekter:

– *Delprosjekt 1: Deklarasjon og kvalitetskontroll.*

Målet med DP1 er å skaffe grunnlagsmateriale om resirkulert tilslag og dets tekniske egenskaper og mulige miljøpåvirkninger. I tillegg blir det utarbeidet forslag til deklarasjonsordning.

– *Delprosjekt 2: Demonstrasjonsprosjekter.*

Målet med DP2 er å vurdere egnethet av resirkulert tilslag i ferdige konstruksjoner. Gjennom pilotprosjekter blir egnethet av resirkulert tilslag i veier, grøfter og ulike sementbaserte produkter undersøkt.

– *Delprosjekt 3: Kunnskapsformidling.*

Målet med DP3 er å formidle kunnskap og erfaringer fra prosjektet gjennom egne internettsider, tekniske rapporter, byggdetaljblader, artikler i fagpresse, seminarer og kurs.

Denne rapporten er utarbeidet som en del av aktiviteten i delprosjekt 1.

#### 4. LABORATORIEUNDERSØKELSER OMFATTET AV RAPPORTEN

Tallmaterialet som denne rapporten er basert på er hentet fra notater eller rapporter fra følgende RESIBA-aktiviteter:

- ”Declarasjon av egenskaper for resirkulert tilslag – forprosjekt 1998”. NBIs forundersøkelse<sup>9</sup>
- ”Resirkulerte masser i ubunden bruk”. Hovedoppgave utført av studenter ved Høgskolen i Oslo i samarbeid med Norges byggforskningsinstitutt. Supplerende prøving på samme materialet hos Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling<sup>10, 11</sup>
- ”Resirkulert tilslag som fundament og omfylling i VA-grøfter”. Hovedoppgave utført av studenter ved Høgskolen i Oslo i samarbeid med Norges byggforskningsinstitutt.<sup>12</sup>
- Prøver i forbindelse med bruk av resirkulert tilslag i forsterknings- og bærelag av gang- og sykkelvegen Skøyen- Bygdøy<sup>13</sup>
- ”Testing av mekaniske egenskaper og korngradering på resirkulert tilslag” – laboratorieprøving utført av Sondre Gulbrandsen, Statens vegvesen, 2001<sup>14</sup>
- Prøver i forbindelse med bruk av resirkulert betong og tegl i sortering 10-20 mm i en 600 meter lang overvannsgrøft ved Yggeset Avfallpark i Asker. Laboratorieforsøk ble utført ved Norges byggforskningsinstitutt<sup>15</sup>.
- Laboratorieforsøk med betong C35 NA der 0, 20, 40, 60 og 100 % av det grove tilslaget er erstattet med resirkulert tilslag sortering 10-20 mm, samt laboratorieforsøk med betong C45 NA der opptil 100 % av det grove tilslaget er erstattet med resirkulert tilslag sortering 10-20 mm. I tillegg er det utført feltforsøk med C35 NA betong med 20 % resirkulert tilslag ved bygging av fundamenter for Telenor på Fornebu<sup>16,17</sup>.
- ”Betong med høy andel resirkulert tilslag”. Hovedoppgave utført av student ved Høgskolen i Oslo i samarbeid med Norges byggforskningsinstitutt. Datert 09.06.00.<sup>18</sup>
- Prøver i laboratorium og felt i forbindelse med bruk av betong C35 NA ved Sørumsand videregående skole der 37 % av det grove tilslaget er erstattet med resirkulert tilslag i sortering 10-20 mm. Betongen er brukt i fundamenter, kjellervegger og søyler i halve kjelleren. Prøvene er utført ved Norges byggforskningsinstitutt og Unicons betongblanderwerk på Lørenskog. I tillegg er det brukt resirkulert materiale i ubunden form som oppfylling under kjeller og i oppbyggingen av veier og plasser<sup>19</sup>.
- Prøver i forbindelse med bruk av sprøytebetong med opptil 20 % resirkulert tilslag på en EPS-fylling i Gaustadbekkdalen. I tillegg til prøver tatt i felten, ble det utført laboratorieforsøk i forkant og etterkant av sprøytingen i felt ved Norges byggforskningsinstitutt og Veidekkes betonglaboratorium<sup>20</sup>.

## 5. TESTMETODER OG KRAV TIL RESIRKULERT TILSLAG

Testmetoder for naturtilslag kan ikke direkte overføres til resirkulert tilslag. I sluttrapporten fra "Ad hoc group for recycled aggregates" i CEN TC 154 er det satt opp en oversikt over aktuelle bruksområder for resirkulert tilslag, anbefalte egenskaper og tilhørende testmetoder, med merknader der testmetoden mangler<sup>21</sup>. Siden dette dokumentet ble laget har det kun kommet to forslag til CEN-standarder som gjelder resirkulert tilslag:

- Utlekkingstester (NS EN 1744-3)<sup>22</sup>
- Materialsammensetning (prEN 933-11)<sup>23</sup>.

Resten av analysene utføres iht. standarder for steinmaterialer. Noe arbeid på vurdering og justering av testmetoder for resirkulert tilslag pågår bl.a. innen Nordtest<sup>24</sup>.

Tilpassing av testmetoder krever også en justering av *krav* som stilles til resirkulert tilslag. For eksempel har resirkulert tilslags evne til etterbinding og stivhetsøkning i ubundne lag gjort at det fokuseres mye på funksjonskrav og måten disse tilfredsstilles på<sup>25</sup>. Så lenge forholdet mellom materialegenskaper og funksjonsegenskaper ikke er undersøkt i tilstrekkelig grad, er man fortsatt nødt til å stille samme krav til resirkulert tilslag som til naturlig tilslag.

Tabell 5-1 gir en oversikt over prøvemetoder som er brukt i RESIBA-undersøkelsene, samt metoder som er foreskrevet i RESIBAs forslag til deklarasjonsordning.

Tabell 5-1. Prøvemetoder brukt i RESIBA-undersøkelsene og prøvemetoder foreskrevet i RESIBAs forslag til deklarasjonsordning

Analyse	Metoder brukt i RESIBA-undersøkelsene	Metoder forutsatt i Deklarasjonsordningen
Korngradering	Statens vegvesen Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser <sup>26</sup> : 14.432 Kornfordeling ved tørrsikting 14.434 Våtsikting med slemmeanalyse Kontrollrådets metodesamling <sup>27</sup>	NS-EN 933-1 <sup>28</sup>
Materialsammensetning	varianter av prEN 933-7 (bestemmelse av skjellinnhold i tilslag) og prEN 933-11 (materialsammensetning ved korntelling) <sup>29, 23</sup>	prEN 933-11 <sup>23</sup> (materialsammensetning ved korntelling)
Kornform	Statens vegvesen Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 14.451 Flisighet og sprøhet (fallprøve)	NS-EN 933-3 <sup>30</sup> (Flisighetsindeks)
Mekaniske egenskaper	Statens vegvesen Håndbok 014 14.451 Fallprøve (Flisighet og sprøhet) 14.456 Los Angeles-metoden 14.455 Kule møllemetoden 14.454 Abrasjonsmetoden  Kontrollrådets metodesamling <sup>27</sup>	EN 1097-2 <sup>31</sup> (Los Angeles)
Densitet og vannabsorpsjon	Statens vegvesen Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 14.424 Densitet og absorbert vann for tilslag større enn 8 mm	EN 1097-6 <sup>32</sup>
Innhold av klorider	Utvidet versjon av NS 361 <sup>33</sup> (NBIs standardprosedyre)	NS-EN 1744-1 <sup>34</sup>
Innhold av sulfater	NS 3090 <sup>35</sup>	NS-EN 1744-1 <sup>34</sup>
Frostbestandighet	SS 13 72 44 <sup>36</sup>	-
Kjemiske egenskaper – utlekking	prEN 1744-3	NS-EN 1744-3 <sup>22</sup>

## 6. RESULTATER OG VURDERINGER

### 6.1 Korngradering

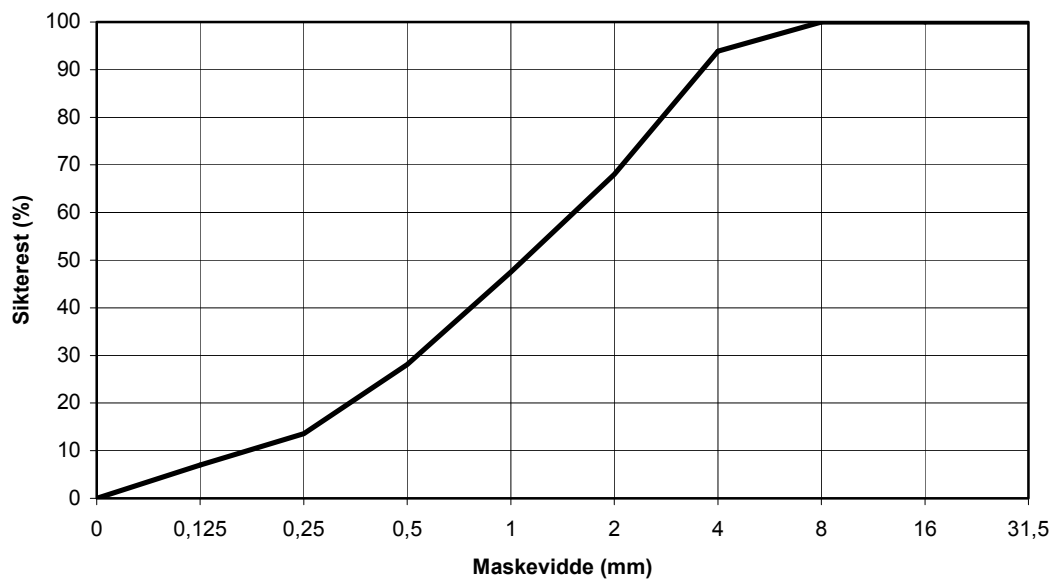
Undersøkelser av korngradering er foretatt i henhold til Statens vegvesen Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser og Kontrollrådets metodesamling for prøving av betongtilslag<sup>26,27</sup>.

Våtsikting med slemmeanalyse er utført iht Håndbok 014

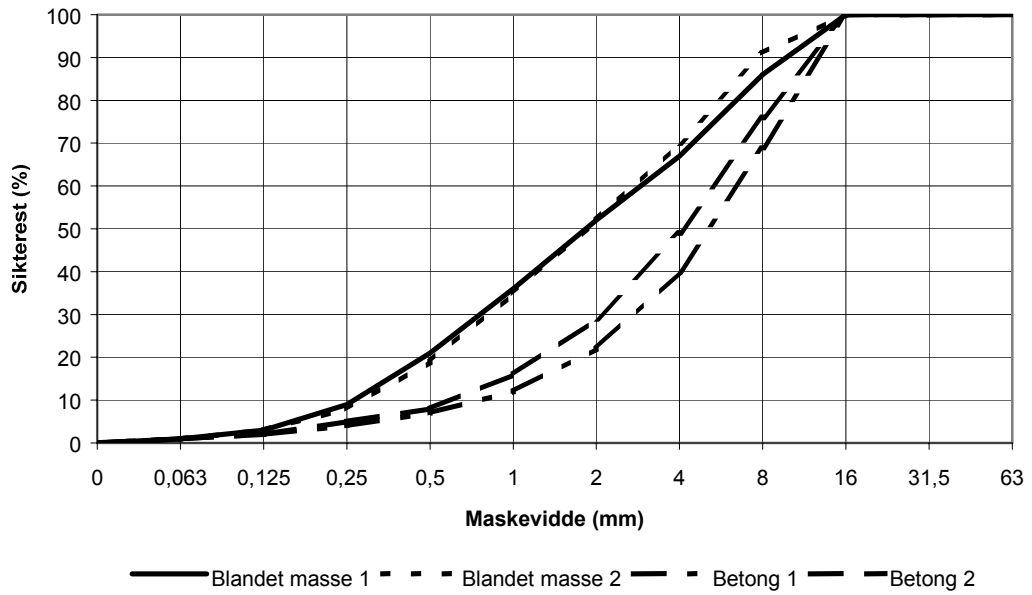
Laboratorieundersøkesler<sup>26</sup>.

Resultatene er hentet fra ulike RESIBA-prosjekter der resirkulert tilslag fra både betong og blandede masser er brukt. Undersøkelsene er gjort i laboratorium og i tilknytning til fullskalaprosjekter med bruk i veier, grøfter, konstruksjonsbetong og sprøytebetong.

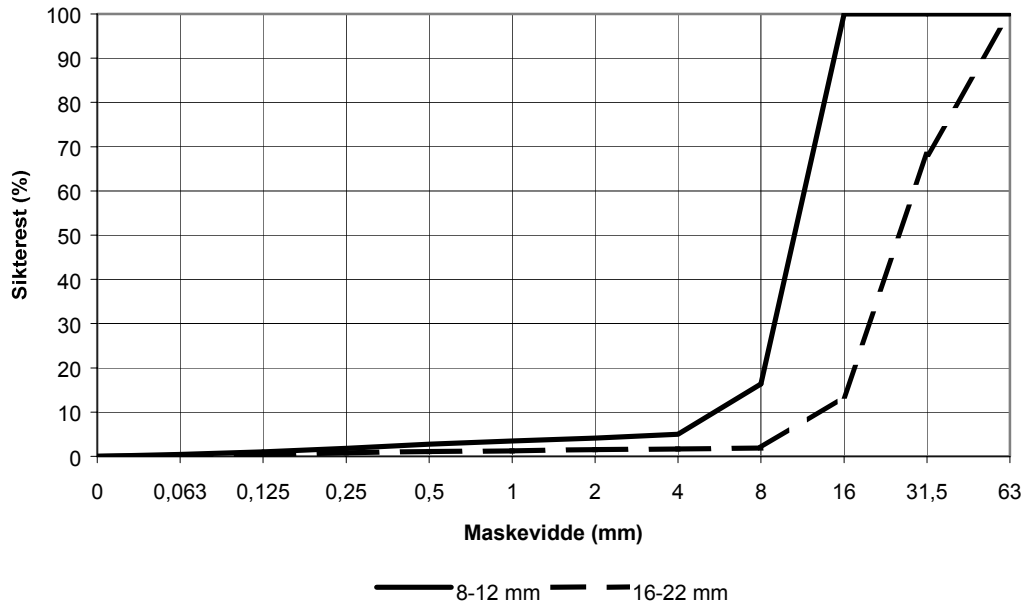
Bestemmelsen av korngraderingen har vært utført i forbindelse med nesten alle RESIBA-aktivitetene. Korngraderingskurver sortert etter fraksjonen og type resirkulert tilslag er vist i figurer 6-1 til 6-7.



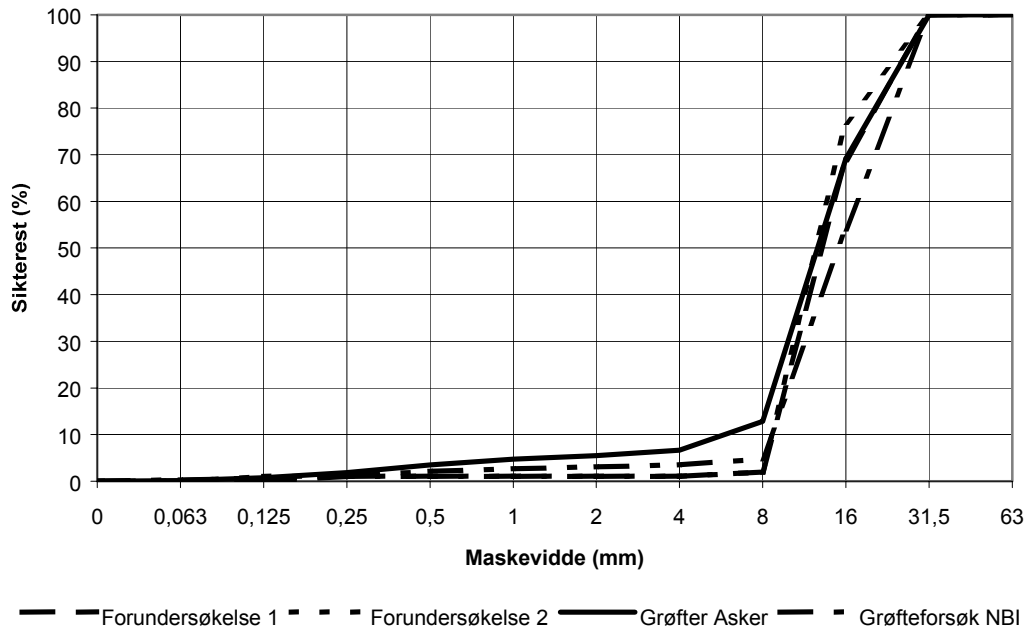
Figur 6-1. Korngradering for resirkulert tilslag fra blandet masse 0 – 4 mm brukt i sprøytebetong<sup>20</sup>.



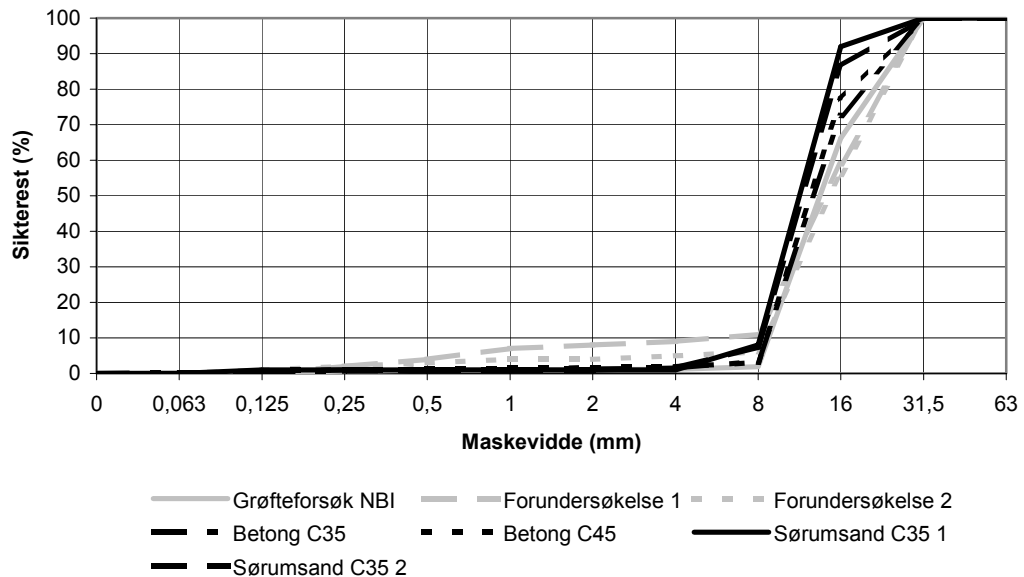
Figur 6-2. Korngradering for resirkulert tilslag fra ren betong og blandet masse 0 – 8 mm undersøkt i NBIs forundersøkelse i 1998<sup>9</sup>.



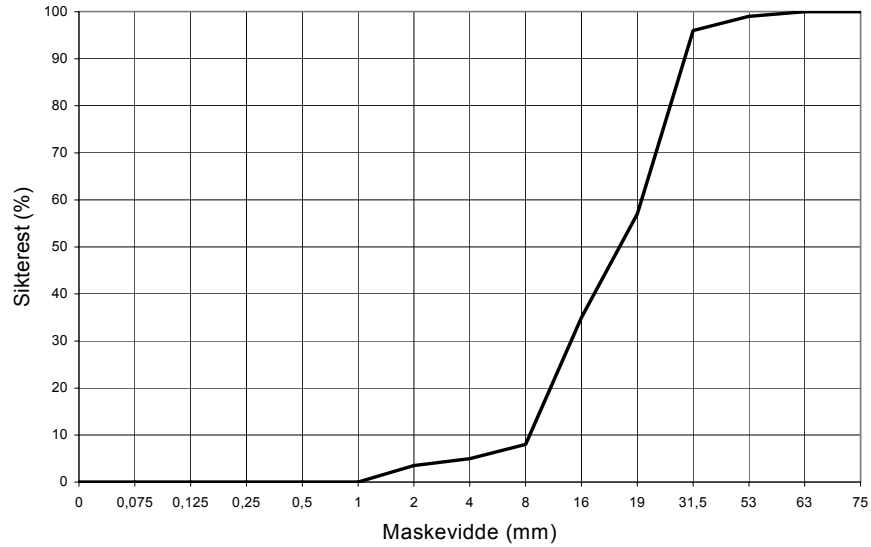
Figur 6-3. Korngradering for resirkulert tilslag fra ren betong i sortering 8 – 12 mm og 16 – 22 mm brukt i NBIs forsøk med grøftepukk<sup>12</sup>.



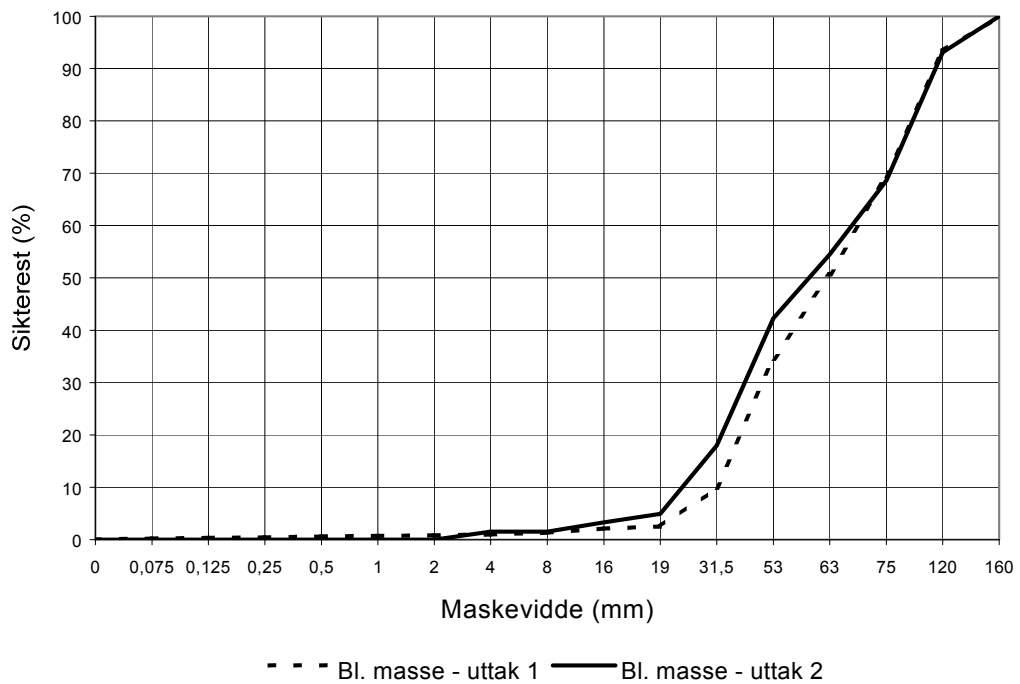
Figur 6-4. Korngradering for resirkulert tilslag fra blandet masse 10 - 20 mm. Resultatene er fra NBI's forundersøkelse i 1998, resirkulert tilslag brukt i grøfter i Asker og forsøk utført på grøftepukk hos NBI<sup>9,12</sup>.



Figur 6-5. Korngradering for resirkulert tilslag fra ren betong 10 - 20 mm. Resultatene er hentet fra resultater fra NBI's forundersøkelse i 1998, brukt i grøttestorsøk ved NBI, samt resirkulert tilslag brukt i betongforsøk ved Fornebu og Sørumsand videregående skole<sup>9,12,16,19</sup>.



Figur 6-6. Korngradering for resirkulert tilslag fra ren betong 8 – 60 mm brukt på gang- og sykkelveg ved Skøyen i februar 2000<sup>13</sup>.



Figur 6-7. Korngradering for resirkulert tilslag fra blandet masse 20 – 120 mm brukt på gang- og sykkelveg ved Skøyen i februar 2000<sup>13</sup>.

Det ble gjort et forsøk på å sammenligne korngraderingskurvene med kravene til stilt i tilslagsproduktstandardene fra CEN. Det var ikke lett å trekke noen konklusjoner fra dette, da BA Gjenvinnings sorteringer har variert i løpet av prosjektperioden.



### 6.1.1 Våtsikting med slemmeanalyse

Våtsikting med slemmeanalyse ble utført på en prøve blandet masse 0 – 10 mm for å få en indikasjon om materialets telefarlighet<sup>14</sup>. Innholdet av materiale < 0,020 mm plasserer materialet i telegruppe T2, dvs ”lite telefarlig”. Tatt i betraktning at fraksjonen 0 – 10 mm er et meget ”ugunstig” valg i denne sammenhengen, er dette resultatet en indikasjon på at telefarlighet ikke er et problem for resirkulert tilslag.

## 6.2 Materialsammensetning

Vurdering av sammensetning av resirkulert tilslag mht andel delmaterialer, innen RESIBA-prosjektet, har vært utført ved korntelling, med utgangspunkt i prEN 933-7 for bestemmelse av skjellinnhold, men med visse variasjoner<sup>29</sup>. Utkast til standard for testing av sammensetning av resirkulert tilslag, prEN 933-11, kom ut først i 2000<sup>23</sup>.

Bestemmelse av materialsammensetning ved korntelling har vært utført i forbindelse med NBIs forundersøkelse og undersøkelse av grøftepukk, Statens vegvesens G/S-veg på Skøyen, og tester av betong for Sørumsand videregående skole<sup>9,12,13,19</sup>.

### 6.2.1 Prøvemethoden

Materialsammensetning er en betegnelse for innholdet i resirkulert tilslag mht. andel typer materialer, eller delfraksjoner. En måte å uttrykke sammensetning av resirkulert tilslag på er *densitetsgradering*, der man angir prosentandeler av materialer med en bestemt densitet. Måling av densitetsgradering er imidlertid komplisert, og enklere metoder basert på korntelling er derfor blitt foretrukket. Utkast til CEN-standard prEN 933-11 ”Classification tests for type constituents of coarse recycled aggregate”<sup>23</sup> er basert på korntelling.

Første utkast til prEN 933-11 kom først i 2000. En del av RESIBA-forsøkene ble gjennomført før den tiden. Derfor har praksis for bestemmelse av materialesammensetning variert noe i RESIBA-forsøkene. Alle forsøk har dog vært basert på uttak av et visst antall korn (100 – 500), telling av korn som tilhører samme delfraksjon, beregning av %-andel korn i hver delfraksjon og anslag av masseprosent.

### 6.2.2 Klassifisering

Sammensetning mht. delmaterialer har vært grunnlag for klassifisering av resirkulert tilslag. ”Ad hoc group for recycled aggregates” i CEN TC 154 har i sin sluttrapport foretatt tre klassifiseringsmåter, avhengig av bruksområdet<sup>21</sup>:

- For sementbasert bruk - følger klassifisering foretatt av RILEM<sup>37</sup>
- For bitumenbasert bruk
- For resirkulert tilslag som løsmasse.

Denne klassifiseringsmåten ble endret i påfølgende utgaver av tilleggspunkter (amendments) til tilslagsproduktstandarder som skulle supplere produktstandardene slik at de også omfattet resirkulert tilslag. Ingen av ”amendments” kom ut i sin

endelig utgave. Man kan derfor regne med at CENs klassifisering av resirkulert tilslag blir endret i neste generasjon standarder, der resirkulert tilslag sannsynligvis også vil bli inkludert.

Flere land har kommet med egne klasser for resirkulert tilslag. I Norge er det i Norsk Betongforeningens publikasjon 26 (NB 26) foretatt en klassifisering av resirkulert tilslag til bruk som betongtilslag (bunden bruk)<sup>38</sup>. RESIBAs forslag til deklarasjonsordning har også foreslått en klassifisering, både for bunden og ubunden bruk.

I tabell 6-1 er RESIBAs forslag til klassifisering av resirkulert tilslag fra "Forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag" vist <sup>1</sup>.

Tabell 6-1 Klassifisering av resirkulert tilslag, fra RESIBAs "Forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag"<sup>1</sup>.

	Type 1 "Knust betong"		Type 2 "Blandet masse"	
	A – Bunden bruk	B – Ubunden bruk	A – Bunden bruk	B – Ubunden bruk
<b>Hoveddelmateriale:</b>				
Knust betong og/eller naturtilslag	> 94 %		-	
Knust betong , knust murverk og naturtilslag	-		> 90 % <sup>1)</sup>	
<b>Andre granulære delmaterialer:</b>				
Knust murverk	< 5 %	< 5 %	-	-
Knust gjenbruksasfalt	< 1 %	< 5 %	< 1%	< 5 %
<b>Ikke-mineralsk innhold:</b>				
Treverk, papir, metall, isolasjonsmaterialer*, planterester**, plast, glass, gummi, annet	< 1 %		< 2,5 %	
* Isolasjonsmaterialer	< 0,1 v. % <sup>2)</sup>		< 0,5 v. % <sup>2)</sup>	
** Planterester	< 0,1 v. % <sup>2)</sup>		< 0,5 v. % <sup>2)</sup>	
Densitet – ovenstørr <sup>3)</sup>	> 2000 kg/m <sup>3</sup>		> 1500 kg/m <sup>3</sup>	
- vannmettet overfl.tørr <sup>3)</sup>	> 2100 kg/m <sup>3</sup>		> 1800 kg/m <sup>3</sup>	
Vannabsorpsjon	< 10 %		< 20 %	

- <sup>1)</sup> For bruksområder der det stilles andre krav til resirkulert tilslag enn materialsammensetning, anbefales det å holde andelen av ren betong og/eller naturtilslag på min. 80 %.
- <sup>2)</sup> For planterester og isolasjonsmaterialer regnes prosentandelen i volumprosent
- <sup>3)</sup> Utføres iht. NS-EN 1097 – 6. Kravet skal oppfylles for minst en av metodene.

### 6.2.3 Materialsammensetning – blandet masse

Resultater av undersøkelser av materialsammensetning av resirkulert tilslag av blandet masse er vist i figurene 6-8 til 6-12.

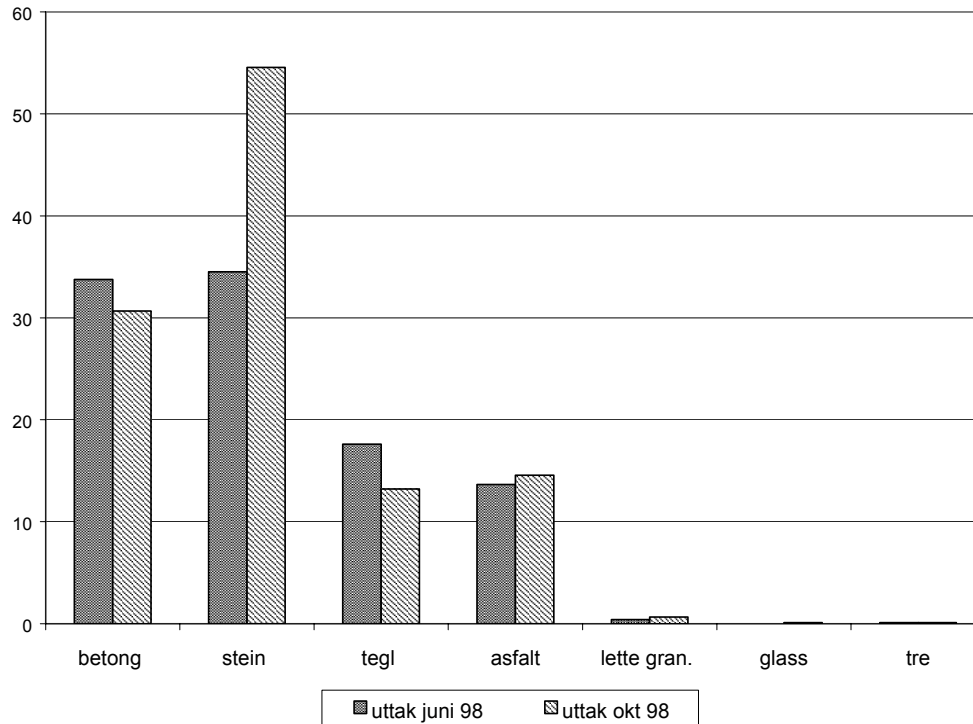


Fig 6-8. Sammensetning av blandet masse 8-16 mm, NBIs Forundersøkelse<sup>9</sup>.

Figur 6-8 viser resultater av de første bestemmelser av materialsammensetning på resirkulert tilslag fra blandet masse. Disse ble utført i NBIs forundersøkelse<sup>9</sup>. En forskjell i innholdet stein og betong er merkbar, mens asfalt- og teglinnhold ikke varierer mer enn med 5 % totalantall korn.

I G/S-vegen Skøyen-Bygdøy ble det brukt en grov fraksjon blandet masse, 20 – 120 mm. Figur 6-9 og Figur 6-10 viser materialsammensetningen av fire prøver, tatt med noen dagers mellomrom, like før og ved utlegging av forsterkningslaget på G/S-vegen<sup>13</sup>.

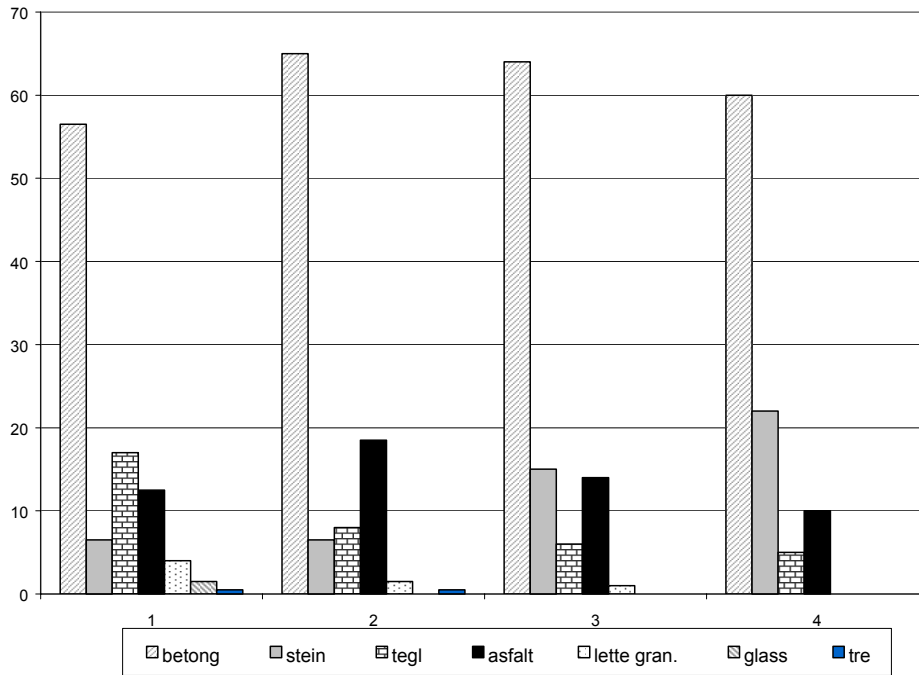


Fig 6-9. Sammensetning av blandet masse 20 – 120 mm, G/S-vegen Skøyen-Bygdøy<sup>13</sup>.

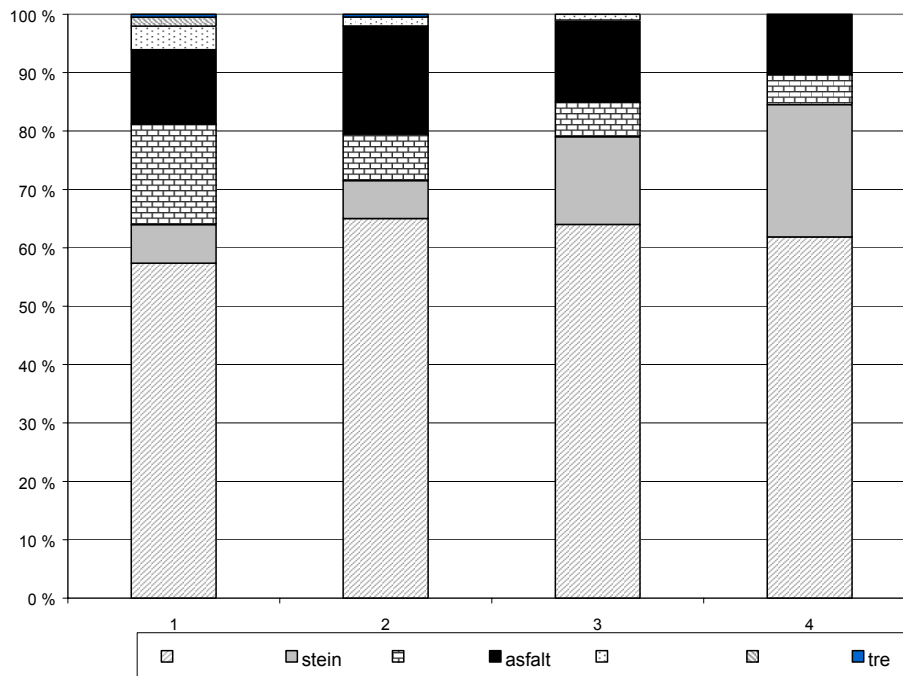


Fig 6-10. Variasjon i andel delmaterialer i fire prøver fra g/s-vegen Skøyen-Bygdøy<sup>13</sup>.

En variasjon i andel tegl og asfalt er merkbar. De største partiklene i blandet masse 20 -120 mm var hele murstein eller store "klumper" betong. En upraktisk og tidskrevende manuell sikting "stein for stein" av materialet større enn 31,5 mm var nødvendig. En vurdering av materialsammensetning var derfor gjort bare på de grove fraksjonene, for å få en indikasjon på om forskjeller i deres sammensetning, og om korn telling kunne reduseres til den lettere "håndterbare" delen av materialet, se figurer 6-11 og 6-12.

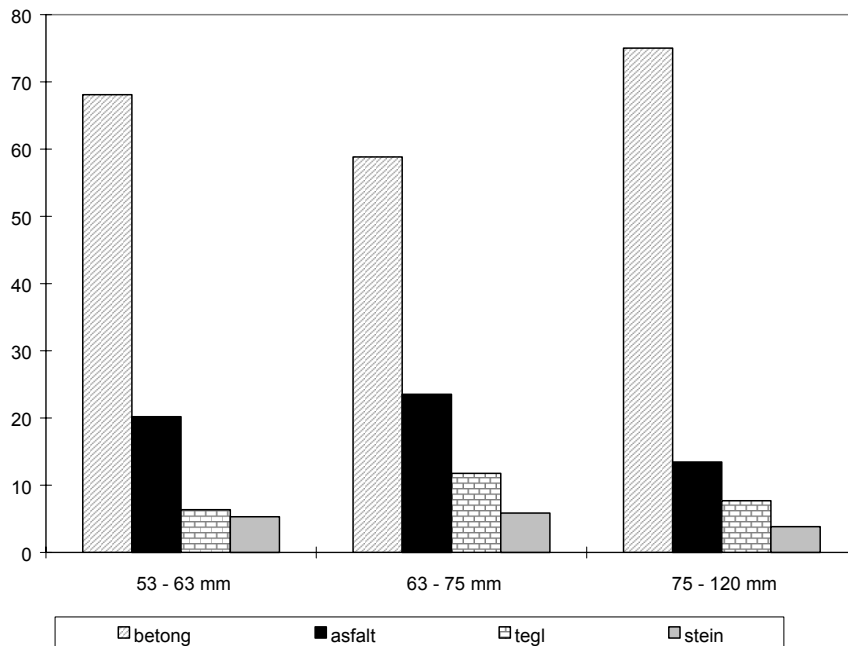


Fig 6-11. Sammensetning av grove fraksjoner, Skøyen-Bygdøy<sup>13</sup>.

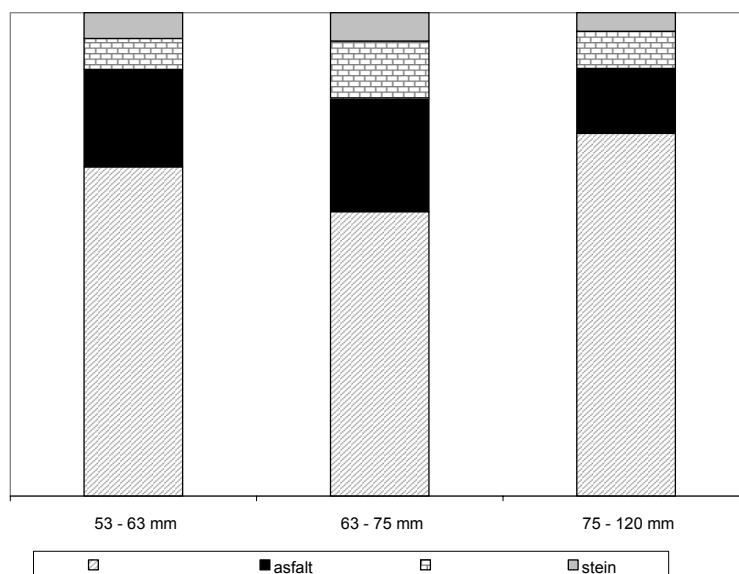


Fig 6-12. Sammensetning av grove fraksjoner, g/s-vegen Skøyen-Bygdøy<sup>13</sup>.

Resultatene i Fig 6-11 og 6-12 viser at sammensetning ikke varierer merkbart mellom de grove fraksjonene. I forhold til materialet som helhet, er ”stein” som delmateriale mindre representert. Dette er ikke overraskende, partikkelstørrelsen tatt i betraktning.

#### 6.2.4 Materialsammensetning – ren betong

Fig 6-13 og 6-14 viser sammensetning av ren betong, fraksjoner 8 –12 mm, 8 – 16 mm og 10 – 20 m. Figuren kombinerer NBIs Forundersøkelse, serie 1 og 2, NBIs undersøkelser med bruk i VA-grøfter, serie 3, resirkulert tilslag til betong på Fornebu, serie 4, og Sørumsand vg-skole, serie 5 og 6<sup>9,12,16,19</sup>.

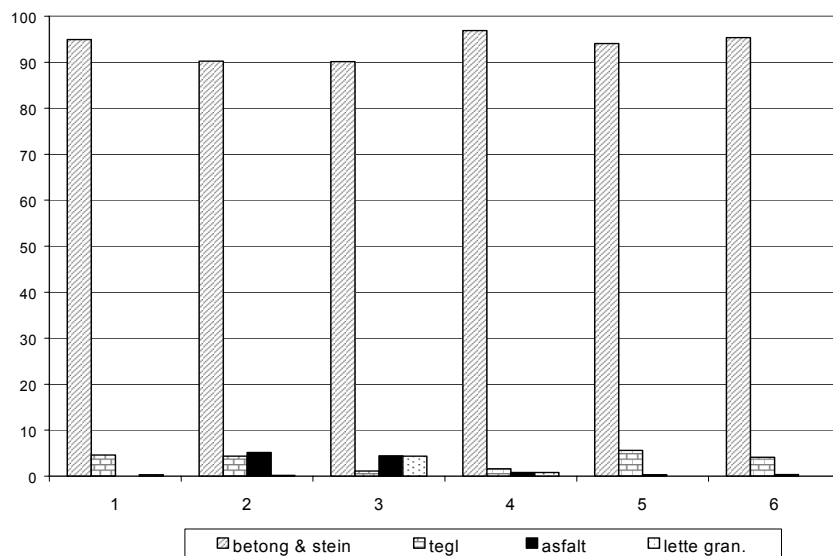


Fig 6-13. Sammensetning av knust betong, 8-12, 8-16 og 10-20 m.

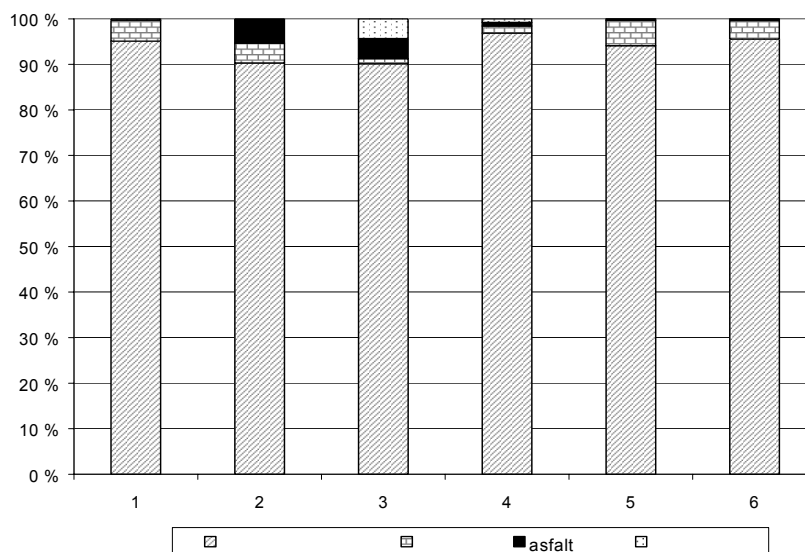


Fig 6-14. Variasjon i delfraksjoner - knust betong, 8-12, 8-16 og 10-20 mm.

### 6.2.5 *Vurderinger*

RESIBAs forslag til klassifisering av resirkulert tilslag er vist i Tabell 6-1. Selv om resultatene presentert i Figurene 6-8 til 6-14 er basert på antall korn og ikke masseandel av den enkelte delfraksjonen, kan man likevel sammenligne disse med krav som stilles i de forslåtte klassene. Det er mulig å trekke følgende konklusjoner:

- Blandet masse har en høyere andel asfalt enn det som er maksimalgrensen for ubunden bruk (maks. 5 % asfalt), særlig i forhold til kravet for bunden bruk (som er maks. 1 % asfalt).
- Andel urenheter tilfredsstillt kravet til blandet masse for ubunden bruk (maks. 2,5 %). For blandet masse i bunden bruk måtte man være oppmerksom på urenheter (kravet er maks. 1 %).
- For resirkulert tilslag av ren betong virker det som om andel tegl generelt ligger på rundt eller innenfor maksimalgrense, men det er noe mer asfalt i prøver tatt tidligere i prosjektperioden.
- Ingen av densitetsmålingene har falt utenfor minimumskravet.

## 6.3 **Kornform**

Tilslagets kornform beskrives med flisighetsindeks og prøvingen utføres i henhold til NS-EN 933-3<sup>30</sup>. Den eneste bestemmelse av flisighetsindeks ble utført som en del av den avsluttende prøveserien i mai 2002. Dette er omtalt i kapittel 7.

I RESIBAs laboratorieundersøkelser ble kornformen målt kun i forbindelse med testing av flisighet og sprøhet ("fallprøven") i henhold til Statens vegvesen håndbok 014<sup>26</sup>. Dette ble utført både på ren betong og blandet masse og er omtalt i punkt 6.4.



## 6.4 Mekaniske egenskaper

Mekaniske egenskaper ble i prosjektets start testet ved hjelp av fallprøven. Komparative målinger ble gjort for å undersøke hvorvidt metoden er brukbar for resirkulert tilslag. Senere ble det gjennomført en serie Los Angeles tester på ren betong og blandet masse. I RESIBAs prøveprosjekter ble det ikke stilt krav til mekanisk styrke. Disse undersøkelsene ble utført bare for å få orienterende verdier på mekaniske parametre.

Mekanisk styrke er en egenskap som mest gjør seg gjeldende i ubunden bruk av resirkulert tilslag. Det stilles krav til mekanisk styrke for steinmaterialer brukt i vegoverbygning (forsterkningslag og bærelag) og i slitelag (i tillegg til abrasjonsmotstand)<sup>39</sup>.

### 6.4.1 Flisighet og sprøhet (fallprøven)

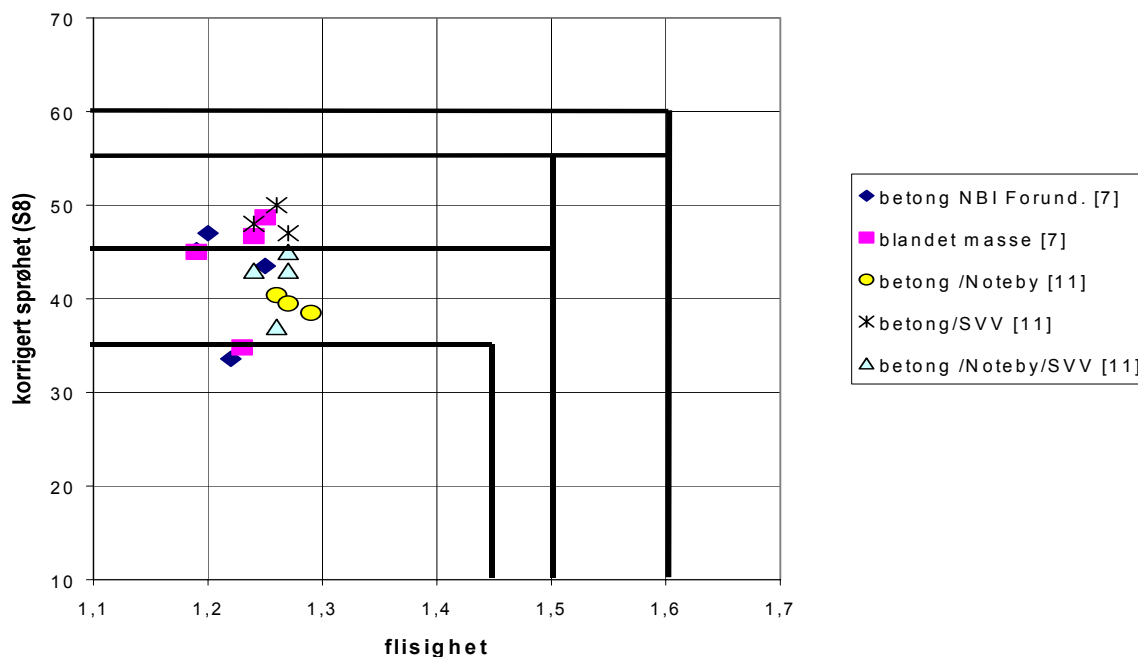
I starten av RESIBA-prosjektet var fallprøven den mest brukte prøvemethoden for vurdering av mekaniske egenskaper, og steinklassen var en veletablert betegnelse for steinkvaliteten. I løpet av prosjektperioden ble denne prøvemethoden mye diskutert med hensyn til egnethet for resirkulert tilslag. Fallprøven ble imidlertid ikke en CEN standardmetode, bl.a. fordi den kombinerer flere materialparametre: flisighet (kornform) og sprøhet (mekanisk styrke). Flisighetsindeks ble valgt av CEN TC154 som standard prøvemethoden, NS-EN 1076-6, se også 6.3<sup>30</sup>.

Resultater av fallprøver utført i RESIBAs regi, som er presentert her, må ses i lyset av følgende ulemper med fallprøven som testmetode for resirkulert tilslag:

- Mørtelinnslaget i resirkulert tilslag knuses lett ned og pga. sin sammensetning gjør dette at prøven pakker seg i større grad enn vanlig natursteinprøve. Dette fører til tilsynelatende større motstand mot nedknusning enn reelt.
- Fallprøven utføres på en smal fraksjon, 8 – 11,2 mm. Resirkulert tilslag er et lite homogent materiale, avhengig av kornstørrelse i den opprinnelige betongen. Resultater av fallprøven gjenspeiler derfor ikke materialets mekaniske egenskaper i samme grad som de gjør for natursteinmaterialer.

Fallprøven ble utført i følgende RESIBA-undersøkelser:

- NBIs forundersøkelse<sup>9</sup>
- Vegvesenets supplerende forsøk<sup>14</sup>



Figur 6-15. Resultater fra utført testing av flisighet og sprøhet.

Figur 6-15 viser en ”sky” med resultater uavhengig av testen og typen tilslag. En prøve *blandet masse* faller godt innefor skyen, som ellers består av resultater utført på knust *betong*.

I alle undersøkelser ble det rapportert at pakningsgraden var 1, som betyr at materialet var løst og morteren var lett å tømme. Man måtte ha flere målinger for å få bekreftet at materialets sammensetning generelt ikke har noen konsekvenser på pakningsgraden.

En ukritisk tolkning av disse målingene kunne plassere materialet i steinklasse 2 eller 3, som tilfredsstillende for eksempel krav til bruk i bærelag<sup>39</sup>. Usikkerheter knyttet til metoden, beskrevet ovenfor, svekker grunnlaget for det.

Flisighetstallene (x-aksen) viser at kornform ikke representerer noe problem. Håndbok 018 Vegbygging stiller krav til maksimal flisighet fra 1,55 og høyere, avhengig av bruksområdet<sup>39</sup>.

#### 6.4.2 Los Angeles

Metoden som har erstattet fallprøven når det gjelder testing av mekaniske egenskaper er Los Angeles metoden, NS-EN 1097-2<sup>31</sup>. RESIBAs forslag til deklarasjonsordning<sup>1</sup> inkluderer krav til regelmessig utførelse av Los Angeles-test, i tilfellene der mekanisk styrke er relevant for bruksområdet. I den nye utgaven av Statens vegvesens Håndbok 018 (planlagt utgitt 2003) blir krav til mekanisk styrke for steinmaterialer i forsterkningslag og bærelag stilt ved hjelp av via Los Angeles verdi.

Egnethet av Los Angeles prøvemethoden for resirkulert tilslag er også diskutabel. Dette skyldes følgende forhold:

- Mørtelinnslaget i resirkulert tilslag knuses lett ned og det er fare for at man tester mekaniske egenskaper til tilslaget i den opprinnelige betongen, som kan være misvisende
- Analysen som beskrevet i NS-EN utføres på en smal fraksjon, 10 – 14 mm. Dette er ikke representativt for ikke-homogene materialer, som resirkulert tilslag.

Los Angeles metoden er modifisert for testing av grove fraksjoner, av ASTM i USA og NSB i Norge<sup>40,41,42</sup>. Dette ville også være relevant for resirkulert tilslag, da det nettopp er grove fraksjoner som er mest aktuelle for bruksområder der mekanisk styrke er viktig.

I RESIBA er det utført en serie tester av mekanisk styrke av blandede masser og ren knust betong fra BA Gjenvinning. Testene ble utført i Vegvesenets laboratorier i 2001.

Tre varianter av Los Angeles testen ble utført:

- Standard, utføres på fraksjonen 10 – 14 mm, målt verdi er massen mindre enn 1,6 mm<sup>26,31</sup>
- ASTM varianten av Los Angeles testen: 9,5 – 19 mm (ASTM 1) og 37,5 – 75 mm (ASTM 2)<sup>40,41</sup>. Måleverdi er massen mindre enn 1,7 eventuelt 2 mm.
- Los Angeles-testen modifisert av NSB tilpasset grove fraksjoner: 32 – 40 mm (25 – 32 eller 40 – 50 mm)<sup>42</sup>. Målt verdi er massen mindre enn 1,6 mm.

Måleresultatene er vist i tabell 6-2.

Tabell 6-2. Resultater av Los Angeles-testen på ren betong og blandet masse<sup>14</sup>.

LA-verdi Prøve	Los Angeles (Hb-014)	ASTM 1	ASTM 2	NSB- modifisert
blandet masse (sept. 2001)	40,98	37,81	35,2	30,82
blandet masse (okt. 2001)	37,96			
ren betong (sept. 2001)	29,47	28,81	34,6	27,04
ren betong NBI (juni 1998)	25,39			

En avhengighet av fraksjonen man utfører testen på er merkbar, grovere testfraksjoner indikerer bedre mekaniske egenskaper. Det er også en merkbar forskjell mellom blandet masse og ren betong, som er mer logisk enn det som ble målt av materialegenskaper ved bruk av fallprøven, se Figur 6-15.

Produktstandardene for tilslag, hvorav den mest aktuelle i denne sammenheng er standard for tilslag til bruk i vegbygging, NS-EN 13424, klassifiserer steinmaterialene etter LA-verdi som vist i tabell 6.3<sup>4</sup>.

Tabell 6-3. Klassifisering av steinmaterialene etter LA-verdi <sup>4</sup>

Los Angeles-verdi	Klassifisering
≤ 15	LA <sub>15</sub>
≤ 20	LA <sub>20</sub>
≤ 25	LA <sub>25</sub>
≤ 30	LA <sub>30</sub>
≤ 35	LA <sub>35</sub>
≤ 40	LA <sub>40</sub>
≤ 50	LA <sub>50</sub>
≤ 60	LA <sub>60</sub>
ingen krav	LA <sub>ik</sub>

RESIBA-målingene plasserer materialet midt på denne skalaen. Håndbok 018 stiller krav til Los Angeles verdien på 35 og 40 for henholdsvis øvre og nedre forsterkningslag <sup>39</sup>.

Tatt i betraktning at en generell heving av kvaliteten på resirkulert tilslag kan forventes, at behovet for metodemodifisering er kjent og at en justering av kravene *kan* forekomme i framtiden, framstår vegbygging som et meget aktuelt og viktig bruksområdet for resirkulert tilslag.

#### 6.4.3 Kulemølle - metoden

I tillegg til Los Angeles metoden, ble tilslaget også testet i kulemølle, i henhold til NS-EN 1097-2<sup>31</sup>. Kulemølle-metoden utføres på fraksjon 11,2 – 16 mm. Den målte verdien er masseprosent materiale mindre enn 2 mm. Testen er mest relevant for beskrivelse av sliteegenskaper. Håndbok 018 stiller krav til mølleverdi for steinmaterialer brukt i slitelag<sup>39</sup>. Resultatene er vist i tabell 6.4.

Tabell 6.4. Resultater av bestemmelse av mølleverdi

Materiale /prøve	Mølleverdi
Blandet masse (sept. 2001) <sup>14</sup>	41,74
Ren betong (sept. 2001) <sup>14</sup>	31,71
Ren betong NBI (juni 1998) <sup>9</sup>	23,76
Ren betong <sup>11</sup>	24,10

Produktstandarden for tilslag til bruk i vegbygging, NS-EN 13424, klassifiserer steinmaterialene etter mølleverdi som vist i tabell 6.5 <sup>4</sup>.

Tabell 6-5. Klassifisering av steinmaterialene etter mølleverdi <sup>4</sup>

<b>Mølleverdi</b>	<b>Klassifisering</b>
$\leq 7$	M <sub>V7</sub>
$\leq 10$	M <sub>V10</sub>
$\leq 14$	M <sub>V14</sub>
$\leq 19$	M <sub>V19</sub>
$\leq 30$	M <sub>V30</sub>
ingen krav	M <sub>Vik</sub>

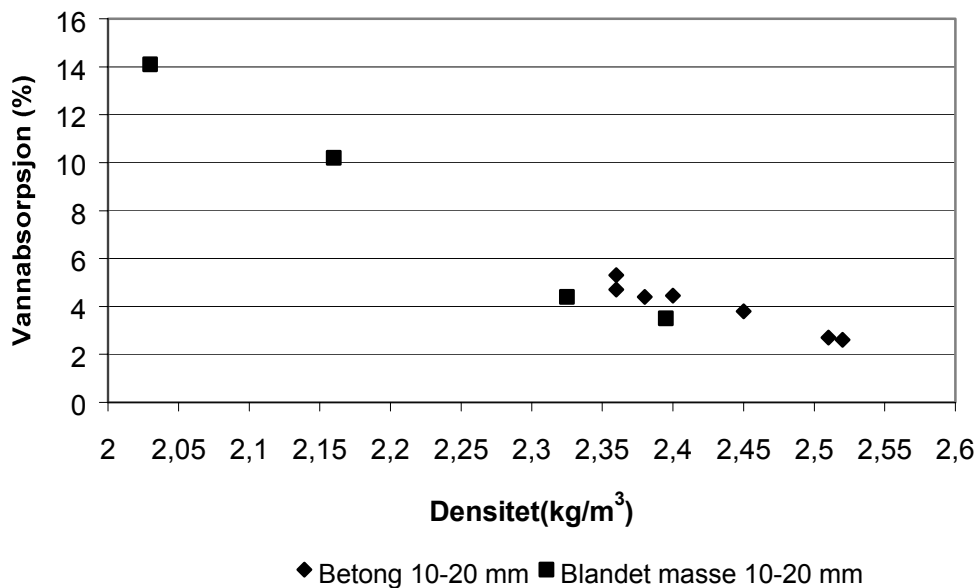
I henhold til tabell, faller RESIBAs målinger nederst eller helt utenfor skalaen. Kulemølle som testmetode er heller ikke ventet å gi en representativ beskrivelse av det resirkulerte tilslaget, av samme grunner som Los Angeles metoden, se 6.4.2. Dessuten datagrunnlaget for lite til å trekke noen entydige konklusjoner.

## 6.5 Densitet og vannabsorpsjon

Undersøkelsene av korndensitet og vannabsorpsjon er utført iht Statens vegvesens Håndbok 014 og Kontrollrådets metodesamling for betongtilslag<sup>26,27</sup>. Bestemmelse av densitet og vannabsorpsjon er utført i nesten alle RESIBA-undersøkelser. Prøving av bulkdensitet ble utført etter en ikke-standardisert metode i forbindelse med NBIs undersøkelse av resirkulert tilslag til ubunden bruk<sup>10</sup>.

### 6.5.1 Korndensitet og vannabsorpsjon

Figur 6-16 viser resultatene tegnet i et diagram som viser sammenheng mellom densitet (ovnstørr partikkeldensitet) og vannabsorpsjon for resirkulert tilslag fra ren betong og blandet masse.



Figur 6-16. Sammenhengen mellom densitet (ovnstørr partikkeldensitet) og vannabsorpsjon for resirkulert tilslag fra ren betong 10 - 20 mm og blandet masse 10 - 20 mm<sup>8, 9, 10, 11, 13, 16</sup>

Både resirkulert tilslag fra ren betong og blandet masse har et tilnærmet lineært forhold mellom densitet og vannabsorpsjon (som for naturtilslag), det vil si jo høyere densitet jo lavere vannabsorpsjon. Resirkulert tilslag fra ren betong viser generelt høyere densitet og lavere vannabsorpsjon enn blandet masse, som forventet.

For naturlig tilslag i sortering 8 - 22 mm ligger ovnstørr partikkeldensitet normalt i området 2,65 – 2,75 kg/dm<sup>3</sup>, mens vannabsorpsjonen ligger i området 0,5 - 0,9 %.

### 6.5.2 Bulkdensitet

Tabell 6-6 viser resultater av bestemmelse av bulkdensitet utført og rapportert av NBI<sup>10,45</sup>.

Tabell 6-6. Gjennomsnittlig bulkdensitet og hulromsprosent<sup>45</sup>

Tilslag	Ren betong		Bl. masse 10-20 mm	Naturtilslag	
	8-12 mm	10-20 mm		8-11 mm	8-12 mm
Uvibrert $\rho_1$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,24	1,26	1,23	1,45	1,41
Hulrom (%) <sup>A)</sup>	48	49	49		50
Vibrert $\rho_2$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,41	1,37	1,31	1,59	1,59
Hulrom (%) <sup>A)</sup>	41	45	46		43
$\Delta V$ (%) <sup>B)</sup>	8,7	7,8	5,9	8,7	11,6

<sup>A)</sup> Basert på overflatetørr partikkeldensitet. <sup>B)</sup>  $\Delta V$  = endring av volum i % på grunn av vibrering. <sup>C)</sup> Naturlig tilslag benyttet i Fullskalaforsøk-1 for sammenligning av bulkdensitet

Lavere bulkdensitet gjør at resirkulert tilslag under normale forhold er en lettere håndterbar masse enn naturlig tilslag. Forskjellen i bulkdensitet gjør seg også gjeldende ved vurdering av transportkostnader, se kapittel 8.

## 6.6 Kjemiske egenskaper

Kjemiske egenskaper i denne rapporten omfatter en begrenset undersøkelse av klorid- og sulfatinnhold knyttet til bruk av resirkulert tilslag i betong på Fornebu og Sørumsand videregående skole<sup>13, 19</sup>. Utlekkingstester utført i RESIBA er omtalt i egen rapport<sup>2</sup>.

### 6.6.1 Kjemisk analyse (utlekking)

Alle utlekkingsstester er omtalt i prosjektrapport 03/2002 "Miljøpåvirkning ved bruk av resirkulert tilslag"<sup>2</sup>.

RESIBAs forslag til deklarasjonsordning krever regelmessig utførelse av utlekkingsstest som et mål på innhold av miljø- eller helsefarlige stoffer<sup>1</sup>. Alternativ måte å måle tilslagets utlekkingspotensial på er måling av totalinnhold av utvalgte stoffer i nedmalt prøve resirkulert tilslag. Måling av totalinnhold ble utført på noen få prøver, mest i forbindelse med PCB-undersøkelser. Dette er også omtalt i RESIBAs prosjektrapport om miljøpåvirkning<sup>2</sup>.

### 6.6.2 Innhold av vannløselige salter (kloridinnhold)

Innhold av klorider ble utført i forbindelse med testing av tilslag brukt i betong på Fornebu og i Sørumsand videregående skole<sup>13,19</sup>. Kloridinnhold i det resirkulerte tilslaget ble analysert i henhold til NS-EN 1744-1<sup>34</sup>. I Fornebu-prosjektet var det målte kloridinnholdet mindre enn 0,007 %, mens det i Sørumsand var på 0,0021% av prøvens masse. Dette tilsvarer et ubetydelig bidrag i betongresepten og vil ikke påvirke betongens evne til å beskytte armeringsstål mot korrosjon.

### 6.6.3 Innhold av sulfater

Innhold av sulfater ble også utført i forbindelse med demonstrasjonsprosjektet på Fornebu og Sørumsand videregående skole<sup>13,19</sup>. I Fornebu-prosjektet var sulfatinnholdet i det resirkulerte tilslaget analysert etter NS 3090<sup>42</sup>, en testprosedyre som senere ble en del av NS-EN 1744-1<sup>34</sup>. Sulfatinnholdet uttrykt som SO<sub>3</sub> ble funnet lik 0,42 % av totalt innveid prøvemateriale. I Sørumsand-prosjektet ble innholdet av vannløselige sulfater bestemt i henhold til NS-EN 1744-1<sup>34</sup> og beregnet til 0,0095. Sulfatinnholdet har ikke vært noe problem i disse prøveprosjektene.

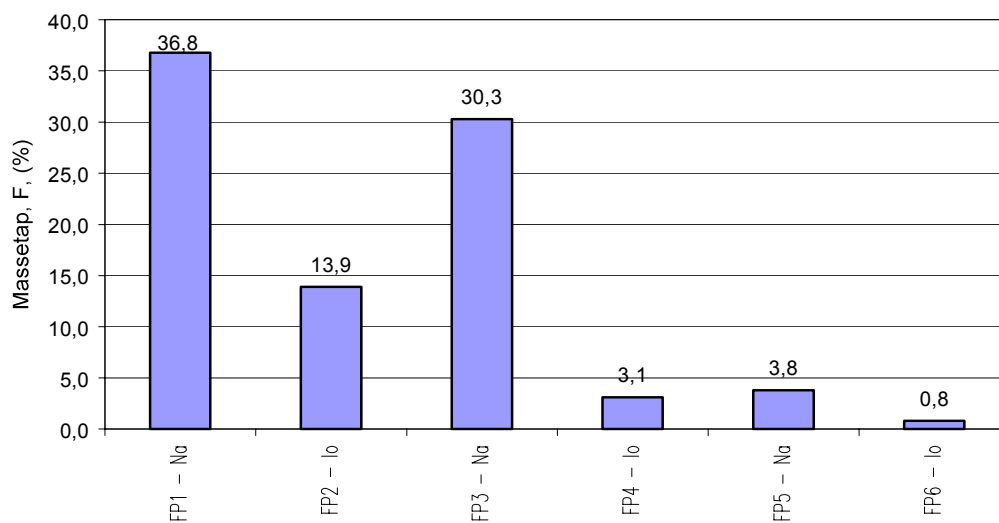


## 6.7 Frostegenskaper

Frostegenskaper av resirkulert tilslag ble undersøkt i NBIs forundersøkelse og i forbindelse med NBIs undersøkelse av resirkulert tilslag til ubunden bruk, i henhold til prEN 1367-1 (som senere kom i endelig utgave) og med modifikasjoner av samme metode<sup>9,10,43,44</sup>.

Standardemetoden EN 1367-1 til testing av frostegenskaper av tilslag forutsetter fortørkning av tilslaget ved 105° i 24 timer, og at tilslaget blir neddykket i vann under prøvingen<sup>43,44</sup>. Disse betingelser ble vurdert for tøffe for resirkulert tilslag<sup>9</sup>. De er heller ikke representative for reell eksponering av resirkulert tilslag i ubunden bruk.

Parallele forsøk ble gjennomført med ulike vannmetningsgrader og i vannmettet overflatevåt tilstand<sup>9,10</sup>. Både fortørking av tilslaget, vanninnhold i prøven og saltinnhold i vannet har vist seg å ha stor betydning for utfallet av målinger av tilslagets frostbestandighet. Kombinasjoner av disse faktorene gir en høyere nedbrytningseffekt. Dette er vist i Figur 6-17, fra RESIBA rapport 06/2002 ”Ubunden bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter”<sup>45</sup>.



- FP1 – Na: Tørket v/105°C, vann neddykket, vannmettet i 1% NaCl-løsning,
- FP2 – Io: Tørket v/105°C, vann neddykket, vannmettet i avionisert vann.
- FP3 – Na: Vann neddykket, vannmettet i 1% NaCl-løsning.
- FP4 – Io: Vann neddykket, vannmettet i avionisert vann.
- FP5 – Na: Overflatevåt, vannmettet i 1% NaCl-løsning.
- FP6 – Io: Overflatevåt, vannmettet i avionisert vann.

Fig 6-17. Massetap etter frostprøving av ren betong 8 – 12 mm<sup>45</sup>

Rapporten<sup>45</sup> konkluderer med at det resirkulerte tilslaget ikke bør brukes der det kan bli stående neddykket i vann med tinesalter ved frysing. For de fleste eksponeringsforhold skulle frostbestandighet imidlertid ikke være noe problem. Det

er behov for mer omfattende dokumentasjon av frostbestandighet av resirkulert tilslag og for utvikling av testmetoden.

I Nordtest-ringundersøkelsen, koordinert og rapportert av Byggforsk, ble standarden for testing av frostbestandighet, da prEN 1367-1, prøvd ut med hensyn til bruk av tinesalt, da tinesalt var vurdert relevant for nordiske forhold<sup>44</sup>. Rapporten gir anbefalinger for prøvepreparering av porøst og resirkulert tilslag tilpasset bruk og testing med tinesalt.

## 7. AVSLUTTENDE PRØVESERIE MAI 2002

To sorteringer resirkulert tilslag, av henholdsvis knust betong og blandet masse, ble testet i mai 2002. Hensikten var å gjennomføre hele serien tester i henhold til RESIBAs forslag til deklarasjonsordning og dermed supplere laboratorieresultater som er samlet i løpet av RESIBA-prosjektet. De to utvalgte sorteringer var de vi hadde flest laboratorieresultater fra: ren betong 10 – 20 mm og blandet masse 20 – 120 mm.

Prøvingen ble utført i Vegvesenets laboratorier<sup>46</sup>. Forsøksplanen var opprinnelig satt opp etter RESIBAs forslag til deklarasjonsordning, men måtte reduseres av kapasitetsårsaker.

### 7.1 Kornstørrelsesfordeling

Figur 7-1 viser siktekurver for de to utvalgte fraksjoner.

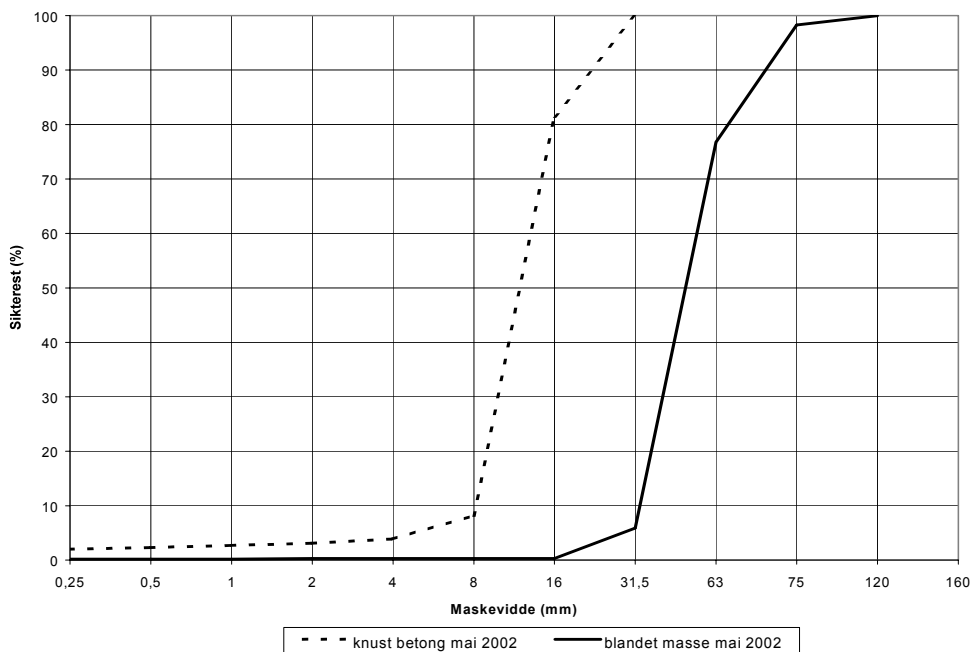


Fig 7-1. Korngradering for prøver av ren betong 10 – 20 mm og blandet masse 20 – 120 mm, tatt ut mai 2002<sup>46</sup>.

Produktstandarden for tilslag til bruk i vegbygging, prEN 13242, stiller generelle krav til korngradering til sorteringer ”d/D” ved å definere min. og maks. gjennomgang på sifter med åpning d, 1,4D, D, d og d/2<sup>4</sup>. Blandet masse og ren betong i denne undersøkelsen faller innenfor disse kravene. Blandet masse 20 – 120 mm ligger generelt noe lavt i forhold til nominell størrelse.

Ren betong 10 – 20 mm er ikke sammenlignet med generelle krav til korngradering fordi 22,4 mm – sikt ikke var inkludert i siktekurven.

## 7.2 Materialsammensetning

Materialsammensetning ble bestemt kun for blandet masse 20 – 120 mm. Prøvemethoden var i henhold til prEN 933-11<sup>23</sup>, men prøven inneholdt færre korn enn 500 som er målet i prøvemethoden. Dette vurderes likevel å være tilstrekkelig antall korn til å gi et godt bilde av materialsammensetningen. Tabell 7-1 viser resultatene i antall korn og omregnet til masseandel.

Tabell 7-1 Materialsammensetning av blandet masse 20-120 mm

	Antall korn	Masse	Masse %
Betong	191	30399	69
Stein	28	4484	10
Tegl	65	6873	16
Asfalt	7	1265	3
Lettklinker	23	909	2
Annet mineralsk	2	194	0,5
Organisk	0		0
SUM	316	44124	100

I henhold til klassifiseringen av resirkulert tilslag i RESIBAs forslag til deklarasjonsordning tilsvarer dette materialet klasse 2B eller blandet masse for ubunden bruk, se også Tabell 6-1<sup>1</sup>. Samlet prosentandel stein, betong og tegl er 95 %. Samlet prosentandel stein og betong er 79 %, noe som er like under anbefalingen for blandede masser til bruksområder der det stilles flere krav enn materialsammensetning.

## 7.3 Kornform

Kornform ble testet på ren betong 10 – 20 mm, i henhold til NS-EN 933-3 Flisighetsindeks<sup>30</sup>. Prøvingen består i to sikteoperasjoner. I den første siktes materialet gjennom vanlige prøvingssikter. Deretter siktes hver delfraksjon  $d_i/D_i$  gjennom stavsikter med parallelle spalter med bredde  $D_i/2$ . Flisighetsindeksen beregnes som forhold mellom den totale massen som har passert gjennom stavsiktene, og prøvens totale tørrmasse. I denne undersøkelsen ble flisighetsindeks på resirkulert tilslag fra ren betong 10 – 20 mm lik 10.

Produktstandarden for tilslag til bruk i vegbygging klassifiserer tilslag etter flisighetsindeks som vist i Tabell 7-2<sup>4</sup>.

Tabell 7-2. Klassifisering av tilslag etter flisighetsindeks<sup>4</sup>

Flisighetsindeks	Klassifisering
$\leq 20$	Fl <sub>20</sub>
$\leq 35$	Fl <sub>35</sub>
$\leq 50$	Fl <sub>50</sub>
$> 50$	Fl <sub>Declared</sub>
No requirement	Fl <sub>NR</sub>

Flisighetsindeks på 10 plasserer materialet utenfor området der flisighetsindeks er et problem. Flisighetsindeks på 10 er også godt innenfor kravet som trolig blir stilt i den kommende utgaven av håndbok 018, der man krever flisighetsindeks  $\leq 30$ <sup>47</sup>.

#### 7.4 Mekaniske egenskaper – Los Angeles

Mekaniske egenskaper til det resirkulerte tilslaget ble testet ved hjelp av Los Angeles metoden, NS-EN 1097-2<sup>31</sup>. Prøvemethoden ble kort beskrevet i 6.4.2.

Prøven, 10 – 14 mm, ble siktet ut av materialet 10 – 20 mm. Los Angeles-verdien var 30,2.

Denne verdien plasserer materialet noe over midten på klassifiseringsskalaen i produktstandarden for tilslag til vegbygging<sup>4</sup>. Materialet tilfredsstiller kravet til mekanisk styrke i Håndbok 018, der Los Angeles-verdien skal være på maks. 35 og 40 for henholdsvis øvre og nedre forsterkningslag<sup>39</sup>.

Mekanisk styrke er et parameter som er mest relevant for ubunden bruk, og dermed også blandet masse. Prøving ved Los Angeles-metoden ble dessverre ikke utført på blandet masse 20 – 120 mm i denne serien.

#### 7.5 Korndensitet og vannabsorpsjon

Korndensitet og vannabsorpsjon ble testet på ren betong 10 – 20 mm, i henhold til Statens vegvesens håndbok 014. Resultatene og gjennomsnittsverdier av to prøver er presentert i Tabell 7-3.

Tabell 7-3. Densitet- og vannabsorpsjonsmålinger på resirkulert tilslag av ren betong 10-20 mm.

Prøve	$\rho_{\text{ovnstørr}}$ kg/dm <sup>3</sup>	$\rho_{\text{ssd}}$ kg/dm <sup>3</sup>	w %
A	2,39	2,48	3,8
B	2,40	2,47	3,1
gjennomsnitt	2,40	2,48	3,45

Disse måleresultatene faller der det var forventet for resirkulert tilslag fra ren betong (se Figur 6-16) med resultater fra andre RESIBA-undersøkesler og 6.5.1.

## 8. ØKONOMI

Prisen for et tonn resirkulert tilslag er ca halvparten av prisen for tilsvarende sortering naturlig tilslag, levert fra produksjonssted. Prisdifferansen blir i praksis høyere når man tar hensyn til at volumet på et tonn resirkulert tilslag er ca, 15 % større enn for naturlig tilslag.

Materialprisen kan utnyttes kun i de tilfeller der andre prislefaktorer ikke spiller noen rolle. Faktorer som påvirker lønnsomhet er i stadig endring. Her er noen av dem:

### 1. Ønske om høyere kvalitet på resirkulert tilslag

RESIBAs forslag til deklarasjonsordning forutsetter en jevnlig testing av utvalgte egenskaper for regelmessig oppfølging og dokumentasjon. En slik ordning kommer til å øke produksjonsprisen og dermed også salgsprisen. Den høyere salgsprisen kan bidra til at produksjon av resirkulert tilslag blir en mer attraktiv satsing for produsenten. På den annen side, bidrar ordningen til at deklarerert resirkulert tilslag blir et mer attraktivt produkt for tiltakshaveren på grunn av sin mer forutsigbare kvalitet.

### 2. Politiske og administrative forhold

Deponiavgift på 300 kr/tonn for avfall som ikke leveres til gjenvinning ("grønn skatt") gjør at mengde bygge- og riveavfall til gjenvinning øker og dermed også lagrene av mindre attraktive sorteringer.

Bygg-, anleggs- og eiendomsnæringens erklæring om behandling av byggeavfall (BNL: Nasjonal handlingsplan for byggeavfall) setter en ambisiøs målsetning om gjenvinning av årlig 70 % generert bygge- og riveavfall innen 2005. For å nå dette målet, vil det være nødvendig med nye politiske vedtak og kanskje ytterligere avgifter på avfall som ikke er tilrettelagt for gjenvinning.

Politiske vedtak kan gjøre at resirkulert tilslag blir prioritert uten at prisen er gunstigere enn for vanlig tilslag. I det tilfellet er det byggherren som bærer kostnaden, om ikke et slikt politisk ønske markeres ved "øremerking" av avgifter som er tenkt å fremme bruken av resirkulert tilslag.

### 3. Tilgjengelighet

Det er foreløpig få leverandører av resirkulert tilslag, som gjør bruken svært avhengig av transportkostnadene. En økning i antall leverandører ville gjøre transportkostnadene relativt lavere.

## 9. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

Resultater av laboratorieprøving av resirkulert tilslag viser at materialegenskaper til resirkulert tilslag ikke skiller seg vesentlig fra naturligt tilslag, som betyr at resirkulert tilslag kan brukes som alternativ til naturligt tilslag på en rekke bruksområder.

### **Korngradering**

Korngraderingen for det resirkulerte tilslaget har ikke variert påfallende innenfor samme sortering. Det er vanskelig å nærmere beskrive denne variasjonen, fordi både nominelle størrelser (betegnelser) og reelle sikteåpninger for korngraderinger har variert i løpet av prosjektperioden.

### **Telefarlighet**

Det er lite sannsynlig at telefarlighet kan være noe problem for resirkulert tilslag.

### **Materialsammensetning**

De fleste materialene fra BA Gjenvinning, brukt og testet i RESIBA-prosjektet, faller innenfor klasser for ubunden bruk, både ren betong og blandet masse, definert i RESIBAs forslag til deklarasjonsordning<sup>1</sup>. Resirkulert tilslag av ren betong, produsert tidlig i prosjektperioden har inneholdt noe mer asfalt enn ønskelig. Resirkulert tilslag av ren betong produsert på slutten av prosjektperioden for bruk i betong har hatt tilfredsstillende sammensetning.

Om man skulle satse på produksjon av blandet masse for bruk i betong, må produsenten skjerpe kontrollen med innholdet av asfalt og urenheter av ikke-mineralsk type, for å tilfredsstille kravene i RESIBAs forslag til deklarasjonsordning<sup>1</sup>.

### **Kornform**

Resultater av bestemmelse av kornform tyder på at kornform ikke representerer noe problem for resirkulert tilslag.

### **Mekaniske egenskaper**

Vurdering av mekaniske egenskaper er basert på testmetoder og tilhørende krav som er formulerte for naturligt tilslag. En tilpasning av metodene for det ikke-homogene resirkulerte tilslaget og for grove fraksjoner er nødvendig. Selv om man trekker bare positive erfaringer fra feltprøving, viser laboratorieundersøkelser at resirkulert tilslag ligger helt på grensen når det gjelder tilfredsstillelse av gjeldende krav til mekanisk styrke for ubunden bruk i veg.

### **Vannabsorpsjon og densitet**

Forholdet mellom vannabsorpsjon og densitet er proporsjonelt og tilnærmet lineært, som for naturligt tilslag. Ingen målt densitetsverdi har falt utenfor kravet for indirekte vurdering av materialsammensetning. Resirkulert tilslag har merkbart lavere bulkdensitet enn naturligt tilslag.

**Klorid- og sulfatinnhold**

Kontroll av klorid- og sulfatinnhold kreves kun i tilfeller der man bruker tilslag i betong eller i kontakt med betongelementer. RESIBA-målingene, utført i forbindelse med bruk i betong, er godt innenfor akseptgrensen.

**Frostbestandighet**

Frostbestandighet av resirkulert tilslag er svært avhengig av vannmetningsgrad og om tilslaget er utsatt for saltløsning eller ikke. Resultater fra laboratorieprøving i henhold til standardmetoden for naturlig tilslag tyder på at man bør unngå bruksområder der tilslaget kan være utsatt for tinesalt, særlig hvis det også kan ligge neddykket i vann. Under de mest vanlige og reelle eksponeringsbetingelser i ubunden bruk skulle ikke frostbestandighet representere noe problem.

**Lønnsomhet**

Resirkulert tilslag kan brukes med lønnsomhet i tilfeller når transportavstand ikke er for stor. Et generelt krav om heving av kvalitet og dokumentasjon, mulig politiske vedtak for fremming av gjenbruk og større konkurranse kan komme til å gi et varierende bilde av økonomien knyttet til bruk av resirkulert tilslag i noen år framover.



## 10. REFERANSER

- 1 Karlsen J., Petkovic, G., Lahus, O.: Forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag, RESIBA Prosjektrapport 04/2002.
- 2 Engelsen, C., Hansen, E., Hansesveen, H.: Miljøpåvirkning ved bruk av resirkulert tilslag, RESIBA Prosjektrapport 03/2002.
- 3 prEN 13285, Unbound mixtures, CEN/TC 227, 1998
- 4 prEN 13242, Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction, CEN/TC 154, 1998
- 5 Forslag til terminologi knyttet til resirkulert tilslag, Høringsutkast, Pukk- og Grusleverandørenes Gjenvinningsforum, juni 2001
- 6 Statistisk sentralbyrå: Bygg- og anleggsavfall 1998 – 1,5 millioner tonn bygg- og riveavfall, Ukens statistikk nr. 50/1999 s.5-6, (<http://www.ssb.no/avfbygganl/>).
- 7 Bøe, T.: Pukkverksdrift kontra gjenvinning – kan vi spille på lag ? Innlegg under seminaret ”Resirkulert betong og tegl – en stor bløff eller et kvalitetsprodukt ?” i regi av RESIBA og Akershus fylkeskommune, Veidekke, Skøyen 25. nov. 1999
- 8 <http://www.grip.no/okobygg>
- 9 Jacobsen S.: Deklarasjon av egenskaper for resirkulert tilslag – forprosjekt 1998 (foreløpig rapport pr. 10.12.98), rapport E 7753, NBI, Oslo 1998.
- 10 Kleiva, F., Forseth, S., Klevengen, H.: Hovedoppgave: Resirkulerte masser i ubunden bruk, NBI og HiO-IU, 1999.
- 11 Supplerende forsøk på resirkulert tilslag testet i NBIs forundersøkesle – notater Vegdirektoratet
- 12 Mastrup, A. L., og Sundbye, T. A.: Hovedoppgave: Resirkulert tilslag som fundament og omfylling i VA-grøfter NBI og HiO-IU, 2000.
- 13 Materialundersøkelser ifm med utbygging av g/s-vegen Skøyen-Bygdøy, notater og laboratorieresultater, Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling 2000.
- 14 Testing av mekaniske egenskaper og korngradering på resirkulert tilslag – laboratorieprøving utført av Sondre Gulbrandsen, Statens vegvesen, 2001
- 15 Prøver ifm. bruk av resirkulert betong i overvannsgroft ved Yggeset Avfallpark i Asker. NBI – notater.
- 16 Laboratorieforsøk med betong C35 NA - bygging av fundamenter for Telenor på Fornebu
- 17 Laboratorieforsøk med betong C45 NA - bygging av fundamenter for Telenor på Fornebu
- 18 ”Betong med høy andel resirkulert tilslag”. Hovedoppgave utført av student ved Høgskolen i Oslo i samarbeid med Norges byggforskningsinstitutt. Datert 09.06.00.
- 19 Prøver i laboratorium og felt ifm. bruk av betong C35 NA ved Sørumsand videregående skole
- 20 Prøver ifm. bruk av sprøytebetong med 20 % resirkulert tilslag på en EPS-fylling i Gaustadbekkdalen.
- 21 CEN TC 154 Ad hoc group for recycled aggregates: ”Final Technical Report”
- 22 prEN 1744-3 Chemical properties of aggregates. Del 3: Preparation og eluates by leaching of aggregates
- 23 NS-EN 933-11: 2001, Tests for geometrical properties of aggregates. Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate, CEN/TC 154, Task Group 11.
- 24 <http://www.nordtest.org>
- 25 Sluttrapport i ALT-MAT prosjektet: <http://www.trl.co.uk/altmat/>
- 26 Statens vegvesen, Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, 1997
- 27 Kontrollrådet for betongprodukter, Klasse P Betongtilslag, Metoder for prøving av betongtilslag, oktober 1998.
- 28 NS-EN 933-1 Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag. Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling. Sikteanalyse.
- 29 NS-EN 933-7 Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag. Del 7: Bestemmelse av skjellinnhold

- 
- 30 NS-EN 933-3 Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag. Del 3: Bestemmelse av  
korn form. Flisighetsindeks.
- 31 NS-EN 1097-2 Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag. Del 2: Metoder  
for bestemmelser av motstand mot knusing
- 32 NS-EN 1097-6: Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag. Del 6:  
Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon.
- 33 NBIs standardprosedyre for kloridtesting
- 34 NS-EN 1744-1 Prøvningsmetoder for kjemiske egenskaper for tilslag. Del 1: Kjemisk analyse
- 35 NS 3090 Bestemmelse av sulfatinnhold - Portlandsement
- 36 SS 13 72 44 Betongprøving – Hårdnad betong – Betongkuber før frysprøving
- 37 RILEM TC 121-DRG: Specifications for concrete with recycled aggregates , Materials and  
Structures, 1994, 27, pp 557-559.
- 38 Norsk betongforening, Publikasjon 26 ”Materialgjenvinning av betong og murverk for  
betongproduksjon”
- 39 Statens vegvesen, Håndbok 018 Vegbygging, 1999
- 40 ASTM C 535/89: Standard test method for resistance to degradation of large size (> 19 mm)  
coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine
- 41 ASTM C 131/89: Standard test method for resistance to degradation of small size (< 37,5 mm)  
coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine
- 42 Statens vegvesen, Håndbok 223 Steinmaterialer til veier – flyplasser – jernbaner, 2000
- 43 prEN 1367: 1998, Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Part 1:  
Determination of resistance to freezing and thawing.
- 44 NS-EN 1367-1: 2000, Prøvningsmetoder for termiske egenskaper og forvittringsmotstand for  
tilslag. Del 1: Bestemmelse av motstand mot frysing og tining.
- 45 ”Ubunden bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter”, RESIBA Prosjektrapport 06/2002.
- 46 Avsluttende prøving på resirkulert tilslag for RESIBA-prosjektet, notater Vegdirektoratet,  
Vegteknisk avdeling, mai 2002
- 47 Notater fra revisjonen av Statens vegvesens håndbok 018, Vegteknisk avdeling

